



Université Ferhat ABBAS de Sétif

Faculté des Sciences Économiques, de Gestion et des Sciences  
Commerciales

Département des Sciences Économiques

**Thèse du doctorat en sciences**

Préparée par Hirzellah ABBAS.

En vue de l'obtention du diplôme du doctorat en sciences économiques

Option : Économie de l'environnement

**Thème :**

**La problématique énergétique à l'ère du développement durable : Essai de construction d'un Indice de Durabilité du Système Énergétique.**

Sous la direction du professeur Saïd Chaouki CHAKOUR

**Jury:**

<b>Présidente</b>	Pr	GUETTAF Leila	Université de Setif
<b>Rapporteur</b>	Pr	CHAKOUR Saïd CHAOUKI	Université de Jijel
<b>Examineur</b>	Pr	LAIB Abderrahmane	Université de Setif
<b>Examineur</b>	Pr	Djenina Amor	Université de Tebessa
<b>Examineur</b>	Pr	CHARIF Amor	Université de Batna
<b>Examineur</b>	Dr	RAHMANI Mounir	Université de Setif

**Année universitaire 2020-2021**

**A la mémoire de ma mère**

*Que la mort a emportée quelques jours avant la soutenance.  
Tu as tant souhaité d'assister à mon succès au doctorat.  
Que dieu t'accueillera dans son vaste paradis, amen.*

## Sommaire

Liste des abréviations .....	II
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	V
 Introduction générale .....	 01
<b>Chapitre 1 : Développement durable : Analyse économique</b> .....	<b>11</b>
Section 1- Émergence et réflexion sur la durabilité dans l’histoire.....	12
Section 2- Développement durable et autres formes du progrès .....	28
Section 3- Développement durable.....	47
Section 4- Approches économiques du développement durable.....	62
 <b>Chapitre II : Durabilité : opérationnalisation et évaluation</b> .....	 <b>75</b>
Section 1 : Saisir le concept de durabilité .....	76
Section 2- Dimensions de durabilité .....	91
Section 3- Approches de durabilité.....	116
Section 4- Évaluation de durabilité .....	132
 <b>Chapitre 3 : Durabilité énergétique : conceptualisation et évaluation</b> .....	 <b>150</b>
Section 1- Problématique énergétique .....	151
Section 2- Saisir le concept de durabilité énergétique .....	163
Section 3- Dimensions et indicateurs de durabilité énergétiques .....	176
Section 4- Évaluation de la durabilité énergétique .....	186
 <b>Chapitre 4- Construction de l’indice de durabilité du système énergétique</b> .....	 <b>205</b>
Section 1- Cadre conceptuel .....	206
Section 2- Choix d’indicateurs .....	217
Section 3- Cadre méthodologique .....	228
Section 4- Discussion des résultats et analyse de robustesse .....	247
 Conclusion générale .....	 264
 Bibliographie .....	 276
Annexes .....	293
Table des matières .....	309
Résumé .....	310

**Liste des abréviations :**

<b>ACP :</b>	Analyse composante principale
<b>AEE :</b>	Agence européenne de l'environnement
<b>AIE :</b>	Agence internationale d'énergie
<b>AIEA :</b>	Agence internationale d'énergie atomique
<b>AMC :</b>	Analyse multicritères
<b>ATEP :</b>	Approvisionnement total en énergie primaire
<b>BM :</b>	Banque mondiale
<b>BP :</b>	British petroleum
<b>CDD :</b>	Commission le Développement durable des Nations Unies
<b>CEE :</b>	Communauté économique européenne
<b>CMD :</b>	Conseil mondial de l'énergie
<b>CMED :</b>	Commission mondiale sur l'environnement et le développement
<b>CNUED :</b>	Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement
<b>CNUEH :</b>	Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain
<b>DAESNU :</b>	Département des affaires économiques et sociales des nations unies
<b>DD :</b>	Développement durable
<b>DE</b>	Durabilité énergétique
<b>DED :</b>	Développement énergétique durable
<b>EDD :</b>	Évaluation de durabilité
<b>EDE :</b>	Évaluation de durabilité énergétique
<b>EES :</b>	Évaluation environnementale stratégique
<b>EIE :</b>	Évaluation d'impact environnemental
<b>ENR :</b>	Énergie nouvelle et renouvelable
<b>EP :</b>	Énergie propre
<b>ER :</b>	Énergie renouvelable (ENR),
<b>GB</b>	Gigas (milliards) barils
<b>GES :</b>	Gaz à effet de serre
<b>GIEC :</b>	Groupe intergouvernemental d'évaluation du climat
<b>Gtep :</b>	Gigas (milliards) tonne équivalente pétrole
<b>IC :</b>	Indice composite
<b>IDED :</b>	Indice de développement énergétique durable
<b>IDH :</b>	Indicateur de développement humain
<b>IDSE :</b>	Indice de durabilité du système énergétique
<b>IEDD :</b>	Indicateurs énergétiques pour un développement durable
<b>IMPE :</b>	Indice multidimensionnel de la pauvreté énergétique
<b>IPH :</b>	Indicateur de la pauvreté humaine
<b>ITE :</b>	Indice de trilemme énergétique
<b>KTU</b>	Kilo tonnes U (<130\$/kgU)
<b>Mb/j :</b>	Millions de barils par jour
<b>NU :</b>	Nations Unies
<b>ODD :</b>	Objectifs du développement durable
<b>ONU :</b>	Organisation des nations unies

<b>OPEP :</b>	Organisation des pays exportateurs de pétrole
<b>PED :</b>	Pays en développement
<b>PNUD :</b>	Programme des Nations Unies pour le développement
<b>PPA :</b>	Parité de pouvoir d'achat
<b>R&amp;D :</b>	Recherche et développement
<b>RNB :</b>	Revenu national brut
<b>SED :</b>	Système énergétique durable
<b>WBCSD :</b>	World business council for sustainable development
<b>WCED:</b>	World Commission on Environment and Development (CMED)
<b>WWF:</b>	World Wildlife Fund

## **Liste des tableaux**

Tableau 1.1 : Positions par rapport au développement durable .....	66
Tableau 2.1 : Principaux outils de mesure de la durabilité .....	138
Tableau 3.1: Réserves mondiales prouvées et production annuelle par source d'énergie en 2015 .....	159
Tableau 3.2 : Réserves prouvées, consommation et production par source d'énergie, Algérie en 2015 .....	159
Tableau 3.3 : Indicateurs de la dimension économique de l'énergie .....	180
Tableau 3.4 : Indicateurs de la dimension environnementale de l'énergie .....	182
Tableau 3.5 : Indicateurs de la dimension sociale de l'énergie .....	184
Tableau 3.6 : Avantages et inconvénients d'IC .....	195
Tableau 3.7 : Indice de Trilemme énergétique, structure et pondération .....	198
Tableau 3.8 : Indice de développement énergétique durable, structure et normalisation	200
Tableau 3.9 : l'indice du développement énergétique, structure .....	201
Tableau 3.10: Indice multidimensionnel de pauvreté énergétique, structure et pondération .....	202
Tableau 4.1 : ATEP: comparaison entre Algérie et Malte .....	220
Tableau 4.2 : Scores et rangs de l'IDSE, pondération égale et agrégation géométrique ...	250
Tableau 4.3 : Scores et rangs de l'IDSE, pondération égale et agrégation arithmétique ...	253
Tableau 4.4 : Calcul de l'incertitude relative associée à l'IDSE liée aux méthodes de pondération en 2014 (agrégation: géométrique) .....	258
Tableau 4.5 : Calcul de l'incertitude relative associée à l'IDSE liée aux méthodes d'agrégation en 2014 (pondération égale) .....	259
Tableau 4.6 : Sensibilité de l'IDSE des pays à score non nul avec l'agrégation géométrique en 2014 (pondération égale) .....	261

**Liste des figures**

Figure 1.1 : Chronologie et évolution des concepts .....	26
Figure 1.2 : Arborescence des approches économiques du développement durable ....	63
Figure 2.1 : Approche de soutenabilité faible .....	119
Figure 2.2 : Approche de soutenabilité forte .....	126
Figure 3.1 : Relation mondiale entre la consommation d'énergie primaire et le PIB ....	152
Figure 3.2 : Utilisation mondiale de l'énergie et PIB .....	152
Figure 3.3 : Comparaison des mix énergétiques de 2010 et de 2040 .....	155
Figure 3.4 : Production mondiale de combustible fossile primaire et prévisions .....	156
Figure 3.5 : Volume de découvertes de pétrole conventionnel et prévisions .....	157
Figure 3.6 : Hiérarchie entre les concepts liés à la qualité de l'énergie .....	168
Figure 4.1 : Du concept de durabilité énergétique à l'IDSE .....	208
Figure 4.2 : Part d'utilisation des méthodes de pondération dans la littérature .....	238
Figure 4.3 : Représentation schématique du calcul de l'IDSE .....	249
Figure 4.4 : Évolution des scores dans l'espace (pondération géométrique) .....	251
Figure 4.5 : Évolution des scores dans les temps (pondération géométrique) .....	251
Figure 4.6 : Évolution des rangs selon les scores de l'IDSE .....	252
Figure 4.7 : Évolution des scores dans l'espace agrégation arithmétique .....	253
Figure 4.8 : Évolution des rangs (agrégation arithmétique) .....	254

## **Introduction générale**

Depuis la nuit des temps, l'humanité dépendait de son environnement naturel. Pour sa survie, l'homme extrait directement de la nature tout dont il a besoin: cueillette, chasse, outils, habillement, etc. qui sont les premières formes d'extraction et de transformation des ressources naturelles pour la satisfaction des différents besoins exprimés par l'humain. À cette époque-là, l'homme vit en harmonie avec la nature. Les sociétés préindustrielles ont rationné leurs ressources et ont permis leur régénération (gibier, plantes médicinales...). Conscientes de la dépendance de leur bien-être aux ressources naturelles, elles ont développé des mécanismes sociaux qui consistaient à prendre en compte le taux de renouvellement de ces dernières. Par exemple, songer à scinder les groupes de taille trop importante pour un territoire, migrer régulièrement, mettre au point des techniques de culture pour ne pas appauvrir les sols (jachère, rotation des cultures, etc.) et transhumance pour optimiser l'utilisation des pâturages.

Depuis la révolution industrielle, cette promiscuité harmonieuse homme/nature est égarée dans la quête effrénée de la richesse matérielle. L'homme exagère dans ses besoins et dans la manière de les satisfaire. La production de masse a provoqué la rupture entre l'homme et la nature. Depuis cet événement, un constat troublant est matérialisé ; l'augmentation exponentielle et dangereuse de taux d'extraction des ressources naturelles, dont la plupart sont épuisables telles que les énergies fossiles, les minerais, etc.

Malheureusement, ce dysfonctionnement entre l'homme et la nature ne s'arrête pas là, la question n'est pas liée uniquement aux taux et à la manière d'extraire ses ressources épuisables, mais aussi à des imperfections dans la manière de les consommer. La surconsommation accélérée des ressources épuisables provoque à son tour d'autres problèmes liés au dérèglement des systèmes naturels. Ceux qui nous inquiètent encore plus sont les quantités de polluants rejetés dans l'eau, l'air et les sols qui dépassent largement ce que la planète pouvait assimiler sans dommage. Les activités humaines ont profondément transformé

la biosphère et divers signes indiquent que notre monde est sur une « trajectoire insoutenable ».

Cette trajectoire insoutenable est caractérisée de « croissance zéro » dans le Rapport «*Halte à la croissance ?*» publié en 1970. Ce rapport alerte sur l'épuisement des ressources en matières premières ce qui mettra en péril la croissance économique dans un avenir proche. Les questions écologiques se sont proclamées au rang des préoccupations internationales depuis le *premier Sommet de la Terre* à Stockholm en 1972<sup>1</sup>. Ce premier pas a pour objectif d'ouvrir une nouvelle piste pour des négociations intergouvernementales pour la protection de l'environnement. Cette vision convoite de réviser les lacunes de l'ancien mode de développement, qualifié de non durable et accusé d'être à l'origine de multiples problèmes environnementaux et sociaux, par un nouveau mode de développement responsable qui prendra en considération ces problèmes. Cette révision s'est forgée lors de l'Assemblée générale de l'ONU à l'occasion de la présentation du *rapport Brundtland* en 1987, où il y'a eu l'apparition de concept du « *développement durable* » pour la première fois.

Selon cette vision du développement durable, les générations actuelles auront comme obligation éthique de suivre une stratégie de développement qui lèguera exactement les mêmes ingrédients pour une vie comparable à la nôtre aux générations futures. Garantir un développement économiquement viable, socialement équitable et écologiquement acceptable. Assurer l'équité entre les générations, c'est-à-dire préserver les facteurs et les conditions d'une vie analogue à la nôtre, principalement les ressources naturelles et la qualité environnementale de notre planète.

La communauté internationale vise plutôt à renforcer la durabilité qu'à accroître exclusivement la richesse matérielle. Une nouvelle conception qui vise à la fois de satisfaire de manière appropriée les besoins fondamentaux de l'humanité et d'atténuer les externalités négatives de la manière dont nous les satisfaisons, c'est-à-dire, le mode de consommation. Comme déjà signalé ci-dessus, l'inconvénient du mode de vie actuel n'est pas uniquement lié aux taux et à la manière dont les ressources épuisables sont extraites. Cette extraction accélérée provoque à son tour d'autres problèmes plus complexes liés au dérèglement des systèmes naturels, la pollution. La mise en œuvre du concept de durabilité est devenue le défi le plus saillant de notre époque. Ce présent travail de recherche vise à étudier un système très étroit à la durabilité puisqu'il constitue un exemple parfait de doublement d'externalités négatives. Un système qui provoque à la fois de l'épuisement des ressources naturelles et de la pollution multiple: le système énergétique.

L'énergie a toujours reçu la plus grande attention de l'humanité tout au long de son histoire. Nous reconnaissons les faits qui ont façonné le passé, façonnent le présent et façonneront l'avenir. Tout au long de son histoire, l'énergie a été un moteur essentiel de

---

<sup>1</sup> De cette conférence est né le Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUE).

l'action humaine. Son importance est clairement reconnue par chaque individu et chaque organisation. Le système énergétique est vaste et couvre différentes étapes allant de la production primaire d'énergie jusqu'à son utilisation finale.

En effet, au début de XXI<sup>e</sup> siècle, l'énergie principalement fossile tisse des liens directs avec le développement durable et renvoie à une problématique complexe. À vrai dire, il existe entre l'énergie et chacun des axes du développement durable, des liens à la fois profonds, étendus et singulièrement complexes.

L'énergie, principalement fossile, une ressource non renouvelable dont les réserves évaluées à 145 Gtep, selon les prévisions, elles s'épuiseront bien avant les années 2040. Elle est toujours un facteur incontournable pour nos activités économiques puisque 90 % de l'énergie est fossile<sup>2</sup>. La demande mondiale d'énergie primaire demeure en forte croissance, 2,8 % par an entre 2000 et 2005. Selon les projections à plus long terme, une demande annuelle d'énergie de 18 à 25 Gtep est prévue en 2050, dont 8 à 12 Gtep, environ la moitié, serait attendue du pétrole et du gaz, alors que la demande mondiale est de 11,6 Gtep en 2005<sup>3</sup>. La demande aura peu de chances de diminuer, au moins à moyen terme si ce n'est pas à long terme.

Diverses perturbations environnementales trouvent leurs origines dans la production et la consommation de cette énergie fossile. Elle est responsable presque de deux tiers des émissions de GES<sup>4</sup>. Des émissions qui sont responsables des perturbations climatiques<sup>5</sup>. Dans les grandes villes, telles que Pékin et New Delhi, elles sont la source principale de la pollution de l'air ambiant. Les émissions de gaz carbonique vont en croissant, pour une quantité d'énergie donnée, dans l'ordre : gaz naturel, pétrole, charbon (ce dernier en produisant environ deux fois plus que le gaz). Malheureusement, les ressources ultimes de combustibles fossiles se classent également dans cet ordre, les réserves de charbon sont probablement cinq à dix fois plus élevées. Une façon de confirmer que le statu quo, sans transition énergétique durable, ne va qu'empirer la dégradation du climat.

Sans oublier que les services énergétiques contribuent à satisfaire des besoins humains élémentaires et concourent au développement social par l'amélioration de l'éducation et de la santé publiques. Les efforts considérables de recherche scientifique et technologique, associés à des économies d'énergie sévères, pourront donner la possibilité de prolonger de quelques années la durée de vie des énergies fossiles. Mais, sans résoudre pour autant le problème climatique. Depuis le début des négociations internationales sur le développement durable, des programmes scientifiques sont lancés pour l'invention des nouvelles sources d'énergies

---

<sup>2</sup> BP Statistical Review of World Energy, 2016.

<sup>3</sup> BOBIN et al, 2005

<sup>4</sup> GIEC, 2007

<sup>5</sup>Le changement climatique a pris une place prépondérante dans les débats sur la durabilité au cours des dernières années.

renouvelables et plus propres. Après presque trente ans, cette alternative n'a pas pu atteindre l'objectif espéré. Devant le doublement de la demande énergétique mondiale en 2050<sup>6</sup>, le défi de la transition énergétique devient de plus en plus difficile à relever. Pour cela, le développement durable nous incite à nous interroger en urgence et à agir pour la préparation de notre avenir énergétique, beaucoup plus que nous le faisons aujourd'hui.

La transition énergétique durable demande de tenir compte à la fois de l'économie, de l'environnement et de la société. Les systèmes énergétiques durables reposent sur des modes de production et de consommation d'énergie qui peuvent être perpétués sans dégrader l'environnement humain ou naturel et qui permettent à tous les habitants de la Terre de satisfaire leurs besoins fondamentaux. La transition accélérée vers la durabilité énergétique est nécessaire pour répondre aux besoins humains fondamentaux tout en préservant les systèmes de support de la vie sur la Terre. Le développement durable appelle à un changement des comportements; une plus grande solidarité entre les générations et entre les peuples; ainsi qu'une gestion plus réfléchie, plus équitable de la planète et de ses ressources naturelles.

De ce qui précède, les rapports directs et connexes entre le concept de développement durable et le poids des obligations de faire des modifications dans nos comportements énergétiques appartiennent essentiels pour assurer la durabilité de notre développement. En ce qui concerne les systèmes énergétiques traditionnels, il est nécessaire de proposer des solutions de transition pour améliorer leurs performances énergétiques, environnementales et sociales en vue d'une meilleure durabilité. À cet égard, il est nécessaire de les réhabiliter de la meilleure façon possible en tenant compte de divers critères, tels que l'impact sur l'environnement, l'efficacité et le coût qui aidera à atteindre une meilleure durabilité en fin de compte.

L'idée de développement durable est forgée par des débats non achevés puisque l'opérationnalisation de celui-ci ne fait pas consensus. L'une des principales anomalies de cette idée est qu'il y a de grandes difficultés à construire une version opérationnelle pour être applicable et être appliquée, ce qui explique pourquoi sa mesure et son suivi dans le temps et dans l'espace sont régulièrement contestables. La tendance actuelle est de construire de plus en plus de modèles et d'indicateurs pour mieux comprendre et mieux présenter le monde réel. Ainsi, pour une bonne résolution d'engagement, il faut une grille d'analyse pour orienter, corriger ses lacunes ou caractériser l'avancement de la démarche de développement durable.

Pour relever ce défi, depuis Rio 1992, la communauté internationale a fixé comme objectif d'élaborer un ensemble cohérent de métriques, indicateurs et indices de durabilité, qui

---

<sup>6</sup> En juillet 2005, lors de la conférence de presse de présentation du rapport "World Energy Outlook 2005", William C. Ramsay, directeur exécutif adjoint de l'AIE, déclarait : [...ces prévisions de tendance ont de fortes implications et conduisent vers un avenir qui n'est pas durable, en matière d'environnement et de sécurité énergétique. Nous devons changer nos comportements et choisir un chemin en matière d'énergie qui soit durable.]

seront un moyen de mesurer et d'évaluer la durabilité. Depuis ce temps-là, la mesure de développement durable, la définition des indicateurs, reste polémique. Elle ne fait pas encore l'unanimité et elle est en constante mutation. Actuellement, plusieurs organisations génèrent des directives et des normes afin d'assurer la qualité d'une évaluation de durabilité.

Les indicateurs du développement durable ont évolué en même temps que le concept qu'ils mesurent<sup>7</sup>. Le rôle espéré de la construction des indices est de se rendre compte des progrès accomplis et de ce qu'il reste à entreprendre, de rendre compte de ce progrès au niveau international et de permettre la comparaison, mais aussi et surtout d'alimenter le débat entre les acteurs sociaux et d'informer les citoyens et les décideurs.

Pour piloter ou évaluer les politiques de développement durable, de nombreux États et organisations internationales (OCDE, Eurostat, ONU, Banque mondiale, etc.) tentent de définir des indicateurs de développement durable. Cette tâche a été en grande partie initiée en 1995 sous l'impulsion de la division du développement durable des Nations Unies. Elle a pris de l'envergure précisément dans le 40e chapitre de l'Agenda21, où les États doivent présenter leurs indicateurs afin de respecter leurs engagements de Rio 1992. Ces dernières années, depuis la conférence de Johannesburg en 2002, un nombre croissant de projets d'évaluation de durabilité, telle que la durabilité énergétique, sont adoptés dans le monde entier.

La formulation des indicateurs permet également de faciliter l'éducation du public, en rendant le concept plus concret via l'utilisation de chiffres. Ces indicateurs sont indispensables pour savoir si nous sommes en voie d'atteindre cet objectif, nous avons besoin de mesurer ce qui est en train de se passer et de suivre les progrès réalisés.

Afin d'orienter les politiques énergétiques (les investissements futurs, technologies renouvelables...), la durabilité du système énergétique devrait être évaluée. Cependant, il n'y a pas d'outil commun disponible pour évaluer tous les aspects de la durabilité. Auparavant, l'intérêt est donné qu'aux aspects économiques de l'énergie (tels que les coûts et la sécurité énergétiques), ce qui ne permet pas d'évaluer significativement la qualité du système énergétique. Pour cela, d'autres critères de durabilité, tels que les considérations environnementales et sociales sont indispensables.

Ces outils d'évaluation doivent permettre la comparaison des situations dans l'espace et dans le temps afin d'indiquer les directions à suivre et les évolutions à corriger. Autrement dit, ils doivent servir d'avertisseur de monitoring, permettant de fixer des objectifs à atteindre et de contrôler la conformité de l'évolution du pays aux objectifs de durabilité et, le cas échéant, de suggérer le moment et la nature des actions à entreprendre pour rapprocher la situation observée aux objectifs souhaités, voire même, d'indiquer les objectifs inappropriés à réviser.

---

<sup>7</sup> L'idée du développement durable est désormais devenue celle des Sommets de la Terre, des rencontres décennales depuis 1972, à l'occasion desquelles des synthèses des travaux scientifiques permettent d'en redéfinir les objectifs et de traiter les modalités de concrétisation par des plans d'action, l'Agenda 21, les objectifs du millénaire pour le développement...

Ainsi, dans une optique de politique de développement durable, le monitoring joue un rôle central.

Devant l'insoutenabilité du développement énergétique qui menace, plus que jamais, la pérennité de notre bien-être, la communauté internationale a pris la conscience de prendre des engagements de faire des modifications dans nos comportements énergétiques pour assurer la durabilité de notre développement. Après un demi-siècle de débat et de réflexion, l'idée pratique de développement durable ne fait pas encore l'unanimité au sein de cette communauté et reste en perpétuelle évolution ce qui crée des divergences sur la manière de l'opérationnaliser et de l'évaluer. Dans l'objectif de mettre toutes les parties sur la même longueur d'onde, la construction des indicateurs devient une nécessité de référence. Puisque ces indicateurs deviendront des moyens de mesure et d'évaluation des différentes stratégies de transition énergétique qui nous permettront de nous rendre compte de ce qui reste à entreprendre et surtout de faire des comparaisons entre les progrès accomplis par chaque partie (pays). Face aux contrariétés de représentativité de ces indices de durabilité découle notre question principale : **Quels sont les fondements théoriques et empiriques de la construction d'un indice de durabilité du système énergétique (IDSE) ?**

Dans notre travail, en abordant la multidimensionnalité du développement durable et en s'intéressant à la notion vague de durabilité en générale et à la notion complexe de durabilité énergétique en particulier, l'étude de notre problématique s'intéresse à traiter et à analyser en détail le système énergétique dans l'objectif de construire un indice de durabilité représentatif de ce dernier. En outre, pour construire un indice composite de durabilité énergétique crédible et 'irréprochable', il faut au moins répondre aux questions secondaires suivantes :

- 1- Qu'est-ce que la durabilité? et existe-t-il un consensus scientifique sur les conditions de la durabilité et de son évaluation ?
- 2- Quelles seront les conditions de la durabilité en général et celles de durabilité énergétique en particulier ?
- 3- Est-il possible de construire un indice unique, fiable et représentatif de la durabilité énergétique ? Et quels aspects de durabilité engloberait-il?
- 4- Quels seront les composants objectifs et subjectifs de cet indice ? et qu'est-ce qui fait un bon indice?
- 5- Quelles évolutions de durabilité énergétique observons-nous dans la méditerranée, notamment en Algérie ?
- 6- Les actions engagées par les gouvernements, ont-elles une influence rapide et réelle sur les résultats en matière de durabilité énergétique ?

Dans ce travail, notre ambition est de proposer des éléments de réponse à ces questions et de suggérer des pistes claires, solides et bien défendables scientifiquement pour construire des systèmes d'informations sous forme d'indices composites crédibles pour le développement énergétique durable qui soient appropriés, c'est-à-dire à la fois adéquats, pertinents, utiles et surtout plus ou moins soutenus par la majorité des acteurs du développement ; experts, décideurs, publics...

D'après des lectures préliminaires (initiale de départ) et à l'aide des recherches documentaires et aussi afin de permettre de saisir les enjeux et la portée des questions que nous avons posées, notre travail sera construit autour d'hypothèses suivantes :

- 1- L'objectif assigné à un instrument de mesure tel que l'indice de durabilité de système énergétique (IDSE) est de tendre vers l'obtention d'une mesure représentative du domaine étudié c.-à-d. du système énergétique.
- 2- Il est difficile de construire un indice composite de durabilité énergétique tout en restant objectif le long de processus de construction.
- 3- Cette quête de représentativité s'avère difficile lorsque les deux domaines étudiés, développement durable et système énergétique, sont à la fois complexes et vagues, notamment pour le concept de développement durable dont le sens est en perpétuelle évolution.
- 4- Le choix d'un indice est plus souvent guidé par la facilité de sa mesure et de son interprétation par les utilisateurs que par la pertinence de la cible à atteindre. Il est difficile de construire un indice tout en restant objectif durant tout le processus de construction de l'indice composite de durabilité.
- 5- Il est difficile de proposer un indice composite de durabilité tout en restant objectif tout au long de processus de construction.
- 6- Les pays en présence de fortes réserves prouvées en énergie fossile auront, d'une manière ou d'une autre, les systèmes énergétiques parmi les plus durables dans le monde.

L'originalité de cette thèse réside dans la mise au point d'un outil d'évaluation de durabilité énergétique sous forme d'un indice composite permettant d'évaluer et de comparer la durabilité des systèmes énergétiques des pays au moyen de comparaisons avec les limites réelles imposées par la durabilité et la réalité statistique.

L'objectif principal de ce projet de thèse est d'essayer de construire un indice de durabilité qui fera partie des nombreux indicateurs de développement durable. Il existe plusieurs indices de durabilité globale, qui couvrent les dimensions économique, environnementale et sociale. Cependant, l'objectif de cette thèse est de construire un indice permettant d'évaluer la durabilité dans le domaine énergétique. Conformément aux objectifs du développement durable, cet indice de durabilité énergétique doit être développé en tant

qu'outil capable d'évaluer et de quantifier les progrès réalisés en matière de renforcement de la durabilité dans le système énergétique. Ce n'est qu'en connaissant précisément cette évolution que nous pourrions évaluer l'efficacité des mesures prises par les décideurs pour respecter les objectifs de durabilité des prochaines années.

Notre indice ne prendra pas de manière globale la notion et l'idée de développement durable, il s'intéressera plus précisément au système énergétique. Le système énergétique reste encore une composante essentielle de notre économie et qui tisse des liens connexes avec plusieurs volets de notre quotidien. Par conséquent, il constitue un paramètre indissociable du développement durable.

Notre indice, nommé : *indice de durabilité de système énergétique (IDSE)*, est un indice composite qui aura ambition de mesurer la durabilité du système énergétique pour un pays donné. Il prendra bien sûr en considération les indicateurs socioéconomiques avec les préoccupations environnementales, tout comme les autres indicateurs de développement durable développés par le PNUD. D'une manière globale, cet indice sera composé de quelques variables élémentaires regroupées en trois composantes associées aux trois dimensions du développement durable.

Deux raisons motivent ce travail. La première consiste en l'adoption d'une manière de définir et de mesurer la durabilité énergétique, en se basant sur une approche multidimensionnelle et holistique utilisant des facteurs substantiels pas forcément monétaires du système énergétique. La seconde raison est de se référer à cette approche de durabilité énergétique pour distinguer les différents niveaux de performance des pays et pour distinguer les stratégies qui permettent de la renforcer.

En fait, les objectifs fondamentaux de ce travail consistent à : 1) identifier et décrire les principes de durabilité énergétique et ceux de son évaluation, 2) de construire un indice composite de durabilité de système énergétique (IDSE) et, enfin, 3) calculé et comparer les niveaux de durabilité énergétique pour un échantillon de pays.

Pour atteindre les objectifs de ce travail, il est indispensable de construire un indice composite de durabilité énergétique qui représentera avec fidélité les considérations théoriques d'évaluation de durabilité et les conditions pratiques d'analyse statistique des systèmes énergétiques. Ce présent travail ne sera pas axé uniquement sur la construction d'indice composite, mais aussi sur une présentation opérationnelle de développement durable. En effet, cet indice qui n'est autre qu'un indicateur composite de durabilité du système énergétique d'un pays va nous permettre d'estimer le niveau de durabilité énergétique, de moins les performances énergétiques, selon une certaine approche de durabilité qui se rapprochera, dans la mesure de possible, à l'approche écologique de durabilité forte.

Voir la complexité de sujet et la nature de notre but de recherche, nous optons pour la méthode mixte. La méthode mixte (multiméthode) de recherche et d'évaluation devient de

plus en plus populaire, essentiellement pragmatique combine à la fois les méthodes de collecte et d'analyse de données qualitatives et quantitatives. Le but de cette méthode est d'approfondir la compréhension et la corroboration des résultats d'évaluation. Elle permet ainsi de mieux comprendre les résultats et d'élaborer de nouvelles corrections ou améliorations de système étudié. L'étude quantitative et l'analyse des données empiriques des systèmes énergétiques auraient suffi pour révéler les défauts de ces mêmes systèmes, mais elle sera insuffisante pour permettre son amélioration. L'étude sera également rudement critiquable, puisque le concept théorique sur lequel se base l'étude n'est pas suffisamment énoncé. Pour cette raison que notre approche méthodologique se basera sur une construction d'une définition synthétique des différentes approches de durabilité. Une étape importante afin de pouvoir avancer plus tard un certain consensus entre la durabilité forte et faible. Une façon de finir avec les divergences et les contradictions dans la conception théoriques de la durabilité.

Dans un projet d'évaluation d'un concept, une partie théorique s'avère déterminante, notamment s'il s'agit d'un paradigme du progrès récent, complexe et modulable tel que la durabilité. Ce qui est présenté dans toutes ces discussions et ces débats est un concept qui peut servir de cadre au changement par rapport aux notions traditionnelles du progrès. La clarté est un élément essentiel de l'introduction de toute nouvelle définition, en particulier d'un concept tel que la durabilité. Les définitions vagues, nébuleuses et abondantes d'un concept unique vont à l'encontre du type d'alignement et de focalisation que le nouveau concept tente de créer. En d'autres termes, si les interprétations (ou conceptualisations) sont confuses quant à la nature même de durabilité, il est difficile d'imaginer que de cette confusion émergera une évaluation crédible ou un chemin clair pour y parvenir.

Notre approche consiste alors à combiner les forces et les atouts respectifs des méthodes quantitatives et qualitatives. Ainsi, notre travail sera constitué de deux approches, la première théorique et la deuxième empirique. D'une part, l'évaluation qualitative nous fournira des descriptions détaillées de la notion de durabilité fondée sur le concept du développement durable pouvant être appliquées par la suite aux systèmes énergétiques, d'une autre part, l'évaluation quantitative des systèmes énergétiques nous fournira l'image réelle des systèmes énergétiques par l'analyse des données statistiques pour un échantillon de pays.

Ainsi dans notre travail, l'approche théorique nous fournira une meilleure compréhension de concept de durabilité<sup>8</sup> et une compréhension approfondie des bases de la durabilité énergétique. Notre approche est basée sur l'utilisation des articles de revues, des livres et des rapports d'organisations internationales et d'agences gouvernementales. L'approche empirique nous fournira les bases statistiques de construction de l'indice de durabilité énergétique. Elle nous fournira surtout une analyse statistique de système

---

<sup>8</sup> Comme un nouveau paradigme du progrès

énergétique d'un échantillon de 13 pays choisis par proximité géographique à l'Algérie, pays méditerranéens.

La présente thèse part de cette imprécision conceptuelle pour identifier les sources d'insatisfaction vis-à-vis de la notion du développement durable puis formulera une vision opérationnelle synthétique des deux principales approches de durabilité, à savoir la durabilité forte et faible. Cette approche méthodologique vise à renforcer la mesurabilité de la durabilité et à proposer des pistes d'évaluation des systèmes énergétiques qui répondra aux exigences du concept de durabilité et de son évaluation. Le contenu de la thèse est scindé en quatre grands chapitres.

Pour apprécier les concepts qui sous-tendent la durabilité énergétique, il est instructif d'examiner dans les deux premiers chapitres les concepts et les définitions liés au développement durable et à la durabilité. Le premier chapitre abordera les fondements théoriques et historiques de la notion du progrès et du développement durable, à partir de la littérature, les enjeux idéologiques et scientifiques présents, la plupart du temps, dans la littérature scientifique sur les liens entre environnement et développement. Le deuxième chapitre analysera la durabilité sous l'angle opérationnel. Il exposera puis il proposera les définitions et les concepts sous-jacents à la construction d'un outil d'évaluation de durabilité. Le troisième chapitre présentera les fondements théoriques de la durabilité du système énergétique puis proposera des méthodes, notamment de modélisations, qui permettront de comprendre plus tard le fonctionnement d'un système énergétique durable et son évaluation. Nous parlerons des différentes approches de construction d'indicateurs de développement durable. Dans le quatrième chapitre, après cette revue de la littérature, nous préciserons les différentes étapes de construction d'IC telles que la normalisation, la pondération et l'agrégation. Nous montrons le lien étroit qui unit les méthodes de construction d'IC, les hypothèses de soutenabilité et évidemment les résultats. Ce dernier chapitre, qui va constituer le socle de notre travail, sera totalement consacré à la construction de l'*Indice de Durabilité de Système Énergétique (IDSE)*. Nous discuterons des aspects méthodologiques dans l'élaboration des IC en illustrant les aspects les plus problématiques des IC en calculant les valeurs (score) de l'IDSE pour un échantillon de 13 pays, dont l'Algérie.

## **Chapitre 1 : Développement durable : Analyse économique**

Le développement durable (DD), en tant que nouveau paradigme de progrès, a fait son apparition vers la fin des années 1980. La durabilité, en tant que prise de conscience de limites écologiques à la pérennité des sociétés, a émergé dans le contexte d'une réflexion très ancienne. Ainsi, le développement durable en tant que prise de conscience croissante d'une crise écologique imminente n'est pas inédit. Il émerge d'une réflexion évolutionniste très ancienne en réaction aux séquelles bien visibles sur la nature et l'humain d'une exploitation irrespectueuse des limites des ressources naturelles et la capacité de support du milieu, mais aussi aux réactions des modèles traditionnels de développement à se traduire en développement social.

Le développement durable semble avoir été l'un des moteurs de l'histoire universelle de la deuxième moitié du XXe siècle. Depuis les années 1980, l'idée évolutionniste du DD s'est largement implantée dans le discours scientifique, politique et public. Cependant, cette évolution ne donne pas un sens unique (universel) au DD. Pour mieux appréhender cette évolution et afin de mieux saisir les continuités et aussi les ruptures engendrées, des approches historique et conceptuelle de durabilité s'imposent. Il nous semble important de revenir sur les origines historiques et institutionnelles de cette notion. Ce détour nous permettra par la suite d'analyser certains aspects de la mise en œuvre et surtout de la mesure de DD. Il convient ainsi d'examiner les réflexions anciennes sur la pérennité des sociétés. Il convient de décrire le développement historique des notions de progrès, de croissance, de développement et de durabilité dans différents contextes sociaux, économiques et philosophiques, depuis l'antiquité. Il convient surtout de replacer le DD dans le discours théorique du développement depuis le début du siècle dernier.

L'objectif de ce premier chapitre, qui joue le rôle d'une introduction à la durabilité et à sa mesure, est de tracer l'histoire du concept de DD et d'illustrer ses diverses représentations et appropriations afin d'apprécier ce que l'adoption de concept du DD entraînait comme nouveauté et difficultés dans la mesure de progrès dans différents domaines. Tout cela afin, d'exprimer ses limites et d'exposer ses défis.

La première section donnera un aperçu de l'origine du concept de durabilité (ou de DD) en remontant loin dans l'histoire pour en retracer les racines. La deuxième section montrera comment l'idée de durabilité a évolué à travers les siècles pour contrecarrer les notions de progrès. Elle décrira dans lequel un changement de paradigme dans la réflexion sur le développement (progrès) a fait que le DD occupe la première place dans les discours sur le développement (progrès) actuellement. Dans la troisième section, nous aborderons le concept de DD en tant que notion, avec pour objectif d'identifier les débats qui lui ont donné la

naissance et le sens et par la suite les positionnements des acteurs dans une perspective d'opérationnalisation du concept, compte tenu des prises de position dans le débat. Nous retournerons donc aux origines afin d'analyser les différents courants qui ont traversé l'économie du développement dans le but de proposer des alternatives dans la manière de concevoir le progrès social. Dans la quatrième section, nous essayerons dévaluer le potentiel de changement paradigmatique généralement attribué au développement durable en réabordant la notion de valeur.

## **Section 1- Émergence et réflexion sur la durabilité dans l'histoire**

Si l'expression de « développement durable » (DD) est devenue courante que depuis les années 1980, l'objectif de la durabilité ou la recherche de la pérennité sont plus anciens. La lutte pour parvenir à une société durable n'est pas unique à l'ère moderne. La durabilité est un objectif depuis les toutes premières civilisations humaines<sup>1</sup>. Développée tour à tour par différentes traditions intellectuelles, elle intègre des réflexions écologiques, économiques et socioculturelles qui puisent leurs racines dans l'histoire des idées et des pratiques économiques et sociales. Cependant, en tant que concept contemporain, le « DD » est trop utilisé et des fois sans penser à sa véritable signification et à ses implications. Par conséquent, un examen historique des racines de ce concept, suivant une approche historique, sera nécessaire pour révéler les principaux axes du discours et les différentes problématiques présentées sous le terme du « DD ».

Qu'est-ce qui a fait émerger le concept ? Qu'est-ce que cela signifie réellement dans son contexte historique ? et pourquoi est-il nécessaire que le développement soit durable ? L'objectif de cette section est de bien comprendre le passage, à travers l'histoire, de l'ancienne notion « gestion durable » à la notion actuelle « développement durable ». Elle expliquera les différents débats entre courants de pensée qui ont tenté d'apporter des réponses aux questions liées à la durabilité du système, elle montrera également comment ces courants ont progressivement fait émerger la notion de DD. Ainsi, elle nous présentera les premières réflexions sur la durabilité.<sup>2</sup>

### **1.1- Émergence du concept de durabilité**

Bien que les termes « durabilité » et « développement durable » soient apparus récemment, ils ont été utilisés pendant des siècles. Van Zon, 2002, cité par Jacobus A. 2006, souligne que la demande de matières premières et son impact sur l'environnement ont été un problème courant tout au long de l'histoire de l'humanité. Des problèmes environnementaux, appelés aujourd'hui des problèmes de durabilité, comme la déforestation et la perte de fertilité des sols, sont déjà recensés par les anciennes civilisations égyptiennes, mésopotamiennes, grecques et romaines. Platon au V<sup>e</sup> siècle av. J.-C., Strabon et Columelle au I<sup>er</sup> siècle av. J.-C.

---

<sup>1</sup> Hacatoglu K., Dincer I., Rosen M.A., 2015, P. 1.

<sup>2</sup> Du Pisani J. A., 2006.

et Pline l'Ancien au I<sup>er</sup> siècle de notre ère, discutent des différents types de dégradations environnementales résultant des activités humaines telles que l'agriculture, l'exploitation forestière et l'exploitation minière. Ces auteurs recommandaient aussi à leurs époques ce que nous appellerions des pratiques durables pour maintenir la «jeunesse éternelle» de la terre.<sup>3</sup>

Jusqu'au 18<sup>e</sup> siècle, le bois était à la fois un combustible et un matériau de construction utilisé dans presque tous les processus de production. Dès le 16<sup>e</sup> siècle, des ingénieurs allemands parlaient des impacts négatifs de la coupe de bois et de l'exploitation minière sur la faune. Au 18<sup>e</sup> siècle, en raison de la consommation massive de bois, une pénurie de bois est devenue un danger très réel en Europe.

Les craintes qu'une telle pénurie menace le fondement de l'existence des personnes ont stimulé une nouvelle façon de penser en faveur de l'utilisation responsable des ressources naturelles dans l'intérêt des générations présentes et futures, très semblable à la pensée du DD aujourd'hui. C'est en cette époque que le terme « durabilité » s'est émergée et évoqué d'une manière explicite. En effet ; le terme «durabilité» a été utilisé pour la première fois dans les cercles forestiers allemands par Hans Carl von Carlowitz en 1713. Carlowitz a suggéré l'« utilisation durable » des ressources forestières, ce qui impliquait de maintenir un équilibre entre la récolte et les jeunes arbres pour les remplacer. Marchand et Wilhelm Gottfried Moser ont également condamné la consommation excessive de bois comme une pratique qui aurait des conséquences négatives pour les générations futures. Ils ont préconisé la *foresterie durable* et recommandé des mesures pour la conservation des forêts. Le terme « forêt éternelle » a été inventé pour désigner le boisement et la régénération du bois en croissance.

Dès le début de XVIII<sup>e</sup> siècle, des notions comme l'utilisation responsable, l'équilibre et gestion durable sont utilisées.

## 1.2- Thomas Malthus, 1798

La première réflexion moderne sur la *durabilité de la société* est menée par le célèbre économiste et pasteur Anglais ; Thomas Robert Malthus, en analysant les mécanismes qui contrôlent la démographie. Malthus est surtout connu pour ses travaux sur les rapports entre les dynamiques de croissance de la population et de la production, analysés dans une perspective dite *pessimiste*, totalement opposée à l'idée Smithienne dite *optimiste* d'un équilibre harmonieux et stable. Depuis les travaux de Malthus, la durabilité (théorie de l'effondrement) en tant que réflexion fait son entrée dans les théories économiques.

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, la croissance de la population et ses conséquences sur la consommation des ressources ont commencé à faire surface. Des auteurs tels que Matthew Hale et William Petty avaient déjà attiré l'attention sur ce problème au XVII<sup>e</sup> siècle. Cependant, le travail le plus célèbre à cet égard est celui de Malthus. Dans son ouvrage

---

<sup>3</sup> Du Pisani J. A. *Op.cit.* P. 86.

intitulé « *essai sur le principe de la population* » (titre original, *An Essay on the Principle of Population*) publié en 1798, Malthus explique que la démographie est essentiellement régulée par la disponibilité des moyens de subsistance. En effet, il a constaté un cycle vicieux, à l'avènement des conditions favorables qui produisent des excédents de ressources alimentaires, la population augmente en consommant ces excédents. En revanche, un excès de population par rapport à la nourriture disponible crée de la misère qui ramène ainsi la population au niveau où elle peut se nourrir suffisamment, soit par l'accroissement des décès soit par la limitation des naissances. Il conclut qu'en général, le nombre des humains s'accroît plus vite que les possibilités de subsistance. Ainsi, Malthus réutilise la notion d'équilibre. Malthus explique mathématiquement que sans freins, la population augmente de façon exponentielle ou géométrique tandis que les ressources ne croissent que de façon arithmétique, donc moins vite que la population. « Le pouvoir multiplicateur de la population infiniment plus grand que le pouvoir qu'a la terre de produire la subsistance de l'homme »<sup>4</sup>. Ainsi, il conclut le caractère inévitable de catastrophes démographiques (effondrement). Sans contrôle de la croissance démographique, les crises alimentaires seront donc inéluctables ; la misère et les difficultés qui en résultaient inéluctablement maintiendront la population à un niveau où la plupart des individus peuvent se nourrir.

Pour assurer la durabilité d'une société, Malthus<sup>5</sup> recommande de maintenir la population un peu en dessous du niveau où il manquerait de ressources alimentaires. En se basant sur cette analyse, Malthus développe un raisonnement, maintenant largement critiqué, mais qui traduit clairement la pensée de la classe riche de son époque. En effet, il défend le maintien de la population au bon niveau, en incitant les pauvres à retarder leurs mariages et à faire que peu d'enfants. Il propose aussi d'arrêter tous les systèmes de subvention qui n'encourage les pauvres qu'à faire des enfants, donc créer de nouveaux individus que la société ne peut pas nourrir. « *Il faut désavouer publiquement le prétendu droit des pauvres à être entretenus aux frais de la société* »<sup>6</sup>. Il conclut son raisonnement en insistant sur le fait que les pauvres sont les seuls responsables de leur précarité, et que, finalement, tout système d'aide est contraire à leurs propres intérêts, empirer le sort du pauvre. Malthus ne voulait pas de protection sociale ou de l'équité ce qui est à l'opposée de l'approche des partisans contemporains du DD.

Malthus est aujourd'hui considéré comme l'un des premiers économistes modernes à aborder la notion de la durabilité des sociétés, il y a plus de deux siècles. Ses idées étaient en partie partagées par un autre grand économiste classique ; David Ricardo (1772-1823).

---

<sup>4</sup> Malthus D., 1798, P. 25.

<sup>5</sup> Son nom a donné dans le langage courant une doctrine, le malthusianisme, qui inclut une politique active de contrôle de la natalité pour maîtriser la croissance de la population. Par extension, il est désigné comme un malthusianisme économique l'ensemble des attitudes et des doctrines préconisant une réduction volontaire de la production.

<sup>6</sup> Malthus D., op. cit., p. 45.

Ricardo précise le volet production de l'analyse de Malthus par l'analyse dite de la rente différentielle de la terre. Ricardo a soulevé les contraintes comme : le caractère limité des ressources en sol, la théorie des rendements décroissants de la terre. En raison de la limite des surfaces cultivables, et qui deviennent de plus en plus rares à long terme, les capitalistes investissent de moins en moins, donc la production augmente de moins en moins. Lorsque l'investissement atteint zéro, la production n'augmente plus et stagne : l'économie atteint un état stationnaire, ce que nous appelons actuellement 'limites de la croissance'. Ainsi, selon Ricardo, le déclin de la croissance est inéluctable. La seule différence, contrairement à Malthus, est que Ricardo était favorable au libre-échange.

D'autres publications ont paru sur ce que nous appelons aujourd'hui le DD ; des publications qui soutiennent que, suite aux perturbations humaines, la Terre pourrait devenir impropre à l'habitation humaine, ce qui pourrait même aboutir à l'extinction de l'humanité. En 1848, John Stuart Mill publia « les Principes d'économie politique », en incluant un chapitre sur « l'état stationnaire », qui impliquait une condition stationnaire de capital et de population, mais pas d'amélioration humaine. [...*J'espère sincèrement, pour la postérité...*], que la population mondiale [...*se contentera d'être stationnaire, longtemps avant que la nécessité ne l'y oblige*]. George Perkins Marsh, la source du mouvement de conservation, publia « L'Homme et la nature » en 1864. Il a déclaré: [*l'homme a oublié depuis longtemps que la terre lui a été donnée pour l'usufruit seulement, pas pour la consommation, encore moins pour le gaspillage prodigieux*]<sup>7</sup>. Marsh ne voulait pas protéger la nature pour elle-même, mais pour l'humanité, ce qui est semblable à l'approche égoïste contemporains du DD.

Les travaux de Ricardo, Malthus ont façonné la vision pessimiste de la théorie classique de la croissance . Ils estiment qu'à long terme l'économie va atteindre un état stationnaire : la croissance va ralentir, pour finalement atteindre zéro. À cet état stationnaire, la production n'augmente plus. Ce qui donnera, plus tard, naissance à la théorie de la décroissance des années 1970 avec les travaux de Nicholas Georgescu-Roegen.

La réflexion démographique de Malthus sur la durabilité reste encore d'actualité. Selon les calculs de Global Footprint Network, bâtis sur des estimations de consommation énergétique, alimentaire et de croissance démographique modérées, il faudra en 2050 l'équivalent des ressources écologiques renouvelables de trois planètes pour répondre aux besoins de consommation et absorber la pollution<sup>8</sup>.

Aujourd'hui, nous qualifions de malthusiennes les politiques de limitation démographique. De telles politiques ont, par exemple, été appliquées en Inde et en Chine après les années 1950, en encourageant ou en imposant l'utilisation de méthodes de limitation des naissances. Ce qui nous laisse affirmer que le problème de la croissance démographique

---

<sup>7</sup> Du Pisani j. A. *Op.cit.* P.86

<sup>8</sup> [http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/08/19/ressources-naturelles-l-humanite-vit-a-credit-pour-le-reste-de-l-annee\\_4473543\\_3244.html#Dh6ft27QQiS0C3xy.99](http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/08/19/ressources-naturelles-l-humanite-vit-a-credit-pour-le-reste-de-l-annee_4473543_3244.html#Dh6ft27QQiS0C3xy.99), consulté le 03/01/2017.

pèsera toujours sur les épaules des politiques de développement, notamment avec une population mondiale qui dépasse sept-milliards d'individus<sup>9</sup>.

Durant plus de deux siècles après les conclusions des travaux de Malthus, les inquiétudes et la problématique de la croissance démographique étaient toujours présentes. Dans les années 1950, l'économiste Harry Leibenstein développe le concept de « trappe malthusienne »: la croissance de la population bute sur la contrainte des subsistances dans les pays les plus pauvres, et ils ne parviennent pas, en raison de la faiblesse des ressources alimentaires, à sortir du sous-développement du fait d'une insuffisance de l'épargne et de la productivité du travail. Ces conclusions sont en partie à l'origine de l'engagement de Club de Rome d'engager et de déclencher un débat sur la durabilité de l'avenir de l'humanité. Il donnera aussi, par la suite naissance aux théories du postdéveloppement qui approfondissent davantage la réflexion de Malthus.

Il est nécessaire de signaler que les préoccupations environnementales ne sont pas exclusivement liées au mouvement de protection de l'environnement de la deuxième moitié de siècle dernier. Il existait bien avant plusieurs décennies des travaux et des réflexions sur la protection de l'environnement. Nous rappelons l'exemple des travaux de Georges Perkins Marsh (1801-1882) qui publia le premier ouvrage sur l'écologie « *Man and Nature* » en 1869. Un ouvrage qui fait grandement état de l'incidence de l'homme sur l'environnement. Nous citerons aussi les travaux de Jean-Baptiste Joseph Fourier en 1824 et Svante August Arrhenius en 1895 sur le phénomène de l'effet de serre.

### 1.3- Club de Rome, 1968

À partir de la date de publication des travaux de club de Rome<sup>10</sup>, nous allons aborder le contexte historique de la naissance du développement durable en tant que théorie économique du progrès et non plus comme réflexion.

Le *club de Rome* créé en 1968 à Rome, d'où il tire son nom, est un regroupement non gouvernemental. C'est ce club qui a fait la promotion de « *la croissance zéro* ». Il est composé de scientifiques, d'économistes, des hommes d'affaires... de monde entier. La vocation du club est d'attirer la réflexion sur les problèmes majeurs de la société et de susciter des débats internationaux, en diffusant ses conclusions. L'objectif ultime de Club est d'élaborer une vision universelle de la situation de l'humanité, une vision nouvelle pour la durabilité du système. Il part du constat que l'humanité est en crise et cette crise devient de plus en plus aigüe. L'humanité a fait des progrès grâce à la technologie. L'usage de cette

---

<sup>9</sup> <http://www.worldometers.info/fr/population-mondiale/>, consulté le 03/01/2017.

<sup>10</sup> Depuis les années 1960, des informations scientifiques sur les dommages causés à l'environnement par les activités humaines ont été publiées dans de nombreux ouvrages, tels que, « *The silent spring* » (1962) de Rachel Carson, « *La bombe de population* » de Paul Ehrlich (1968), « *Un plan de survie* » d'Edward Goldsmith et al (1972) et « *Small is beautiful* » de Fritz Schumacher (1973). Depuis, Les catastrophes écologiques ont reçu beaucoup de publicité dans les médias ce qui popularise l'idée d'une crise écologique imminente.

technologie entraîne des conséquences qui n'étaient pas prévues. Plus le temps avance, nous retirons aux générations futures la possibilité de choisir leur mode de vie, nous assistons à la destruction de la nature.

L'objectif est de connaître et de faire connaître la dynamique de cette situation, des catastrophes nous guettent. Il reprend la réflexion Malthusienne liée à la surcroissance démographique où la fourniture des aliments, des produits et des services présentera un réel défi. Alors que Malthus n'a pris en considération que l'insuffisance de la nourriture, le club de Rome essaie de vérifier s'il est possible que la civilisation s'effondre sous d'autres types de pressions avant que ce manque de nourriture ne se produise, comme l'épuisement des ressources naturelles, la pollution, etc.

La première entreprise du Club de Rome est de simuler l'avenir de l'humanité en 2100. Il a confié cette recherche à l'équipe de Massachusetts Institute of Technology (MIT). Il publia en 1972 son premier rapport intitulé « *the limits to growth* », qui provoquera, pendant longtemps, une grande polémique. Le nom du rapport fut traduit en français par « *halte à la croissance* », qui n'a pas la même signification que le titre anglais, la traduction littérale est : « *les limites de la croissance* ». Le rapport est aussi communément appelé le *Rapport Meadows* en référence au nom de directeur qui a mené la recherche, Dennis Meadows.

Le rapport a été ambitieux, il utilise la simulation de l'évolution de système socioéconomique sur ordinateur, ce qui impressionne à l'époque.

L'objectif de ces simulations était de suivre l'évolution de la société à l'échelle mondiale jusqu'en 2100. En prenant en compte cinq paramètres ; les deux paramètres étudiés par Malthus, la population et la nourriture, il intègre trois autres paramètres tels que la pollution, les ressources naturelles non renouvelables et le capital investi (industrialisation qui rappelle les travaux de D. Ricardo). La simulation prenait en compte les interactions entre les cinq paramètres ; par exemple pour s'accroître, la population a besoin de plus de nourriture, ce qui requiert d'augmenter le capital investi (construction des usines pour fabriquer les tracteurs, les engrais, etc.) donc augmenter aussi l'exploitation des ressources naturelles épuisables (les minerais, l'énergie, etc.). il en résulte une augmentation de la pollution, qui aura un impact sur la santé de la population et réduit ainsi la production agricole, etc.

Des simulations ont été effectuées dans le cadre d'une dizaine de scénarios : scénario de référence dans lequel le mode de vie est maintenu, scénario où la planète est en mesure de fournir plus de ressources qu'escompté, scénario avec un grand niveau d'innovation permettant de recycler les déchets ou d'améliorer la productivité agricole, etc. Ce rapport conclut à l'effondrement du système mondial, quel que soit le scénario envisagé<sup>11</sup>. Il se manifestait par un déclin de la population, du quota alimentaire et de la production industrielle. En plus, le déclin apparaît avant la fin de 21<sup>e</sup> siècle de façon brutale, l'origine et

---

<sup>11</sup>Belem G., 2010, P.34

la période d'apparition dépendaient du scénario. Le résultat le plus commun est que dans les simulations l'effondrement se produit à cause de l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables. Le capital industriel croît jusqu'à un niveau qui requiert énorme apport en ressources, ce qui provoquera l'épuisement et l'augmentation de prix de ces ressources. Ainsi, la base industrielle s'effondre en entraînant avec elle les services et l'agriculture. Finalement, la population commence à décroître suite à l'augmentation de la mortalité à cause de manque de la nourriture et des services de santé. En résumé, le rapport nous montre clairement la contradiction entre une croissance forte et le caractère limité des ressources naturelles.

Le rapport adopte ainsi une perspective malthusienne dans l'analyse démographique et préconise l'état stationnaire nommé : « croissance zéro » qui veut que la population et le capital soient les seules variables devant rester stables dans un monde en équilibre<sup>12</sup>.

Le rapport conclut avec confiance que, sans la modification du système actuel, la croissance de la population et l'industrie s'arrêteront probablement au plus tard au cours de 21<sup>e</sup> siècle. Pour tester l'hypothèse du modèle concernant la disponibilité des ressources non renouvelable, en supposant un doublement de l'état de leurs réserves en 1900 et toutes choses égales par ailleurs. Dans ce cas, la croissance pourra atteindre un plus haut niveau puisque l'épuisement des ressources est atteint moins vite. La plus forte industrialisation provoquera une concentration élevée de pollution environnementale, et qui provoquera à son tour, l'augmentation immédiate du taux de mortalité et le déclin dans la production de nourriture. À la fin de la simulation, les ressources naturelles sont sévèrement épuisées malgré le doublement de leurs réserves initiales.

Comme recommandations, afin d'éviter l'effondrement de la société, l'équipe Meadows ne voit comme solution que de suivre des politiques malthusiennes. La seule solution était de stabiliser la population et le système productif (renouveler uniquement les installations vétustes) avant le début de 21<sup>e</sup> siècle. Ainsi, le rapport est qualifié par la suite de « croissance zéro ».

Le rapport Meadows, conscient de la complexité du monde réel, déclare que, en aucun cas, les simulations ne peuvent être traduites en prévisions. Tout en affirmant que les conclusions ne peuvent être remises en cause. Les comportements de base observés dans les simulations, malgré que le modèle soit imparfait, simpliste et non-fini, apparaissent si fondamentaux et généraux que les conclusions globales ne soient pas substantiellement modifiées par des améliorations futures de modèle de simulation.

Les conclusions de Rapport Meadows eurent un retentissement considérable dans toutes les couches de la société, plus de douze-millions d'exemplaires ont été vendus. Il vient de confirmer les craintes malthusiennes concernant l'impossibilité pour la planète de subvenir aux besoins d'une population toujours croissante. À cette époque, la société avait pris

---

<sup>12</sup> Meadows D., 1972.

conscience de problème des conséquences du développement économique sur l'environnement et de l'épuisement des ressources naturelles, alors que le premier choc pétrolier de 1973 était en train de montrer à quel point la société dépendait de ces ressources naturelles épuisables.

L'impact du rapport fut renforcé par le fait que plusieurs avis reconnaissaient l'inévitabilité de marquer un arrêt de la croissance économique. Dans certains milieux environnementaux, le rapport Meadows reçut un accueil extrêmement positif, il confirmait en effet toutes les craintes concernant les effets néfastes du développement économique sur l'environnement.

L'équipe Meadows a publié deux autres versions dans le même thème, en 1993, "*beyond the limits*" et en 2003, "*limits to growth 30 years update*" dans lesquelles l'équipe confirme encore les résultats précédents<sup>13</sup>. Bien sûr, dans les milieux économique et politique, l'avis fut tout différent, de nombreuses voix contestent les conclusions de rapport. Il est important de signaler que le rapport Meadows n'a pas prévu l'épuisement des réserves de pétrole avant 2000 comme certains le disait.

Plusieurs personnes critiquent les résultats du rapport. Les critiques au Rapport Meadows sont liées aux paramètres de modèle fixés d'une manière subjective, le progrès technique n'a pas été suffisamment pris en compte et que les hypothèses du rapport s'appuient sur très peu de statistiques empiriques.

La particularité de rapport Meadows est qu'il incite depuis sa parution de nombreux auteurs à reprendre la thèse d'un effondrement possible de la société. Jared Diamond<sup>14</sup> avance que les conclusions du Rapport Meadows sont sur le point d'être confirmées à l'échelle de la planète par une crise économique et sociale majeure liée à la pénurie de pétrole bon marché et aux changements climatiques. L'auteur rappelle encore que des sociétés se sont déjà effondrées dans le passé à cause de leurs impacts sur l'environnement et de leur surpopulation.

Dorénavant, l'étude de la durabilité devient un sujet de préoccupation mondiale. Ainsi, des négociations à haut niveau sont organisées au sein de conférences internationales au sein de l'ONU. Il n'est pas question de freiner la croissance économique comme le Club de Rome le clamait en 1972, il faut plutôt la réorienter à la faveur d'un développement qui soit durable. Ainsi, à partir de là, la durabilité, en passant d'une réflexion à une théorie économique du progrès, sera abordée autrement. Nous essayerons de présenter l'approche institutionnelle de durabilité, plus exactement du DD, par les grandes instances internationales.

---

<sup>13</sup>Meadows D., Meadows D., Randers J., 2013.

<sup>14</sup>Diamond J., 2009.

#### 1.4- Écodéveloppement, conférence de Stockholm, 1972

Parallèlement aux travaux du Club de Rome, un débat sur la durabilité est lancé au sein de l'ONU, cette fois le débat n'est pas purement scientifique, il s'agit d'un débat diplomatique. En effet, une conférence intergouvernementale a eu lieu en Suède, la première conférence internationale, de 113 pays, qui traite les questions environnementales. Il s'agit de la conférence des Nations unies sur l'environnement humain (CNUEH) à Stockholm en juin 1972, baptisée le 1<sup>er</sup> sommet de la Terre. L'objectif et le thème de la conférence étaient de mettre en examen la compatibilité de développement économique et la protection de l'environnement. Cette première réunion mondiale sur l'homme et son milieu a atteint l'objectif d'inscrire l'environnement à l'ordre de jour international. Cette conférence est le point de départ de l'action environnementale à l'échelle mondiale, depuis l'environnement est inscrit dans l'ordre de jour international.

À l'occasion de cette conférence, les pays en développement (PED) ont amplifié le ton afin d'attirer l'attention du monde pour régler, en premier, les problèmes de sous-développement et de la pauvreté au lieu de se préoccuper uniquement des questions environnementales locales. Puisque, avant la tenue de la conférence, l'ordre de jour était consacré à l'étude des inquiétudes des pays industrialisés, à savoir la pollution de l'air, de l'eau ainsi que la détérioration de l'environnement urbain. Les PED sont conscients que les inquiétudes de l'Occident sur l'environnement ne représentent qu'un caprice des pays industrialisés qui servaient à détourner l'attention des véritables problèmes, le processus de développement économique, le sous-développement ainsi que la détérioration de l'environnement. D'ailleurs, même le secrétaire général de la conférence, Maurice Strong, remercie, d'une manière, les PED d'avoir modifié le thème d'une façon à aborder les vraies questions. Ainsi le débat sur le DD, ou sur la durabilité des sociétés voit le jour.

Lors de cette conférence, il y a eu l'émergence de deux évidences. La détérioration de l'environnement dans les pays industrialisés est le résultat du développement, des habitudes de production et de consommation. Les problèmes écologiques dans le reste du monde résultent en bonne partie du sous-développement et de la pauvreté. L'objectif de la conférence, désormais sous le slogan « *une seule terre* », est d'unir les stratégies relatives au développement et à l'environnement.

Au cours de cette conférence, un modèle de développement économique compatible avec l'équité sociale et la protection de l'environnement est formulé par la communauté internationale, ce modèle s'appela « *l'écodéveloppement* ». C'est ce modèle qui deviendra plus tard le développement durable. Il réconcilie deux approches apparaissant comme antagoniste celle du développement humain et de l'environnement. Il remet en cause le mode de développement unilatéral. Après la conférence, le concept d'écodéveloppement fut repris et approfondi par des universitaires. L'apparition de cette notion a certainement favorisé la création de ministères de l'environnement dans de nombreux pays.

Les discussions intenses, au sein de cette conférence, nous montre que les fondements du développement durable étaient déjà bien formulés par la communauté internationale. Auparavant, il y a eu la confusion entre l'objectif du développement et celui plus restreint de la croissance économique, mesurée par l'augmentation du PIB. La recherche effrénée de la croissance économique, nécessaire et essentielle qu'il soit ne garantit pas à elle seule la résolution des problèmes sociaux et humains urgents. Souvent, les taux de croissance élevés cohabitent avec l'augmentation de chômage, disparités entre groupes et régions et avec la détérioration de facteurs sociaux et culturels. Afin de remédier ce constat alarmant, une nouvelle voie du processus du développement qui intégrera la réalisation d'objectifs sociaux et culturels. Élargissement de concept du développement par la reconnaissance des problèmes environnementaux et sociaux des pays en développement.

Contrairement aux conclusions du rapport *Meadows* qui nous suggère *une croissance zéro*, l'écodéveloppement considère qu'il est indispensable de maintenir la croissance économique afin de dégager les fonds nécessaires pour aider les pays pauvres à se développer et pour financer les mécanismes de protection de l'environnement. Le progrès social et la protection de l'environnement sont liés, et que tous deux dépendent de la croissance économique, et le contraire est juste. La croissance économique dépend de la protection de l'environnement et de progrès social. Au sens de cette nouvelle vision, la lutte contre la pauvreté sera la pierre angulaire. L'environnement ne peut être amélioré au milieu de la pauvreté, et la pauvreté ne peut être éliminée sans l'utilisation des sciences et de la technologie.

Selon Sachs I. et al, l'écodéveloppement est une [...réflexion qui vise à articuler le social, l'écologique et l'environnemental : les objectifs étaient sociaux est éthiques, avec une contrainte environnementale, l'économie n'ayant qu'un rôle instrumental]<sup>15</sup>. Des styles de développement écologiquement convenables. Selon André et al<sup>16</sup>, il s'agit de nouvelle stratégie, fondée sur l'utilisation judicieuse des ressources humaines et naturelles à l'échelle locale et régionale. Même s'il est issu d'une conférence des Nations Unies, l'écodéveloppement est aujourd'hui presque banni des structures onusiennes. Selon André et al, il s'agit de nouvelle stratégie lancée par Maurice Strong, le secrétaire général de la conférence de Stockholm<sup>17</sup>.

La déclaration de la conférence, appelée 'déclaration de Stockholm', est souvent citée comme étant le lieu de naissance du concept de développement durable, malgré qu'elle évoque l'expression de l'écodéveloppement. Toutes les études ultérieures sur la durabilité, même celles de développement durable, ne feront essentiellement que reformuler ou consolider le sens de l'écodéveloppement issu de la déclaration de Stockholm.

---

<sup>15</sup>Sachs et al, 1981, P 34.

<sup>16</sup>André et al, 2003

<sup>17</sup>André et al, 2003

Actuellement, des questions se posent ; pourquoi nous avons substitué le terme de 'développement durable' au terme de 'l'écodéveloppement', malgré qu'ils défendent la même idée et la même logique ? En réalité, cette substitution de termes est due principalement à un mal entendu et à un conflit politique. Lors de la clôture d'un colloque onusien tenu en 1974 au Mexique, le président mexicain Echeverria reproduit la déclaration de ce colloque sous forme d'un discours. Le cas particulier dans cette affaire est lié en réalité directement aux déclarations de ce colloque. En effet, les déclarations étaient un peu radicales, elles affirment qu'«... il n'y aurait pas de sortie de sous développement tant qu'il n'y aurait pas de frein au surdéveloppement ». Le lendemain les déclarations firent la une de tous les journaux mexicains. Les diplomates américains eu mal pris la chose et ils ont vivement protesté, en manifestant leur désapprobation. Ainsi, le terme 'écodéveloppement' fut 'maudit' avec ce colloque. Il sera remplacé peu à peu, les Anglo-saxons lancent l'expression '*sustainable development*' traduite en français par 'développement durable'<sup>18</sup>. Là, nous assistons à un simple changement de terme 'écodéveloppement' par un autre terme 'développement durable' qui désigne presque la même idée. Fondamentalement, les deux expressions ou les deux concepts ne sont pas différents. En réalité, les travaux sur le concept de l'écodéveloppement portèrent essentiellement sur les pays pauvres de la planète, ce qui concentra ce concept sur ces pays. Le développement durable élargira les principes de l'écodéveloppement à l'ensemble de la planète.

L'écodéveloppement vise essentiellement à proposer un nouveau modèle de développement aux pays pauvres, alors que le développement durable s'adresse à tous les pays. Encore, l'écodéveloppement considère que le progrès social et la protection de l'environnement dépendent de la croissance économique, alors que le développement durable considère les trois thèmes sont interdépendants.

Nous pouvons affirmer que l'histoire de DD a des liens étroits avec le mouvement environnementaliste de la seconde moitié de XXe siècle. À cet égard, l'ouvrage « *le printemps silencieux* » de Carson R., 1962, est reconnu comme important<sup>19</sup>. En réaction, aux effets dramatiques sur l'environnement et la santé publique : intoxication, pollution, déforestation, surexploitation des ressources, etc., des mouvements écologistes populaires font leur apparition et se consolident rapidement : WWF en 1961, Friends of Earth en 1969, Natural Resources Defense Council en 1970, Greenpeace en 1971, etc<sup>20</sup>.

---

<sup>18</sup> Dans la première édition française du Rapport Brundtland, '*sustainable development*' a été traduit par '*développement durable*'. La Commission Brundtland a ensuite demandé à ce que l'expression soit traduite par '*développement soutenable*'. Ce qui a été fait dans les éditions ultérieures. Mais l'habitude était prise et c'est l'expression '*développement durable*' qui s'est imposée en raison de sa popularité. D'ailleurs, le glossaire développement durable, Agora21, dans la version du 20 avril 2001, traduit encore le terme anglais *sustainability* par durabilité en français dans la page 57.

<sup>19</sup> En 1962, la biologiste américaine Rachel Louise Carson publia un livre intitulé Printemps silencieux. Elle y dénonce les effets des pesticides et herbicides sur la santé et l'environnement aux États-Unis. Ce livre a ouvert le débat public sur les risques liés à l'introduction massive de produits chimiques dans l'environnement.

<sup>20</sup> Van Duysen J-C, Jumel S., 2008. P.61.

À partir de là, nous présenterons les événements internationaux qui ont fourni les textes de référence dans la conception du DD et de la durabilité.

### 1.5- Rapport Brundtland, 1987

L'échec relatif de deuxième sommet de la terre à Nairobi<sup>21</sup>, en 1982, et les pressions des pays de Sud ont amené les Nations Unies à créer, par la résolution 38/161 de 1983<sup>22</sup>, la commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED<sup>23</sup>). Cette commission, présidée par la première ministre de Norvège Brundtland G. H. La commission a reçu le mandat de proposer en terme clair les stratégies pour assurer un progrès durable et à garantir la survie de l'humanité.

La CMED, promoteur de concept à l'échelle l'internationale, aussi nommée Commission Brunthland, à propulsé le concept de DD dans toutes les sphères ; tout un chacun, gouvernements des pays développés, en transition ou en développement, partis politiques, banques, grandes entreprises, syndicats, ONG, l'ont accaparé et il l'ont redéfini en fonction de leurs propres préoccupations. Le concept de DD se présente comme un compromis entre un développement irrespectueux et un environnementalisme intolérant. Deux compromis qui restent encore d'actualité à travers les deux visions opposées de durabilité, durabilité forte et de durabilité faible.

La CMED voit que la réalisation d'un DD passait par de profondes transformations sociales. Elle exigeait la satisfaction des besoins essentiels des citoyens, l'utilisation rationnelle et durable des ressources naturelles, le maintien et la sauvegarde des écosystèmes et des processus qui réagissent la vie, la coopération des peuples et la solidarité entre les générations actuelles et futures<sup>24</sup>.

L'expression '*développement durable*' n'est apparue qu'à la fin des années 1970. Officiellement, c'est le document intitulé « *world conservation strategy : Living Resource Conservation for Sustainable Development* » qui mentionne pour la première fois cette expression. « Le DD doit tenir compte des facteurs sociaux et écologiques aussi bien qu'économiques, de la base de ressources biotiques et non biotiques ainsi que des avantages et des inconvénients à court et à long terme des solutions de rechange ». Ce document, qui rappelle les principes de la conférence de Stockholm, a été publié en 1980 par l'Union internationale pour la conservation de la nature de l'ONU.

---

<sup>21</sup>Suite au conflit de la guerre froide et le désintérêt du président des États-Unis, Ronald Reagan, ont fait de ce deuxième sommet de la terre un échec. Il n'est d'ailleurs même pas évoqué comme un sommet de la Terre officiel, ainsi nous parlerons de deuxième, pas le troisième, sommet de la terre de Rio en 1992.

<sup>22</sup> Il y a eu lieu encore l'adoption, par la résolution 37/7 d'octobre 1982, de la Charte Mondiale de la Nature.

<sup>23</sup> Un groupe de 22 personnes de pays développés et en développement réuni par les Nations Unies pour identifier des stratégies environnementales à long terme pour la communauté internationale.

<sup>24</sup> André et al, 2003. P.2.

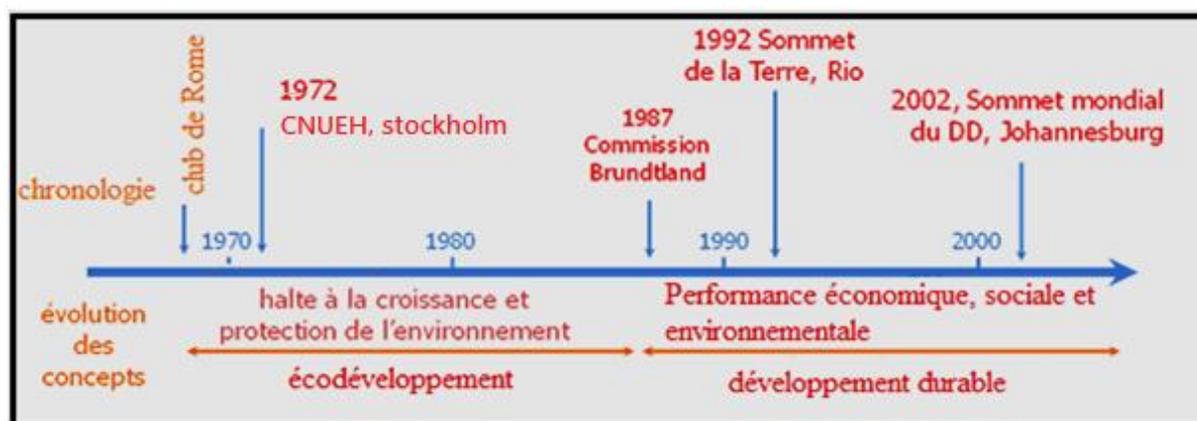
Après dix ans de la conférence de Stockholm, les choses ne se sont pas vraiment améliorées. Nous assistons à la multiplication des dommages environnementaux et l'élargissement de cercle de la pauvreté. En 1982, les efforts de l'ONU, de faire progresser la protection de l'environnement et de lutter contre la pauvreté, viennent d'être renversés par les Américains, lors de la conférence de Nairobi, appelée aussi Stockholm +10. Les Américains, de moins les autres pays riches, viennent de s'opposer à tout engagement international visant à renforcer l'aide au développement et à la protection de l'environnement. Ce qui conduit à l'avortement prématuré de la vision diplomatique sur la durabilité.

Afin de réanimer le débat, l'ONU créa en 1983 la CMED. Le rôle de la commission était de proposer des stratégies à long terme en matière d'environnement pour assurer un développement durable de la planète. Les travaux de cette commission vont expliquer, contrairement aux travaux sur l'écodéveloppement, la protection de l'environnement, le progrès social avec l'efficacité économique fondent un système interdépendant.

La commission eut publié en 1987 ses conclusions dans le fameux rapport intitulé '*Our common futur*' traduit en français par '*notre avenir à tous*', mais le rapport sera très connu sous le nom '*Rapport Brantland*'. C'est dans le fond de ce rapport que l'expression ou le concept de 'développement durable' aura une définition plus ou moins claire. La définition la plus citée dans, presque, tous les écrits ultérieurs sur la durabilité à partir de cette date. Ce rapport rappelle le peu de progrès réalisés depuis la conférence de Stockholm, dont ce rapport ne représente que le prolongement de cette dernière. D'une autre manière, les conclusions du Rapport Brandtland se basent sur les idées de la déclaration de Stockholm que le rapport utilise afin d'établir des recommandations visant à mettre en œuvre un développement durable.

Selon les conclusions du rapport, et à travers la définition de développement durable, l'objectif de la durabilité du système sera scindé en deux sous objectifs successifs. Le premier de régler les problèmes du présent, accroître le bien-être de tous, notamment celui des plus démunis. Le second objectif est de penser aux générations futures. Céder une planète en bon état aux générations futures, sans pollution, riche en ressources naturelles. Atteindre ces objectifs requiert de concilier les pressions économiques, sociales et environnementales.

Figure 1.1: Chronologie et évolution des concepts



Source : Élaborée par nos soins.

Contrairement aux conclusions de *Club de Rome*, le rapport défend avec certitude la nécessité de maintenir la croissance économique, *Croissance Soutenable*, pour régler les problèmes sociaux et environnementaux. Désormais, avec le développement durable, il ne s'agit pas de mettre fin à la croissance économique, au contraire, sans croissance, nous ne pourrions jamais résoudre le problème de pauvreté et de sous-développement. La croissance économique reposera sur l'équité sociale et être économe en énergie, en ressources naturelles, en déchet, en émissions, etc. Le Rapport introduit une idée nouvelle, sans équité sociale et sans protection de l'environnement, il ne pourrait y avoir une croissance économique durable.

Le rapport a conclu que le progrès social et la protection de l'environnement étaient liés et dépendaient de la croissance économique. Ainsi, nous considérons depuis que la croissance économique, le progrès social et la protection de l'environnement sont des piliers interdépendants et indissociables dont les liens sont étendus et profonds. La société ne peut réussir sur l'un de ces piliers si elle ne réussit pas dans les deux autres piliers.

Ce concept, qui exclut les positions radicales tant écologistes qu'économistes, a reçu un excellent accueil mondial, contrairement au concept d'écodéveloppement<sup>25</sup>. Il propose un compromis acceptable pour tous, bien que sa mise en œuvre s'avère extrêmement difficile et requière des changements radicaux de mentalité. À partir de là, la protection de l'environnement et la prise en considération des pressions sociales deviennent des priorités internationales pour un développement durable.

En 1992, le développement durable sera mis au cœur des discussions internationales par la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement à Rio De Janeiro, baptisée le 2<sup>e</sup> Sommet de la Terre. La notion de développement durable sera popularisée au sein de grand public. Il fut placé au cœur de ce deuxième Sommet de la Terre, puisqu'il était en débat au plus haut niveau de décision politique entre 108 chefs d'État. Une

<sup>25</sup> De là découle notre idée de privilégier une approche synthétique des deux approches de durabilité forte et faible lors de la définition dans le chapitre 2 et de la mesure de durabilité énergétique dans le chapitre 4.

commission du développement durable (CDD) fut créée pour suivre la mise en œuvre du développement durable à l'échelle nationale et locale.

### 1.6- Conférences des Nations unies

À partir de 1987, nous parlons de l'évolution de concept de DD façonnée par deux mégas-conférences onusiennes, 1992 et 2002, nommés les sommets de la terre.

À Rio en 1992, lors du deuxième sommet de la terre, le monde s'est réuni à la CNUED afin de concrétiser les engagements internationaux envers le DD. Ce Sommet s'est conclu par la signature de la *Déclaration de Rio* et l'adoption du programme *Action 21*. La *déclaration de Rio* traite directement le concept de DD. Dans son troisième principe, l'ONU complète la définition de DD du rapport Brundtland en précisant que « *le DD vise à satisfaire équitablement les besoins relatifs au développement et à l'environnement des générations présentes et futures* »<sup>26</sup>. La déclaration fixe les lignes d'action visant à assurer une meilleure gestion de la planète ; la promotion de la coopération mondiale est inévitable afin d'instaurer le DD et lutter contre la pauvreté, réduire et éliminer les modes de production et de consommation non viables, admettre la responsabilité des pays développés dans la dégradation de l'environnement. Dans l'article 4, la déclaration fixe la condition essentielle : « *pour parvenir à un DD, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement et ne peut être considérée isolément* ».

Par ailleurs, le Sommet de Rio a conduit à l'adoption de l'agenda 21 (Action 21), qui joue le rôle de guide de mise en œuvre du DD à l'échelle locale pour le 21<sup>e</sup> siècle.. Selon l'agenda 21, « *l'humanité se trouve à un moment crucial de son histoire...* » ce qui nécessite l'adoption d'un vaste programme d'action fixant des objectifs et décrivant des moyens et des politiques volontaires à mettre en place dans tous les domaines de la société pour atteindre un DD. L'action 21 aborde les problèmes urgents d'aujourd'hui et cherche aussi à préparer le monde aux tâches qui l'attendent au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Ce processus marque la naissance d'un nouveau partenariat mondial pour le DD. L'Agenda 21 comprend environ 2 500 recommandations à mettre en application à l'échelle locale: ainsi naît l'Agenda 21 local. Ces recommandations "jouent, au niveau administratif le plus proche de la population, un rôle essentiel dans l'éducation, la mobilisation et la prise en compte des vues du public en faveur d'un DD". (Extrait du chapitre 28)<sup>27</sup>.

Les pays et les organisations internationales gouvernementales et non gouvernementales, à l'échelon international, dans le cadre de 40<sup>e</sup> et dernier chapitre de l'Agenda 21 intitulé « l'information pour la prise de décisions », devraient élaborer une batterie d'indicateurs du DD. Ces indicateurs constitueront une base utile pour la mesure et la prise de décisions à tous les niveaux et contribuent à la durabilité autorégulatrice des systèmes

<sup>26</sup> ONU, 1992.

<sup>27</sup> <http://www.un.org/french/ga/special/sids/agenda21/>, consulté novembre 2016.

intégrés de l'environnement et du développement. Il est aussi recommandé de promouvoir l'utilisation à l'échelon mondial des indicateurs du DD et de les utiliser dans les comptes satellites, puis dans la comptabilité nationale.

En parallèle à ce plan d'action, une déclaration sur l'environnement et le développement a été adoptée. Elle énumère 27 principes à suivre pour mettre en œuvre l'Agenda 21. C'est de sillage de cet agenda que le célèbre slogan « Penser global, agir local » est mis en avant et qui résume à la fois l'esprit du DD et l'esprit de l'agenda 21. Les deux textes adoptés lors de la conférence, la convention de Rio et de l'Agenda 21, ont mis le DD à l'avant de la scène internationale.

À Johannesburg en 2002, lors du troisième Sommet de la Terre, est tenu le SMDD, c'est la première conférence mondiale complètement axée autour de la mise en application du DD. Il est pour les dirigeants l'occasion de s'engager à prendre des mesures concrètes pour appliquer l'Action 21 et de faire le bilan sur la réalisation de programme lancé lors du Sommet de Rio.

Contrairement à la Convention de Rio où le débat insiste sur la dimension environnementale du DD, la Convention de Johannesburg avait pour défi de remettre l'ordre du jour sur les trois piliers du DD en n'omettant aucune de ses trois dimensions<sup>28</sup>. L'autre innovation à Johannesburg tient au fait que le Plan de mise en œuvre cherchait à s'accorder sur des objectifs et des calendriers réels plutôt que de simples déclarations d'intention<sup>29</sup>.

Centré sur le DD, sa finalité résidait dans l'adoption d'un plan d'action en 153 articles décomposés en 615 alinéas sur de nombreux sujets : pauvreté, les ressources naturelles et leur gestion, globalisation, respect des droits de l'homme, le climat, etc.<sup>30</sup>

Parmi les dossiers prioritaires, nous retrouvons l'énergie ; état et évolution de la consommation, surconsommation, répartition, utilisation des énergies renouvelables. L'énergie fut un dossier sensible étudié lors de ce sommet. Les pays du nord, notamment les États-Unis d'Amérique, sont régulièrement montrés du doigt pour leur surconsommation d'énergie, et les autres pays peinent à satisfaire leur demande. Les réserves d'énergies fossiles sont menacées d'épuisement dans les prochaines décennies, et les cours du pétrole le rendent prohibitif pour les pays du Sud.

Lors de ce sommet, le débat s'élargit pour aborder les enjeux et les résultats des réunions récentes, telles que la Déclaration de millénaire<sup>31</sup> de l'ONU 2000, la réunion de Doha 2001 et de Monterrey 2002.

---

<sup>28</sup> Andrés et al, 2003. P.6.

<sup>29</sup> Najam A., Cleveland C.J., 2003. P. 131.

<sup>30</sup> NU. 2002.

<sup>31</sup> la Déclaration du Millénaire a défini huit objectifs, appelés "les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD)" se rapportent aux défis majeurs de développement dans le monde à réaliser avant 2015.

Encore pour la deuxième fois, suite au pessimisme des Américains, certains points ont été difficiles à négocier. Les Américains s'opposèrent à la mention du principe de précaution dans le texte, ainsi qu'à l'évocation du Protocole sur la biosécurité qui concerne les OGM. Ils refusèrent l'adoption d'objectifs chiffrés sur l'énergie et refusèrent également de ratifier le Protocole de Kyoto sur la réduction des émissions à GES.

L'idée du DD remonte à la fin des années 1960, avec la prise de conscience des limites à la capacité d'assimilation de l'environnement. Mais les réflexions sur la durabilité, la continuité de la croissance, remontent à très loin dans l'histoire. Nous accordons généralement à dire que Thomas Malthus est le pionnier à donner des fondements théoriques sur le sujet et que le Club de Rome est le premier à déclencher l'alarme.

Depuis Rio 1992, de nombreuses conventions et réunions internationales ont contribué à façonner les contours du DD. Même si elles n'ont toutefois pas suffi à opérer le changement de cap recommandé, nous assistons néanmoins à une reconsidération des postulats, catégories, voire des raisonnements économiques en vue d'une appréhension plus multidimensionnelle des actes économiques.

## **Section 2-Développement durable et les autres formes de progrès**

Le concept de DD a fait une diffusion remarquable, il est devenu incontournable dans les débats scientifiques et publics. Il sert de toile de fond aux acteurs engagés dans les questions d'environnement et de développement, au discours des politiciens, aux banquiers, aux entreprises... etc. Depuis le sommet de Johannesburg, le grand public n'ignore plus cette expression. Cette diffusion est faite sans que le lien soit clairement fait avec les théories du développement que nous voulons lui faire remplacer<sup>32</sup>. Rien ne permet de dire si nous assistons à l'émergence d'un nouveau paradigme pour les théories du développement ou simplement à une nouvelle forme d'internalisation qui prend en compte les lacunes des approches précédentes en ce qui concerne l'environnement et le social.

Pour mieux appréhender et saisir la vision du DD (ou de durabilité), il convient de le replacer dans le discours du développement.

Comment la préoccupation pour la durabilité modifie-t-elle la manière dont les économistes étudient les problèmes de développement et de croissance ? Il est très important de comprendre le paradigme de développement pour saisir les contenus théoriques et pratiques du DD.

Nous évoquerons l'aspect vague de concept. Nous voyons très utile d'expliquer tout d'abord sa dimension théorique, notamment celle de développement, qui ne fait lui-même pas

---

Ces enjeux mondiaux sont adoptés par les 191 pays membres des Nations Unies durant le sommet des Nations Unies sur le Millénaire tenu en septembre 2000

<sup>32</sup> Gendron C., Revéret J.-P., 2000. P.111.

l'objet d'une définition équivoque<sup>33</sup>. Pour tenter de mettre un peu d'ordre dans cette riche littérature, nous proposons de revenir sur les origines et les antécédents de l'idée de DD. La question du DD dans le prolongement d'un débat ancien en économie (ou en philosophie).

Dans cette section, nous essayerons de présenter l'approche du DD par les théoriciens du développement. Sans entrer, ici, dans l'analyse approfondie de chacune des ces théories de croissance ou de développement, nous essayerons, du point de vue qui nous préoccupe, de tracer le chemin de l'évolution, à travers le temps, des propositions d'évaluation et de conception du progrès, qui se repose sur l'assimilation de *bien-être* ou de *bonheur* des individus.

Nous aborderons la question du DD dans une perspective historique pour comprendre le processus de formation de la pensée sur le développement. Selon Peemans, pour comprendre les divergences et l'évolution de la pensée sur le développement, il est primordial de situer tout dans un contexte historique en s'intéressant aux conflits d'acteurs qui ont marqué les différentes périodes. Il ne s'agit pas de passer en revue les différentes théories du développement, il s'agit seulement d'identifier les ruptures conceptuelles qui veulent proposer une alternative en termes de changement social, c.-à-d. la chronologie de la redéfinition du progrès social selon les problématiques du moment.

Après un retour sur la notion de progrès, catégorie ancienne qui s'est au cours du temps transformée en la notion contemporaine de développement, nous analyserons l'évolution de cette dernière notion en nous intéressant plus particulièrement à sa mesure et de quoi elle tient compte. Comment sont-elles construites les mesures de la richesse ou du bien-être d'une société et de son progrès ? Puisqu'à partir des différentes formules de mesure du progrès, nous pouvons facilement comprendre l'évolution des conceptions théoriques du progrès selon la nature des préoccupations, c.-à-d. l'évolution des paradigmes. Nous nous attacherons à montrer de quelle manière le concept de développement, initialement associé uniquement à la croissance économique, va régulièrement être remis en cause, en particulier au sujet du lien entre croissance, environnement et pauvreté, pour arriver actuellement à la notion du développement durable et de bien-être.

Dans cette section, nous ferons toujours le point sur l'évolution de l'idée de mesurer le progrès afin 1) de bien comprendre les difficultés et les enjeux liés à la mesure du progrès et 2) de former une esquisse (plate forme) pour notre travail qui consiste à mesurer la durabilité énergétique.

---

<sup>33</sup> Gendron C., Revéret J.-P., 2000. P.114.

## 2.1- Histoire de l'idée de progrès

Dans l'objectif de comprendre les interactions entre développement et durabilité, il serait très lucide de commencer par donner, en premier lieu, une brève esquisse sur l'évolution de l'idée du progrès, parce qu'elle était antécédente à la notion de développement durable. Mais, aussi parce que son propre opposé, régression, suscite des appels à la durabilité.

Avant le terme développement durable, plusieurs notions ont été utilisées pour décrire les processus destinés à accroître le bien-être de l'humanité. Selon Gilbert Rist, le choix de terme s'est d'abord fixé sur *civilisation*, *occidentalisation* ou encore *modernisation*<sup>34</sup> pour finalement se fixer aujourd'hui sur celui de *développement durable*<sup>35</sup>.

Durant l'histoire, l'objectif ultime des différentes civilisations était d'atteindre un niveau du progrès, ou de se mettre sur la voie de celui-ci. Le progrès est l'idée «*que la civilisation a bougé, bouge et ira dans une direction désirable*». Étymologiquement, le mot progrès est issu du latin «*progressus* » et désigne à l'origine la progression d'une troupe. Le progrès représente le perfectionnement global et continue de l'humanité ou, globalement, il signifie que la société évolue vers le mieux progressivement. Selon le dictionnaire Littré<sup>36</sup>, le progrès est un «*Mouvement en avant. Il se dit de ce qui avance dans le temps, de ce qui se développe, il s'agit de toute sorte d'augmentation, d'avancement en bien* ». Turgot formule la première déclaration complète de progrès en 1750. Pour Turgot, le progrès recouvre en plus des arts et des sciences, l'ensemble de la culture : manières, mœurs, institutions, codes juridiques, économie et société. Aujourd'hui, tout le monde pense que ; le progrès c'est de passer à une vie meilleure sur Terre.

Si la notion de progrès semble évidente aujourd'hui, elle est une notion historiquement débattue et diversement comprise. Deux écoles du progrès s'affrontent et se croisent : d'un côté, le primitivisme basé sur une vision cyclique du progrès, qui voit la décadence dans le progrès et, de l'autre côté, le progressisme partisan du progrès basé sur une vision linéaire et continue du progrès.

La pensée dans la Grèce antique a été dominée par la théorie des cycles ancrée dans une croyance judéo-chrétienne, «*le temps déprécie la valeur du monde* ». Les Grecs formulent la première idée sur le progrès : «*le progrès est cyclique et le déclin est inévitable* ». Selon Aristote, fidèle à la théorie des cycles qui régit la nature "*l'éternel retour, ce qui naît atteint sa maturité, décline et meurt*". Selon la perspective aristotélicienne, la nature attribue à chaque organisme vivant un état final qui correspond à sa forme parfaite qui sera suivie inévitablement par un déclin. Cette vision est bien visible dans l'évolution des civilisations antiques, les civilisations naissent, atteignent leur apogée puis elles

---

<sup>34</sup>Selon Rist G., 2015. P. 512, ces termes sont largement utilisés jusqu'à la fin de la première guerre mondiale.

<sup>35</sup>Francois A., 2003.

<sup>36</sup><https://www.littre.org/definition/progrès>

s'effondrent. Lucrèce « De natura rerum » (98-55 av. J.-C.)<sup>37</sup>, si le monde est encore dans sa jeunesse, cela ne l'empêchera pas de devoir affronter un jour son déclin : « *Car tous les corps que tu vois grandir suivent une heureuse progression, et gravir peu à peu les degrés de l'âge adulte, absorbent plus d'éléments qu'ils n'en rejettent]...[jusqu'au jour où le fait de la croissance est atteint* ». De cette façon, la croissance ne se prolonge pas d'une manière illimitée, ainsi que la durabilité.

Avec le XVIII<sup>e</sup> siècle, siècle des Lumières, l'interprétation de l'histoire va prendre une direction radicalement différente. Pour les Lumières, la commutativité des progrès de la connaissance ne fait aucun doute : le progrès est linéaire et continu. Donnant une conception linéaire au progrès équivalente à celle du temps et de l'histoire ; le progrès une succession dirigée d'événements<sup>38</sup>. Nous assistons ainsi à un retournement de situation où l'idéologie du progrès devient dominante. Mitcham, 1995, écrit, pour notifier ce changement dans les visions de progrès, que « *l'idée de progrès a été progressivement laïcisée, passant d'une notion d'avancement dans une direction souhaitable divinement ordonnée à une vie meilleure sur Terre, justifiée par le développement scientifique et technologique* ». Selon Leibniz, « *le progrès est perpétuel et absolument illimité de tout l'univers, de sorte qu'il marche toujours vers une plus grande civilisation* ». La représentation du développement, associé ici à la civilisation, est conditionnelle à un progrès infini. Il y a là une rupture avec la notion de déclin inhérente à celle de cycle et le progrès est perçu comme une nécessité naturelle<sup>39</sup>. Selon le philosophe Condorcet (1793), qui consacre l'apogée de l'idéologie du progrès, cité par Belem, 2010, « *l'esprit humain avancera toujours sans jamais trouver ni ses propres limites ni les bornes de la nature* ».

Selon Condorcet, les progrès suivent des étapes avec l'essor des sciences et des techniques. Ils commencent par la domination rationnelle de la nature par l'homme puis par la résolution du problème de la rareté et l'amélioration des conditions matérielles d'existence de l'humanité. Selon Adam Smith, l'observation empirique de la société occidentale montre que le progrès de l'économie suit un ordre naturel au cours duquel les secteurs suivants doivent se développer successivement : l'agriculture, les manufactures et le commerce extérieur.

Cette vision est basée sur une métaphore entre le progrès et la nature, de telle sorte que le progrès est appréhendé en termes d'étapes de la vie des êtres vivants, une conception évolutionniste. Cette présentation métaphorique à la nature explique certaines caractéristiques de progrès (ou de la croissance). Le progrès à une direction, il est continu et suit des étapes connues et chaque nouvelle étape dépend de la précédente et ainsi de suite jusqu'à un état d'achèvement d'où un caractère de commutativité. En fait, nous distinguons cinq types de progrès, selon les domaines ; scientifique, technique, économique, social et humain, qui sont

---

<sup>37</sup>Rist G., 2015.

<sup>38</sup>Du Pisani J. A. *Op. cit.*

<sup>39</sup> Belem G., 2010.

dépendants l'un de l'autre et dans l'ordre indiqué, à la fois chronologiquement et logiquement. Et enfin, le retour en arrière est impossible, de telle sorte que la croissance est irréversible. Selon S. Latouche, cette transposition métaphorique à la nature, qui remonte à l'Antiquité, va imprégner de manière permanente la représentation du développement.

Le progrès, tel qu'appréhendé par les Lumières, est présenté comme une force autodynamique qui suit une spirale vertueuse, et il n'est plus seulement considéré comme un moyen pour achever la civilisation, mais comme un but en soi. Cette perception favorise par ailleurs, l'éclosion d'une notion nouvelle qui reste encore d'actualité, celle de l'échelle de civilisation. Les nations sont ainsi classées selon une hiérarchie relative à leur degré d'avancement technico-économique et à leur niveau de prospérité matérielle. Ce nouveau paradigme trouvera son achèvement au XIXe siècle sous la forme de l'évolutionnisme social, qui met l'accent sur les différents stades par lesquels doivent passer toutes les sociétés. Pour se développer, les nations parcourent le même chemin sauf que toutes n'avancent pas au même rythme, ainsi le 'développement' n'est pas un choix, mais une finalité. L'approche prônée du développement issue de l'économie classique s'inspirera de cette idéologie continue (perpétuelle) du progrès.

Les classiques, A. Smith, D. Ricardo et J. S. Mill, partagent l'idée du progrès à partir de la domination de la nature par l'homme. Ils expliquent ainsi les conditions de l'évolution des sociétés. Les différences existantes entre les nations permettent de les classer sur une échelle de "développement" où le degré d'exploitation des ressources naturelles détermine la situation de chacun. Pour les Classiques, l'échelle de développement a une connotation économique, dans la mesure où le niveau de la production sert de critère de progrès et constitue la base de la distinction entre société traditionnelle et société moderne<sup>40</sup>. Le processus de production constitue pour les classiques, les néoclassiques et les marxistes le facteur central du "développement". À la différence, l'analyse marxiste présentera la lutte (révolution sociale) et non pas la croissance pacifique comme moteur du progrès. Les marxistes signalent qu'outre que les forces productives signalées par les classiques<sup>41</sup>, les rapports de production, les relations entre les individus et les groupes, jouent un rôle fondamental dans le processus de production donc de 'développement'. Les marxistes distinguent ainsi une autre forme de progrès ; le développement économique et social. Ils distinguent ainsi des étapes du progrès caractérisées par des modes de production successifs : communal, primitif, antique, féodal, capitaliste, socialiste et communiste. Ce dernier constitue le stade final du progrès.

---

<sup>40</sup> Belem G. 2010. P.5.

<sup>41</sup> Pour les Classiques, la faiblesse de niveau de production dans les sociétés traditionnelles ou attardées est due uniquement à la faiblesse du développement des hommes et des forces productives, moyens de production (technologie, outillage, machines et matières premières).

La notion du progrès est historiquement négociée et diversement comprise par des philosophes, c'est à partir de XIXe siècle que le progrès est devenu une notion économique ou scientifique. Elle est, actuellement, utilisée et discutée dans différentes disciplines telles que la philosophie, l'histoire, la politique et l'économie. L'idée d'une « loi du progrès » et de ses avantages potentiels prend forme au XIXe siècle, écrit Auguste Comte en 1893. Comte, Hegel, Marx, Spencer et d'autres ont décrit l'avancée inexorable, irréversible, étape par étape et imparable de l'humanité à travers des étapes successives vers un âge d'or sur Terre. Il y avait l'optimisme que le progrès scientifique et technologique pourrait mener à la perfection morale de l'humanité.

Selon François Perroux, il ne faut pas confondre le progrès économique avec les autres progrès<sup>42</sup>. Il définit le progrès économique comme étant « *la propagation de la nouveauté aux moindres coûts humains, et à la vitesse optimum, dans un réseau de relations dont le sens s'universalise* ». Les progrès de la technique, des salaires réels, des niveaux de vie, etc., sont immédiatement perceptibles alors que le progrès économique se remarque et se mesure sur une période plus ou moins longue. Si le progrès économique ne doit pas être confondu avec les progrès, il est néanmoins lié à ces derniers.

La notion de progrès économique et de sa mesure était un sujet de préoccupation des économistes depuis longtemps, il reste encore un problème fondamental pour l'économie contemporaine.

Le progrès est un concept à deux dimensions. Une dimension absolue quantitative avec l'idée d'action et de résultat d'évolution vers un objectif ou un idéal. Et une dimension concrète qualitative avec l'idée d'une ou plusieurs améliorations quantitatives et qualitatives de l'existant, l'action et le résultat de cette action. Un constat est fait, la mesure chiffrée de cette notion s'avère difficile et les différents travaux s'efforcent quand même à la mesurer. Combien d'efforts ont été effectivement faits jusqu'à ce jour par des économistes, des statisticiens et des mathématiciens pour élaborer des techniques concrètes de mesure.

François Perroux, 1961, met l'accent sur le fait que le progrès est un développement qui s'effectue dans le sens d'objectifs prédéterminés qui peuvent varier d'une économie à l'autre selon qu'il s'agisse d'une économie de bien-être, de puissance, etc.

Une chose est sûre, la notion de progrès économique, quelle que soit la manière dont nous la précisons, est toujours une notion synthétique : personne n'a soutenu qu'un seul élément de l'activité économique, par exemple la construction des gratte ciel ou la consommation des produits technologiques de dernier cri..., puissent suffire à représenter le progrès économique. Il faut donc prendre en considération plusieurs éléments de différente nature, pour avoir un indice, une mesure de ce progrès<sup>43</sup>.

---

<sup>42</sup> Gaillard Claude, 1982.

<sup>43</sup> Fourastie J., Fourastie J., 1966.

Il est clair que plusieurs éléments rentrent dans la notion de progrès, des facteurs comme la production, le chômage, la qualification des travailleurs, l'espérance de vie, l'inflation, etc. qui ne s'expriment pas de la même unité de mesure. Ainsi, les auteurs envisagent ces facteurs sous l'aspect de la consommation groupés sous le nom de 'niveau de vie' les éléments qui peuvent s'exprimer en unité monétaire, et sous la 'qualité de vie'<sup>44</sup> ceux qui ne s'expriment pas en unité monétaire. Ainsi, l'obstacle de la mesure d'élément de type niveau de vie, qui comprend non seulement la consommation, mais aussi ceux de la production des biens et des services, est résolu puisqu'il suffit d'additionner des éléments évalués dans une monnaie sur le marché. Mais le problème persiste toujours pour l'évaluation des éléments de la qualité de vie, ici, nous ne pouvons qu'espérer d'obtenir des images, des indices grossiers, dont les chiffres ne sont que l'évaluation encore plus abstraite.

En effet, pour qualifier le progrès, il ne suffit pas de pouvoir affirmer que dans tel ou tel domaine la production nationale d'un pays à augmenter ou elle est plus élevée dans un autre pays qu'un autre pour un produit donné. Il est nécessaire d'avoir une vision d'ensemble pour l'ensemble des produits et de pouvoir les comparer dans le temps et dans l'espace<sup>45</sup>. Le progrès économique est assimilable au progrès de la production<sup>46</sup>. Ainsi, il faut prendre en considération tous les produits et pour chaque produit il faut prendre les coordonnées de prix et de volume de production, ce qui peut constituer un véritable défi. Cependant, des mesures et des comparaisons sont de plus en plus nécessaires à l'action économique, aussi bien en ce qui concerne les nations et la politique internationale. Dans cette logique, le Tableau économique de physiocrate François Quesnay en 1758 constitue l'un des premiers exemples d'une telle vision visant à mesurer le progrès d'un pays.

Afin de simplifier et de clarifier la vision globale de toutes les composantes, il faut en faire une synthèse sous forme d'un seul nombre qui représentera la situation (le progrès) à une date donnée dans un pays donné. Ainsi, les statisticiens et les économistes entrent dans une nouvelle aventure de construction des agrégats économiques<sup>47</sup> de puis la fin des années 1920 afin de mesurer certaines dimensions de l'activité économique, ceci de façon aussi objective que possible, tel que le revenu national (RN) comme indicateur de richesse et le produit intérieur brut PIB comme indicateur de production, etc.

L'approche du développement issu de l'économie classique s'inspirera de cette idéologie du progrès ; la critique dont elle fera l'objet de la part de différents courants de

---

<sup>44</sup>La qualité de vie désigne, selon Jean Fourastié, 1966, « des éléments qualitatifs, qui ne peuvent être chiffrés en argent, mais qui influent beaucoup sur la satisfaction ou la non-satisfaction des besoins». La notion se différencie du niveau de vie qui se réfère à « l'avoir », à la possession et souvent à la destruction, tandis que la « qualité de vie » se réfère plutôt à une « manière d'être », à un « style de vie ». Parmi ses composants, nous citons la durée du travail, l'enseignement, les loisirs, l'habitat, le confort et les services ménagers, l'hygiène, la santé et la durée de la vie humaine.

<sup>45</sup>Fourastie J., Fourastie J., 1966.

<sup>46</sup>Vincent L.-A., 1961. P. 880.

<sup>47</sup> L'ex URSS a calculé et publié d'année en année jusqu'en 1951 son Revenu National aux prix de 1927. En France, l'INSEE calculait l'indice de la production industrielle depuis les années 1950.

pensée lors de la deuxième moitié de XXe siècle donnera naissance à l'économie du développement<sup>48</sup>.

Le seul trait invariable du progrès est la linéarité du temps dans laquelle s'inscrit<sup>49</sup>, les autres traits pouvant fluctuer selon les circonstances et les choix, comme le type de critères utilisés pour procéder à son évaluation, la subjectivité de l'interprétation de la situation de départ, les projections relatives au but à atteindre, la nature des idéologies qui le sous-tendent.

## 2.2- Croissance économique

À présent, nous nous intéresserons à l'ascension de la prise en conscience des limites de la croissance comme indicateur de mesure du progrès ou de bien-être.

Dès les années 1950, l'ONU adopte comme principe de comptabilité l'expression statistique de la croissance économique. Le Produit Intérieur Brut (PIB) devient un des principaux indicateurs de la performance et du bien-être économique. Un indicateur économique principal de mesure de la production économique réalisée à l'intérieur d'un pays donné. Construit par S. Kuznets en 1934 afin de fournir au gouvernement américain un instrument de mesure pour décider des politiques économiques à mettre en œuvre pour faire face à la crise de 1929. Suite à l'apparition de l'économie keynésienne, il y a eu une volonté de construire des agrégats macroéconomiques pour connaître l'évolution de la production marchande. Le PIB restera depuis l'un des agrégats majeurs de la comptabilité nationale, calculé par chaque pays depuis les années 1950.

Le PIB vise à quantifier, pour un pays et pour une année donnée, la valeur totale de la production marchande de richesse effectuée par les agents économiques résidants à l'intérieur de ce territoire (ménages, entreprises, administrations publiques), un indicateur de richesse<sup>50</sup>. Il additionne toutes les richesses créées dans le pays, au sens de la valeur de la production des biens et services (correspondant à la valeur ajoutée). Dans cette logique, le progrès économique s'identifie uniquement par un progrès quantitatif (niveau de vie, Bien-être matériel...) représenté dans la croissance économique.

Le PIB reflète donc l'activité économique interne d'un pays dont nous surveillons le taux de croissance en volume (donc hors inflation) d'une période à l'autre afin de mesurer la croissance économique.

La première leçon d'économie du développement est de ne pas confondre la croissance au développement. Nous opposons la croissance et le développement. La croissance, comme nous l'avons mentionné, c'était une notion quantitative liée au progrès

---

<sup>48</sup> Abbas H., Chakour S. C., Chelil A., 2018. P.21.

<sup>49</sup> Sauf pour la Grèce antique qui donne au progrès une notion géographique pure. Selon les Grecs à chaque fois qu'ils s'éloignent de leur capitale le progrès diminue systématiquement et le barbarisme prend place.

<sup>50</sup> Le PIB et le PIB vert sont des mesures de «flux» de richesse, Contrairement à la Richesse inclusive et l'épargne véritable qui sont des mesures de stock.

matériel, celui du PIB, elle est accouplée à celle de la compétitivité, une certaine idée du bien-être matériel. Le développement, comme nous le verrons dans la prochaine sous-section, c'est une notion qualitative liée à la fois au progrès matériel et social (l'intégration et la justice sociale), une certaine idée du bien-être. La croissance ne suffit pas à assurer le développement, notamment lorsque les richesses créées sont captées par une minorité au détriment de la majorité de la population. La notion de développement est multidimensionnelle, pour la mesurer le PNUD, en 1990, propose des indicateurs, tel que l'indicateur de développement humain (IDH), qui incluent en plus de PIB ; l'éducation et la durée de vie.

Selon François Perroux, la croissance économique peut se définir comme « une augmentation pendant une ou plusieurs périodes longues... d'un indicateur de dimension, le produit global net calculé en termes réels »<sup>51</sup>. Selon lui, la notion de croissance économique est apparue qu'après la révolution industrielle. Dans son discours de réception du prix Nobel d'économie en 1971, Simon Kuznets définit la croissance économique d'un pays « comme étant une hausse sur longue période de sa capacité d'offrir à sa population une gamme sans cesse élargie de biens économiques. Cette capacité croissante est fondée sur le progrès technique et les ajustements institutionnels et idéologiques qu'elle requiert. Les fruits de la croissance s'étendent par suite aux autres secteurs de l'économie ». Ainsi, la croissance est un processus continu et soutenu d'accroissement de la production réelle d'une économie dans le temps, en d'autres termes, pour parler de croissance économique, il faudrait que d'une année à une autre, nous assistons à l'accroissement du PIB réel, mesuré à prix constants ou corrigé de l'influence de l'inflation<sup>52</sup>. Pour les comparaisons internationales des niveaux de croissance, nous calculons les PIB en parité de pouvoir d'achat (PPA) afin d'éliminer les aléas des taux de changes<sup>53</sup>. L'indicateur central sur la base duquel les sociétés développées forment leurs jugements globaux de progrès, ou leurs inquiétudes face à l'avenir, est toujours, l'indicateur de croissance économique, le niveau du PIB réel. Et la croissance reste le principal symbole de la réussite et un facteur clef du progrès et de la modernisation<sup>54</sup>. Sur le plan économique, le taux de croissance offre une mesure synthétique du degré de réalisation des objectifs de la politique économique : accroissement des revenus de travail et du capital, accroissement des richesses matérielles, création des emplois rémunérateurs, élargissement de l'assiette fiscale ainsi des services publics et surtout affirmer la puissance économique du pays vis-à-vis du reste du monde, et plus globalement, accumulation de richesses et de pouvoir assurer la sécurité du pays à l'avenir. Le suivi des différents débats économiques et politiques qui ont

---

<sup>51</sup> Maréchal J.-P., 2003, P. 57

<sup>52</sup> Nshue Mbo Mokime A., 2014, P. 27.

<sup>53</sup> Comparer les PIB des pays supposerait une évidence que les définitions et les modes de calcul en soient partout les mêmes. Ce n'est pas réellement vrai, même si les efforts des organismes internationaux réussissent à faire se rapprocher les méthodes de calcul. Comparer les PIB de différents pays à différentes dates pose donc des problèmes.

<sup>54</sup> Figuières C., Guyomard H., Rotillon G., op.cit. P1.

suivi la crise économique de 2008 confirment l'importance et le rôle de la croissance dans les politiques économiques et sociales. Les différents gouvernements ont soutenu l'économie en établissant en priorité différents plans de relance de la croissance.

La croissance n'est pas un fait du hasard, mais plutôt une œuvre soutenue et qu'elle devrait se traduire par un accroissement continu de PIB réel. Pour dire qu'une économie est engagée sur le sentier de la croissance, il faudrait que son PIB réel croisse sans interruption au fil du temps. Cette croissance n'est pas fondée sur des expédients fragiles ou de facteurs conjoncturels, mais plutôt sur des facteurs structurels solides qui peuvent garantir le maintien des progrès réalisés devant des éventuels chocs.

Certains théoriciens et praticiens du développement voient l'obligation de redéfinir à nouveau la croissance. Puisque, si le PIB d'une économie s'accroît d'une année à une autre à un taux inférieur au taux d'accroissement de la population, la croissance réalisée n'entraîne pas un accroissement du PIB/habitant ou revenu par tête d'habitant. Dans ce sens, la croissance est définie par « l'élévation de deux éléments : la population et les ressources disponibles »<sup>55</sup>. En effet, la variation de ces deux paramètres dans certaines conditions conduit à des situations qui exigent une qualification particulière.

L'idée est qu'il y a croissance à long terme, si les quantités produites augmentent fortement, c'est-à-dire plus fortement que la population pour permettre l'augmentation du niveau de vie. Le PIB est rapporté au nombre d'habitants pour mesurer aussi le potentiel productif d'une population. Ainsi, pour évaluer les bienfaits de cette croissance. Une nouvelle définition est proposée, la croissance économique est « *un processus d'élévation continu est soutenu du PIB par habitant* »<sup>56</sup>. Le PIB par habitant est encore un indicateur de bien-être matériel. Il faut garder à l'esprit que cette reformulation ne s'agit que d'une simple moyenne arithmétique qui cache encore la nature de la répartition réelle des fruits de cette croissance dans la société. En général, il existe de grandes inégalités dans la répartition et la distribution des revenus au sein de la collectivité. Quelques personnes s'accaparent de la majorité de revenus et les autres partagent des miettes.

Dans la mesure où bon nombre d'améliorations des conditions d'existence d'une population supposent une augmentation des revenus et/ou des quantités produites (et réciproquement de meilleures conditions de vie facilitent la croissance), un lien existe entre croissance et développement. Néanmoins, la croissance économique qui reflète l'augmentation de la production ne saurait être confondue avec le développement qui s'intéresse aux conséquences de l'activité économique sur la vie des hommes. La croissance n'implique pas forcément une amélioration du bien-être social. Elle peut au contraire dégrader

---

<sup>55</sup> Barre R., 1969, P.90.

<sup>56</sup> Nshue Mbo Mokime, A. op.cit. 2014, P.28.

la qualité de vie d'une partie de la population, appauvrir tout ou partie de l'humanité et, en même temps, en enrichir certains.

Selon le modèle classique de l'offre et de la demande, la croissance est une nécessité et devient la seule possibilité de mettre en œuvre des politiques sociales et environnementales. Ainsi, l'accélération de la croissance génère des surplus permettant aux plus démunis de survivre et permettant de financer la lutte contre la pollution (voir la courbe de Kuznets). Pourtant, ce modèle touche sa propre limite, car la destruction des écosystèmes pour générer des revenus et pourvoir à leur conservation et à leur rétablissement ne s'avère pas rentable. Les tenants de ce modèle sont désormais conscients que l'environnement, lorsqu'il est affaibli, nuit au développement économique et même au développement social.

Il est également possible de penser que la croissance économique a deux effets contradictoires. D'une part, une augmentation de la production provoque, toutes choses égales par ailleurs, une augmentation de la pollution. D'autre part, elle permet également d'enrichir les citoyens qui pourraient alors devenir plus soucieux de l'environnement, considéré comme un bien supérieur (de fait, les réglementations environnementales sont bien plus contraignantes dans les pays les plus riches) ; elle permet de dégager des suppléments de revenu susceptibles d'être alloués à la protection de l'environnement ; elle autorise la diffusion des nouvelles technologies permettant une meilleure utilisation des ressources économiques ; il est également possible que les entreprises, sous la pression des consommateurs, réclament voire adoptent des mesures visant à garantir un environnement sain pour leurs propres activités.<sup>57</sup>

Aujourd'hui, la notion de la croissance est intimement liée à la notion de PIB, ainsi les limites liées au calcul de PIB reflètent par conséquent celles de la croissance<sup>58</sup>. Le PIB ne mesure que des éléments auxquels nous pouvons donner une valeur monétaire<sup>59</sup>. De ce fait, tout ce qui ne transite pas par le marché est difficile à prendre en compte et à valoriser tel que, production non marchande des administrations, bénévolat, économie souterraine, fraude et évasion fiscale, travail au noir, production domestique. Sachant que la part du tertiaire non marchand a beaucoup augmenté dans l'économie. Faire le ménage est une activité prise en compte dans le PIB quand elle est faite par une personne déclarée et rémunérée, mais pas quand elle est faite pour soi. De plus, contrairement dans les pays sous-développés, les changements économiques et sociaux, dans les pays développés, poussent à satisfaire ces besoins (repas, ménage, etc.) en faisant appel, plus souvent qu'autrefois, à des individus ou à des sociétés rémunérés ce qui augmente la richesse créée, le PIB, de manière en réalité artificielle.

---

<sup>57</sup>Tarrit F., 2011, P.5.

<sup>58</sup>Abbas H., Chakour S. C., Chelil A., 2018. P. 13.

<sup>59</sup>Viveret P., 2004. P. 41.

Il n'est pas évident que le PIB, indicateur de croissance économique, soit également le meilleur indicateur possible du bien-être. Sauf que, si le bien-être économique contribue au bien-être, il ne saurait suffire, et ce pour plusieurs raisons (voir le rapport de la commission Stieglitz, 2009). Le PIB est un concept qui relève de la production, alors que le bien-être dépend davantage du revenu et de la consommation de l'individu et du ménage. Le PIB est un concept « brut » : il ne tient pas compte de l'usure des équipements utilisés pour la production de biens et services et de la nécessité qui en découle de réinvestir une partie de ce qui est produit pour maintenir les capacités de production. Le PIB ne prend pas en compte l'épuisement et la dégradation des ressources environnementales, qui se répercute sur le bien-être des générations futures. Le PIB n'intègre pas les loisirs, qui ont bien entendu une valeur pour la société et contribuent au bien-être. Le PIB ne fait pas de distinction entre différents types de répartition des revenus. Une société qui compterait un petit nombre de familles immensément riches, mais dont la majorité de la population vivrait dans une totale pauvreté, connaîtrait très vraisemblablement un niveau plus faible de « bien-être général » qu'une société qui aurait le même PIB, mais où la pauvreté ne serait pas endémique. La production s'accompagne généralement d'externalités négatives (par exemple la pollution et la dégradation de l'environnement), or ces externalités négatives sont rarement prises en compte dans le PIB<sup>60</sup>.

Il est clair que le PIB ne reflète pas sérieusement le bien-être économique, alors là refléter le bien-être global, en raison de différents facteurs. Il sera nécessaire de progresser vers des indicateurs permettant de mieux appréhender le niveau de vie des citoyens<sup>61</sup> et pourquoi pas vers une mesure globale du bien-être. D'autres enjeux méritent d'être considérés : genre de vie ; instruction, conditions de vie, santé, partage des fruits du progrès économique... qui seront intégrés, dans les années 1950, dans la notion de développement économique qui se rapproche plus à la notion du progrès social.

### **2.3- Développement économique**

Dans le contexte des progrès de la science, de la technologie et de la croissance de l'économie mondiale, le concept de «développement» a reçu une attention croissante à partir du milieu du XXe siècle.

Le développement, comme croyance occidentale et comme slogan, prend véritablement forme et contenu opératoire avec un discours donné par le président américain Harry S. Truman<sup>62</sup>. C'est peu après la Seconde Guerre mondiale que le terme

---

<sup>60</sup> OCDE, 2006.

<sup>61</sup> Dans ce sens, le PIB vert et indicateur de progrès véritable (IPV) constituent les bons exemples qui corrigent le PIB.

<sup>62</sup> Latouche S., 2004, P.25.

"développement" a été introduit en langage courant pour exprimer les progrès<sup>63</sup> réalisés par un pays. Son emploi a été popularisé par le président Truman lors de son discours d'investiture de deuxième mandat en 1949. Jusqu'alors, nous considérons les organismes vivants se développaient, c'est-à-dire évoluaient vers un état de maturité, mais nous ne pensions pas que les pays le pouvaient aussi, le retour à la métaphore biologique de progrès d'Aristote. Le discours de H. Truman a initié un processus qui a en partie façonné le monde dans lequel nous vivons<sup>64</sup>.

Dans son discours, H. Truman indiquait que le développement d'un pays passait par la croissance économique (plus de production et/ou plus de consommation), et invitait les pays pauvres à s'engager sur la voie de cette croissance. Dès lors, pour se développer, beaucoup d'entre eux ont imité les pays riches en cherchant à conquérir des marchés et à produire plus pour moins cher, quelles qu'en soient les conséquences sociales et environnementales. La quasi-totalité de la planète est ainsi entrée en compétition économique et au détriment de l'environnement.

Pendant la période coloniale, un problème particulièrement épineux pour les théoriciens du développement était l'écart grandissant entre les pays développés et les pays en développement (les soi-disant Premier et Troisième Mondes).

À cette occasion où l'Amérique est leader économique et militaire, Truman lance l'idée d'un programme qui fasse partager les acquis scientifiques et industriels de son pays avec les régions sous-développées. Il ne s'agit plus seulement de constater que les choses se développent, nous pourrions désormais se développer. Ainsi est né l'*aide au développement*<sup>65</sup>. Au point que, au début, certains auteurs considèrent que les théories de développement sont élaborées et mises en œuvre, pour essayer de mettre les pays pauvres sur la voie du développement<sup>66</sup>.

Jusqu'à il y a peu, la notion de développement économique ne s'appliquait qu'aux peuples non occidentaux. Toutes les théories du développement des années 1950-1960<sup>67</sup> ont pour objet d'expliquer les causes du sous-développement et comment ces pays sous-

---

<sup>63</sup> Ce terme de progrès s'est incarné dans le domaine économique, car, pour produire encore plus de biens et de services, il faut une croissance économique. L'idée de l'évolution économique devient le paradigme du progrès.

<sup>64</sup> André et al, 2003, P. 7.

<sup>65</sup> Les Nations Unies décident de consacrer la décennie 1960 au développement et elle adopte le principe d'une aide publique au développement de 1 % des PIB en faveur des pays pauvres.

<sup>66</sup> Dans la théorie de la modernisation (imiter le modèle occidental), selon Peet, R. 1999, «*le développement signifiait assumer les modèles mentaux de l'Occident (rationalisation), les institutions de l'Occident (le marché), les objectifs de l'Occident (consommation de masse élevée), et la culture de l'Ouest (culte de la commodité)* ». La théorie de la modernisation favorise la libre entreprise et l'économie du marché en tant que forces positives de progrès

<sup>67</sup> Dans les années 1950 la pauvreté est perçue comme une conséquence du sous-développement économique par la théorie du rattrapage, rattraper le modèle des pays occidentaux. Dans les années 1970, on constate que le développement économique n'éradique pas forcément la pauvreté. La pauvreté devient une notion autonome de la sphère économique. C'est la naissance des théories de développement par le bas. Les populations deviennent alors les acteurs et non seulement les bénéficiaires.

développés peuvent rattraper les pays développés. À cette époque les vieilles nations industrielles sont le modèle à atteindre.

Dans son acception la plus générale, le terme du développement peut être considéré comme un synonyme de celui, en usage depuis les Lumières, de progrès social (ou sociétal), au sens où « *la société de demain peut être meilleure que celle d'aujourd'hui* »<sup>68</sup>, soulignant ainsi que cette amélioration dépend du choix des individus et des collectivités. Mais parler de société meilleure confère évidemment au concept une multiplicité de dimensions, ainsi qu'une nature normative dont il faut préciser les critères et les choix. La multiplicité des dimensions du progrès possible de la société évoque les questions du niveau de vie matérielle et de qualité de vie.

Le développement est défini par François Perroux comme « la combinaison des changements mentaux et sociaux d'une population qui la rendent apte à faire croître, cumulativement et durablement, son produit réel global » et comme « l'ensemble des transformations des structures économiques, sociales, institutionnelles et démographiques qui accompagnent la croissance, la rendent durable et, en général, améliorent les conditions de vie de la population ». Selon Jean Gadrey, le développement vient après la croissance<sup>69</sup>. Selon lui, si « On a coutume de dire que les pays en développement sont à la recherche de la croissance. Si nous prolongeons un peu, les pays occidentaux seraient à la recherche d'un développement après la croissance et d'outils intellectuels pour penser ce développement post-croissance »<sup>70</sup>. Le développement est un progrès intégral de l'homme, progrès humain, dans toutes les dimensions de son être à travers des facteurs démographiques (baisse taux de mortalité infantile, hausse d'espérance de vie), politico-juridique (libertés politiques, État de droit, équité judiciaire), économique (amélioration des procédés de production, diversification de la consommation et réalisation d'une croissance soutenue) et socioculturel (bonne couverture sanitaire, épanouissement intellectuel et culturel) qui généralement accompagnent la croissance.

Pour G. Myrdal, le développement est « *le mouvement vers le haut de tout le corps social* » en matière de besoins fondamentaux (nourriture, accès à l'eau, à la santé, à l'éducation, aux loisirs, etc.). Pour A. Sen, le développement signifie « *un processus d'expansion des libertés réelles de tous les individus* ». Cette liberté est celle de choisir parmi les différents modes de vie possibles. Le développement se traduit alors par l'évolution de certains éléments tel que : capital physique, capital humain, progrès technique, travail, stabilité politique... etc. Dans la littérature des théories de croissance, les éléments précédents

---

<sup>68</sup>Comeliau C., 2006, P. 59.

<sup>69</sup> Cette position est soutenue par divers auteurs dont Roseinstein-Rodan « *big push* : la grande poussée », Nurkes « la croissance équilibrée », Hirschman « la croissance déséquilibrée », Perroux « les pôles de croissance » et Rostow « le décollage ». Par opposition, les partisans de l'école écologique et de décroissance niés cette position, l'argument de la croissance zéro (décroissance) ne conduit donc pas à rejeter le développement, mais à le distinguer de la croissance. La croissance n'est pas une condition inéluctable pour le développement.

<sup>70</sup>Gadrey J., 2002, P.1.

sont appelés, les déterminants de la croissance. Des facteurs qui peuvent contribuer à l'accroissement du PIB réel dans le temps. Ainsi, nous pouvons conclure que la croissance "provoque" (pas automatiquement) le développement, et le développement à son tour booste la croissance. Existence d'un cercle vertueux entre croissance et développement. La seule particularité est que, si la croissance est un phénomène à long terme, le phénomène du développement lui reste un processus de très long terme, de plusieurs décennies.

Le lien entre croissance économique et développement rejoint la pensée classique qui présente la capacité de production matérielle comme condition essentielle du développement global de la société. Quant à la relation entre investissement et croissance, elle découle des analyses post-keynésiennes et néoclassiques qui cherchent à identifier les taux d'épargne et d'investissement nécessaires à une croissance auto-entretenu ou soutenable.

Les mérites de la croissance découlent de sa capacité à améliorer le niveau de vie des personnes ou à réduire la pauvreté ; mais cela est possible que lorsqu'elle se fait accompagner d'une bonne répartition des revenus issus de la production. En présence de fortes inégalités dans la répartition des revenus, les effets attendus de la croissance ne seront pas ressentis par la majorité de personnes, la croissance '*ne sera pas suivie par*' un développement. Ce que Sachs, 1980, appelle la « *croissance perverse* », la croissance qui ne sera pas suivie par le développement<sup>71</sup>. Pour améliorer le niveau de vie des personnes et réduire la pauvreté, il faut coupler la croissance à une amélioration de la répartition de ses fruits. Les études empiriques de la croissance montrent que dans certains pays, les épisodes de forte croissance n'ont pas donné lieu à une réduction de la pauvreté. Mais quoi qu'il en soit, c'est l'absence de la croissance qui fait que plusieurs pays africains soient incapables de combattre la pauvreté.

La croissance n'est qu'un élément, quand même important<sup>72</sup>, du développement compte tenu de ses effets sur les revenus des individus et de leurs possibilités de consommation<sup>73</sup>. La croissance traduit une multiplication des biens et des services disponibles pour la consommation, la production, l'investissement et les échanges extérieurs. Elle permet l'emploi rémunéré et l'augmentation du revenu, elle assure la base nécessaire aux prélèvements collectifs exigés pour financer les dépenses publiques et la sécurité sociale<sup>74</sup>.

Si la croissance mesure la richesse matérielle créée, le développement mesure le bien-être des individus et de la société. Alors que, lors de la première moitié de XXe siècle, le mode occidental est préoccupé de considérer la croissance économique comme un facteur clef du progrès. Les questions d'équité et de justice sociale n'étaient que rarement prises en

---

<sup>71</sup> En effet, selon Sachs, les pays du Sud ont enregistré une « croissance perverse » sans se développer. Les pauvres sur-utilisent les rares ressources auxquelles ils ont accès. Il introduit encore la notion de « mal-développement » (crise du développement des années 1970) qui touche particulièrement les pays en développement, un développement caractérisé par de fortes inégalités sociales et par le gaspillage et la dégradation des ressources.

<sup>72</sup> Comelieu C., 2006, P. 55

<sup>73</sup> Nshue Mbo Mokime A., op.cit. 2014.

<sup>74</sup> Comelieu, C. 2006. P. 55.

compte. Les choses changèrent à la fin de la Seconde Guerre mondiale, les gouvernements se préoccupent plus qu'auparavant d'améliorer la situation économique et sociale du plus grand nombre, l'expression incluant les nations les plus pauvres de la planète. L'économie du développement dans sa forme moderne était née.

Depuis, des efforts sont fournis afin de permettre de mesurer le développement. Ce dernier étant un phénomène plus complexe et multidimensionnel que le phénomène de la croissance, sa mesure quantitative (chiffrée) s'avère plus difficile et qui nécessite la construction d'indices, une tâche encore plus difficile.

À la fin des années 1970, l'accent fut mis, lors de la conception du développement économique, sur les besoins de base des populations. Le développement d'un pays ne devait plus seulement être apprécié à l'aune de son seul PIB. Il devait également tenir compte des aspects relatifs à l'éducation, à la santé, à la nutrition, à l'emploi, etc. Plusieurs générations d'indicateurs, de plus en plus riches, se sont donc succédé.

Pour mesurer le niveau de vie, comme indicateur de développement, la Banque Mondiale, depuis 1966, fait recours à l'indicateur le plus connu et le plus utilisé, le produit par habitant (PIB ou RNB/tête), comme il est déjà signalé en détail précédemment. La banque mondiale dresse ainsi une typologie des pays à partir de niveau de cet indicateur ; (pays à faible revenu, pays à revenu intermédiaire, pays à revenu élevé). Au fil des ans, ces regroupements se sont inscrits dans le cœur du discours sur le développement. Cela permet de montrer les fortes disparités existantes entre les pays en les classant. Mais le revenu par habitant souffre de nombreuses limites comme nous l'avons déjà signalé plus haut.

Par ailleurs, il existe d'autres indicateurs du développement qui prennent en compte d'autres facteurs, ignorés par le PNB par habitant, afin de mesurer le bien-être social des habitants d'un pays ; en incluant par exemple des indicateurs de santé, d'espérance de vie, de taux d'alphabétisation, etc.

Le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) a ainsi créé, au début des années 1990, deux indicateurs synthétiques, l'indice de développement humain (IDH) et l'indicateur de pauvreté humaine (IPH) dans lesquels les deux caractères complexité et multidimensionnalité de concept de développement seront prises en considération.

Le premier est l'indice de développement humain (IDH), souvent appelé par confusion Indicateur de Développement Humain, développé en 1990 au sein du PNUD par l'économiste indien A. Sen et l'économiste pakistanais, M. Ul Haq. La Banque Mondiale le calcule annuellement. Un indicateur qui mesure certains des éléments du développement durable, soit le développement économique et social, mais ne touche pas la dimension environnementale. Selon le PNUD, le développement humain mesure la couverture des besoins fondamentaux de tous. L'IDH est la moyenne géométrique, avant 2010 il s'agit d'une moyenne arithmétique, des indices normalisés pour chacune des trois dimensions (longévité, éducation et niveau de

vie). Il a été créé pour souligner que ce sont les personnes et leurs capacités qui devraient constituer le critère ultime pour évaluer le progrès social de développement d'un pays, et non pas le progrès matériel engendré par la croissance économique. L'IDH sert aussi à remettre en question les choix des politiques nationales, en comparant comment deux pays ayant créés le même niveau de richesses lors d'une même période, le niveau de RNB par habitant, peuvent atteindre des résultats différents en matière de développement humain. Ces contrastes peuvent stimuler le débat sur les priorités politiques des gouvernements.

Sans entrer dans les détails statistiques de calcul, l'IDH est une mesure sommaire du niveau moyen atteint dans les trois dimensions clés du développement humain : vivre une vie longue et en bonne santé, acquérir des connaissances et jouir d'un niveau de vie décent. La dimension de la santé est évaluée selon l'espérance de vie à la naissance ; la dimension de l'éducation est mesurée au moyen du nombre d'années de scolarisation pour les adultes âgés de 25 ans et plus et des années attendues de scolarisation pour les enfants en âge d'entrer à l'école. La dimension du niveau de vie est mesurée par le RNB par habitant, ajusté en fonction de la parité de pouvoir d'achat. L'IDH utilise le logarithme du revenu pour refléter l'importance décroissante du revenu avec un RNB croissant. Les résultats pour les trois indices de dimension de l'IDH sont ensuite agrégés pour donner un indice composite obtenu à partir de la moyenne géométrique. Ainsi, l'IDH n'est pas exprimé en unité de mesure, comme PIB par habitant mesuré en unité monétaire, il est exprimé en valeur abstraite entre zéro (exécration) et un (excellent) qui ne sert qu'à classer et à comparer le progrès accompli par les différents pays du monde. Selon la valeur de l'IDH, les pays développés auront l'IDH supérieur à 0,9, les nouveaux pays industrialisés entre 0,7 et 0,9, les pays en développement entre 0,5 et 0,7 et, enfin, les pays moins avancés inférieur à 0,5.

L'IDH, comme tous les autres indices composites, comporte certaines lacunes. Il simplifie le développement humain et ne permet d'appréhender qu'une partie de ce qui le compose. Il ne reflète pas les inégalités, la pauvreté, la sécurité humaine ou l'autonomisation ce qui encourage la création de nouveaux indicateurs. Le Bureau du Rapport sur le Développement Humain (BRDH) propose d'autres indices composites pour une vision élargie de certains des enjeux clés du développement humain, de l'inégalité, de la disparité entre les sexes et de la pauvreté humaine.

Les études empiriques montrent qu'il n'y a pas de liens automatiques entre le revenu RNB et l'IDH. Deux pays ayant des IDH identiques peuvent avoir de revenus différents. Cependant, les pays qui ont connu une croissance forte de leur PIB/tête, ont vu leur IDH grimper très rapidement contrairement aux pays à croissance très lente.

Le deuxième indice, créé par le PNUD, est l'Indicateur de la Pauvreté Humaine ou l'IPH, en réalité c'est un indice composite dont le but est de mesurer, par une moyenne géométrique, le niveau de la pauvreté au sein d'un pays. Il permet de prendre en compte les

inégalités en matière de besoins fondamentaux. Il est exprimé en pourcentage, plus il est élevé, plus la population du pays est composée de pauvres. Il a l'avantage d'être simple et de représenter quelque chose de concret, un pourcentage de personnes pauvres dans un pays.

Il existe deux indicateurs, selon qu'il s'agit d'un pays en développement, IPH-1 ou d'un pays développé IPH-2. L'IPH-2 est constitué d'un indicateur supplémentaire (indicateur d'exclusion, le chômage) en plus des trois indicateurs qui constituent l'IPH-1 ; longévité, instruction et conditions de vie. La différence entre les deux IPH ne se limite pas au nombre des indicateurs qui les constituent, en effet, l'IPH-2 place la barre des critères de pauvreté plus haut, dans les trois sous indicateurs, comparativement à l'IPH-1. À titre d'exemple, indicateur de longévité dans l'IPH-1 prend en considération le pourcentage de décès avant 40 ans alors que dans l'IPH-2 le pourcentage de décès avant 60 ans. Ainsi, si nous calculons le niveau de pauvreté pour tous les pays en utilisant l'IPH-2, les pays en développement seront encore plus pauvres que si nous utilisons l'IPH-1. Le PNUD publie d'autres indicateurs : IDH corrigé des inégalités sexuelles (indicateur sexo-spécifique du développement humain ISDH), indicateur de participation des femmes.

À partir du début des années 1960, les pays en développement essayent de rattraper les pays développés en adoptant leur modèle du développement, ce qui a conduit à la généralisation de la dégradation de l'environnement et a aggravé les inégalités à l'échelle de la planète. Dans le cadre de leur effort de développement économique, de nombreux pays pauvres ont imité les pays riches en cherchant à produire plus pour moins cher, quels qu'en soient les rejets de polluants dans l'eau, l'air et le sol. Certains se sont aussi lourdement attaqués aux forêts tropicales afin de peupler l'ensemble de leur territoire, exploiter des ressources minières, faire de l'élevage ou de la culture, exporter des bois précieux, etc.<sup>75</sup>.

Les politiques de développement économique n'ont pas permis d'éradiquer la misère ; elles ont en revanche conduit à une dégradation considérable de la planète par la surexploitation des ressources naturelles et la pollution. Le terme "environnement" a alors été utilisé en langage courant pour exprimer tout ce qu'il fallait protéger du développement économique : l'air, l'eau, le sol, la faune, la flore, les ressources naturelles, etc.<sup>76</sup>. Encore des anomalies d'équité sont constatées dans la distribution des bénéfices du développement à l'intérieur d'un pays donné avec : maintien des inégalités de revenu, d'accès à la nourriture, à l'éducation ou aux services de santé... L'objectif ultime des politiques du développement d'atteindre un certain progrès et d'améliorer le niveau de bien-être des individus, à l'échelle d'un pays ou à l'échelle mondiale, s'avère compromis. L'activité économique reste encore polluante et inéquitable. Les effets contraires du développement sont visibles sur les structures sociales et sur l'environnement.

---

<sup>75</sup> Van Duysen J-C, Jumel S., 2008.

<sup>76</sup> *Idem*.

Dans l'objectif de remédier à ces deux défauts majeurs, une nouvelle vision est née au milieu des années 1980. Une vision qui vise à corriger ces deux défaillances. Elle va encore plus loin en se préoccupant, de façon centrale, non seulement des générations présentes, mais aussi des générations futures reconnaissant que les destins de toutes les générations sont explicitement liés. Le point de mire, cette fois, est très explicite celui d'assurer la pérennité du développement pour tout un chacun et pour toujours, le développement durable.

Désormais, dans le XXI<sup>e</sup> siècle, nous exigeons aux politiques de développement de nous assurer un mode du développement à la fois économiquement viable, écologiquement vivable et socialement équitable afin qu'il soit durable. Cela veut dire que nous devons apprendre à vivre en utilisant le mieux possible les ressources de notre terre, sans les gaspiller et en évitant de polluer notre environnement pour laisser aux générations futures une planète où il fera bon vivre avec des ressources suffisantes. Car nous sommes responsables des conditions de vie de nos descendants. Pour être viable et écologiquement soutenable, le nouveau modèle de développement devra être fondé sur une combinaison technologique économisant le capital environnemental, notamment l'énergie.

L'objectif de pérennité signifie que ce type de développement vise à améliorer la condition humaine de façon continue sur le long terme. Le développement économique, le progrès social et la protection de l'environnement sont en effet indissociables ; négliger l'un de ces thèmes conduirait tôt ou tard à l'échec sur les deux autres, et finirait donc par interdire toute avancée positive pour l'humanité. Il pousse l'humanité à mettre en place un développement économique qui repose sur l'équité sociale et qui soit économe en énergie, ressources, déchets, etc.

Nous n'allons pas détailler ici la présentation de ce nouveau mode du développement dit durable puisqu'il fera l'objet de la section juste au-dessous.

La croissance désigne l'augmentation des quantités de marchandises (biens ou services) produites et vendues au cours d'un intervalle de temps (en général l'année), se traduisant par une augmentation des revenus distribuables. Le développement désigne l'ensemble des changements - productifs et sociaux dont le résultat est d'améliorer les conditions d'existence d'une population donnée dans son ensemble. Enfin, le développement durable désigne un type de développement compatible avec les exigences sociales, économiques et environnementales, c'est-à-dire qui ne fait pas peser sur les hommes et/ou la nature un poids incompatible avec la poursuite de ce type de développement à long terme.

À un moment où les théories du développement sont à la recherche d'un second souffle et où le débat sur la croissance prend une nouvelle tournure du fait de sa confrontation à la problématique environnementale, le développement durable va apparaître comme un nouveau mot d'ordre et un nouvel objectif à atteindre.

La relation entre croissance et développement reste au cœur du DD, elle ne fait pas l'unanimité entre les auteurs. Comme nous pourrions le voir ci-dessous, les analyses du DD n'abordent pas de la même façon cette relation, certains analystes dissocient et certains d'autre assimilent croissance et développement. Ils proposent des approches théoriques différentes du DD, et par conséquent, ils donnent un sens différent à *ladurabilité*.

### Section 3- Développement durable

À la fin des années 1960, la base des idées différentes sur le progrès, sur la durabilité, sur la croissance et sur le développement, qui s'était développé depuis de nombreuses années, commençait à pointer vers une nouvelle direction, celle du développement durable. La préoccupation environnementale est devenue plus aiguë et radicale à cause de la crainte que la croissance économique ne mette en danger la vie. Une vraie anxiété s'installe, l'humanité peut détruire la capacité de la terre à soutenir la vie.

Cet état d'esprit alarmiste et anxieux, dans l'attente d'une catastrophe écologique imminente, a stimulé un nouveau mode de pensée sur le développement et a préparé la voie au développement durable comme alternative à la croissance économique illimitée. La promesse des Lumières de l'amélioration linéaire et continue de la condition humaine s'est révélée être un mythe du progrès, car elle était fondée sur des espoirs et des aspirations humaines plutôt que sur des potentialités et des limites humaines. Ainsi, les notions de «progrès», de «croissance» et de «développement» sont remises en question.

Après deux guerres mondiales, il était évident qu'il y avait aussi un inconvénient aux progrès scientifiques et technologiques. Ces progrès ont fourni aux gens les moyens de perpétrer le mal et la souffrance à une échelle plus vaste qu'auparavant. L'idée d'un progrès continu, après deux guerres mondiales, perdait la fascination qu'elle avait pour les générations précédentes. La Grande Idée du Progrès linéaire et continu devient une fiction. Nous avons compris que le «progrès» avait justifié le règne du marché libre, des disparités Nord/Sud, de colonialisme et de la destruction de la nature. Les progrès scientifique et technologique causaient aussi de terribles dommages à l'environnement naturel. La croissance rapide de la population, la pollution et l'épuisement des ressources posaient pour l'environnement et leur propre survie en tant qu'êtres humains. L'optimiste qui suppose que les problèmes de progrès du monde sous-développé soient résolus facilement grâce à la croissance économique mondiale tombe à l'eau, les disparités dans la répartition des richesses s'aggravent. La croissance économique ne s'est pas révélée être la solution espérée aux inégalités mondiales.

La réflexion sur les causes de la récession dans le monde occidental, qui suivit le premier choc pétrolier qui a mis fin à la période des trente glorieuses, a conduit à une prise de conscience des limites de la croissance économique. À ce stade, les gens ont commencé à se rendre compte qu'il devenait de plus en plus douteux que les effets bénéfiques de la

technologie puissent s'étendre de façon permanente au-delà des frontières des pays industrialisés à la vaste majorité des gens qui ne les partagent pas encore.

Cette prise de conscience a nécessité un changement de paradigme vers une nouvelle notion de développement. Ainsi, nous pouvons conclure que le développement durable est introduit, dans le paradigme de progrès, comme solution aux problèmes du développement assimilé à la croissance. Dans ce sens, c.-à-d. changement du paradigme, Paxton, cité par Jacobus, 2006, déclare que le DD a changé la nature de lien qui existe entre le développement et la conservation. Si dans l'ancien paradigme de développement, les deux notions précédentes avaient été considérées comme des idées contradictoires, car la conservation était comprise comme la protection des ressources et le développement comme l'exploitation de ces ressources, dans le nouveau paradigme du développement durable ce lien devient d'interdépendance.

L'objectif de cette troisième section sera de montrer comment la recherche en économie aborde et analyse le concept du développement durable, ses significations et ses conséquences théoriques et pratiques. Il convient, avant de se livrer à des considérations d'ordre théorique sur la durabilité et à l'application de cette durabilité à un système énergétique, dans les chapitres subséquents, de savoir ce que revête la dimension même de développement durable et comment rendre ce concept plus lisible et plus opérationnel.

### **3.1- Notion du développement durable**

Comme nous l'avons signalé dans la première section, le concept du DD est issu d'un long processus de réflexion lors des négociations internationales menées au sein de l'ONU. Le débat clarifie petit à petit à une définition de compromis communément acceptée. Depuis 1992, le DD est entrain de devenir une référence incontournable dans le débat scientifique et public.

Depuis le début des années 1970, l'humanité pose des questions sur les finalités et les contraintes du développement, assimilé à la croissance et considéré jusqu'alors comme l'unique vecteur du progrès humain. La croissance a échoué à réduire la pauvreté et les inégalités d'une part, mais également elle menace les mécanismes écologiques. D'autre part, nous assistons à la mise en évidence croissante du lien entre les problèmes environnementaux et le modèle de développement.

Contrairement aux résultats des travaux du Club de Rome de faire halte à la croissance, en préconisant la croissance zéro et le néologisme de « décroissance », avec le développement durable, il ne s'agit plus de stopper la croissance, mais d'infléchir son contenu dans un sens durable<sup>77</sup>. D'une manière générale, assurer la viabilité, à très long terme, des systèmes économiques. Ainsi, l'apparition du concept de développement durable s'inscrit

---

<sup>77</sup> On évoque ici la croissance, quoiqu'elle ne soit que l'une des composantes du développement.

dans le prolongement des débats sur le développement et de la recherche des modèles de développement alternatifs.

Il est fondamental de comprendre que la critique de la croissance par les mouvements écologistes n'aboutit pas au rejet de la croissance, elle aboutit à sa distinction par rapport au développement. La problématique relative au statut de la croissance, à sa relation avec la dégradation environnementale et avec la notion du développement, a donné naissance à des alternatives dans la manière de concevoir le développement<sup>78</sup>. Ce sont plutôt les modes de production et de consommation qui sont à reconsidérer et pas la croissance comme telle. À certains égards, nous retrouvons là le point de vue de J. S. Mill ; croissance non consommatrice de l'environnement<sup>79</sup>. De cette manière, la solution des problèmes environnementaux n'est pas à rechercher dans une variation du taux de croissance (la décroissance). Pour les pays industrialisés et le courant néoclassique attachés à la croissance et au mode de consommation, cette solution constitue un appel à l'innovation technologique. Pour le développement des pays pauvres, la question environnementale constitue un autre élément dans la balance des inégalités Nord-Sud. De ce fait, la problématique du développement durable passe par une réduction des inégalités aussi bien économiques, qu'écologiques<sup>80</sup>. Cette prise de position contribue également à distinguer la croissance du développement, dans la mesure où ce dernier ne dépend pas uniquement de la croissance, mais passe par une réduction des pressions environnementales et la réduction des inégalités, donc une répartition des fruits de la croissance et des ressources. Ces différentes critiques sociales et environnementales vont déclencher la révolution paradigmatique associée au concept du développement.

Tel que mentionné précédemment, l'idée de durabilité (ou du DD) est très ancienne, apparue implicitement dans l'économie forestière au 18<sup>e</sup> siècle, limitée à la question de la gestion optimale d'une ressource renouvelable<sup>81</sup>. Le terme «durabilité» est utilisé en écologie pour se référer à un état ou une condition qui peut être maintenue sur une période de temps indéfinie. Divers auteurs ont commencé à formuler leurs idées sur le développement durable. J. Coomer a déclaré en 1979 que « *la société durable était une société qui vivait dans les limites auto-entretenues de son environnement, mais ce n'était pas une société sans croissance* ». C'était plutôt une société qui reconnaissait les limites de la croissance et qui cherchait d'autres moyens de se développer<sup>82</sup>. Robert Allen définit en 1980 le développement durable comme « *un développement susceptible de satisfaire durablement les besoins humains et d'améliorer la qualité de la vie humaine* ».

---

<sup>78</sup> Selon l'analyse marxiste, la problématique environnementale représente la seconde contradiction du capitalisme, après les contradictions sociales.

<sup>79</sup>Abdelmalki L., Mundler P., 2010.

<sup>80</sup> Belem G., 2010. P75.

<sup>81</sup> Figuières C., Guyomard H., Rotillon G., 2006, P. 3.

<sup>82</sup>Coomer J. C.1981.

Suite au succès extraordinaire que l'expression du développement durable a connu, nous lui comptons un nombre démesuré de définitions. En 1989, deux années seulement après la publication du rapport Brundtland, Pezzey (1989) dénombrait plus de 60 définitions. Sept années plus tard, Dobson (1996) en comptabilisait plus de 300 définitions<sup>83</sup>. Les différentes définitions plus ou moins précises du développement durable<sup>84</sup> et les conditions de sa mise en place dépendent des contextes culturels au sens large, notamment la discipline des auteurs. Ces définitions créent un certain degré d'ambiguïté conceptuelle qui pose de problèmes d'application. Ce problème se fait ressentir plus dans les initiatives pour le mesurer. Il est aujourd'hui difficile de trouver une mesure économique ou politique qui ne soit justifiée au nom du développement durable. Comme le note Rotillon (2005), l'abondance des définitions et l'usage intensif de l'expression amènent à se poser la question de l'utilité du concept. La multiplicité des définitions rend le concept très vague, qui manque de précision, qui lui associe un caractère multi sens. De plus, une définition trop synthétique empêche une analyse simple du concept et donc une lecture claire et avisée de ses principes.

Évidemment, le sens des définitions varie selon les intérêts de l'auteur, et selon l'importance variable attribuée à chacun des trois piliers du concept. Certains auteurs parlent même de son utilisation comme beaux titres publicitaires convertis au "greenwashing". Il ne sera pas question ici de citer et de confronter ces différentes définitions, notre objectif est de cerner le contenu de concept et de clarifier ses principes. Pour cet objectif, nous prendrons comme référence la définition Brundtland.

Comme déjà cité, en 1987, la CNUED publia le rapport Brundtland, intitulé *Notre Avenir à tous*. Ce document est devenu un texte fondateur du développement durable. Il formule, dans son deuxième chapitre, plusieurs définitions au développement durable. Mais, dans son quatrième chapitre, il adopte une définition qui reste depuis, la référence internationale :

« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la possibilité (la capacité), pour les générations à venir, de pouvoir répondre à leurs propres besoins ».

Cette définition nous intéresse d'autant plus qu'elle a été, depuis le Sommet de la Terre en 1992, la plus diffusée à travers le monde. Il est important de bien cerner cette définition, car les éléments conceptuels et normatifs du développement durable se rattachent directement à cette définition. L'étude de cette définition, dite générique, nous permettra également de déterminer ce que les indicateurs de développement durable doivent incorporer et mesurer.

---

<sup>83</sup> Figuières C., Guyomard H., Rotillon G., op.cit. 2006, P. 3.

<sup>84</sup> Les ouvrages suivants traitent soigneusement et donne un aperçu presque exhaustif de ce débordement de définitions: (Vivien, 2005), (Brunel, 2004) et (Flipo, 2007).

Dans ce même rapport et juste après l'énoncé de la précédente définition à la page 51, deux spécifications fondamentales sont mentionnées. Selon le même rapport « ... *Deux concepts sont inhérents à cette notion...* » du développement durable :

- le concept de *besoins*, et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et

- l'idée des *limitations* que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir."

Ces deux concepts sont à l'origine de la plupart des autres définitions de développement durable. Le rapport opte donc pour une approche du développement durable en mettant un accent particulier sur la satisfaction des besoins.

Cette idée de besoins est basée sur le fait que le développement durable est tout d'abord un modèle de développement. Par évidence la notion de "besoins et leurs satisfactions" fait référence à la notion de bien-être. Ainsi la consommation par habitant ou le PIB par habitant 'qui mesurent le bien-être matériel, ne constituent plus le seul étalon du bien-être global. Le besoin est aussi le désir de vivre dans un environnement propre et sain et aux préférences en matière de justice et d'organisation sociales. Ces besoins et désirs peuvent varier d'une société à l'autre et au cours du temps au sein d'une même société. En termes économiques, Pearce et Barbier, cité par OCDE<sup>85</sup>, voient le développement durable comme « *un développement qui s'inscrit dans la durée* », c.-à-d., une évolution au cours de laquelle la maximisation du bien-être des générations actuelles ne réduit pas le bien-être futur.

Il existe une certaine nécessité d'élargir la définition du bien-être à des considérations autres que la satisfaction des besoins matériels. Le PIB nous a rendus presque aveugles<sup>86</sup>. D'une part, le PIB ne fournit qu'une mesure partielle du bien-être économique. Certaines des activités qui y sont prises en compte induisent en fait une perte de bien-être économique (par exemple la pollution). Par ailleurs, sont considérés comme un revenu des éléments qui, souvent, se traduisent par une réduction du stock d'actifs de la société (comme les revenus issus de l'exploitation des ressources naturelles épuisables). D'autre part, le bien-être économique n'est qu'une composante du bien-être global, dans lequel la satisfaction de diverses aspirations de la société (disparités et exclusion sociale) a leur part, quelle que soit leur importance au plan économique.

La préoccupation sociale était présente dans l'esprit des auteurs, comme l'affirme l'extrait suivant qui figure quelques lignes plus loin dans le rapport Brundtland après la définition précédente : « *Même la notion étroite de soutenabilité physique implique un souci d'équité sociale entre les générations, souci qui doit logiquement être étendu à l'équité à l'intérieur de chaque génération* ». C'est sans doute pourquoi la conception du

---

<sup>85</sup> OCDE. 2001. P.12.

<sup>86</sup>Stiglitz lors de la présentation du rapport Stiglitz, Sen, Fitoussi, 2009.

développement durable appréhendé, depuis le sommet de Rio, au moyen des trois piliers (économique, social, environnemental) constitue actuellement la toile de fond de la majorité des débats. Cependant, il faut reconnaître que cette préoccupation sociale ne figure ni explicitement ni implicitement dans la définition précédente du DD ce qui rend le sens conventionnel du DD suffisamment vague pour faire consensus.

Cette définition a généré deux approches de la durabilité, l'une faible, l'autre forte, selon l'objectif<sup>87</sup>. Ces deux approches seront étudiées en profondeur dans le chapitre 02.

Avant de procéder à une étude analytique comparative, il convient de commenter les vertus pédagogiques du rapport.

Ce rapport Brundtland, commandé par les Nations Unies, prend formellement le contre-pied du Club de Rome, voire la première section de présent chapitre, pourvoyeur de la "croissance zéro", revendiquant les dangers que représente une croissance économique et démographique exponentielle vis-à-vis du stock de ressources disponibles et des écosystèmes naturels. Le rapport Brundtland soutient la poursuite de la croissance, indispensable pour la satisfaction des besoins, qui considère comme une condition nécessaire à l'élimination de la pauvreté qui cause la dégradation environnementale. Les objectifs de croissance affichés sont même ambitieux : plus de 5% dans la plupart des pays en développement<sup>88</sup>. Avec cette proposition, le rapport Brundtland rejette la vision traditionnelle du progrès social qui évalue le bien-être uniquement selon des critères économiques. Il associe à l'idée de développement durable sept d'objectifs spécifiques : la reprise de la croissance, la modification de la qualité de la croissance, la satisfaction des besoins essentiels<sup>89</sup> en ce qui concerne l'emploi, l'alimentation, l'énergie, l'eau et la salubrité, la maîtrise de la démographie, la préservation et la mise en valeur de la base de ressources, la réorientation des techniques et gestions des risques, et l'intégration des considérations relatives à l'économie et à l'environnement dans les prises de décision.

Le rapport, dans sa page 61, propose de redéfinir la croissance économique en tenant compte de son contenu écologique et de sa répartition et de « ... faire en sorte qu'elle engloutisse moins de matières premières et d'énergie et que ses fruits soient répartis plus équitablement ».<sup>90</sup>

Le rapport Brundtland préconise d'ailleurs une nouvelle ère de croissance économique, en s'appuyant sur des politiques garantes de protection et de la mise en valeur des ressources

---

<sup>87</sup>Jacquet P., Tubiana L., 2006. P. 248.

<sup>88</sup>Abdelmalki L., Mundler P., 2010, P.31.

<sup>89</sup> Le rapport Brundtland fait référence aux besoins essentiels, mais il ne les décrit pas. Ce qui constitue un problème pour l'opérationnalisation et la mesure du DD. Le rapport ne laisse pas le champ vide puisque il se concentre sur l'équité sociale.

<sup>90</sup> Il propose un remaniement de l'ordre économique international. Par exemple, pour remédier aux inégalités de commerce international, il préconise la création d'un système de compensation des pertes encourues du fait des termes de l'échange entre le Sud et le Nord.

nécessaires, d'une nouvelle gestion des ressources de l'environnement pour assurer un avenir au développement lui-même, de la promotion d'un développement, en particulier au Sud, qui utilise, à son profit, les lois naturelles.

Cette définition insiste tout d'abord sur la notion de "besoin" et plus particulièrement sur les besoins essentiels des plus pauvres. L'attention portée à ces populations, mais aussi aux générations futures, dépend de la lutte contre les dégradations écologiques qui se multiplient (désertification, déforestation, pluies acides, effet de serre, etc.). D'autre part, il y a l'idée de nos limites technologiques et de notre organisation sociale par rapport à la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. Le Rapport Brundtland réclame une stratégie qui permet de conjuguer développement et préservation de l'environnement. Ainsi, le sens du DD additionne les notions de ; le développement économique assimilé à la croissance économique, l'amélioration des conditions sociales et la préservation des ressources naturelles.

Certains spécialistes évoquent de pléonasmie dans l'expression de développement durable puisqu'il serait redondant d'y ajouter le critère de durable représenté par l'expression de "satisfaction des besoins des générations présentes et futures", car les définitions des notions, de croissance et du développement, les intègrent d'une manière ou d'une autre.

La notion de limitations est une référence aux limites physiques et biologiques de notre planète et aussi aux limites de l'environnement de supporter les effets de l'activité humaine ; par conséquent, il faut limiter le développement en adoptant un mode de vie qui respecte ses limites de la planète. Autrement dit, il existe des limites au développement et ces limites sont imposées par la capacité de l'environnement à maintenir l'activité humaine. L'idée de limitations fait apparaître une notion de durée dans le développement. En effet, le développement, pour qu'il soit durable, doit être défini en fonction de la durée. Un élément largement étudié par H. Daly, voir section 2 de chapitre 2.

### **3.2- Critiques au développement durable**

Évoquer ces critiques au DD est une façon de bien montrer que les travaux théoriques et surtout pratiques<sup>91</sup> sur le contenu de DD sont loin d'être achevés. Elles sont aussi une façon de montrer que les travaux sur la durabilité et sa mesure viennent juste de commencer.

Il apparaît, après trente ans de recherche et de débats scientifiques et politiques, que la notion de DD n'est pas affirmée et que son sens n'a pas encore une forme rigide stable qui fera consensus dans le monde. Le sens reste encore gélatineux et facilement modulable en multitudes de formes ambiguës et opposées. Il s'agit d'un concept qui reste multiforme et recouvre un certain nombre d'ambiguïtés et d'ambivalence au point qu'il paraît très difficile de proposer une définition complète et achevée. L'opération devient plus complexe pour

---

<sup>91</sup> La mise en pratique sur le terrain des notions de développement durable.

dégager une définition qui porte sur les objectifs qu'elle se fixe, et sur les moyens d'y parvenir. Cette ambiguïté trouve son origine dans l'acte de naissance du développement durable, le rapport Brundtland. En effet, comme mentionné précédemment, ce rapport soulève bien l'ensemble des problématiques liées à la relation de l'homme à la nature, mais il reste assez modeste sur les voies de solution. Le rapport a diagnostiqué clairement la maladie, mais il n'a pas proposé un remède définitif, c.-à-d. une alternative au mode du développement actuel. Il a laissé en suspens la détermination des moyens pour résoudre les problématiques soulevées, ce qui donnera lieu à de multiples interprétations. Worster 1993 soutient que le développement durable repose sur des «bases précaires», car des critères spécifiques de durabilité n'ont jamais été formulés, laissant ainsi la porte arrièrè aux défenseurs de la croissance économique et au matérialisme progressiste pour détourner le concept de développement durable à leurs fins. La pensée écologique d'avant 1970 a été corrigée pour faire de nouveau des exigences matérielles de l'espèce humaine le test principal de ce qui devrait être fait avec la Terre<sup>92</sup>.

Sil'expression et l'idée de développement durable font l'unanimité, la définition Brundtland, qu'Audrey et al<sup>93</sup> qualifient de «méthodologique»<sup>94</sup>, n'épuise pas le contenu, ce qui laisse aux acteurs qui s'en emparent, la possibilité de le modeler selon leurs points de vue, leurs intérêts et leurs systèmes de valeurs.

Les premières critiques sont liées à l'ambiguïté du concept qui ouvre la porte à deux critiques importantes. Premièrement, selon certains analystes, l'opérationnalisation du DD n'est possible que s'il existe une seule définition précise. Selon Beckerman (1994), pour que le concept de durabilité soit utile d'un point de vue opérationnel, il ne doit pas seulement être une expression de valeurs sociales ou des préférences politiques déguisées en langage scientifique, mais aussi définir un ensemble de critères mesurables. Deuxièmement, un manque de précision dans la définition permet à certains groupes d'utiliser la notion de 'durabilité' pour des produits, des projets ou des politiques même si cette déclaration n'est pas confirmée. Selon Jacobs, l'imprécision des définitions permet à certains groupes de prétendre qu'elles sont favorables au DD alors qu'elles sont effectivement les auteurs d'une insoutenabilité.

Pour Theys, 2001, le DD tel que défini par le rapport Brundtland représente « *une ambiguïté potentiellement très riche, mais extrêmement propice à la mauvaise foi* ». <sup>95</sup> La notion du DD est utilisée par tous et partout comme un fonds de commerce à des fins mercantiles (green washing). Le DD se présente ici comme une nouvelle idéologie. Il s'agit d'une notion suffisamment flexible pour qu'elle puisse être aisément utilisée par tous les

---

<sup>92</sup>Worster, D. 1993.

<sup>93</sup>Audrey A. et al, 2002. P. 1.

<sup>94</sup> Une définition qui englobe toute réflexion sur l'intergénérationnel.

<sup>95</sup>Belem G., 2010.

grands groupes multinationaux, y compris ceux qui polluent le plus. Comme nous pouvons le comprendre de la déclaration de Michel Edouard Leclerc dans *Le Nouvel Économiste* de 26 mars 2004, « *Le terme [développement durable] est tellement large, mis à toutes les sauces, que tout le monde peut le revendiquer. Et puis, c'est vrai, c'est un concept à la mode. Tant dans le monde des entreprises que dans tout débat de société. Et alors ? De tout temps, les marchands ont su récupérer les bons slogans* ».

Veiga, 2005, distingue trois interprétations divergentes<sup>96</sup>: 1) Ceux qui croient que les théories économiques pourraient être perfectionnées pour répondre au problème environnemental; 2) Ceux qui croient qu'il est possible de concilier croissance économique et conservation de l'environnement et 3) Ceux qui étudient les complémentarités entre développement économique et développement.

Nous pouvons constater une large diversité des acteurs, de leurs valeurs et de leurs intérêts. En témoigne une définition de président de British Petroleum en 2001 : « *Le développement durable, c'est tout d'abord produire plus d'énergie, plus de pétrole, plus de gaz, peut-être plus de charbon et de nucléaire, et certainement plus d'énergies renouvelables. Dans le même temps, il faut s'assurer que cela ne se fasse pas au détriment de l'environnement* »<sup>97</sup>. En d'autres termes, il s'agit de polluer plus pour sauver l'environnement. Cela est assez typique des paradoxes auxquels parvient la notion de développement durable, et il est inévitable que les entreprises, visant à maximiser rationnellement leur fonction de production, utilisent cet argument comme outil de valorisation : l'EDF, par exemple, puisque le nucléaire permet de limiter les rejets directs de gaz à effet de serre ; l'agrochimiste Monsanto, puisque certaines de leurs plantes transgéniques permettent de limiter la diffusion de pesticides... Et les cas similaires se multiplient à l'infini.<sup>98</sup>

Les deuxième critiques sont liées à l'ambivalence du concept. En effet, le concept du DD comporte certaines contradictions intrinsèques<sup>99</sup>. Ces contradictions sont à l'origine de la difficulté à dégager une définition précise et unique. Un concept qui dégage un consensus quasi-général ce qui met encore en difficulté son opérationnalisation.

Par l'opérationnalisation du DD, nous sous-entendons toutes les mesures pour sa mise en œuvre sur le terrain: les étapes de planification, de suivi et de reddition de comptes sur les objectifs de DD ; qui aura comme buts de rendre effectives les actions planifiées et d'en mesurer les résultats dans une approche intégrée.

Certains évoquent certaines contradictions dans la notion du DD et ils le considèrent comme un concept porteur de contradictions. L'interrogation porte ici sur la possibilité de dégager une cohérence entre une approche en défense du bien-être (économique, social et

---

<sup>96</sup>Soares Jr. 2008.

<sup>97</sup>Boiral O., 2007. P. 104.

<sup>98</sup>Tarrit F., 2011. P.3.

<sup>99</sup>Seghezze L.. 2009. P. 547.

environnemental) de l'humanité et une approche économique orthodoxe (dominante). Nous pouvons choisir de l'interpréter sous l'angle du « développement » ou sous l'angle de la durabilité (soutenabilité). Si nous partons du développement, il s'agit de poursuivre les pratiques porteuses de croissance, et ce de manière durable. Si nous nous attachons à l'aspect durable ou soutenable, il est question d'interroger les effets du développement sur les autres aspects dont il est question ici, à savoir l'équité sociale et la préservation de l'environnement. La notion de développement elle-même est floue, car elle peut se rapporter soit au développement économique, soit à la croissance économique. Il s'agirait alors de chercher le moyen de détacher progressivement le développement de la croissance. Si le développement durable est la conciliation entre croissance économique et protection de l'environnement, et si nous admettons l'hypothèse selon laquelle la croissance économique est nécessairement porteuse de pollution supplémentaire, il est nécessaire de dégager les outils permettant de dépasser cette contradiction.

Les troisièmes critiques sont liées à l'imprécision des objectifs du DD. Comme nous l'avons déjà signalé auparavant, le développement durable s'appuie sur trois piliers. Par conséquent, le DD se décline en trois objectifs essentiels ; le bien-être économique, le respect de l'environnement et l'équité sociale. Un certain nombre de difficultés apparaissent et sont intimement liées à la difficulté de coordination de ces trois éléments, notamment, si la nature antagoniste de ces éléments est en compte. Or, l'énoncé du développement durable donne peu d'outils pour trancher ce délicat problème. En particulier, la notion de besoins et de leur satisfaction, la notion essentielle de la définition Brundtland, liés à la notion de bien-être des générations. Il est très difficile de donner une définition précise du bien-être des générations présentes, et *a fortiori* de la quantité de ressources qui correspond à ce bien-être<sup>100</sup>. L'opération devient presque impossible pour préciser ceux des générations futures. Par exemple ; les besoins sont-ils satisfaits lorsque chacun dispose de 0,5 tep/an (consommation moyenne d'un Indien) ou lorsque chacun dispose de 7 tep/an (consommation moyenne d'un Américain) ? L'objectif recherché en termes de bien-être sera celui d'un Indien ou celui d'un Américain ?

La difficulté porte ici sur la notion de besoin. Il est éventuellement possible de trouver un accord en ce qui concerne les besoins vitaux (boisson, nourriture, chauffage, sécurité, capacité de reproduction...), même s'il n'est pas exclu de penser que la notion de besoin primaire est, pour partie, socialement déterminée. En revanche, il apparaît clairement qu'aucun niveau précis de consommation de ressources ne permet de déterminer quels sont les besoins au-delà de ce niveau.

La difficulté devient épineuse pour déterminer un objectif social ou ce qui est soutenable en matière sociale. Puisque nous pouvons admettre qu'en matière

---

<sup>100</sup>Tarrit F., 2011. P.4

environnementale, les objectifs chiffrés, même s'ils sont difficiles à établir, ont une signification objective, facilement quantifiables : le niveau de consommation et de dégradation du capital environnemental. Il est ainsi possible de se doter d'un langage commun et éventuellement de définir un objectif admis par tous, quantité maximale de consommation ou de pollution dans un intervalle du temps donné. En matière sociale, le problème qui se pose porte là sur une définition de ce qui est équitable. Puisque, dans la logique du DD, il ne s'agit pas d'égalité, mais d'équité. Une société équitable est-elle celle dans laquelle aucun enfant de moins de huit ans ne travaille, ou celle dans laquelle aucun enfant de moins de huit ans ne fait de travail pénible, ou celle dans laquelle aucun enfant ne travaille ? Une société équitable est-elle celle dans laquelle l'écart de revenu entre salariés et dirigeants d'entreprises ne dépasse pas l'ordre de 1 à 10, de 1 à 100... La norme est difficile à établir.

Le concept de développement durable soulève ainsi un certain nombre de difficultés quant à sa définition, ses objectifs, et son opérationnalisation, qui sont loin d'être résolues. Bien qu'il n'existe pas une définition unique, acceptée par tous, de ce qu'est le développement durable, nous retiendrons dans notre travail le consensus selon lequel il recouvre les trois aspects : économie, social et environnement.

Il existe d'autres critiques du développement durable d'ordre idéologique. Sans trop les détailler, nous voyons la nécessité de les évoquer brièvement. Dans son développement historique, le concept est apparu comme une occidentalisation, et il conduit à se positionner en faveur d'une poursuite du développement sous sa forme actuelle, au sens de Rostow 1960. Ainsi, il n'est pas absolument nécessaire que toute société voie le mode de vie occidental libéral comme aboutissement. Ce concept peut ainsi être considéré comme ethnocentrique, et la logique de développement réellement peut n'être que celle d'occidentalisation du monde. Une critique similaire revient à formuler l'hypothèse que ce concept est une idée recommandée par les classes bourgeoises des pays développés qui, sous couvert de prôner l'épanouissement des sociétés futures, souhaitent empêcher les pays les plus pauvres de parvenir à un degré de richesse significatif. Le développement durable ne remettait pas en question l'idéologie de la croissance économique et ne remettait pas en cause de manière adéquate la culture de consommation, et servait donc les intérêts néolibéraux. Selon Mitcham 1995, malgré l'honnêteté politique du concept de développement durable, des partis radicaux et conservateurs le critiquent. Les pays moins développés se méfiaient du fait que le développement durable pouvait être une idéologie imposée par les pays industrialisés riches pour imposer des conditions et des règles plus strictes en matière d'aide aux pays en développement<sup>101</sup>. Nous craignons que le développement durable soit simplement utilisé pour maintenir l'écart entre les pays développés et les pays sous-développés<sup>102</sup>. Pourtant, la croissance soutenable fustige surtout la richesse des catégories les plus favorisées qui, par leur

---

<sup>101</sup>Abbas H. 2011.

<sup>102</sup> Mitcham C., 1995.

surconsommation, leur pollution et leur gaspillage, mettent directement en danger les populations les plus en danger, socialement et économiquement.

En rejetant la vision traditionnelle du progrès social où le bien-être est évalué selon des critères économiques, le rapport Brundtland propose un changement dans la conception du développement dans la mesure où la « *problématique des besoins et du bien-être doit intégrer d'autres variables en plus des variables économiques telles l'éducation et la santé comme des fins en soi, la pauvreté, la protection de la nature dans toutes ses dimensions* ». Ainsi, il y' aura une certaine confirmation que la conception du DD, tel qu'elle est abordée dans le rapport Brundtland, comporte un certain changement du paradigme. Mais, de loin, *cette conception ne fait pas l'unanimité dans la théorie du développement*, ce que nous essayerons de clarifier dans la section suivante.

### **3.3- Conceptions du DD dans le paradigme de la théorie du développement**

À présent, notre objectif consiste à positionner le concept, ou la conception, du DD dans le paradigme de la théorie du développement.

Le caractère moins précis et malléable de DD le rend propice à des interprétations aussi larges et diversifiées que contradictoires. Ceci signifie par ailleurs que les diverses interprétations du développement durable sont révélatrices des tensions que les questions environnementales et sociales suscitent entre les acteurs. Le développement durable donne lieu à des interprétations diverses et à des pratiques plus ou moins en rupture avec le modèle du développement. Il existe une certaine divergence. Certains auteurs tels que Latouche et Rist voient que le DD s'inscrit dans la continuité du paradigme de la théorie de développement. Les autres, tels que Waub et Strong, voient que la notion de DD marque une rupture, un renouvellement paradigmatique de l'approche du développement.

Cette section fournira un aperçu des propositions économiques liées à la durabilité. Essentiellement, selon Franck-Dominique Vivien<sup>103</sup>, les interprétations de la conception de DD sont réparties en trois catégories : internalisation (conservatrice), réconciliation (modérée) et complémentarité (progressiste) entre les trois piliers du DD.

#### **3.3.1- Internationalisation**

Une conception plus courante dans les milieux d'affaires. Cette première interprétation du DD se traduit souvent par l'utilisation indifférenciée des expressions « croissance durable », « rentabilité durable », ou encore par l'idée que « l'environnement et l'économie vont de pair ». Elle favorise le statu quo et rejette toutes modifications. Rejetant l'idée qu'il puisse y avoir une contradiction entre logique économique et dynamique environnementale. Cette conception unipolaire du DD fusionne en quelque sorte environnement et économie

---

<sup>103</sup> Vivien F.-D., 2008. P. 2.

dans un même mouvement d'optimum et d'efficacité. Le développement est assimilé à la croissance, ainsi la croissance reste la seule solution aux autres problèmes. De ce fait, les changements envisagés représentent des ajustements à la marge et le DD est assimilé à la croissance durable<sup>104</sup>.

C'est la vision de modèle orthodoxe dominant qui assimile le progrès à la croissance économique et au développement, ce qui fait ainsi de la poursuite de la croissance comme objectif du développement. C'est la vision libérale du DD. Elle consiste à généraliser encore le principe d'économie du marché afin que l'allocation des ressources naturelles épuisables continue de se faire sur la base unique des contrats de droit privé. Cette logique préside à la création d'un nouveau marché des droits à polluer.

En gardant le même paradigme traditionnel des théories de développement classique, cette conception de durabilité traite l'environnement comme une nouvelle donnée qu'il suffit d'internaliser dans le modèle de développement dont les fondements demeurent pertinents<sup>105</sup>. Le principe de l'économie libérale d'autorégulation de l'économie par le marché (la main invisible d'Adam SMITH...) demeure fondamental.

Il est possible d'améliorer à la fois la performance économique et la performance environnementale. Mais ce constat n'est pas toujours vérifié, à plus ou moins longue échéance, des contradictions entre rentabilité et environnement réapparaissent. Les économistes sont les premiers à faire valoir que les mécanismes de marché ne donnent pas les bons signaux de prix en matière d'environnement et qu'il est nécessaire de les corriger pour parvenir à une allocation optimale. À l'échelle de l'entreprise, bien des investissements visant la protection de l'environnement pourraient difficilement se qualifier en vertu des normes usuelles de retour sur investissement. C'est pourquoi nous nous serons guère surpris d'apprendre que c'est la réglementation, et non l'efficacité ou la rentabilité, qui constitue le premier facteur de motivation à la modernisation environnementale des entreprises. Derrière les souhaits et les bons vœux, la contradiction économie/environnement subsiste.

Depuis 1992, les initiatives se multiplient de part et d'autre pour aller dans le sens de l'intégration de nouvelles valeurs et règles dans les divers actes économiques, soit en s'appuyant sur des outils incitatifs ou réglementaires, soit sur la base d'actes volontaires. Ces initiatives allant dans le sens d'un appel à l'éthique, d'une responsabilité sociale et environnementale des acteurs économiques sont peut-être précurseur d'une nouvelle économie mondiale et locale, visant de nouveaux rapports entre les hommes et entre les humains et la nature.

John Hicks, 1941 a rejeté le concept d'«état stationnaire» en faveur de celui d'«économie progressiste». Il a souligné que dans le processus de développement économique,

---

<sup>104</sup> Belem G., 2010. P.60

<sup>105</sup> Godard, 1998, P. 227, cité par Figuière et al, 2014, P. 19.

la quantité de capital par unité de travail ne devrait pas diminuer, car cela diminuerait le potentiel de croissance des générations futures<sup>106</sup>.

### 3.3.2- Réconciliation

Cette deuxième conception, dite modérée, part du constat de la contradiction entre économie et environnement. Pour cette conception, amorcée par l'économie environnementale, le développement durable consiste essentiellement à réconcilier ces deux dimensions conflictuelles en internalisant les externalités<sup>107</sup>.

Les difficultés viennent de ce que chaque dimension fonctionne selon sa logique propre, lesquelles ne sont pas nécessairement compatibles ou pire encore, toutes à fait contradictoires. Ainsi, l'économie, comme accumulation croissante des richesses, se heurte à une écologie tangible, circulaire, finie et irréversible. En partant de ce constat, cette deuxième conception du DD semble dominée par des considérations structurelles requérant des réflexions de portée technique. Or, en y regardant de plus près, il montre que l'opposition écologie/économie cache en fait une controverse beaucoup plus profonde en ce qui concerne la conception de l'économie et de l'organisation sociale. En effet, l'harmonisation de ces deux sphères peut prendre des formes assez contrastées selon la conception de l'économie et le type d'articulation du champ économique avec le champ social et politique<sup>108</sup>.

Cette vision favorise une certaine domination de la logique économique et particulièrement marchande. Elle soutient la gestion marchande de l'environnement à partir de taxes ou de permis échangeables<sup>109</sup>. Ainsi, elle favorise le questionnement de l'économie comme principe organisateur de la société.

Pour les tenants de l'approche néoclassique et ceux de l'école des droits de propriété, le marché, par son caractère neutre et décentralisé et surtout autorégulateur, demeure l'instrument par excellence d'une allocation optimale des ressources. Toutefois, la nature collective des biens environnementaux brouille le mécanisme de la régulation marchande, ce qui entraîne des externalités et une surconsommation des ressources.

L'école des droits de propriété ou du choix rationnel propose une solution simple : il suffit de privatiser l'environnement de telle sorte que puissent se déployer dans toute leur efficacité les mécanismes de marché assurant ainsi une allocation optimale des ressources. L'approche néoclassique propose plutôt de créer des marchés grâce à l'instauration de taxes, de permis échangeables et autres ayant pour but de protéger l'environnement ; il s'agit de ce que nous appelons communément les instruments économiques de protection de l'environnement. Dans les deux cas, le niveau optimal de protection de l'environnement résulte

---

<sup>106</sup> Hicks, J. 1941. P. 302.

<sup>107</sup> Vaillancourt J.-G, 2004.

<sup>108</sup> Belem G., 2010. P.60.

<sup>109</sup> Idem.

d'une dynamique de marché, ce qui traduit une préséance absolue de la logique économique, considérée valable et légitime, sur la dynamique écosystémique. Celle-ci n'est prise en compte qu'à travers les effets qu'elle peut avoir sur l'ordre économique.

Par ailleurs, même si elle propose la « création » de marchés dans le cas exceptionnel et particulier de l'environnement, l'approche néoclassique n'en reconnaît pas moins le caractère auto-institué du marché pris dans son sens plus général. À l'instar de l'école des choix rationnels, elle adhère sans réserve à l'autorégulation du marché dans sa conception.

À l'opposé, plusieurs courants hétérodoxes avancent l'idée que l'économie repose sur une série d'institutions sociales qui sont autant de convention ou de compromis entre les acteurs sociaux. Même si l'économie possède une logique qui lui est propre, elle est encadrée dans un système politique et social qui en détermine les règles du jeu. Dans cette optique, la valeur d'un patrimoine écologique non transformé et la comptabilité des ressources naturelles traduisent des choix ou des compromis sociaux sur l'usage de l'environnement dans le cadre d'un paradigme sociétal particulier. En vertu de la comptabilité nationale traditionnelle révélatrice du paradigme industriel, l'environnement non transformé ne constitue pas plus un actif susceptible de fournir des dividendes qu'une richesse en soi. Or, la crise environnementale vient bousculer ces compromis en redessinant la base matérielle qui leur avait servi d'arrière-plan : des ressources naturelles et une capacité de charge illimitée, de grandes régulations imperturbables, une science toute puissante.

Cette conception de l'économie est intéressante non pas dans la mesure où elle permet effectivement d'harmoniser les deux logiques, mais parce qu'elle met l'accent sur le caractère essentiellement social et conventionnel d'une économie qui perd dès lors sa valeur à titre de principe organisateur de la société. En conséquence, c'est à travers la conclusion de nouveaux compromis sociaux et la transformation des valeurs environnementales que nous pouvons espérer modifier le cadre économique.

### **3.3.3- Complémentarité**

La troisième et la dernière conception du DD, qualifiées de progressistes, adoptent une approche tripolaire, se caractérisent précisément par la reconnaissance d'une dimension sociale autonome dont l'intersection avec les dimensions environnementales et économiques délimite la notion du DD<sup>110</sup>. Cette approche reconnaît la non-substituabilité des dimensions sociale, écologique et économique. Ainsi, les trois précédentes dimensions se voient autonomes et complémentaires l'une pour l'autre pour garantir un développement durable. Selon cette perspective, les principes sur lesquels repose la notion de DD sont donc l'équité, l'efficacité et l'intégrité.

---

<sup>110</sup> Vaillancourt J.-G. 2004.

Cette conception tripolaire popularisée par l'Union Mondiale pour la Conservation de la Nature correspond à la définition la plus couramment admise du DD. Elle est reprise par plusieurs organismes. Avec sa prise en compte de la dimension sociale, la définition tripolaire du DD, elle s'affiche généralement comme la conception la plus progressiste. Elle met l'accent sur les besoins fondamentaux et l'équité, et renouvelle l'importance du milieu naturel comme contenant. Toutefois, en y regardant de plus près, cette définition recouvre elle aussi des positions idéologiques très différentes. La signification et les implications d'une définition tripolaire du développement durable varient considérablement selon la définition, l'autonomie et la priorité accordée à chacune de ces trois composantes<sup>111</sup>.

Le développement durable n'est pas nécessairement une révolution paradigmatique, tout dépend de l'interprétation que nous lui donnons. Nous comprenons bien les anomalies liées au concept du développement. Le progrès économique ne se transforme pas automatiquement en progrès social (la pauvreté persiste) et génère de la dégradation de l'environnement. La conception du développement durable fait des efforts méthodologiques pour tenter d'internaliser ces anomalies et les prendre en considération. L'économie néoclassique a développé des outils pour les internaliser et donne plus d'importance à la dimension sociale de développement.

Le DD en tant que révolution paradigmatique est plus proche de l'utopie qu'un véritable projet de société alternatif. Une nouvelle vision de progrès trop ambitieuse pleine d'excès d'optimisme. Le DD constitue bien davantage un nouveau paradigme<sup>112</sup> à l'intérieur duquel pourront se nouer de nouveaux compromis qui tiendront compte des contraintes écologiques et sociales.

#### **Section 4- Approches économiques du développement durable**

Depuis ses origines, la pensée économique a adopté une approche instrumentale de la nature, la considérant comme une ressource susceptible d'être exploitée. Selon O. Godard, l'origine de concept du DD doit être recherchée dans des courants de pensée qui s'articulent autour de la même thématique, mais qui se différencient par l'emprunt d'outils conceptuels à des disciplines variées.<sup>113</sup>

Tel que mentionner auparavant, la notion du DD, née dans le champ politique, est largement débattue parallèlement par des scientifiques, des hommes d'affaires et des politiciens ce qui rend sont contenu à la fois flou et complexe, si ce n'est pas contradictoire. Pour cette raison, nous voyons nécessaire d'établir une sorte de typologie des différentes visions pour aider à éclairer et à s'orienter dans le 'brouillard' des positions. Il résulte du cadre propre à chacune qu'elles se basent sur des hypothèses contradictoires et donnent des

---

<sup>111</sup>Gendron et Revéret, 2000, cités par Belem, G., 2010.

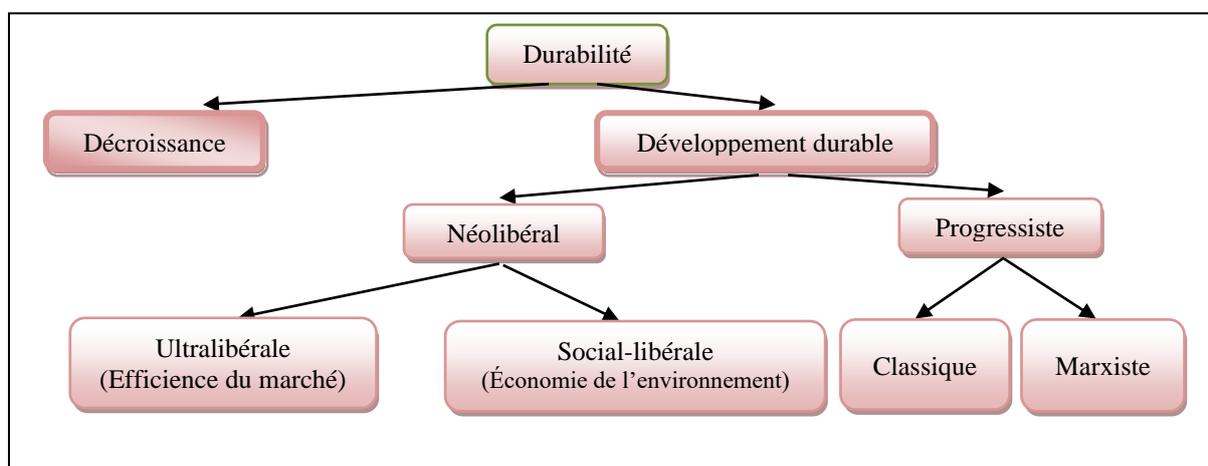
<sup>112</sup>Lauriol J., 2004. P.139.

<sup>113</sup>Beaumais O., chiroleu-assouline M., 2001. P 10.

définitions spécifiques à la notion de durabilité, d'où il découle un large éventail de recommandations plus ou moins contradictoires.

À l'exception des partisans de la décroissance, tout le monde ou presque revendique maintenant le DD. La décroissance prône *l'après-développement*, l'impossibilité d'une croissance matérielle perpétuelle dans un monde fini. Ce sont les partisans de la décroissance qui portent les critiques les plus vives à la notion de DD vu comme la possibilité de polluer plus longtemps<sup>114</sup>. Parmi les partisans du DD, nous distinguons généralement deux familles principales qualifiées de conservatoires, dénommées «néolibérale» (ou «ultralibérale») et «social-libérale», auxquelles s'ajoute une mouvance plus disparate qui peut-être qualifiée de «contestataire» ou «de progressiste»<sup>115</sup>.

**Figure 1.2: Arborescence des approches économiques du développement durable**



Source : Élaborée par nos soins.

Les deux familles, *ultralibérale* et *social-libérale*, regroupent la majorité des partisans du DD. Elles sont qualifiées de *conservatrices* parce qu'elle recommande de conserver le système capitaliste (la concurrence marchande et de libéralisme économique et politique), la seule condition de l'obtention de la croissance. Au sein de ces familles, le social est absent de la notion de durabilité. À partir du moment où cette croissance profitera automatiquement à tous, nous pouvons aussi parler du DD. La croissance comme objectif et mesure du progrès sociétal n'est pas remise en cause ici, seule la façon de la mesurer est en débat.

La vision *néolibérale* donne foi au marché et encourage la privatisation de toutes les ressources naturelles surtout les ressources épuisables. R. H. Coase (1960), dans le prolongement des travaux de A. Marshall (1906) et de A. C. Pigou, défend la privatisation de l'environnement comme moyen d'internaliser les externalités sur le marché<sup>116</sup>. Certes, ce marché présente des failles, mais l'intervention de l'État n'est pas nécessaire pour y remédier,

<sup>114</sup> Ariès P., 2007. P. 170.

<sup>115</sup> Billaudot B., Destais G. 2009.

<sup>116</sup> Abdelmalki L., Mundler P., 2010.

le remède étant jugé pire que le mal. En matière de DD, cela revient à retenir que la durabilité s'imposera par la force des choses, si nous laissons jouer librement le marché économique.

La vision *sociale libérale* au contraire encourage l'intervention de l'État. D'une part, elle ne limite pas la liste des biens publics : cette liste dépend de l'ampleur des failles du marché. D'autre part, pour tous les biens qui demeurent privés, elle juge que des interventions publiques sont nécessaires pour remédier à certaines de ces failles (pouvoir de marché, absence de transparence, coûts de transaction ou externalités, etc.). Des failles qui mettent en jeu la possibilité que le développement soit durable.

Par opposition, les points de vue dits *contestataires* renvoient à une *position progressiste* au sens où l'objectif du DD nécessite des transformations institutionnelles à même de porter un autre paradigme du développement que celui existant jusqu'à présent. Il ne peut être durable un développement présent qui est considéré à tel ou tel titre comme un progrès si un tel progrès est interdit aux générations futures. Elle recommande un changement institutionnel, en distinguant nettement ce qui est économique de ce qui est social, pour que le développement soit durable, or le développement tel qu'il s'opère actuellement avec les institutions en place ne peut être qualifié de durable. Nous distinguons la croissance économique de progrès social. La durabilité ne correspond pas à la croissance durable, qui devrait être rejetée comme un mauvais oxymore<sup>117</sup>. La vision des progressistes n'est pas unique, nous retrouvons la vision classique (marché/État) ou la vision marxienne (l'économique relève de façon dominante du mode de production capitaliste). Certains de ceux qui s'en remettent à la vision marxienne considèrent même qu'il faut « rompre avec le capitalisme » pour parvenir à un développement durable et voient le capitalisme comme l'origine des déséquilibres économiques, sociaux et écologiques.

#### **4.1- Branches d'analyse du DD**

La science économique, par l'intermédiaire de différents courants de pensée économiques notamment classique et néoclassique, contribue à l'émancipation de la notion du développement durable, enrichissant ainsi le débat public de ces différents points de vue.

Suite à l'annulation des accords de Bretton Woods, deux mouvements opposés, et donc forcément conflictuels, se dessinent. Le premier vise à généraliser le principe du marché efficient, celui qui déclare notamment le régime de change flottant, comme le nouvel ordre mondial, qui fera la promotion du marché efficient à l'échelle mondiale et débouche sur le consensus de Washington. Le deuxième tourne résolument vers la problématique environnementale pour en faire un élément incontournable dans le nouvel ordre économique mondial et débouche sur le concept du développement durable.

---

<sup>117</sup>Daly H. E., 1990, P.4.

Le premier mouvement cherche à réformer les institutions internationales (FMI, OMS, BM) et part de principe que les objectifs contenus dans le consensus de Washington peuvent évoluer pour donner lieu à des règles de gouvernance souples, tenant compte des différences institutionnelles entre pays. Ce mouvement conclut à la nécessité de poursuivre un sentier de croissance aussi élevé que possible. Le deuxième mouvement cherche à concilier la croissance économique avec les objectifs de réduction de la pauvreté et de la pollution. Il débouche sur une réforme plus radicale des institutions internationales, en réclamant notamment une organisation internationale de l'environnement chargée de rendre le concept du développement durable opérationnel<sup>118</sup>.

Trois branches d'analyse peuvent être distinguées : l'économie de marché efficient, l'économie de l'environnement et l'économie écologique. Elles sont brièvement abordées dans ce qui suit. Ces trois branches témoignent les divergences (selon les priorités des acteurs) dans la mise en place pratique d'une politique de développement durable.

#### **4.1.1- Économie du marché efficient**

Du point de vue du marché libre, il a été soutenu que les politiques de développement durable étaient inutiles, car l'ingéniosité humaine serait à la hauteur de la tâche de faire face aux problèmes de croissance et du développement. Une branche qui propose l'internalisation comme conception du DD conformément à la vision ultralibérale.

Une telle approche renvoie aux économistes classiques optimistes, classés parmi les économistes orthodoxes, l'opposé des classiques pessimistes partisans, d'une manière ou d'une autre, de la décroissance. Adam Smith par exemple, en s'appuyant sur la notion de la main invisible autorégulatrice du marché, était confiant en la croissance économique, et il conçoit la croissance de la population comme un complément de la croissance économique, elle-même créatrice de richesses, d'emploi et vecteur d'amélioration du niveau de vie. La croissance est ainsi la condition nécessaire du progrès et de la stabilité sociale. Les partisans de cette approche jugent que le DD s'imposera par la force des choses<sup>119</sup>, fondant ainsi la version ultralibérale telle que définie précédemment.

Cette branche considère que le progrès technique peut résoudre les problèmes environnementaux dans un contexte de marché concurrentiel. Ce courant de l'efficacité économique (laisser faire le marché) et son instrument privilégié l'analyse coûts/bénéfices : cette conception se fonde sur l'utilitarisme et sur les droits de propriété<sup>120</sup>. La disparition progressive des ressources (minérales, végétales...) modifie la valeur de leurs prix sur le marché. La variation de prix incite les acteurs du marché à adapter leurs comportements. Les outils de production intègrent de nouvelles technologies. Les consommateurs adaptent, à leur

---

<sup>118</sup>Burgenmeier B., 2005. P 36.

<sup>119</sup>Billaudot B., Destais G., 2009.

<sup>120</sup>Bontems PH., Rotillon G., 2007.

tour, l'acte d'achat en fonction des changements de prix. Comme son nom l'indique, l'économie du 'marché efficient' repose sur la régulation économique de l'environnement par le marché. C'est en termes de politique économique et à la visualisation de notre réalité économique qu'apparaît la carance de ce courant ; il suffirait ainsi de faire confiance au marché pour nous protéger des dégradations de l'environnement.

Selon le premier théorème de l'économie du bien-être<sup>121</sup>, tout équilibre concurrentiel est un optimum de Pareto (situation de référence de la théorie économique) : il n'y a pas de justification à l'intervention des pouvoirs publics dans l'économie, à condition de respecter le caractère concurrentiel des marchés et de laisser le système de prix opérer les ajustements. Ceci n'est cependant vrai qu'en l'absence de toute défaillance de marché.

Pourtant l'équilibre marchand n'est pas nécessairement optimal d'un point de vue social ou environnemental. La recherche de l'optimum se déroulant dans le cadre strict des échanges marchands, certains effets qui ne sont pas affectés d'une valeur, sont complètement écartés de la recherche d'efficacité alors même qu'ils sont susceptibles d'affecter l'utilité des agents économiques.

Trois attitudes différentes sont distinguées et qui présentent cinq positions par rapport au DD.

**Tableau 1.1 : Positions par rapport au développement durable**

Attitude	Position	Caractéristiques
<b>Attitude conservatrice</b>	Contre le DD et la décroissance	Ultra-libéralisme, capitalisme, croissance, mondialisation, progrès.
	Pour un DD conservateur	Capitalisme vert, croissance verte, commerce équitable, développement responsable.
<b>Attitude réformiste</b>	Pour un DD critique	Critique du capitalisme, de l'économie du marché, de la mondialisation, économie sociale et solidaire, croissance et progrès.
<b>Attitude révolutionnaire</b>	Pour la décroissance	Contre la croissance économique, la mondialisation, la société de consommation. Pour : solidarité, vie simple, relocalisation de la vie économique, croissance des relations humaines.
	Contre le DD et la décroissance	Éco-socialisme pour une autre mondialisation.

Source : Andreu Solé. 2011.

<sup>121</sup> Premier théorème de bien-être : Pour toute dotation initiale, il existe un équilibre de marché en concurrence pure et parfaite, et cet équilibre est un optimum de Pareto dans l'espace des répartitions des biens. Le Second théorème : Tout optimum de Pareto dans l'espace des répartitions des biens est atteignable en situation de concurrence pure et parfaite moyennant une redistribution forfaitaire des dotations initiales. Ces deux théorèmes représentent un couronnement de la théorie néoclassique de l'équilibre général. Le premier théorème est souvent associé à une idée de décentralisation. Laisser faire, des marchés en concurrence pure et parfaite aboutissent à une allocation optimale des richesses, au sens de Pareto. Le second est au contraire plutôt associé à une idée d'intervention, car il stipule que si le planificateur social se donne un objectif efficace au sens de Pareto, alors il peut l'atteindre en ne modifiant que les dotations initiales des agents, puis en les laissant prendre leurs propres décisions.

### 4.1.2- Économie de l'environnement

Elle est une branche de l'économie qui traite d'un point de vue théorique des relations économiques entre les sociétés humaines et l'environnement, une vision exclusivement économique de la protection de l'environnement<sup>122</sup>. Cette approche développée par le courant néoclassique défend les idées de la croissance durable et de la durabilité faible, en proposant la réconciliation comme conception du DD.

La poursuite de la croissance économique reste possible malgré les contraintes environnementales. Elle est fondée sur deux piliers fondamentaux : 1) la théorie du comportement humain fondée sur les axiomes des décisions de consommation, et 2) la théorie de la production incarnée par les notions de concurrence parfaite et de répartition fondée sur la productivité marginale. Elle se base sur le principe que le prix, sur un marché équilibré, est un signal de rareté. Elle admet qu'il convient d'apporter des correctifs au fonctionnement du marché. L'économie de l'environnement traite des modalités selon lesquelles peuvent être gérés (et éventuellement tempérés) les rejets, pollutions ou nuisances qu'entraînent les activités économiques et l'épuisement des ressources naturelles. Elle s'inscrit dans la cadre de la théorie économique dominante.

L'économie de l'environnement est la recherche d'une efficacité nouvelle et réelle qui intègre les interactions entre les intervenants et l'environnement. Il s'agit de bâtir avec l'économie traditionnelle un édifice qui tienne compte de la valeur écologique et des variables environnementales.

Elle constitue un champ voisin, mais distinct, de l'économie écologique. Elle s'imprègne de l'économie du marché efficient tout en considérant le milieu naturel comme externe au fonctionnement des marchés. Elle prend en considération la mesure du coût environnemental de l'exploitation des ressources et de l'activité économique. Elle prône l'intervention étatique par l'incitation et le soutien de la promotion d'instruments conformes au marché, comme les taxes et les subventions pour l'environnement et les droits de propriété sur la faune et la flore<sup>123</sup>.

Les partisans de cette approche, contrairement à l'approche précédente de marché libre, déterminent que le développement durable ne s'imposera pas par la force des choses et que l'intervention de l'État est primordiale, fondant ainsi la version sociale libérale de néolibéralisme telle que définie précédemment.

La croissance sans précédent des trente glorieuses a stimulé les attentes d'une croissance économique illimitée et d'une prospérité sans cesse croissante. Les économistes traditionnels de l'école néoclassique orthodoxe étaient conscients des problèmes de durabilité liés à la consommation massive de ressources, mais supposaient que, une fois qu'un produit

---

<sup>122</sup>Mulder P., Jeroen C.J.M. Van Den B., 2001, P. 111.

<sup>123</sup>Beaum A., Chiroleu-Assouline, 2001.

ou un intrant se raréfierait, de nouvelles technologies seraient introduites pour économiser l'intrant rare. Lorsqu'il est coûteux d'extraire la ressource au-delà d'une certaine quantité, l'offre est conditionnée par le prix. Dans une perspective dynamique, deux choses déterminent la dynamique du prix d'une ressource naturelle et donc son rythme d'épuisement.

### 4.1.3- Économie écologique

En plus des deux branches de l'économie environnementale au sens large que sont l'économie des ressources naturelles et l'économie de l'environnement, et qui appliquent toutes deux les méthodes d'analyse économique néoclassique à des problèmes d'environnement, une troisième branche, l'économie écologique, a vu le jour à la fin des années quatre-vingt, en proposant la complémentarité comme conception du DD.

Selon R. Passet, l'économie écologique trouve ses fondements dans la confrontation des lois physiques (écologiques et thermodynamiques) et des modèles de croissance économique. Cette approche défend les idées de la décroissance et de la durabilité forte. Elle souligne la capacité d'assimilation limitée des écosystèmes et conteste que les substitutions entre les actifs naturels et le capital manufacturé soient toujours possibles<sup>124</sup>. Le concept de *soutenabilité forte* est associé à cette nouvelle discipline.

L'économie écologique est une branche de l'économie qui joue pleinement le jeu du développement durable en l'abordant sous plusieurs dimensions. Elle se veut combiner plusieurs instruments afin d'initier une stratégie globale et locale, en intégrant de véritables *indicateurs du développement durable*. L'environnement est une priorité et ce sont aux activités économiques de s'y adapter. Le progrès économique n'est pas exprimé exclusivement par croissance économique, mais aussi par le respect de la nature et la réduction des inégalités sociales puisque ces trois dimensions sont interdépendantes. Le fonctionnement des marchés est considéré comme externe au milieu naturel et comme socialement construit. En l'occurrence, l'économie écologique fournit une justification à la version interventionniste du néolibéralisme, social-libérale notamment l'école de Londres.

Les partisans de l'école écologique présentent certaines divergences à travers les trois écoles qui la composent. Selon l'école de Londres, le DD passe par l'intervention publique. L'école de l'écologie industrielle, un changement institutionnel spontané assurera le DD. L'école américaine, dont l'analyse diffère totalement, se rapproche plus de la vision décroissance, seule une économie stationnaire permettra le DD<sup>125</sup>.

L'économie écologique est particulièrement intéressante, comme nous allons le démontrer plus tard, correspondant davantage à l'objectif de notre travail, d'analyser les critères de durabilité et de construire un indice composite de durabilité énergétique, visant le

---

<sup>124</sup>Beaumais O., Chiroleu-Assouline M., 2001. P11.

<sup>125</sup>Ademar R. R., 2012.

développement durable, car fondée sur la faible comparabilité des valeurs et l'évaluation multicritère élargissant l'évaluation monétaire.

C'est la prise en compte de la complexité des sociétés humaines ; une organisation de la production, de la répartition et de la consommation selon une démarche socioéconomique solidaire sur la longue durée ; la prise en compte d'un nouveau niveau « *le global* », et de nouveaux problèmes pour les sociétés humaines qui doivent les résoudre en tenant compte de leurs différences culturelles, spatiales, sociales...

Nous percevons bien au travers de ces approches synthétiques, du potentiel conflit intrinsèque au concept de développement durable dans les différents courants économiques. Ces clivages influencent les décideurs politiques dans leurs prises de positions publiques. Ils ont pénétré tous les thèmes, allant de la globalisation à la croissance, en passant par le développement ainsi que les sphères associées : marchands privés, non marchands publics jusqu'à atteindre l'intervention publique.

Elles nous montrent également leur complémentarité, puisque chacune des approches a ses limites. En traitant l'environnement comme une variable externe au marché, l'économie de l'environnement souffre d'écocentrisme<sup>126</sup> que l'économie écologique cherche à dépasser par une ouverture sur d'autres disciplines. Cette ouverture élargit le débat et peut rendre le concept du développement durable plus opérationnel par l'analyse des différentes interactions entre les trois dimensions.

Ce qui a précédé formalise et caractérise l'implication théorique et pratique des différentes étapes économiques. Malgré les présentes divergences et l'étendue des possibilités de mises en place pratiques, orchestrées par les différentes priorités des acteurs, visant à inscrire une politique de DD, il existe des points de convergence fondamentaux dans l'interprétation du concept de DD.

- Sans la réduction des inégalités sociales dans le monde, il ne peut y avoir une protection de l'environnement efficace.

- Le principe de précaution doit guider le concept d'équité intergénérationnelle. (Jonas 1990, désigne cet impératif par la formule « *In dubio pro malo* » le doute profite à l'accusé.).

- L'interdépendance dimensionnelle du DD entre l'économique, l'écologique et le social. Les figures ci-dessus illustrent les représentations les plus fréquemment utilisées.

---

<sup>126</sup> Par opposition à l'éthique biocentrique de l'environnement, l'écocentrisme est un élargissement du domaine morale jusqu'aux éléments non vivants de la nature, c'est-à-dire un égalitarisme biosphérique selon lequel les espèces, les communautés, les écosystèmes ont une valeur intrinsèque, parce qu'ils sont une matrice des organismes.

## 4.2- Développement durable et valeur

Le DD, lors de sa conception, comme le souligne Boutaud (2002), peut être aperçu comme une valeur nouvelle issue d'un processus de négociation coopérative<sup>127</sup>. La notion de la valeur fascinait les fondateurs de l'économie politique classique<sup>128</sup> au moment de l'émergence de la rationalité économique, elle disparaîtra ensuite<sup>129</sup>. L'émergence du DD fait revivre la notion de la valeur en tant que thème de discussion. Le capitalisme tente de répondre à la surexploitation continue des ressources naturelles imposée par un développement économique orienté par la recherche de profit et de plus en plus dévastateur et pollueur. Ce débat sur la valeur renvoie à reformuler la crise sociale et la crise écologique comme une crise de la valeur. Lipietz définit une nouvelle valeur dite la "*valeur soutenable*"; lorsque l'ensemble des coûts externes est englobé. Les valeurs qu'il s'agit de promouvoir renvoient à des rapports sociaux dans lesquels la préservation des conditions de reproduction des systèmes vivants deviendrait possible.

Le concept de soutenabilité, dans son acception la plus fréquente, est miné par une confusion théorique : celle entre richesse et valeur au sujet de la nature. Confusion que nous aurions tort de prendre pour infime, car c'est sur elle que s'appuient les théoriciens libéraux pour essayer de donner de la légitimité à la marchandisation et à la privatisation de la nature.

Force est de constater que la notion de DD ne peut oublier une réflexion sur les conflits de valeur, la confusion d'échelles qu'elles soient temporelles ou spatiales.

La pensée économique, dans son objectif de rationalité, consistait à faire reculer la rareté par la croissance de la production, qui a accentué en retour la rareté en épuisant les ressources naturelles. Autrement dit, la rareté ne tend pas vers zéro, mais elle tend vers l'infini par la conjonction de deux phénomènes : les ressources naturelles menacent de tendre vers zéro, et la barrière des besoins essentiels est indéfiniment repoussée.

La notion de DD traduit une pluralité d'approches de la valeur et une pluralité d'articulations de la valeur d'usage au sens économique et de la valeur d'existence ou de non-usage au sens éthique<sup>130</sup> (voir également, Pearce et Turner, 1990). Trois approches peuvent être différenciées comme suite :

### 4.2.1- Hégémonie de la valeur économique

Comme déjà mentionnée, la problématique libérale (dominante), pour rendre le développement plus durable, consiste à généraliser encore davantage le principe du marché efficace afin que l'allocation des ressources rares continue de se faire sur la base unique des

---

<sup>127</sup>Boutaud 2002 cité par Lourdel N., 2005.

<sup>128</sup>Si on interroge l'histoire des sciences économiques, on découvre que tous les principaux courants de la pensée économique se sont fondés au départ sur une certaine idée de ce qu'est la valeur économique.

<sup>129</sup>Harribey J.-M., 2002.

<sup>130</sup> Abdelmalki L., Mundler P., 2010, P.41.

contrats de droit privé. Cette logique conduit à la création d'un nouveau marché des droits à polluer. Selon les classiques, la valeur provient du marché et de lui seulement.

Selon cette première approche, adoptée par la branche de l'économie du marché efficient et de l'économie de l'environnement, la valeur résulte du marché. Elle est basée sur la vision classique qui s'intéresse principalement à la valeur des biens marchands (biens échangés sur un marché). Celui-ci permet de définir une exploitation optimale des ressources naturelles au même titre que les facteurs de production habituels, travail et capital, à condition de privatiser les éléments jusque-là en libre accès<sup>131</sup>. Alors, ressources naturelles, travail et capital sont considérés comme substituables. La nature est instrumentalisée et l'être humain est soumis aux impératifs de la rationalité économique.

Le fondement de cette conception tient dans une conception du bien-être mesuré en termes de croissance de la consommation par habitant. La finalité et le moyen sont donc un accroissement des valeurs d'échange dont le support est constitué de valeurs d'usage matérielles. Le temps est traduit par un taux d'actualisation des valeurs d'échange, confondant l'horizon économique tout au plus éloigné de quelques décennies correspondant à la durée de vie du sujet économique et l'horizon physique et biologique de la biosphère et des espèces vivantes, sacrifiant ainsi celles-ci ainsi que les générations futures.

#### 4.2.2- Hiérarchie incertaine entre valeur économique et éthique

Dans cette seconde approche, la valeur d'échange liée à l'usage<sup>132</sup> résulte du marché, mais des procédures doivent être mises en œuvre pour rendre compte de la valeur d'option<sup>133</sup> et de la valeur dite intrinsèque<sup>134</sup>, c'est-à-dire de la valeur écologique, de legs et d'existence.

---

<sup>131</sup> La « marchandisation du monde », c'est-à-dire la privatisation des services publics, la création de droits de propriété sur les ressources comme l'eau et l'air, la brevetabilité du génome des espèces vivantes et de toutes les connaissances humaines actuelles et futures.

<sup>132</sup> Une des difficultés les plus importantes que les théories de la valeur en économie ont rencontrée est d'intégrer dans leur démarche les deux aspects de la valeur (valeur d'usage et valeur d'échange). Aristote a établi la distinction entre valeur d'usage et valeur d'échange. Selon lui, chaque objet possède un double usage : dans les deux cas il s'agit d'un usage d'objet en tant que telle mais pas de la même façon, l'un est propre et l'autre n'est pas propre à l'objet. La valeur d'usage est relative au besoin, elle désigne la valeur des avantages économiques futurs attendus de l'utilisation de cet actif. Elle est donc au moins partiellement **subjective** et fonction de la situation. La valeur d'usage est l'utilité concrète du bien. Selon Smith, la valeur d'échange (*la valeur relative, ou échangeable des marchandises*) est égale à la quantité de travail que cette marchandise peut acheter ou commander (c'est-à-dire au prix) ; c'est la valeur travail commandée (nombre d'heure de travail ou quantité de main d'œuvre) pour sa production. La valeur d'échange est une propriété de la marchandise qui permet de la confronter avec d'autres marchandises sur le marché en vue de l'échange. Et la valeur d'usage (son utilité totale, c'est-à-dire des différents usages que nous pouvons en faire). A. Smith conclut sur la dominance des coûts, en nombre d'heure de travail, comme déterminant de la valeur d'un bien.

<sup>133</sup> Valeur accordée à la conservation d'un actif en vue d'un usage futur (par exemple, la préservation d'une plante connue pour son intérêt médical ou alimentaire) ou valeur quasi-option : relative à la conservation d'un actif, dont l'intérêt n'est pas encore démontré, en vue d'un usage futur (par exemple, la préservation de plantes inconnues pour des usages encore inconnus).

<sup>134</sup> Valeur intrinsèque : relative à la satisfaction de savoir qu'un actif ou un état de fait désirable existe. Ces valeurs sont souvent liées aux notions de justice, de droit des générations futures ou de respect de la Nature et permettent de justifier la protection d'espèces ou de sites naturels connus. On parle de valeur de legs lorsqu'elle

Les ressources naturelles et le capital ne sont pas substituables parfaitement. La notion d'irréversibilité apparaît.

La valeur économique ne peut donc représenter la valeur éthique constituée par la reconnaissance de l'existence de ressources naturelles et d'espèces vivantes. La notion de patrimoine naturel est alors forgée, mais sans pour autant résoudre la contradiction entre, d'une part, la nécessité de transmettre ce patrimoine pour des raisons de nécessité physique concernant les générations futures ou pour des raisons symboliques, le patrimoine étant fondateur d'identité et de différenciation sociale, et d'autre part, la nécessité de l'utiliser comme instrument d'adaptation et de développement humain. Selon Godard et Salles, cette contradiction se manifeste parce que la seconde nécessité peut menacer la première. La valeur intégrant les coûts sociaux n'élimine pas cependant le déséquilibre écologique<sup>135</sup>.

### 4.2.3- Hégémonie de la valeur éthique

Le DD est finalement un choix éthique, un ensemble de jugements normatifs. Il s'agit d'un développement qui respectera un certain nombre de critères d'ordre éthique. Ce choix peut porter sur le niveau des inégalités inter et intra-générationnelles, sur le niveau d'utilisation des ressources naturelles, sur la pondération entre objectifs économiques, sociaux et environnementaux, etc.<sup>136</sup>.

Selon cette troisième approche, la valeur économique est une catégorie sociale parce que l'économie s'insère dans la société humaine, qui elle-même s'inscrit dans la biosphère. Lorsque des choix entre générations sont en cause, le prix doit céder à la norme et de reconnaître la primauté de la valeur éthique<sup>137</sup> qu'exprime alors la norme. La rationalité de la reproduction des systèmes vivants fonde une nouvelle éthique dont les valeurs ne sont pas réductibles à l'économie et qui peut s'exprimer autrement par deux principes<sup>138</sup>.

Premièrement, les écosystèmes ont une existence qui ne peut être mesurée en termes marchands et dont le respect est un principe de vie et non un principe économique. Deuxièmement, la reproduction des systèmes vivants inclut le respect de la vie des êtres humains, dans ses formes matérielles et culturelles. L'articulation de ces deux derniers principes commande une organisation sociale qui économise les ressources naturelles en

---

est liée au fait de transmettre un patrimoine aux générations futures et de valeur d'existence lorsqu'elle est simplement liée au fait d'exister

<sup>135</sup> La notion d'équilibre est entrée dans la littérature économique avec l'ouvrage fondateur de Daly H., *Toward a Steady-State Economy*, Freeman & Co Ltd, 1973. L'équilibre écologique est défini par un stock constant de capital physique, qu'il est possible de maintenir par un faible niveau de flux de matières, situé en deçà des capacités régénératives et assimilatives des écosystèmes.

<sup>136</sup> Timothée O., 2009. P. 59.

<sup>137</sup> La biodiversité apparaît peu à peu comme ayant des valeurs aménitaires, éthiques traductibles en équivalent monétaires puisque la perte de ressources naturelles et de certains services rendus par les écosystèmes a un coût économique, social et sanitaire qui est difficile à quantifier et même inestimable.

<sup>138</sup> Guay L. et al, 2004. P. 23.

cessant de faire de l'augmentation de la consommation par habitant l'objectif ultime, et qui économise l'homme dont l'effort productif est représenté par son travail.

La définition d'un optimum social passe alors par :

-la minimisation de la consommation des ressources naturelles, c'est-à-dire la diminution du contenu en ressources naturelles de la production<sup>139</sup>. Dans ce cas, la valeur économique du prélèvement de ressources (prélèvement qui est lui-même un acte de production mesurable par du travail) diminue ; cette valeur économique n'a rien à voir avec une prétendue valeur d'option ou intrinsèque dont le contenu éthique serait rendu économique alors qu'il n'est pas mesurable pour deux raisons : il est d'ordre qualitatif et, à supposer que nous puissions lui attribuer une grandeur, celle-ci pourrait être infinie ;

-la prise en compte du coût de réparation des nuisances qui n'ont pas pu être prévenues et évitées, et du coût de la prévention de nuisances éventuelles ; ces coûts (là encore réductibles à du travail) sont donc parties intégrantes du coût de production global social, c'est-à-dire de la valeur économique ;

-la minimisation du travail par tête, dans la mesure où l'augmentation de la productivité ne se ferait que dans le respect des conditions écologiques précédentes ; dans ce cas, la valeur économique de chaque unité produite baisse, et, à volume de la production constant, la valeur économique globale de la production diminue également.

En définitive, la valeur économique diminue pour que les valeurs éthiques soient respectées.

Un développement durable est finalement un choix éthique. Il est durable un développement qui respectera un certain nombre de critères d'ordre éthique. Ce choix peut porter sur le niveau des inégalités intragénérationnelles, sur le niveau d'utilisation des ressources naturelles, sur la pondération entre objectifs économiques, sociaux et environnementaux, etc. Finalement, à travers ce concept, nous inventons un ensemble de jugements normatifs. Un DD sera un développement juste selon différents critères éthiques et normatifs. Pour le définir et l'évaluer, il faut donc rentrer dans la description de ces jugements dont nous avons repéré la diversité précédemment. Cela conduit à une variété considérable des définitions qui peut laisser perplexe.

## Conclusion du chapitre

Le DD est une notion naissante qui jette ses racines loin dans l'histoire comme recherche de la pérennité des sociétés. De puis la fin des années 1960, en raison de l'échec de la croissance économique à répartir équitablement la richesse à travers le monde et de l'émergence des crises écologiques, il est devenu évident que les notions de progrès ;

---

<sup>139</sup>Voir les règles de Daly H. au chapitre deux.

croissance et développement, étaient devenues obsolètes. Un nouveau paradigme était nécessaire, le développement durable. Un concept qui pourrait être l'héritier des concepts précédents de progrès. Le DD apparaît comme une reformulation de l'approche positiviste du progrès sans écarter les avantages généraux du progrès scientifique et technique. Une alternative à l'option négativiste de croissance zéro. Le concept de DD est un compromis entre croissance et conservation.

Le débat autour du DD a montré une divergence et un manque de consensus entre les points de vue des théoriciens (experts) notamment entre anthropocentriques et écocentriques, mais les préoccupations environnementales faisaient désormais partie des discours sur le progrès. Comme tout compromis, le DD n'a pas été pleinement adopté par les deux parties dans le débat sur la croissance et la conservation, en particulier ceux qui représentent des positions extrêmes. Le DD était, dès lors, aussitôt ouvert à la critique. Le débat sur le contenu de cette notion n'est pas encore achevé, il a besoin d'être affiné. Il reste beaucoup à faire pour son opérationnalisation. En effet, le débat économique révèle de multiples divergences, des fois même de contradictions, notamment entre les approches : économie de l'environnement et économie écologique. Le DD reste donc un concept normatif, ce qui reste est de savoir : comment le rendre opérationnel ?

Pour que le DD soit une notion concrète donc opérationnelle, il doit nécessairement être mesurable. Entre les divergences de points de vue, la multitude de champs d'action, les échelles du temps (court, long), il est compliqué de le mesurer exhaustivement. Bien que nécessaire, la mesure de DD s'avère difficile puisqu'il est une notion globale, sans limites d'espace ni de temps. A proprement dit, le DD n'est pas une évidence (des fois qualifié d'utopique), mais une idée qui fixe un objectif sans préciser les moyens pour l'atteindre. Son champ d'action est large, et ses différents acteurs ont chacun une approche propre de ses valeurs (équité, justice sociale, préservation de l'environnement...). La mesure dérive de la vision du monde de chacun des acteurs. Ainsi, ce qui reste à faire est d'entreprendre le chantier d'élaboration de critères de mesure et d'indicateurs valables pour tous et reconnus à l'échelle internationale. Ce chantier récent comporte trop d'enjeux et surtout changeant. Les scientifiques et les statisticiens ont établi les premiers critères en fonction des premières actions, puis les ajustent avec l'évolution des notions. Le chapitre deux abordera, ci-après, ces éléments précédents en profondeur.

Le débat sur la définition du DD (ainsi que sur son contenu et sur son opérationnalisation) peut donc se comprendre comme des visions différentes de ce côté pratique du DD, c'est-à-dire une interprétation de l'objectif exact à atteindre et le processus pour l'atteindre. Nous allons voir, dans le deuxième chapitre, qu'il existe un concept précis qui permet d'analyser ces différentes interprétations de processus et d'objectif du DD, la durabilité.

## Chapitre II : Durabilité : opérationnalisation et évaluation

Le DD peut être vu comme un nouveau paradigme d'une valeur nouvelle issue d'un parcours de négociations politiques et académiques internationales visant à réconcilier le développement et l'environnement et les mettre sur la voie de durabilité. Après quarante ans, la notion de durabilité ne fait pas l'objet d'une réflexion commune. Au contraire, elle suscite plutôt un ensemble d'approches contradictoires. Selon le type d'acteurs impliqués dans ce parcours, plusieurs évolutions différenciées sont constituées. La durabilité semble au cœur d'affrontements entre des points de vue et d'intérêts divergents. Ces divergences et ces contradictions amènent à se douter qu'elle soit un concept vraiment opérationnel. Elles rendent la notion de durabilité confuse et imprécise ce qui complique davantage le projet de mesurer et d'évaluer la durabilité énergétique.

L'évaluation de durabilité (EDD) est un processus par lequel les conséquences d'une initiative (politique, plan, programme, projet, législation, pratique ou activité courante) sont évaluées à l'ère du DD. L'EDD est de plus en plus considérée comme un outil important pour faciliter la transition vers la durabilité. Cependant, il s'agit d'un concept nouveau, évolutif et couvre un large éventail de processus différents, dont beaucoup ont été décrits dans la littérature sous le terme «évaluation la durabilité». Aujourd'hui, il n'existe pas un processus (ou un outil) d'EDD commun ou efficace. Ce deuxième chapitre cherche à apporter quelques éclaircissements en abordant les différents éléments essentiels décrits dans la littérature comme étant des formes ou des processus d'évaluation de la durabilité, une sorte d'initiation à la durabilité et à sa mesure.

Toute discussion significative sur les outils ou les processus d'EDD exige d'abord une compréhension de base de ce que le concept de durabilité englobe. L'objectif de ce chapitre est de fournir une nouvelle réflexion sur le concept de la durabilité en procédant à un examen approfondi de la notion de durabilité en tenant compte de la manière dont elle est conceptualisée, opérationnalisée et, par la suite, mesurée. Qu'est-ce que la durabilité? Existe-t-il un consensus scientifique sur les conditions de la durabilité et sur sa mesure ?

La littérature consultée montre clairement la nécessité de proposer une définition opérationnelle et mesurable de la durabilité. Dans la première section, nous passerons en revue les principaux travaux qui ont cherché à mieux préciser ce concept de durabilité. Nous indiquerons en quoi ils aboutissent en termes d'opérationnalisation de durabilité. Puis la deuxième section présentera en détail les caractéristiques spécifiques des différentes dimensions de durabilité en s'appuyant surtout sur les difficultés de mesure associées, sans oublier de rendre explicite la relation et les interactions entre ces trois dimensions. La

troisième section présentera les deux approches fondamentales de durabilité, qui reposent sur des disciplines différentes, ce qui va nous permettre de comprendre rapidement les définitions et les concepts sous-jacents à la construction de l'outil de mesure (IC) ; les hypothèses et les théories et surtout de déterminer les conditions de la durabilité. Ce chapitre proposera en dernier lieu les différentes approches de la mesure de la durabilité, des pistes de réflexion quant à l'utilisation de l'outil (IC) et sur la méthodologie générale de construction de l'outil d'évaluation de durabilité.

### **Section 1- Saisir le concept de durabilité**

Tel que mentionné précédemment dans le premier chapitre, depuis sa création, il y a trois décennies, le concept du DD souffrait d'une prolifération de définitions, de sorte qu'il a fini par signifier beaucoup de choses pour de nombreuses personnes différentes. Cela a limité sa crédibilité, et il a remis en question son opérationnalisation et l'importance des réalisations associées. Dans l'ensemble, cela a limité les progrès qu'il était censé consolider.

Par contagion, le concept de durabilité a hérité ces précédents défauts que comporte le concept d'origine, le DD. Dans le sens de la pratique, la notion de durabilité est dérivée de la notion de DD. Aujourd'hui, nous assistons par ricochet à une prolifération des définitions de la durabilité qui souffrent d'imprécision et d'un grand flou conceptuel. Devant ce tourbillon de définitions, plusieurs auteurs ont écrit sur la difficulté de proposer une définition appropriée à la durabilité.

Dans cette section, nous examinerons le concept de durabilité et de la difficulté de le définir. Nous passerons en revue certaines des façons dont il a été défini. Nous essayerons de clarifier l'utilisation des termes durable et durabilité dans le contexte global pour en fin proposer une définition opérationnelle et mesurable.

#### **1.1- Difficulté de définir la durabilité**

Certes, la vision de rapport Brundtland était novatrice. Bien que la définition Brundtland ne précise pas la durabilité en termes spécifiques, elle a été évidemment un moteur dans l'évolution du domaine. Le rapport postule que la seule forme véritablement durable de progrès est celle qui traite simultanément les aspects liés de l'économie, de l'environnement et du bien-être social. Cependant, si une véritable durabilité dans les interactions humaines avec la biosphère doit être réalisée, une interprétation beaucoup plus forte et plus opérationnelle de l'intention originale est requise. Pour être efficace, une telle interprétation doit englober et orienter les travaux vers la pratique (par exp., la prise de décision), et se concentrer progressivement sur les causes profondes des principales menaces à la durabilité plutôt que sur leurs conséquences. C'est bien de fixer des objectifs à atteindre, mais sera encore mieux de clarifier les moyens pratiques pour atteindre ces objectifs. Les travaux sur la durabilité consistent ainsi à rendre le DD opérationnel.

La notion du DD est noyée dans un océan de définitions. Certaines de ces définitions sont complémentaires ou contradictoires à des degrés divers, certaines sont plus implicites que spécifiées, et certaines ne sont composées que de quelques mots tandis que d'autres ont des dizaines de mots. Actuellement, il est estimé que plusieurs centaines de définitions de «durabilité» et de «DD» existent dans le domaine de la gestion de l'environnement. Cette prolifération rend très compliquée la tâche de récapituler la notion de la durabilité dans une seule définition concise et précise. La prolifération de définitions alternatives de la durabilité, qui a circulé tout au long des années 1990, a créé une situation dans laquelle un concept qui est au cœur des problèmes environnementaux et des solutions à leurs problèmes a fini par signifier beaucoup de choses. Parmi les problèmes qui rendent difficile de définir la durabilité, nous pouvons citer :

- Le premier et peut-être le problème le plus difficile, celui qui est rarement abordé, la durée... Est-ce une société durable qui dure pendant une décennie, une vie humaine, ou un millier d'années?<sup>1</sup> ;
- La durabilité vise à résoudre de nombreux problèmes à l'échelle mondiale ;
- La durabilité est un domaine multidisciplinaire et transdisciplinaire ;
- En vérité, aucune définition ne peut comprendre la durabilité sous toutes ses facettes, car le sujet est beaucoup trop vaste.<sup>2</sup>
- La définition et l'analyse de la durabilité conduisent tout naturellement à la modélisation des systèmes socio-écologiques complexes, ce qui s'avère très difficile.

Ceux-là rendent la question de la durabilité difficile à cibler et à la faire comprendre pour la plupart du public.

Déjà en 1996, Spedding et Holms<sup>3</sup> ont commenté la difficulté de définir la durabilité et ils ont expliqué que peut-être c'était la raison que le nombre remarquable de documents qui utilisent 'durable' ou 'durabilité' dans le titre, mais ne définissent<sup>4</sup> pas le terme. Le biologiste EO. Wilson en 1992 a déclaré que [... *la durabilité n'est qu'une construction théorique fragile...*]<sup>5</sup>. Les contributions qui utilisent le terme « durabilité » ne font référence à aucune définition explicite du terme<sup>6</sup>.

Moore Julia E. et al. 2017, qui ont essayé de construire une définition complète de la durabilité, déclarent que la conception de la durabilité est un défi scientifique majeur<sup>7</sup>. L'un des grands défis de la recherche sur la durabilité est le manque de définitions cohérentes dans la littérature. La plupart des études de mise en œuvre, même lors de la mesure de la durabilité,

---

<sup>1</sup> Worster D., 1994.

<sup>2</sup> Djordjevic A., Cotton Debby R. E., 2011.

<sup>3</sup> Spedding A., Holms R. 1996. P. 941

<sup>4</sup> Baumgärtner S., Quaas M. 2010,

<sup>5</sup> Al Bartlett. 1998.

<sup>6</sup> Baumgärtner S., Quaas M. *op. cit.* 2010.

<sup>7</sup> Moore Julia E. et al. 2017.

ne présentent pas de définition<sup>8</sup> de celle-ci<sup>9</sup>. Ces auteurs ont réalisé une étude, presque exhaustive<sup>10</sup>, dans laquelle ils ont identifié 209 articles originaux. Parmi ces articles, uniquement 24 (11,5%) comprenaient une définition de la durabilité. Une définition commune et quantifiable de la durabilité n'a pas encore été identifiée<sup>11</sup>.

La définition de la durabilité est aussi insaisissable que celle du DD. Que signifie la durabilité? En quoi est-ce différent du DD? Évoquer la durabilité sous-entend évidemment le DD et vis versa, la particularité est que ; lorsque nous parlons de durabilité, nous nous intéressons davantage à l'opérationnalisation et à la mesure du DD qu'à la portée théorique du DD en tant que nouveau paradigme du progrès. La différence entre les deux concepts est assez subtile. Toutefois, elle est mieux illustrée par la citation "*le DD est la voie de la durabilité*". Ainsi, avec le concept de durabilité, il est soutenu que le concept de DD doit être récupéré de la profusion de définitions quelque peu vagues, non pratiques et non mesurables.

Les termes «durabilité» et «DD» sont souvent utilisés de manière interchangeable malgré leurs différences. La distinction entre DD et durabilité est que le premier est une ligne de conduite qui améliore la qualité de la vie des êtres humains et peut durer dans le futur. Le DD est donc considéré comme une discipline distincte pour aider à atteindre la durabilité avec peu ou pas d'impacts environnementaux et sociaux négatifs<sup>12</sup>.

À présent, par de vagues applications des termes, la terminologie du DD est devenue synonyme de durabilité elle-même, deux termes interchangeables<sup>13</sup>. Par extension, si nous affaiblissons l'interprétation du terme DD, le terme durabilité le sera également. Devant les ambiguïtés et les contradictions de concept de DD associées à son détournement systématique pour justifier la poursuite de modèles de "développement classique" qualifié de non durable, il est très préconisé de reformuler clairement et avec précision la notion de durabilité en s'appuyant plus sur l'opérationnalisation. Afin de progresser et de formuler un paradigme réalisable pour guider la société vers un avenir réellement durable, il est nécessaire de réclamer l'essence de la définition initiale, qui positionne à juste titre le «développement» après l'impératif global de «durable». C.-à-d. nous devons abandonner la connotation économique dominante du développement à une position moins influente et plus clairement définie dans le cadre de la gouvernance économique, sociétale et environnementale. Une définition alternative au développement qui se rapporte à l'évolution progressive de la société humaine dans son ensemble loin de seul paradigme économique. La condition préalable ici est

---

<sup>8</sup> Gralla F. et al. 2016.

<sup>9</sup> Tous les articles référencés dans la dernière section de présent chapitre, relatifs à la mesure de la durabilité, ne présentent aucune définition de durabilité.

<sup>10</sup> Tous les articles originaux sur la durabilité rédigés en Anglais avant 2015.

<sup>11</sup> Djordjevic A., Cotton Debby R. E. 2011.

<sup>12</sup> HacatogluK., DincerI., RosenM.A.2015.P. 1.

<sup>13</sup> "Sustainability history project" in <https://sustainabilityhistory.org/defining-sustainability>, consulté le 03/02/2018.

que le concept de «développement» ne puisse pas correspondre dans la pratique à la seule croissance économique continue, mais à un développement multidimensionnel qui nous conduira manifestement à respecter les conditions de durabilité.

## 1.2- Utilisation du mot durabilité

La durabilité est considérée comme un objectif convoité du développement et de la gestion de l'environnement. Le terme durabilité appartient à l'origine au domaine de l'écologie<sup>14</sup>. Ce terme a été utilisé par la suite dans de nombreuses disciplines et dans des contextes variés, allant du concept de rendement maximal durable dans la gestion de la foresterie au moyen âge à la vision d'une société durable actuellement. La signification du terme «durabilité» dépend fortement du contexte dans lequel elle est appliquée et de son utilisation selon une perspective sociale, économique ou écologique. Des articles universitaires sur la durabilité ont commencé à s'amplifier vers 1990 et une déflagration dans les médias à partir de 1999<sup>15</sup>.

Alors qu'une grande partie de la littérature pluridisciplinaire<sup>16</sup> décrit les conditions nécessaires pour la durabilité, les moyens de parvenir à la durabilité, ou en ce que la durabilité n'est pas, peu d'auteurs définissent réellement le terme. Les experts diffèrent dans leurs conceptualisations de la durabilité. La durabilité, selon les contextes de chaque auteur, est définie de manière large ou étroite. Une définition utile doit spécifier explicitement le contexte, ainsi que les échelles temporelles et spatiales considérées.

Si en langue française la préférence est à l'utilisation du mot « durable » en parlant de DD, en anglais la préférence est à l'utilisation de mot « soutenable » en parlant de « *sustainable development* ». Cette différence vient d'une 'erreur' de traduction vers le français de rapport Brundtland rédigé originellement en anglais. Georges. B., 1997, parle d'approximations liées à la traduction de l'anglo-saxon de «sustainable»<sup>17</sup>. En Espagnol ce mot est traduit en *Sostenibilidad*. Si, dans les publications en anglais, la préférence est à l'utilisation de « *sustainability* », en langue française les deux termes « soutenabilité » et « durabilité » sont utilisés, mais la préférence tend vers l'utilisation de « durabilité »<sup>18</sup>. Quoique, les deux termes ne soient pas parfaitement identiques en français.

Au niveau de la définition du dictionnaire, la durabilité implique simplement qu'une activité ou une action donnée peut être maintenue (c.-à-d. continue indéfiniment). Le dictionnaire Larousse définit « durable » par « *ce qui est capable de durer longtemps* ». Et le

---

<sup>14</sup> Jabareen Y., 2006. P. 3.

<sup>15</sup> Tasak T. I, Kameyama Y., 2015. P. 148.

<sup>16</sup> Concerne divers domaines: sociologie, économie, politique, géographie, architecture et urbanisme, gouvernement, politique publique, la philosophie et l'éthique, études environnementales, l'écologie et transport.

<sup>17</sup> Georges B., 1997. P. 5.

<sup>18</sup> Vivien F-D préfère la traduction « soutenable » et intitule son livre de 2005 « le développement soutenable ».

dictionnaire L'internaute le définit par « ce qui est de nature à durer ». Alors qu'ils définissent soutenable par ce qui peut être défendu, supporté ou accepté. L'Oxford English Dictionary définit le soutenable (*sustainable*) comme « capable d'être soutenu, maintenable » et de le soutenir comme « empêcher une personne, une communauté, etc., d'échouer ou de céder, de rester dans l'être, de maintenir au bon niveau, de soutenir la vie ». Ainsi, l'appellation « développement soutenable » et plus appropriée comme traduction à « *sustainable development* ».

Tel que mentionné au début du chapitre précédent, les travaux de réflexion sur la durabilité, ou sur ce qu'est durable, remonte loin dans l'histoire. Déjà au début de XVIII<sup>e</sup> siècle, le terme *nachhaltigkeit* (soutenabilité en Allemand) a été utilisé dans l'exploitation forestière en Allemagne par Hans Carl von Carlowitz pour évoquer « l'utilisation durable des forêts ». Aujourd'hui, nous assistons à une prolifération d'utilisation de cette notion d'« *utilisation durable* » dans de multitude de domaines.

Évoquer l'utilisation du mot « *durabilité* » va nous aider à nous familiariser avec les perceptions passées de la durabilité et à voir comment elle a évolué à travers le temps et les disciplines.

La durabilité (sans nécessairement utiliser le mot) est un sujet d'étude naturel pour les économistes: après tous, la rareté ou l'épuisement des ressources est une préoccupation centrale de la science économique. Historiquement, l'utilisation de mot « durabilité » est liée à l'utilisation des systèmes écologiques dominés par l'homme, des exemples pertinents de définitions de durabilité qui ont évolué dans le domaine de l'environnement. Certaines de ces définitions (ou concepts) précèdent l'institutionnalisation du concept de DD tel que formalisé dans le rapport Brundtland. La première utilisation est liée à l'utilisation d'une ressource naturelle pour qu'elle ne soit pas épuisée. La deuxième est liée à un mode de vie d'organisation au sein d'une capacité de charge limitée des écosystèmes.

Utilisation durable des ressources naturelles, l'idée est de s'intéresser au rendement :

Dans la gestion des ressources naturelles, la réflexion est de pérenniser la disponibilité de ces ressources en évitant qu'elles se dégradent ou s'épuisent. L'idée est d'évaluer la durabilité des rendements. Selon Steen, 1984, le concept de rendement maximal durable a été utilisé par les forestiers, les biologistes et les pêcheurs depuis les premières années de XX<sup>e</sup> siècle. Tivy et O'Hare, 1982, définissent le rendement durable comme « la gestion d'une ressource pour une production continue maximale, compatible avec le maintien d'un stock constamment renouvelable »<sup>19</sup>. Cette définition est appliquée aux ressources biologiques, qui sont considérées comme naturellement renouvelables, mais épuisables. Dans ce sens, la durabilité est utilisée pour qualifier tous les domaines liés à l'exploitation de ces ressources

---

<sup>19</sup> Prades José A., Vaillancourt J.-G., Tessier R., 1991. P. 64.

naturelles. Ainsi, nous parlions de : pêche durable, agriculture durable, l'eau durable, alimentation durable...

La Stratégie mondiale de la conservation en 1980 définit l'utilisation non durable comme «*la surexploitation d'une plante ou d'un animal au point ... lorsque l'espèce est tellement épuisée que sa valeur pour l'homme sera sévèrement réduite ou perdue*».

En foresterie, le rendement maximal durable est obtenu en maximisant la récolte annuelle tout en s'assurant que le taux d'abattage est égal au taux de remplacement dans une zone donnée.

Green Peace définit la pêche durable comme «*une méthode de pêche rationnelle qui permet de répondre à nos besoins aujourd'hui et de préserver les océans pour demain*». Dans la pêche, le rendement maximal durable est difficile à gérer en raison des problèmes d'évaluation des stocks de poissons et parce que les océans sont une ressource commune. Souvent, le premier signe de récoltes insoutenables est une baisse de la prise de poisson, une diminution de la taille du poisson ou une augmentation des coûts de la pêche.

En agriculture, Conway, 1985, définit la durabilité agricole<sup>20</sup> comme «*la capacité d'un système à maintenir sa productivité malgré une perturbation majeure*»<sup>21</sup>, et il souligne qu'il peut y avoir des compromis entre les objectifs de maximisation de la production et de maximisation de la durabilité. L'agriculture durable doit conserver la base de ressources terrestres sans dégradation et doit être économiquement viable et socialement acceptable.

Dans le projet d'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire, l'utilisation durable d'un écosystème désigne l'utilisation humaine d'un écosystème de sorte que cet écosystème puisse fournir continuellement des bienfaits aux générations actuelles tout en maintenant son potentiel pour répondre aux besoins et aspirations des générations futures.

Dans l'utilisation d'espaces naturels, l'idée est de s'intéresser à la capacité de charge des écosystèmes :

La réflexion est que les écosystèmes soutiennent la totalité de nos besoins en matière de santé, de création de richesses et de bien-être depuis des millions d'années. Par conséquent, la durabilité dépendra forcément de l'état de ces écosystèmes à travers le temps. La durabilité se réfère ainsi à un potentiel de subsistance de l'écosystème au fil du temps, sans altération<sup>22</sup>.

Beaucoup de travaux ont défini la durabilité en termes de capacité de charge, un concept utilisé depuis longtemps pour décrire la taille maximale de la population que

---

<sup>20</sup> De nombreuses définitions de la durabilité agricole datent de 1989 à 1995 puisque l'objectif de la fin de la faim dans le monde était une priorité de l'initiative de durabilité décrite dans le rapport Brundtland.

<sup>21</sup> Zahm F et al. 2015, P. 110.

<sup>22</sup> Jabareen Y. 2006. P. 3.

l'environnement peut supporter de façon continue<sup>23</sup>. Le concept de capacité de charge a été développé dans le domaine de la biologie des populations et ne peut être transféré aux systèmes humains que par analogie. Les travaux de T. Malthus et de D. Ricardo (voir le chapitre 1) œuvrent dans ce sens. Le rapport « *Limits to Growth* » de 1972 constitue le premier examen détaillé des limites de capacité de charge mondiale.

La capacité de charge humaine a été définie simplement comme le « nombre de personnes qu'une quantité donnée de terre peut supporter »<sup>24</sup>. Néanmoins, la référence de Wart, 1977, à une qualité de vie optimale et durable « *dans les limites de la capacité de charge du milieu des ressources locales, régionales et même internationales* » suggère la complexité de ce concept lorsqu'il est appliqué aux systèmes humains. L'empreinte écologique mesure la consommation humaine en termes de terres biologiquement productives nécessaires pour fournir les ressources et absorber les déchets du citoyen mondial moyen, c.-à-d. la quantité de nature nécessaire pour soutenir la vie de ce citoyen. Dans ce sens de capacité de charge, nous parlons de : ville, tourisme, entreprise, industrie, société, économie... durables.

La capacité de charge maximale est définie comme la taille maximale admissible de la population qui, bien que théoriquement viable, il existe un seuil de vulnérabilité de l'environnement aux changements même minimes de la population. D'autre part, la capacité de charge optimale est une taille de population plus petite et plus souhaitable qui est moins vulnérable aux perturbations de l'environnement.

L'utilisation intense de mot durabilité dans le domaine environnemental a créé des soucis, a priori, sur la conception de cette durabilité. Il est souvent conçu à tort que la durabilité est spécialement un concept environnemental (écologique).<sup>25</sup>

En résumé, la durabilité exige des manières de vivre et de travailler sans détruire les capacités de l'environnement et sans mettre en danger le bien-être futur. La durabilité nécessite d'introduire dans notre réflexion des éléments d'échelle temporelle et les états naturels dans tous les domaines. Selon Georges B., 1997, la notion de la durabilité (ou son utilisation dans ces différents domaines) se concentre sur ce que devrait fonder scientifiquement le DD : la durée. La durabilité définit l'espace de temps (la durée) au cours duquel un domaine (ex. la pêche) reste capable de satisfaire normalement un besoin à travers le temps. Ainsi définie, cette expression de la durée, devient essentielle pour analyser les systèmes socioécologiques. Utilisée comme un concept central de l'analyse fonctionnelle du couple environnement-développement.

Dans ce contexte, la durabilité est une vision alternative à la vision économique purement juteuse. Elle se rapporte à l'évolution progressive de la société humaine dans son

---

<sup>23</sup> <http://www.sustainablemeasures.com/node/33>, consulté 03/03/2018

<sup>24</sup> WRI, IIED. 1986.

<sup>25</sup> Lemonick, M. D. 2009.

ensemble. Elle est appliquée distinctement à plusieurs domaines. Dans chaque domaine, des conditions spécifiques de durabilité sont dégagées et mises en œuvre. La voie de durabilité globale nous conduit à les respecter conjointement. Le concept de «DD» aurait alors le même poids que des concepts précédents réunis tels que ville durable, société durable, économie durable, agriculture durable, énergie durable, pêche durable... En d'autres termes, tous ces concepts deviendraient essentiellement des sous-ensembles descriptifs du même paradigme, le DD, régis par un ensemble de principes ou de conditions de durabilité universellement applicables<sup>26</sup>. Ces définitions précédentes se complètent pour définir le concept global celui du DD. Ces différents sous-ensembles d'activités durables sont considérés comme des concepts à part entiers qui définissent ce que la durabilité signifie réellement pour chaque secteur.

À l'ombre de la Stratégie mondiale de la conservation qui définit en 1980 l'utilisation non durable. Pour bien comprendre la durabilité, il suffit juste d'inverser la définition et de se référer à la pratique «non durable». La définition de la durabilité est fortement liée aux aspects du problème (crise et/ou de catastrophe).

La durabilité conduit à raisonner en termes de système, à la fois d'état et d'évolution des systèmes. Ainsi, dans l'étude de la durabilité, l'approche systémique s'imposera comme démarche scientifique. La notion d'état est particulièrement précieuse, car elle permet, non seulement de définir certaines situations d'équilibre dynamique entre l'état de l'environnement et l'état de la société, mais encore et surtout elle permet de marquer les différents dans le temps qui caractérisent cette association. L'analyse de la durabilité impose aussi la modélisation des systèmes socioécologiques complexes, et à la modélisation des états du système, y compris les états de crise et/ou de catastrophe, en fonction de leur succession et de leur durée.

La vision de la durabilité permet de préciser un certain nombre de notions à l'intérieur d'un système de référence temporel. Par exemple, la ressource ne sera plus dite durable ou «renouvelable» absolument, mais bien par rapport à une certaine échelle temporelle naturelle (celui de sa reconstitution limite) et sociale (celui de son utilisation, besoin)<sup>27</sup>. La non-durabilité s'inscrira et se relativisera dans une périodisation et un système spécifiques aux phénomènes naturels et sociaux pris en considération.

---

<sup>26</sup> Johnston P. et al. 2007. P. 60.

<sup>27</sup> Rappelant que « besoin et limite » sont deux concepts inhérents au concept du développement durable selon le rapport Brundtland tel que mentionné dans le premier chapitre. Par ricocher, ces deux concepts seront intrinsèques au concept de durabilité.

### 1.3-Essai de définitions de la durabilité

La durabilité c'est un concept métissé interdisciplinaire entièrement en construction. La définition consensuelle de la durabilité est aussi évasive que la définition de DD. Le programme de sciences de la durabilité<sup>28</sup> de l'Université Harvard en 2008 a décrit le domaine de la manière suivante, en soulignant son interdisciplinarité :

La «science du DD<sup>29</sup>» est « *une recherche interdisciplinaire axée sur les problèmes qui vise à faciliter la conception, la mise en œuvre et l'évaluation d'interventions efficaces qui favorisent la prospérité partagée et la réduction de la pauvreté tout en protégeant l'environnement* ». Un domaine défini par les problèmes qu'il aborde plutôt que par les disciplines qu'il utilise. Il puise ainsi, au besoin, dans de multiples disciplines des sciences naturelles, sociales, médicales et de l'ingénierie, des professions et de la connaissance de la pratique.<sup>30</sup>

Il a été noté que ce nouveau paradigme, la durabilité, doit englober différentes grandeurs d'échelles (de temps, d'espace et de fonction), de multiples équilibres (dynamiques), de multiples acteurs (intérêts) et de multiples échecs (fautes systémiques).

Il a été constaté que toutes les tentatives de définir le concept de durabilité et du DD, en plus de préciser la durée dans le temps (la pérennité), intègrent forcément, explicitement ou implicitement, trois points<sup>31</sup>:

- Vivre dans les limites,
- Comprendre les interconnexions entre l'économie, la société et l'environnement
- Répartition équitable des ressources et des opportunités.

L'analyse des cadres du DD offre un regard diversifié sur la notion de la durabilité au point que certains auteurs se sont plutôt attachés à fournir des cadres de durabilité au lieu de la définir.

#### 1.3.1- Cadres de Durabilité

Les Nations Unies à travers le rapport Brundtland définissent la durabilité à travers le concept du DD. Cette définition de la durabilité, communément appelée la définition Brundtland de la durabilité, n'offrait aucun précédent sur les aspects les plus importants de la durabilité, mais offrait une foule d'aspects de la durabilité d'une grande importance qui peuvent être définis comme des aspects environnementaux, économiques et sociaux. Bien que

---

<sup>28</sup> Là encore il y a un manque de consensus, à titre d'exemple : Clark, 2007, préfère utiliser le terme « science de la durabilité » alors que Baumgartner et Quaas, 2010 préfèrent « économie de la durabilité ».

<sup>29</sup> Clark William C. 2007, P.1.

<sup>30</sup> <http://www.cid.harvard.edu/sustsci/overview.html>. Programme de science durable. Université de Harvard. Consulté le 26/01/2018.

<sup>31</sup> <http://www.sustainablemeasures.com/node/35>

cette définition soit l'une des ressources les plus citées, elle souffre de certains défauts hérités de la définition du DD. De plus, bien que cette définition présente des difficultés à comprendre solidement ce qu'est la durabilité, plusieurs autres domaines ont modifié et ont adopté des versions de cette définition pour l'étude et la recherche de la durabilité dans leurs disciplines. La grande part des définitions de la durabilité, même dans le domaine énergétique, sont conformes à la définition Brundtland, elles sont toutes simplement des interprétations efficaces de la définition de Brundtland. Ces définitions n'ajoutent rien de nouveau et souffrent donc des mêmes problèmes que la définition de Brundtland ; ambiguë, non opérationnelle et non mesurable. Bien que de nombreuses organisations soient en train d'intégrer la durabilité dans leurs actions, elles ne donnent pas une définition complète et acceptable de cette durabilité. Une définition opérationnelle et mesurable de la durabilité est largement absente dans la littérature. La durabilité opérationnelle reste un défi<sup>32</sup>. Dans certaines mesures, pouvons-nous fournir une définition structurée qui quantifie suffisamment la durabilité et qui mesure les aspects de la durabilité ?

En réalisant une revue de la littérature pluridisciplinaire sur le DD, Jabareen, 2006, déclare l'absence d'un cadre théorique complet pour comprendre la durabilité et ses complexités<sup>33</sup>. À fin de proposer une définition à la durabilité, il est très utile d'effectuer une revue de littérature qui décrit un certain nombre de façons dont les pionniers ont interprété la durabilité. Nous passerons en revue les cadres pour la durabilité dans de multiples disciplines, puis nous proposerons, dans la mesure de possible, une synthèse pour une définition réunificatrice (commune) de la durabilité. Dans cette définition à proposer, notre objectif consiste à atténuer les difficultés liées à la définition de la durabilité, précédemment mentionnées, et à s'intéresser de plus près à l'opérationnalisation et à la mesure de la durabilité tout en prenant, bien sûr, comme étalon la définition Brundtland.

Nous avons déjà abordé précédemment, dans l'utilisation du mot durabilité, les différentes définitions de la durabilité propres à chaque discipline ou domaine ; agriculture, pêche, industrie... il est préférable maintenant, pour proposer une définition opérationnelle et mesurable de la durabilité, de faire une étude transdisciplinaire qui unifiera plusieurs domaines (ou tous les domaines) pour construire une définition de durabilité. En plus d'être utiles à la définition de la durabilité, ces cadres seront aussi nécessaires pour réaliser une évaluation de la durabilité<sup>34</sup>. Ces cadres sont : Règles de H. Daly, triple Bottom Line, naturel step et la durabilité faible et forte. Ces deux derniers cadres seront traités en profondeur dans la troisième section du présent chapitre.

---

<sup>32</sup> Hacetoglu K., Dincer I., Rosen M.A. 2015.

<sup>33</sup> Jabareen. Y., 2006.

<sup>34</sup> SalaS., et al, 2013

Un cadre de durabilité peut être défini comme «*la logique et la structure d'intégration des concepts, des méthodologies, des méthodes et des outils*»<sup>35</sup>. Il est un moyen d'organiser la réflexion sur la durabilité ainsi qu'informer la planification, la gestion et l'évaluation des activités afin d'améliorer et de maintenir les capacités.

### 1.3.1.1- Trois règles de H. Daly

Les recherches d'Herman Edward Daly s'inscrivent dans une perspective bioéconomique et dans la continuité du rapport du Club de Rome<sup>36</sup>. H. Daly, partisan de l'approche de la durabilité forte, propose quelques règles de précaution minimales (pérennité du capital naturel) permettant d'assurer la durabilité. Les Règles de Daly sont un ensemble de lignes directrices, largement célèbres, qui définissent les pratiques durables, des indicateurs essentiels pour la durabilité. H. Daly donne ainsi une définition indirecte de la durabilité. Il suggère trois règles opérationnelles définissant la condition de l'écologie durabilité (thermodynamique):

- L'utilisation durable des ressources renouvelables ne doit pas être plus rapide que la vitesse à laquelle elles se régénèrent.
- L'utilisation durable des ressources non renouvelables ne doit pas être plus rapide que les substituts renouvelables qui peuvent leur être substitués.
- L'émission de pollution et des déchets ne doit pas être plus rapide que les systèmes naturels ne peuvent les absorber, les recycler ou les rendre inoffensifs.

Ce cadre se base fortement sur la théorie écologique et les lois de la thermodynamique, ce qui signifie que mesurer la durabilité à travers cette conceptualisation est tenable. Il écarte les préoccupations économiques et sociales à l'ensemble du «taux de consommation» tout en mettant l'accent sur l'aspect environnemental à travers le «taux de renouvellement». Cela implique que la mesure de la durabilité ressemblerait à la comparant des différentes situations possibles entre les rythmes de consommation et les rythmes de renouvellement des ressources. Selon le résultat de cette comparaison, trois situations sont possibles : non-durabilité, durabilité à l'état stable et durabilité.

Ainsi, il n'y a que deux options durables; durabilité à l'état stable et durabilité. Elles sont corrélées avec des états spécifiques de l'environnement, mais ne sont théoriquement pas corrélées avec des états sociaux et économiques spécifiques. La notion de durabilité va bien au-delà des préoccupations environnementales.

Selon certaines analyses, les Règles de H. Daly devraient être considérées comme fondamentales pour les nombreux autres systèmes, et seront donc le moyen le plus simple

---

<sup>35</sup> SalaS., et al, 2013

<sup>36</sup> BoutaudAurélien. 2007.

pour l'opérationnalisation de la définition de Brundtland. Dans ce sens, la définition de Brundtland et les règles de Daly peuvent être considérées comme complémentaires. Brundtland fournit l'objectif éthique de non-épuisement du capital, et H. Daly détaille comment cette éthique est opérationnalisée en termes physiques. Le système est rationnellement complet et en accord avec les lois physiques. Ainsi, par ses travaux, H. Daly contribue à l'élaboration de lignes directrices en matière de durabilité et de DD.

### **1.3.1.2-Cadre Triple Bottom Line**

Ce cadre de durabilité est appelé en français triple performances, triple résultat ou encore triple bilan. Cette expression a été créée par John Elkington en 1994 en proposant un nouveau cadre comptable composé de trois bilans (ou capitaux) dénommés lignes de fond : sociale, environnementale et financière. Donc, il s'agit là d'une transposition parfaite de la notion de piliers ou de dimensions du DD.

Le cadre de triple Bottom Line considère la durabilité comme trois capitaux distincts et cherche à les équilibrer tous séparément. Dans cette vision, la voie durable exige un certain niveau minimum de performance à atteindre dans chaque capital de la durabilité. C'est la vision de bidet où les trois capitaux représentent les parois de ce bidet. Ainsi, la prise de décision ou la mesure de chaque action n'est pas seulement basée sur un seul capital, mais sur les trois capitaux appelés lignes :

- Ligne de fond économique ou le capital construit: le profit, différent de la définition comptable traditionnelle, est calculé après déduction du coût de tous les intrants (trois capitaux). Il est considéré comme le véritable avantage économique dont bénéficie la société.
- Ligne de fond de l'équité sociale ou le capital social : englobe l'ensemble des conséquences sociales de l'activité de l'organisation pour l'ensemble de ses parties prenantes pour lesquelles le bien-être est interdépendant.
- Ligne de fond environnementale ou le capital naturel : compatibilité entre l'activité économique et le maintien des écosystèmes ; référence à des pratiques environnementales durables.

Tout simplement, le bénéfice économique doit être considéré à la lumière des impacts environnementaux que la réalisation de ce bénéfice entraînera et aussi des problèmes d'équité sociale qui peuvent en découler. Une notion qui se rapproche de la valeur soutenable de Lipietz, voir la section 4 de chapitre précédent. Ici, pour chaque type du capital, il y a lieu de parler de trois types de durabilité qu'il faut mettre en équilibre : durabilité économique, durabilité environnementale et durabilité sociale.

Ce cadre de durabilité semble être une reformulation sous une autre forme de celui de Brundtland, la seule différence majeure est que la triple Bottom Line est plus explicite, elle donne une structure spécifique à la durabilité qui est absente dans la définition de Brundtland; cette structure est la délimitation claire entre les domaines économique, environnemental et social. C'est le cadre prédominant utilisé dans la durabilité des organisations.

### 1.3.1.3- Cadre d'étape naturel

Ce cadre de durabilité, *The Natural Step* en anglais, est développé par Karl-Henrik Robert en 1989. Ce cadre prône la pensée systémique et intégrée amarrée aux cycles naturels, ce qui recommande de considérer les systèmes humains comme un système en interrelation avec son système environnemental. L'économie dépend des capitaux humains et naturels pour se développer, une vision écocentrique. Pour ce faire, dans la société durable « quatre principes de durabilité » devraient guider la réflexion<sup>37</sup> :

- Les substances de la croûte terrestre ne doivent pas augmenter systématiquement dans la biosphère, concentration des polluants.
- Les substances produites par la société ne doivent pas augmenter systématiquement dans la biosphère.
- La base physique de la productivité et de la diversité de la nature ne doit pas être systématiquement détériorée dans cette société.
- Il doit y avoir une utilisation équitable et efficace des ressources pour répondre aux besoins humains.

Dans ce cadre de durabilité de *The Natural Step*, il est préféré de parler de société durable que de durabilité. Les façons dont nous dégradons systématiquement les systèmes naturels et la capacité des hommes à subvenir à leurs besoins sont les causes profondes à la source de la non-durabilité de nos sociétés. Le sens de la durabilité ici est que notre société vivra dans une planète qui continuera à effectuer des processus qu'elle effectue actuellement ; air, l'eau, alimentation... (Les services écosystémiques) pour assurer une qualité de vie indéfiniment. En d'autres termes, la réussite pour des sociétés durables signifie ne pas altérer la capacité de la nature à produire les ressources et les services dont nos vies dépendent. La durabilité est la capacité de nos sociétés humaines à continuer de vivre indéfiniment au sein des cycles naturels.

Ce cadre se concentre plus sur le domaine environnemental et social, laissant les préoccupations économiques implicites. Ce cadre est largement développé par Natrass et Altomare en 1999 en expliquant comment de telles pratiques peuvent être intégrées dans l'économie. Ils proposent des suggestions pour intégrer ce cadre dans le domaine

---

<sup>37</sup> <http://www.thenaturalstep.org/our-approach/> le site officiel de ce cadre, consulté le 02/03/2018

économique. En outre, ce cadre définit essentiellement plusieurs activités humaines actuelles dans le monde considérées comme insoutenables dans ce cadre, comme la combustion de combustibles fossiles, la circulation de produits chimiques bioaccumulables et la dégradation des terres et des forêts.

Ils existent d'autres cadres de durabilité tels que : triple P (Population, Planète, Profits et Prospérité), triple C (Carboniferous, Consumer, Capitalism), triple I (Inventory, Impact, Improvement) et six R. Il s'agit de cadres qui ne fournissent aucun outil permettant de mesurer ou comment la durabilité globale pourrait être atteinte. Par exemple, le cadre de Six R qui suggère de promouvoir la durabilité par l'analyse du cycle de vie des produits<sup>38</sup> où les « R » représentent les étapes des processus de conception et de production : Recycler, Réutiliser, Réduire, Réparer, Repenser et Refuser. C'est un cadre de conception et de fabrication durable uniquement.

#### 1.4 Proposition de définition de durabilité

À présent, l'objectif est d'essayer de proposer une définition mesurable et opérationnelle à la durabilité. Cette définition sera une « synthèse » des aspects les plus vigoureux des définitions et des cadres de durabilité présentés précédemment.

La définition Brundtland de la durabilité est dominante dans la littérature, même si elle ne satisfait pas les deux conditions de mesurabilité et d'opérationnalité<sup>39</sup>. Elle reste une référence pour plusieurs auteurs. Son idée générale est la conservation dans le très long terme des trois capitaux dans le but de conserver un niveau (ou des capacités) constant de bien-être. Les définitions et les cadres précédents ne nous intéressent plus que dans la mesure où ils offrent un moyen de mesurer et de comprendre la durabilité, ou la voie vers la durabilité.

Ainsi, la proposition de définition « synthétique » est conçue en tenant compte de la préservation des trois capitaux (ou dimensions) et cherchera à identifier les définitions ou les cadres qui fournissent le mieux une approche mesurable aux trois piliers de la durabilité séparément et de durabilité globalement.

Le cadre Triple Bottom Line soutient avec fidélité la définition de Brundtland en considérant les trois piliers comme essentiels à la durabilité. Ce cadre est très courant dans la littérature sur la durabilité dans le monde des affaires. Il doit être revu de telle sorte qu'il puisse quantifier explicitement la durabilité. Une telle révision est facilement réalisable, c'est pour cette raison que ce cadre sera pris comme référence pour proposer une définition à la durabilité à la fois opérationnelle et mesurable.

---

<sup>38</sup> Gueldry M., Knuckles J., 2012.

<sup>39</sup> Presque systématique, la définition de durabilité qui souffre de problèmes d'opérationnalisation souffrira encore de problème de la mesure.

Pour le pilier environnemental, les cadres qui satisfont les deux critères, de mesure et d'opérationnalisation, sont les Règles de Daly et les étapes naturelles.

Pour le pilier économique, le cadre de durabilité faible satisfait aussi les deux critères de mesure et d'opérationnalisation. L'inconvénient est qu'il n'aborde pas les deux autres piliers (voir la section 3 du présent chapitre).

Pour le pilier social, le seul cadre qui satisfait les deux critères est naturel step (*les besoins humains sont satisfaits dans le monde entier*).

Si le cadre triple Bottom line suggère de prendre compte les trois piliers du DD défini par Brundtland, le cadre naturel step recommande de prévoir l'ensemble dans une analyse systémique. La durabilité conduit à raisonner en termes de système, à la fois d'état et d'évolution des systèmes. Ce qui impose ou justifie le recours à une approche systémique de durabilité.

À la lumière de ces cadres et dans le souci de l'opérationnalisation et de la mesure, une définition à la durabilité (et de DD) sera formulée comme suite<sup>40</sup> : <sup>41</sup>

La durabilité est le respect de minimum de performances à très long terme dans chacun des piliers de préoccupation:

**Pilier environnemental:** (préservation)

- les ressources renouvelables ne doivent pas être utilisées **plus** rapidement que la vitesse à laquelle elles se régénèrent.
- les ressources non renouvelables ne doivent pas être utilisées **plus** rapidement que les substituts renouvelables qui leur sont destinés.
- la pollution et les déchets ne doivent pas être émis **plus** rapidement que les systèmes naturels ne peuvent les absorber, les recycler ou les rendre inoffensifs.

**Pilier économique:** (croissance) la capacité de production généralisée d'une économie est maintenue intacte, de manière à permettre **au moins** une consommation constante par habitant au cours du temps.

**Pilier social:** (équité) **au moins** les besoins humains fondamentaux sont atteints dans le monde entier et à travers les générations.

<sup>40</sup> David L. Little II. 2014.

<sup>41</sup> Pour bien saisir la portée de « minimum » dans cette définition, il est très utile d'évoquer l'interprétation en baquet de DD. Dans les systèmes complexes, il ne sert à rien d'avoir un niveau d'excellence sur l'un des piliers de durabilité si un autre élément (ou les deux autres) est dégradé, car le niveau de performance ou de qualité de l'ensemble est contrôlé par le pilier le plus fragile représenté par « planche la plus basse du baquet ». c'est inutile de concentrer nos efforts sur un ou deux des piliers si le troisième est dégradé.

En résumé, dans le cadre du DD, la définition de la durabilité oblige de chercher un équilibre en combinant à la fois l'efficacité économique et la gestion rationnelle et prudente de l'environnement et du tissu social dans un souci d'équité intergénérationnelle, réaliser simultanément ces objectifs multidimensionnels au cours du temps. La notion de la durabilité ne fait que reformuler les objectifs du DD, précédemment mentionnés, sous forme d'un équilibre entre les trois piliers.

La durabilité est liée à la survie humaine indéfinie qui nécessitera certains systèmes de soutien de base, qui ne peut être maintenue qu'avec un environnement sain et une population humaine stable.

Cette définition comporte certaines limites. Parmi ces limites, nous pouvons facilement remarquer que :

- Les interconnexions (ou les interdépendances) entre les trois piliers ne sont pas mentionnées directement ;
- Il reste encore à définir ce que nous considérons comme équilibré, ce qui handicape sérieusement la mesure de la durabilité ;
- La préférence ou le poids accordé à chacun des trois piliers ne sont pas mentionnés ;
- Le plus grand inconvénient de cette définition est qu'elle n'aborde pas le degré de substituabilité entre ces trois piliers.

Ces quatre limites, qui fragilisent les projets de mesurer la durabilité au point de le compromettre, seront abordées dans la suite de travail.

Une chose est claire, cette définition n'a pas définitivement réglé le problème de la difficulté de construire une définition complète et définitive de la durabilité. Le débat sur cette dernière reste grandement ouvert et le chemin vers cette définition également. Il y aura évidemment d'autres réflexions supplémentaires à prendre en considération. Pour cela, dans la suite de ce projet, notre travail consiste à surmonter ces limites en proposant quelques pistes pour la mesurabilité de la durabilité en général et de la durabilité énergétique en particulier.

Cette définition présente des pistes en faveur de l'application d'une série de conditions simples pour la durabilité sur lesquels les progrès vers le DD pourraient être suivis.

## **Section 2- Dimensions de durabilité**

Comme nous l'avons confirmé dans le chapitre précédent, l'objectif fondamental du développement durable (DD), selon la vision humaniste, est de créer un nouveau paradigme du développement qui intègre trois dimensions. Le socle de ce changement paradigmatique est que le bien-être est multidimensionnel. La seule dimension économique (PIB) n'est plus suffisante. Ainsi, qu'est-ce qui est requis pour qu'un système ou une société soit durable? Le

DD concerne tous les aspects de la vie sociale. Cette vision s'inspire des travaux de l'économie du développement, notamment ceux de Perroux et Sen<sup>42</sup>.

Les trois dimensions du DD sont des outils puissants pour saisir la définition de la durabilité, mais surtout pour saisir sa mesure. Comme nous l'avons déjà signalé précédemment, cela comprend au moins les dimensions ; économique, sociale et environnementale. Puisque depuis deux décennies, certains auteurs et organisations ont introduit une quatrième dimension liée à la politique (la démocratie, la bonne gouvernance et l'état de droit)<sup>43</sup>. Dans notre travail, pour des mesures de simplification<sup>44</sup>, cette quatrième dimension de DD ne sera pas abordée séparément, mais elle sera incluse dans la dimension sociale comme un capital social institutionnel. Si l'une de ces trois dimensions est faible, alors l'équilibre sera rompu et le système dans son ensemble sera non durable. Il s'agit d'éléments intimement liés.

L'objectif de cette section est de rendre claires les multiples problématiques soulevées par le DD et d'éclaircir la vision sur les enjeux qui sont essentiels pour identifier les meilleures pistes pour la mesurabilité de la durabilité. Pour cela, nous déploierons, en premier, l'apport de l'approche capitaliste pour la mesure de la durabilité. En deuxième lieu, nous analyserons les trois dimensions de durabilité sous forme de capitaux. Puis en dernier lieu, nous mettrons en lumière les liens existant entre ces trois dimensions.

### **2.1-Approche par capitaux légués**

L'approche par capitaux (ou approche par les capacités), habituellement employée pour des usages économiques sous l'appellation « *approche en termes de ressources* », a été utilisée par plusieurs pays pour mesurer la durabilité de leur développement. Elle est basée sur les principes de l'économie du bien-être. Elle est recommandée par CEE, ONU, OCDE et Eurostat pour identifier des indicateurs du DD<sup>45</sup>. Elle constitue le cadre conceptuel le plus utilisé pour mesurer la durabilité<sup>46</sup>, quel est, alors, le rôle du capital pour la mesure du DD?

Cette approche novatrice présente de grands avantages. Elle repose sur un cadre conceptuel robuste. Elle permet de structurer les indicateurs en échappant au fardeau de débat politique. Elle présente aussi quelques inconvénients d'ordre techniques ; l'unité de mesure des capitaux non économiques (monétarisation) et à l'agrégation de la valeur des capitaux...

Cette approche est clairement tournée vers la durabilité, comprise soit 1) dans le sens restreint de l'utilisation soutenable des ressources naturelles (insubstituabilité des capitaux), 2) soit dans le sens plus large de transmission d'un stock agrégé de capital productif par tête suffisant pour permettre aux générations futures de produire les biens et les services

---

<sup>42</sup> BillaudotB., DestaisG., 2009. P.12.

<sup>43</sup> NU.,2012. P. 2.

<sup>44</sup> La dimension politique a un sens très variable, peu clair en général, inconsistant souvent.

<sup>45</sup> BrehainS.,2011.

<sup>46</sup> UN., 2008.

nécessaires à leur bien-être<sup>47</sup> (forte substituabilité des capitaux). La quasi-totalité des indicateurs synthétiques environnementaux peuvent être classés ici dans la première compréhension : l'empreinte écologique, l'ESI (Environmental Sustainability Index), l'EWI (Ecosystem Wellbeing Index), etc.<sup>48</sup>. L'indicateur de l'épargne véritable repose complètement sur cette approche selon la deuxième compréhension.

Depuis environ deux siècles et demi de l'économie, il semblait évident, pour des économistes comme Adam Smith, que pour produire, il faut des intrants productifs sous les trois rubriques primaires : Terre, Travail et Capital. Depuis environ trois décennies du DD, voir le chapitre précédent, l'humanité a reformulé le paradigme 'classique' du progrès. Au lieu de s'intéresser uniquement au profit matériel et mercantile, il y aura lieu de s'intéresser à une notion plus élargie, le bien-être. Pour maintenir durable le bien-être à long terme, il faut des intrants sous trois dimensions, environnementale, sociale et économique. L'équation se métamorphose complètement en changeant à la fois les variables explicatives et la variable expliquée. Pour la durabilité, il faut empêcher le déclin de bien-être et cela nécessite un stock de capital non-décroissant au fil du temps.

Le terme capital est le plus souvent utilisé pour désigner l'argent et les biens matériels. Cependant, dans le contexte de la durabilité, il existe différents types de capitaux qui doivent être considérés : naturel, humain, social et bâti. Ces capitaux sont nécessaires pour que les communautés puissent fonctionner et garantir un minimum de bien-être. Les trois types de capital doivent être gérés, soignés, entretenus et améliorés au fil du temps.

Tel que mentionné précédemment, selon Brundtland, dans la notion du DD deux concepts sont irrévocables ; besoins et limitations. Ainsi, la notion du DD nécessite d'élargir la définition du bien-être à des considérations autres que la satisfaction des besoins matériels. Le bien-être économique, PIB/habitant, n'est qu'une composante du bien-être de l'individu, dans lequel la satisfaction de diverses aspirations de la société (disparités et exclusion sociales) a sa part, quelle que soit leur importance au plan économique. La notion de DD repose sur l'établissement d'un équilibre dynamique entre les limites (les ressources naturelles) et les besoins (leur utilisation par l'être humain).

Dans le contexte du DD, le développement est défini comme étant l'augmentation du bien-être de la population. Il y a création du bien-être lorsque les besoins humains sont comblés par l'utilisation de biens et de services. Le développement devient durable lorsque le bien-être de la population ne se décroît pas sur une très longue période du temps.

Pour satisfaire tous ces besoins et atteindre un certain niveau de bien-être, la société doit disposer de différents types de capital. Ainsi, notre bien-être est conditionné par la qualité

---

<sup>47</sup> OCDE (1). 2001.P. 10.

<sup>48</sup> Boulanger P.M. 2004. P.18.

de capital dont nous disposons. Selon Solow, la durabilité dépend du maintien du bien-être (niveau d'utilité ou de consommation), lui-même fonction du niveau de production, lui-même fonction du capital total. Weitzman, 1997, a formulé la durabilité comme la capacité généralisée de l'économie à produire du bien-être économique au fil du temps<sup>49</sup>. Le problème de durabilité est alors un problème de maximisation de bien-être (ex. l'utilité totale). Et par transitivité, la durabilité est alors conditionnée par le stock de capital disponible. Le capital procure de bien-être suite à la consommation des biens et des services qu'il procure.

Le modèle du stock de capital a été mis au point par la Banque mondiale en 1994. Il se base sur l'hypothèse que les stocks de capital sont au nombre de trois: l'environnement, l'économie et le social. Le capital agrégé de durabilité se constitue de la somme des trois stocks de capital<sup>50</sup>.

L'approche par capitaux pour mesurer le DD repose sur la théorie de l'économie du bien-être et de l'économie de l'environnement ainsi que sur la notion élargie de capital. Selon cette approche, toute société possède des richesses qui, une fois transformées en biens et services, permettent de répondre aux besoins de ses membres et donc d'assurer leur bien-être<sup>51</sup>. Ces richesses sont composées de stocks d'actifs, qu'ils soient tangibles ou non, monétaires ou non. En suivant l'état de ces stocks, il est possible de connaître le caractère durable du développement de la société.

Selon l'approche par capitaux, le DD est le développement qui assure que le capital par habitant, la 'richesse' nationale par habitant, ne décline pas, en remplaçant ou en conservant les sources de cette richesse, les stocks de capitaux.

L'approche par capitaux forme donc un cadre conceptuel rigoureux qui intègre deux aspects fondamentaux du DD, soit la durabilité et le bien-être, en plus d'être cohérent avec le système de comptabilité national. Afin d'avoir une visibilité globale du point de vue économique, certains experts parlent d'autres formes de capitaux, qui devraient compléter le capital économique qui constitue la base référentielle à la décision. En théorie, le but ultime de l'approche par capitaux consisterait à produire un indicateur de DD unique, la richesse totale, en agrégeant les valeurs (monétaires ou non) de chaque capital. Cet indicateur unique devrait en principe tenir compte de l'effet de rareté de chaque actif.

---

<sup>49</sup> Weitzman M.L, 1997. P. 1.

<sup>50</sup> Les capitaux ont une contribution positive à la production (durabilité)

<sup>51</sup> La vision de la notion de la durabilité par le modèle capitaux ressemble relativement à la notion d'état d'équilibre décrite par Meadows et al en 1972 dans la page 277 ; L'état d'équilibre global est donc caractérisé par [le capital et la population (renvoi à l'utilisation de ce capital) demeurent à un niveau constant, tous les taux d'entrée et de sortie sont maintenus à un niveau minimum. les niveaux de la population et du capital et la relation entre ces deux niveaux doivent être compatibles avec le système de valeur de la société]. La seule particularité est que Meadows définit tout ça dans le cadre de la croissance zéro, d'ailleurs, c'est pour cette raison qu'il pose comme condition de garder constant le niveau du capital et de la population.

Pour satisfaire tous ses besoins et atteindre un certain niveau de bien-être, la société doit disposer de différents types de capital. Une condition de la durabilité est que le stock global de ces différents types de capital ne diminue pas avec le temps. Sur un plan concret, les conséquences qui découlent de cette condition sont fonction de la définition plus ou moins large qui est donnée à la notion de « capital » (souvent la notion d'actif est utilisée). Nous devons maintenir le capital global intact au fil du temps. Le capital incarne une grande partie de ce qui est nécessaire pour créer les flux de services et de matériels nécessaires à la durabilité, aujourd'hui et pour l'avenir. Si le capital est maintenu constant ou augmente avec le temps, le bien-être peut aussi être soutenu au fil du temps. Si, au contraire, le capital n'est pas maintenu, dégradation ou perte de ce qui est nécessaire pour assurer notre capacité à produire le même (ou plus) de bien-être dans le futur, ils sauraient que nous vivons la bonne vie aujourd'hui au détriment du futur.

## **2.2- Types de capitaux**

Selon le rapport Brundtland, chacune des trois dimensions du DD représente un type spécifique et distinct de capital. L'objectif de cette sous-section est de définir les trois notions du capital en clarifiant ses composantes. L'intérêt sera mis sur les caractéristiques de chaque type de capital afin de saisir les éléments liés à la mesure. La mesure de la durabilité dépend de la qualité de la mesure de capital global qui compose la durabilité. Une analyse de la durabilité nécessite que le processus et les objectifs de progrès soient observables et mesurables.

Tout d'abord, il est primordial de signaler en premier les remarques suivantes :

- La quantité et la qualité de ces différents types de capitaux peuvent constituer un frein ou un stimulant à la durabilité d'une société.
- La quantité et la qualité de ces différents types de capitaux peuvent varier d'une société à l'autre et au cours du temps au sein d'une même société.
- Comme tout capital, ils font l'objet d'une accumulation par flux.
- Ces différents types de capitaux ne sont pas toujours substituables.
- Chaque type de capital possède des caractéristiques propres à lui.
- Chaque type de capital possède une échelle précise de durée ; temps physique, temps biologique et temps social.

### **2.2.1- Capital économique**

Il est également appelé capital physique produit, manufacturé, bâti ou reproductible. Il est défini comme l'ensemble des moyens fabriqués par l'homme. Il englobe tous les moyens qui améliorent les conditions matérielles d'existence. Il s'agit du capital produit, des actifs matériels et immatériels, utilisé dans le processus de transformation économique, il détermine également la performance macro-économique. Autrement dit, il englobe les moyens de

production fabriqués par l'homme, comme les machines, les outils et les infrastructures, mais également les infrastructures qui ne sont pas spécifiquement liées à l'activité de production, les actifs incorporels, les actifs financiers et le progrès technique permettant d'influer sur le débit actuel et futur de la production.

Certainement, la vision de la durabilité incite de renforcer à la fois les trois capitaux. Au sein des Nations Unies, le débat se concentre particulièrement sur le capital économique, car la croissance économique est ce que la plupart de ses membres veulent le plus, en particulier les pays en développement.

Le capital économique est assez bien défini. Il fait référence à la vision traditionnelle du capital. Il est la spécialité des sciences économiques 'classiques'. Il est exclusivement produit par l'homme. Il ne présente aucun problème dans la mesurabilité ou dans l'unité de mesure puisqu'il est exprimé a priori par unité monétaire. Pour ces raisons que nous voyons qu'il ne sera pas nécessaire d'approfondir la présentation de la nature et des caractéristiques de ce type de capital, puisqu'elles sont connues de tous. La valeur de capital produit est enregistrée dans les comptes de bilan des comptes nationaux, mais aussi dans les comptes d'entreprises.

Sur le plan économique, le DD cherche à poursuivre le progrès, la mondialisation réussie en favorisant la coopération. Il est pour une économie efficace et la suppression des modes de production et de consommation non durables. Le principe du pollueur/payeur en est une illustration<sup>52</sup>.

Le capital produit ne vise pas que la production qui se produit à l'intérieur de marchés (contrairement au sens économique strict de terme). En plus de la production, il mesure l'activité se déroulant à l'extérieur du marché formel comme les activités non marchandes des ménages ou le volontariat (ménage, éducation des enfants, la touiza, etc.)

Selon la définition économique stricte et traditionnelle, le capital produit est l'ensemble de biens produits qui procurent des avantages à leurs propriétaires au fil du temps dans le processus de production. Nous parlons alors de capital technique. Plus récemment, les économistes ont redéfini le terme de capital pour lui donner un sens plus large en lui ajoutant les biens qui fournissent des avantages ponctuels tel que la nourriture... et les autres biens de consommation durables, sans oublier de citer le capital financier et le progrès technique.

Le capital financier fait généralement référence à un volume monétaire, des dépôts bancaires, obligations, produits dérivés, comptes clients, caisses de retraite et réserves pour les assurances. Contrairement aux autres types, il n'a aucune valeur réelle. Il permet la détention et l'échange des autres types de capitaux.

---

<sup>52</sup> Camus S. et al. 2010. P. 257.

Le progrès technique : L'éventail des opportunités qui s'offriront aux générations futures sera déterminé par la manière dont le progrès technique influencera sur la productivité des actifs existants. Le progrès technique peut avoir des répercussions sur l'évolution du stock des différents types de capital, par exemple s'il améliore l'efficacité des opérations d'extraction et de traitement des ressources naturelles épuisables comme le pétrole. Selon les travaux de Weitzman sur la durabilité et le progrès technique en 1997, l'ampleur des répercussions à attendre du progrès technique pour le bien-être futur pourrait largement excéder celle des effets de l'épuisement des ressources naturelles et de la pollution de l'environnement. Ainsi, selon Weitzman, les générations futures bénéficieront d'un niveau de bien-être supérieur à celui des générations actuelles même si le stock physique des différents types de capital vient à diminuer. Le progrès technique réduit le coût à long terme des mesures concourant à la réalisation des objectifs de DD du fait que le niveau plus élevé des coûts initiaux suscitera des innovations qui auront pour effet d'en atténuer le coût à un stade ultérieur. Encore le progrès technique accroît l'intérêt d'une action précoce, car le niveau plus élevé des coûts initiaux a de grandes chances de déboucher sur un avantage technologique à un stade ultérieur.

Plus de ses retombées sur le bien-être matériel, la technologie peut aussi aider à découpler la poursuite du développement économique de la dégradation de l'environnement et de répondre aux besoins des plus démunis. La diffusion de technologies ayant des effets moins nocifs générera également des avantages, susceptibles de compenser les coûts pour l'environnement de l'intensification des activités économiques. Des programmes judicieux de soutien destinés à encourager l'innovation et la diffusion des technologies peuvent contribuer à renforcer ces retombées positives.

Le stock du capital bâti, contrairement aux autres types de capitaux, il est monétairement facilement mesurable. Il est cumulable et il se dégrade avec le temps. Il se constitue, s'accroît et se renouvelle grâce à des flux, les investissements (FBCF) qui se réalisent au cours d'une période et l'activité de production. Il se détériore par l'amortissement pour les actifs durables (CCF) et par la consommation finale pour les actifs non durables et aussi par des pertes de valeur liées au temps ou cadre réglementaire ; le capital devient technologiquement dépassé, par exemple, brevet, logiciel. La dépréciation du capital construit est complètement réversible, il suffit de supporter les coûts d'investissement. Dans ce cas, nous pouvons le qualifier d'un capital renouvelable épuisable.

### **2.2.2-Capital naturel**

Le capital naturel est une notion saillante vague se réfère parfois à la qualité de vie, parfois aux ressources naturelles voire à la nature. Il est également appelé ressources naturelles, services environnementaux et même infrastructures écologiques. Ce sont les biens et les services naturels de la Terre (sol, sous-sol, eau, air, faune et flore). Autrement dit, les

ressources naturelles renouvelables et non renouvelables qui entrent dans le processus de production et servent à répondre à des besoins de consommation, ainsi que les actifs environnementaux ayant une fonction d'aménité ou un usage productif et qui sont essentiels à la survie de l'espèce. Ce concept du capital naturel peut être vu, notamment par les néoclassiques, comme encourageant de traiter la nature comme une marchandise.

Sur le plan écologique, l'objectif du DD est de préserver l'environnement naturel en réduisant les émissions de polluants de l'air, de sol et de l'eau, en recyclant, puis en mettant tout en œuvre pour éviter la disparition des espèces animales et végétales, la déforestation, la désertification et l'affaiblissement des ressources naturelles<sup>53</sup>.

Le terme capital naturel a été popularisé par Pearce et Turner en 1990<sup>54</sup>, qui le définissent comme «*le stock d'actifs environnementaux et naturels, du pétrole dans le sol à la qualité de sol et des eaux souterraines, du stock de poissons dans l'océan à la capacité du globe à recycler et absorber le carbone* ». Il est à la fois un facteur de bien-être, de moyen de subsistance et de prospérité économique<sup>55</sup>.

Le concept de capital naturel est anthropocentrique, néanmoins controversé, car se limite aux avantages de la nature pour la société et néglige la valeur intrinsèque de la nature, et l'aspect moral qui fait que la nature n'est pas uniquement au service de l'humanité.

### 2.2.2.1-Composants du capital naturel

À la base, il y a trois catégories de stock de capital naturel: ressources naturelles, services écosystémiques et services d'aménité ; alors que la pensée dominante en économie ne considère que la première catégorie.

Les ressources naturelles sont définies en économie comme les facteurs de production 'non produits' qui nous sont alloués<sup>56</sup>. Toutes ces choses utilisables retirées de la nature. Également appelées Ressources abiotiques : liées à des systèmes et à des processus géophysiques et à leurs composants. Nous comptons 1) Ressources abiotiques du sous-sol, ressources géologiques généralement non renouvelables et épuisables ; minéraux, éléments terrestres, combustibles fossiles... et 2) Autres ressources abiotiques généralement renouvelables, mais épuisables: Couche d'ozone, système climatique, l'eau... et d'autres ressources non épuisables comme le rayonnement solaire... 3) Ressources biotiques renouvelables et épuisables comme le bois. Tous ces éléments sont utilisés, soit comme matière première, soit comme partie d'un processus de production.

---

<sup>53</sup> Camus S. et al., 2010, P. 257.

<sup>54</sup> Jabareen Y., 2006. P. 3.

<sup>55</sup> Ten Brink P., 2015. P.46.

<sup>56</sup> Michael P., King D., 1992.

Les services écosystémiques sont des processus naturels essentiels à la vie. Également appelé ressources biotiques liées à des systèmes et à des processus écologiques et à leurs composants qui assurent des services de régulation<sup>57</sup>. Ils sont dégradables et épuisables. Par exemple, les terres agricoles pour produire de la nourriture. Les zones humides filtrent l'eau. Ils ont la capacité à absorber les émissions polluantes qui résultent d'actions humaines et offrent des habitats naturels aux espèces. Il intègre également le capital génétique ; gènes et espèces en tant que ressources ; rareté, diversité, caractère unique ...s'ils ne sont pas fragilisés, ces processus naturels nous fourniront des services indéfiniment. Cependant, nous pouvons les dégrader. Cultivé négligemment, le sol dans une ferme érode ou perd les éléments nutritifs essentiels. Les sédiments dans les zones humides réduisent leur capacité à filtrer l'eau.

Les services d'aménité sont liés à l'esthétique ou la beauté de la nature qui assurent des services écosystémiques culturels. Concept qui évoque certains aspects du romantisme. En plus de contribuer à notre qualité de vie générale, la beauté de la nature est essentielle au tourisme et aux loisirs, qui constituent la base de l'économie de certaines communautés. Un champ plein de fleurs et de verdure, une vue sur une chaîne de montagnes ou un littoral, un parc par une chaude journée d'été, le chant des oiseaux et un ciel étoilé... font partie de la beauté de la nature. Les fleuves et les récifs coralliens... sans oublier qu'il s'agit aussi d'un réservoir de connaissances scientifiques.

#### 2.2.2.2- Caractéristiques du capital naturel

Le capital naturel comprend le stock de tous les atouts naturels. Les humains peuvent modifier la quantité et la qualité de ce stock. Cette modification peut être une amélioration (géré et valorisé) ou une dégradation (surexploitation, pollutions) de ce stock. Les humains peuvent améliorer la reproduction de capital naturel par des réinvestissements, mais il ne peut pas être créé par les humains. Ce type de capital reste prisonnier des lois de la nature.

Comme déjà signalée, l'étude des flux est essentielle dans la valorisation d'un capital<sup>58</sup>. Au sein des actifs naturels, plusieurs genres de flux (renouvellement naturel et utilisation humaine des ressources) peuvent être évoqués. Des flux de services écosystémiques liés à l'approvisionnement en produits alimentaires, minéraux, énergie, médicaments... des flux (dégradation ou amélioration)liés à l'entretien (climat, débit fluvial, épuration d'eau, érosion du sol, désertification ... ces flux peuvent épuiser le stock. Des flux abiotiques liés à des cycles géophysiques, flux solaires, géothermiques, vent, hydrologie... des flux qui n'épuisent pas le stock. En fin, des flux matériels: phosphates, engrais, combustibles fossiles, gravier...des flux qui peuvent épuiser le stock non renouvelable. Tous

---

<sup>57</sup> Babin D., Weber J.-L., 2017.

<sup>58</sup> L'analyse des flux de matières et d'énergie permet une vue d'ensemble de la structure des flux de ressources et l'identification des inefficacités au sein d'un système.

ces flux doivent être pris en compte, dans la mesure de possible, dans le bilan écologique de capital naturel. Des flux systématiquement négatifs peuvent être interprétés comme une indication de tendances non durables<sup>59</sup>.

L'étude du capital naturel est caractérisée par la prise en compte des temps très variables généralement longs, c'est-à-dire des temps qui dépassent les temporalités habituellement retenues dans les études économiques et démographiques. Les temps naturels sont diversifiés, ils peuvent être biologiques, climatiques, géologiques... H. Daly préfère parler des rythmes naturels, rythme de renouvellement, rythme d'absorption...

Cette différenciation temporelle trouve son origine dans la diversité des actifs de capital naturel. Des actifs dont le stock est constant tels que les minéraux, les métaux, les matériaux, qui sont infiniment recyclables, mais la qualité est altérable. Des actifs non renouvelables et épuisables, tels que les énergies fossiles..., à l'échelle humaine sont non renouvelables alors qu'à l'échelle géologique (en millions d'années) sont considérées comme renouvelables. Des actifs renouvelables à des rythmes variables et qui peuvent être non épuisables (comme le vent) et épuisables (comme la pêche et les forêts). Le capital naturel est caractérisé par l'irréversibilité, dépasser un certain niveau de dégradation le capital naturel perd sa qualité de renouvelable et le retour en arrière est impossible<sup>60</sup>.

Les catégories de services que le capital naturel procure à notre bien-être sont :

- Soutien direct à la subsistance : Aliments, matières premières, eau...
- Sécurité et résilience : Sécurité alimentaire, atténuation des conséquences des catastrophes naturelles, adaptation aux changements climatiques...
- Santé physique et mentale : Accès à une eau propre et à un air pur, contrôle des maladies, régulation du climat...
- Relations sociales : Cohésion sociale, intégration...

Le capital naturel est à la base de très nombreuses activités économiques et du bien-être des sociétés. L'état de dégradation très préoccupante des écosystèmes et la perte de services écosystémiques pourraient entraîner rapidement une modification des conditions de vie de l'humanité sur Terre, donc de son bien-être.

### **2.2.2.3- Mesure du capital naturel**

Comme il existe une comptabilité nationale pour mesurer l'activité économique, depuis Rio 1992, des chercheurs proposent de mettre en place un véritable système de comptabilité national (SCN) du capital naturel. La comptabilité en termes physiques peut être complétée par une évaluation en termes monétaires des valeurs et des coûts.

---

<sup>59</sup> OCDE (2). 2001. P. 24.

<sup>60</sup> Breton J.-M., 2008.

La mesure de capital naturel pose quelques difficultés puisqu'ils n'ont pas de prix au sens de l'économie de marché, étant donné qu'il n'existe pas de méthodes universelles ou standards. Deux méthodes d'évaluation sont mises en œuvre, évaluation monétaire ou physique<sup>61</sup>. Dans l'approche de l'économie de l'environnement de l'école néoclassique, plusieurs tentatives existent pour lui attribuer une valeur monétaire. Des tentatives pour décrire son état et son évolution avec des méthodes aussi, proches que possible de celle de l'économie marchande. Dans l'approche de l'économie écologique l'évaluation physique (matière-énergie) est soutenue tout en critiquant l'évaluation monétaire.

Pour certains éléments de capital naturel échangés sur le marché (comme les terrains, l'énergie fossile et qui ont une valeur physique quantifiable), il est possible d'attribuer une valeur monétaire<sup>62</sup>. Le problème réside dans la valeur à attribuer aux éléments non échangés sur le marché, en particulier aux services écosystémiques de régulation et d'aménité<sup>63</sup>, comme l'atmosphère, les océans, etc. Les services écosystémiques ne possèdent pas leur agrégation parce que l'inventaire exhaustif d'une telle approche est techniquement infaisable<sup>64</sup>. Le problème de mesure vient de ce cas, notamment aux aménités environnementales qui sont a priori gratuitement offertes par la nature, non quantifiables, notamment par la monnaie, et donc inestimables. Dans ces cas, les seules observations possibles sont d'ordre physique (bilans matière-énergie), voire socioculturel, éthique ou autres. Des études interdisciplinaires s'imposent pour permettre d'apprécier les dégradations ou les restaurations du patrimoine naturel, sachant que chaque élément procède selon leur nature et leur rythme de reproduction. Nous présenterons quelques méthodes d'évaluation (non exhaustives).

La première méthode d'évaluation monétaire s'appuie sur la notion de services rendus par le capital naturel (services d'approvisionnement, services de régulation et services socioculturels). Toute "*transformation de ces services engendre, pour la société dans son ensemble, des bénéfices ou des pertes de bien-être qu'il faut mesurer*"<sup>65</sup>. C'est la méthode préconisée par le Système de Comptabilité Économique Environnementale, convertir les services écosystémiques en monnaie et d'agréger leur valeur nette actualisée<sup>66</sup>. L'évaluation des actifs naturels peut se faire en tenant compte de leur valeur directe (consommation directe = valeur d'usage) et de leur valeur indirecte (consommation indirecte = la fonction écologique de cette ressource). Elle est aussi liée aux valeurs d'option, d'existence et de delegs<sup>67</sup> traités dans

---

<sup>61</sup>Abdelmalki L., Mundler P., 2010.

<sup>62</sup>Boude J. P., Chaboud C., 1995.

<sup>63</sup>Masson J.-P., 2014. P. 3.

<sup>64</sup>Babin D., Weber J.-L., 2017.

<sup>65</sup>Parkin M., King D., 1992.

<sup>66</sup>BABIN D., WEBER J.-L., 2017.

<sup>67</sup> Une valeur d'option égale au consentement à payer pour conserver la ressource pour des usages futurs soit direct, soit indirect. Il s'agit de conserver la possibilité d'utiliser cette ressource dans l'avenir. Une valeur d'existence rendra compte du fait que "certains peuvent souhaiter qu'une ressource soit maintenue dans un état propre à en assurer la pérennité.

la section 3 de chapitre premier. La valeur totale de capital est la somme de : valeur d'usage directe, valeur de consommation indirecte, valeur d'option, valeur d'existence et valeur de legs. Certains ajoutent à cette liste, la valeur écologique qui exprime l'interdépendance entre les organismes naturels (ex. chaîne alimentaire)<sup>68</sup>.

Ces différentes valeurs ont pour défaut principal d'être représentatives que pour un moment donné, dans des conditions données : dans un contexte économique, social, historique donné. Elles ne peuvent donc pas être utilisées pour effectuer une évaluation absolue de la valeur de la nature. Il s'agit donc d'un chiffrage qui ne peut être employé que dans un cadre très précis. Cela rend l'utilisation très délicate. Cette capacité intrinsèque ne se mesure pas par la valeur monétaire des services obtenus, car celle-ci dépend de beaucoup de facteurs spécifiques tels que leur combinaison avec d'autres produits, les conditions du marché, de la finance ou de la technologie.

La deuxième méthode d'évaluation monétaire s'appuie sur la notion de coût collectif d'opportunité de la ressource. Selon Roseland, 2000, les dégradations de capital naturel impliquent des coûts élevés à répercuter sur les générations futures<sup>69</sup>. Ces coûts doivent rendre compte de l'ensemble des coûts de son utilisation. Il s'agit de la somme de trois types de coûts: coûts directs d'exploitation, coûts externes d'exploitation (externalités et d'encombrement) et coûts pour l'utilisateur de la ressource, si elle n'est pas gérée de façon à en assurer sa pérennité ou son renouvellement (ou encore sa restauration). Le coût sera alors celui à supporter par les générations futures du fait de la mauvaise gestion. Ils sont étroitement dépendants du taux d'actualisation choisi pour effectuer le calcul économique. Le bon exemple dans ce cas est le « permis à polluer ».

La mesure de capital naturel revient à, l'estimation des coûts de restauration correspondants, l'évaluation de services qui ont un intérêt particulier par leur importance ou par leur niveau supposé de dégradation, mesure physique et estimation monétaire.

### **2.2.3-Capital social**

Dans le domaine de la durabilité, le capital social sous-entend à la fois le capital social proprement dit, le capital humain et souvent même le capital institutionnel<sup>70</sup>. Le capital humain et le capital social sont considérés non pas comme des fins en soi (comme dans le paradigme classique du développement), mais comme des ressources (capacités humaines et sociales) qui peuvent être utilisées pour favoriser et renforcer la durabilité.

---

<sup>68</sup> Abdelmalki L.,Mundler P., 2010, p. 40.

<sup>69</sup> Jabareen Y., 2006. P. 3.

<sup>70</sup> Les dispositions politiques, institutionnelles et juridiques interagissent fortement avec le capital humain et social. Pour certains scientifiques (Coleman, 1988 et Rodrik, 2000) ils sont indissociables. Il y a une forte complémentarité entre le capital humain, le capital social et les dispositions politiques, institutionnelles et juridiques. Ils sont substituables, notamment lorsque les institutions et règlements officiels peuvent remplacer des réseaux sociaux informels.

Les capitaux humain, social et institutionnel sont étroitement liés, ils sont à la fois complémentaires et fortement substituables. C'est pour cette raison que les trois capitaux sont récapitulés dans une seule dimension, le piler social du DD. Il faut cependant soigneusement distinguer plusieurs éléments, car le capital humain réside dans les individus, le capital social réside dans les relations sociales ; et les dispositions institutionnelles, politiques et juridiques définissent les règlements et les institutions en vertu desquels le capital humain et capital social fonctionnent.

### **2.2.3.1-Capital humain**

Habituellement considéré dans l'économie comme analogue au facteur travail. Depuis le début des années 1960, l'attention des économistes se porte de plus en plus sur la qualité de la main-d'œuvre, en particulier la formation. Le capital humain désigne les qualifications des personnes et leurs compétences acquises par l'instruction et l'expérience ou innées comme la motivation et la santé physique, psychologique qui accordent divers avantages d'ordre personnel, économique et social.

L'OCDE définit le capital humain comme connaissances, qualifications, compétences et caractéristiques individuelles qui facilitent la création de bien-être personnel, social et économique<sup>71</sup>. Ce n'est pas uniquement l'ensemble des capacités productives qu'un individu acquiert par l'accumulation de connaissances et de savoir-faire..., autrement dit les connaissances, aptitudes, compétences et caractéristiques individuelles qui facilitent la création de bien-être personnel. Ainsi défini, le capital humain inclut la formation (structurée ou non) et la santé.

Le capital humain joue un rôle de plus en plus décisif dans la réussite des personnes et des nations. Nous attendons des individus qu'ils soient accomplis, souples et adaptables, et disposés à apprendre tout au long de leur vie.

La santé est aussi un facteur important du bien-être et de la performance économique tout en étant liée à l'âge, au mode de vie, à la situation sociale, au niveau de formation et à l'étendue des liens sociaux et de la solidarité entre les personnes. De fait, certains économistes considèrent que la santé fait partie du capital humain<sup>72</sup>.

Les effets sociaux positifs de la formation l'emportent sur les effets négatifs. Les effets indirects de l'instruction, amélioration du bien-être individuel et de la cohésion sociale, l'emportent sur la croissance économique à travers des avantages sociaux qui peuvent être aussi grands que ses effets directs. Les personnes mieux instruites sont en général en meilleure santé. Elles font moins de recours aux prestations sociales et transmettent les bénéfices de la formation aux générations futures. L'instruction améliore la recherche d'un

---

<sup>71</sup> OCDE (1), 2001. P. 18.

<sup>72</sup> Idem. P. 13.

emploi, produit des consommateurs efficaces et responsables et les encourage à participer dans la vie civique. Une corrélation existe aussi entre l'instruction et le recul de la délinquance, le volontariat, l'autodiscipline et le don. Ainsi, l'accroissement du capital humain est avantageux au capital social. Il souligne l'importance des personnes dans les sociétés fondées sur le savoir et les compétences.

#### **2.2.3.1.2- Caractéristiques de capital humain**

Le capital humain et le capital physique présentent des caractéristiques communes. Le capital humain comporte une dimension temporelle dans laquelle des investissements sont réalisés et des avantages seront obtenus. Il implique de renoncer à des avantages à court terme (formation ou travail). Il est cumulable et il se dégrade avec le temps (retraite et obsolescence). Il diffère du capital physique dans la mesure où les règles d'aliénabilité et de possession ne s'y appliquent pas au capital humain. Par définition, le capital humain réside dans les individus, et les services qu'il produit peuvent faire l'objet d'échanges marchands. Mais, la propriété de ce capital ne peut faire l'objet d'une cession ni être vendue, il est inaliénable propre à l'individu, notamment pour les capacités innées comme l'intelligence.

D'autres caractéristiques peuvent être ajoutées. Le capital humain s'acquiert par l'investissement dans la formation et se développe plus en moins vite dans des cadres culturels précis<sup>73</sup>. Il se développe (capacités cognitives) par son utilisation et l'expérience, à la fois dans l'emploi et en dehors de celui-ci, ainsi que grâce à l'acquisition de connaissances informelles et formelles. Il se développe également par un travail de réflexion personnelle et de formations autodirigées. Il tend également à se déprécier s'il n'est pas utilisé. Certaines qualifications vont perdre en importance avec le temps (dépassées par le temps et le progrès technique). Par conséquent, pour que l'économie soit durable, faut que l'investissement soit continu dans le capital humain. Ainsi, nous ne saurions concevoir le capital humain comme un ensemble homogène et statique acquis une fois pour toutes. Par analogie, nous pouvons considérer le capital humain comme un ensemble de ressources renouvelables, mais épuisables.

Le capital humain influe également sur l'inégalité des revenus. Plus il est inégalement réparti, plus grandes sont les différences de revenus (type d'emploi, chômage, revenu). Un niveau élevé du capital humain facilite la coopération ce qui réduira les dépenses dans l'équipement et les services telles que la sécurité et la préservation du lieu naturel.

#### **2.2.3.1.3- Mesure du capital humain**

Le capital humain par son critère multiple est généralement mesuré par des indicateurs multicritères. Comme le faisaient les Nations Unies en calculant l'indice de développement

---

<sup>73</sup> Le contexte culturel, normes, habitudes et valeurs, exerce une influence sur les activités d'apprentissage par les réseaux sociaux (vie associative) et les normes.

humain (IDH) abordé dans le chapitre précédent. Le capital humain est évalué par rapport à des compétences cognitives et de savoir acquis et des conditions de santé.

Il est périlleux de mesurer la qualité du stock de capital humain<sup>74</sup>. Afin de le mesurer, nous faisons appel à plusieurs méthodes, selon que nous nous focalisons sur le financement, sur l'accès, sur l'obtention de diplômes ou encore sur le degré de réussite ou de compétence atteint.

La première méthode s'intéresse aux titres et aux diplômes. Une méthode simple et facile à utiliser pour mesurer les qualifications et les compétences, mais insuffisante pour mesurer le capital humain. Il est difficile de faire la somme des différents titres et diplômes. La difficulté de comparer des diplômes différents (ex. des diplômes délivrés par différents centres de formation et pays). Dans la mesure, Hanushek et Kimko, 2000, et Barro, 2001, recommandent de faire la différence entre le nombre d'années d'études ou de diplômes et la qualité de l'instruction<sup>75</sup>. Selon eux cette dernière explique beaucoup mieux la croissance économique dans différents pays que la première.

La deuxième méthode s'intéresse aux engagements financiers publics ou privés dans le financement de la formation. Pour améliorer les performances, l'accroissement des dépenses d'éducation pour l'accroissement de la fréquentation et la progression des dépenses réelles par élève. Selon Hanushek et Kimko, 1995 et 2000, et Gundlach, Wossmann et Gmelin, 2000, cités par l'OCDE, 2001, les données empiriques révèlent que le volume des dépenses exerce une influence limitée sur les résultats. L'efficacité des résultats sont étroitement liés aux pratiques pédagogiques, l'organisation de l'école et le soutien des parents<sup>76</sup>.

La troisième méthode consiste à évaluer, à l'aide de questionnaires, les performances et les compétences des individus. Cette évaluation ne porte que sur certains aspects des aptitudes et compétences. Elle se heurte aux limites propres aux méthodes d'enquête et d'évaluation.

La quatrième méthode, pour estimer la valeur du capital humain, elle tente de regrouper les données relatives aux projections des revenus du travail des individus durant leur vie entière. Cette méthode incorpore certaines limites en négligeant les qualifications collectives dont l'incidence est bien supérieure à celle des qualifications individuelles. Aussi, il est difficile de monnayer sous forme de salaire l'intégralité des compétences dans la mesure où l'employeur est le seul acheteur potentiel de ces compétences.

Il est difficile d'agrèger les différentes composantes du capital humain comme les aspects parfaitement spécifiques, étroitement liés à la culture, non communicables, tacites et

---

<sup>74</sup> OCDE (1), 2001. P. 31.

<sup>75</sup> Idem, P.34.

<sup>76</sup> Idem, P. 23.

hétérogènes. Ces limites et difficultés liées aux différentes méthodes de mesure indiquent la délicatesse des estimations de stocks ou de flux du capital humain, surtout dans les comparaisons internationales à indice unique. Dans la mesure, il faut reconnaître les limites de nombreuses variables représentatives. Par exemple, faute d'opérationnalisation suffisante, le capital social n'est pas encore intégré comme quatrième forme de capital dans l'indicateur de l'épargne véritable<sup>77</sup>.

### 2.2.3.1.3- Capital social collectif

L'idée de capital social remonte aux travaux de Tocqueville, Durkheim et Weber, mais le concept lui-même est très récent, créé dans les années 1980 par Bourdieu et Coleman. Le capital social ne se prête pas à une seule et unique définition<sup>78</sup>. Parmi les quatre principales optiques, nous préférons celle formulée par l'optique de la science politique qui accentue le rôle du capital social dans la détermination du comportement humain. Elle est généralement utilisée, notamment par la Banque Mondiale, pour clarifier le rôle joué par ce capital social dans la réduction de la pauvreté et la promotion du DD.

Selon la Banque Mondiale, « *Le capital social désigne les institutions, relations et normes qui déterminent la qualité et la quantité des interactions sociales d'une société* »<sup>79</sup>.

La Banque Mondiale déclare que de plus en plus d'éléments palpables montrent que la cohésion sociale est capitale pour que les sociétés soient économiquement prospères et pour que le développement soit durable. Le capital social n'est pas simplement la somme des institutions d'une société, c'est le ciment qui les lie.

Le capital social est rarement explicite. Il renvoie à toutes les interactions qui peuvent exister entre les membres d'une société et qui peuvent agir sur sa situation économique, autrement dit ; les réseaux de normes, valeurs et convictions communes qui facilitent la coopération au sein des groupes (ex. : relations familiales, participation à la vie associative, action syndicale...) et entre eux (ex. : coopération entre ONGs, associations locales et État afin de promouvoir le développement au sein d'un pays).

Sur le plan social, le DD vise à instaurer un minimum d'équité dans le temps et dans l'espace. L'objectif est de réussir à satisfaire au moins les besoins essentiels de la population mondiale croissante. Le DD vise à atténuer les inégalités Nord/Sud en s'attachant à une meilleure répartition des richesses et en luttant contre la pauvreté. Il repose sur les principes de solidarité et d'équité pour les générations présentes et futures, en vue d'une amélioration générale du bien-être de chaque individu en termes de santé, d'éducation et

---

<sup>77</sup> Une façon de signaler que lors des projets de mesure, si une difficulté majeure est rencontrée dans la quantification d'un actif, celui-ci sera tout simplement écarté de la mesure. D'ailleurs, c'est ce que nous avons fait lors de la construction de l'IDSE, voir chapitre quatre.

<sup>78</sup> Idem, P. 31.

<sup>79</sup> <http://www.worldbank.org/poverty/scapital/whatsc.htm>. consulté le 10 mars 2018

d'épanouissement. Par ailleurs, l'objectif est de conserver les traditions et l'authenticité locales tout en favorisant le développement des populations<sup>80</sup>.

#### 2.2.3.2.2- Composantes du capital social

Usuellement, en parlant de capitale social, nous sous-entendons les relations entre et intra groupe civil. En réalité, des études plus élargies, qui considèrent le capital social comme «patrimoine social». Des études qui ont identifié deux types de capital social largement substituables : le capital social civil et le capital social institutionnel.

L'étude conceptuelle du capital social civil nous amène à identifier deux aspects majeurs:

- Capital social structurel inhérent à la structure des relations entre les personnes. Il fait référence aux diverses formes d'organisation sociales qui définissent les rôles, les procédures et les réseaux sociaux.
- Capital social culturel découle des processus mentaux et des idées qui en résultent telles que: les normes, les valeurs sociales, les croyances, la confiance, etc.
- Capital institutionnel est l'ensemble des contraintes que les hommes ont volontairement mis en place et qui organisent leurs relations afin de réduire l'incertitude et rendre les comportements des uns et des autres plus prévisibles. Ce sont des règles qui s'imposent aux acteurs économiques et sociaux.

Il existe différents types d'institutions : de protection (de la propriété, des contrats, des ressources), de surveillance (de la concurrence), de régulation (respect des équilibres économiques), de couverture (assurance, protection), d'arbitrage (dans les conflits).

Les deux capitaux structurel et culturel du capital social sont interdépendants et se renforcent mutuellement<sup>81</sup>. Les aspects structurels découlent des comportements cognitifs et forment un cadre dans lequel vont se perpétuer ces comportements cognitifs. Ainsi, c'est parce que deux acteurs ont confiance l'un envers l'autre vont tisser des relations réciproques, un réseau social. Ce réseau renforcera la confiance dans les relations puisqu'elles reposent désormais sur des précédents (une histoire) entre les deux parties. Le capital social structurel est relativement objectif dans le sens où ses manifestations sont «visibles»: ce qui en fait une forme «externe» de capital social par opposition au capital social culturel (cognitif) qui est interne dans le sens où il réside dans la tête des individus. Le fait que ce dernier concept soit relatif à ce que pense où ressent une personne, un concept subjectif, il est donc difficilement observable.

Couramment, la dimension sociale de la durabilité est symbolisée par l'équité sociale. Contre toute attente, la mesure du capital social n'inclut pas toujours l'équité. Selon

---

<sup>80</sup> Camus S. et al., 2010. P. 257.

<sup>81</sup> Sirven N., 2000. P. 5.

l'approche par capitaux, la mesure de la durabilité ne présente pas l'équité comme une thématique particulière puisqu'elle ne constitue pas un capital en soi. Cependant, il est possible d'analyser l'équité à travers les différentes contributions associées aux stocks de capitaux (selon le sexe, l'âge, le territoire, etc.).

Gendron et Revéret, 2000, qui voient dans la notion du DD que le développement social comme un objectif, l'économie comme un moyen et l'intégrité de l'environnement comme une condition, suggèrent de voire l'équité comme étant à la fois un moyen, une condition et une fin du DD<sup>82</sup>.

Un autre élément inhérent à l'équité, c'est la notion de la cohésion sociale qui représente la capacité de notre société à assurer le bien-être de tous ses citoyens. Ce bien-être se traduit par la possibilité pour tout un chacun, d'accéder, quel que soit son niveau de vie, aux besoins essentiels. Avec une grande cohésion, la société parvient à atteindre ses objectifs globaux, car elle réussit mieux à protéger et à intégrer les personnes et les groupes en danger d'exclusion. La cohésion sociale permet aussi à une société de mobiliser l'énergie d'une importante fraction de la population pour faire bouger les choses. Elle développe le dialogue social, garantit un revenu minimal et un commerce équitable. Contrairement, selon Rodrik, 1998, la polarisation sociale peut empêcher la société de réagir à des chocs néfastes : l'exclusion et la discrimination, les inégalités sociales.

#### **2.2.3.2.3- Caractéristiques du capital social**

L'expression de capital social étant relativement nouvelle<sup>83</sup>, son acception n'étant pas universellement admise et que des travaux plus poussés s'imposent pour affiner ce concept et mettre au point des techniques de mesure.

Le capital social est en partie un bien public et en partie un bien privé. Comme le capital humain, le capital social a des externalités positives telles que de nombreuses personnes tirent parti de l'apport d'un individu ou d'un groupe au capital social.

Le capital social est un concept multiforme et en ce sens, difficilement abordable. Il apparaît difficile de tout répertorier et décomposer. Si une liste exhaustive était dressée, l'existence de double emploi rendrait fausse toute agrégation<sup>84</sup>.

Le capital social est un phénomène inhérent aux interactions sociales, et ce dans le sens où il réside dans les relations entre les individus. Or, de par leur nature, ces relations appartiennent à un espace temporel donné, et concernent un ensemble d'agents particuliers.

---

<sup>82</sup> Belem G., 2010, P.62.

<sup>83</sup> UN., 2008, P.52.

<sup>84</sup> Sirven N., 2000. P. 5.

C.-à-d. son aspect daté et non universel, confère à ce concept un statut intangible, hautement dynamique et en constante transformation.<sup>85</sup>

La première caractéristique apparaît dans la notion même de stock dans le sens où le capital social est cumulable. C'est le cas notamment, d'un point de vue structurel, lorsque la taille d'un réseau augmente, de nouveaux membres intègrent le groupe de base, ou des passerelles avec d'autres groupes. Mais, une accumulation du capital social sous l'angle culturel est aussi concevable à partir du moment où la confiance augmente entre les individus d'un groupe; il y a alors une accumulation de liens forts.

La deuxième caractéristique, partagée avec le capital humain, réside dans le fait qu'il peut être simultanément un bien de consommation et un investissement. En effet, lorsqu'un agent fait appel à une de ses connaissances et lui demande un service quelconque, nous pouvons dire qu'il consomme du capital social; et, dans le même temps, cette interaction va générer un peu plus de confiance et une «dette» du demandeur envers le prestataire du service (la réciprocité). Cette conséquence s'interprète comme un investissement dans le sens où elle contribue à l'accumulation de capital social (culturel).

La troisième caractéristique, le capital social ne se déprécie pas avec l'usage; au contraire, il augmente avec l'usage. Inversement, il se déprécie avec l'inutilisation: moins de contact fragilise les relations, moins efficaces en tant que ressources. En conséquence, le capital social a besoin d'être entretenu comme n'importe quel autre stock de capital; si non il perd de l'efficacité. Pour autant, le taux de dépréciation est très difficilement prévisible et il demande parfois beaucoup de temps pour qu'il soit visible. Toute dégradation de l'environnement social se produit sans doute progressivement et touche certains groupes plus que d'autres.

Une quatrième caractéristique est la convertibilité. Le capital social est convertible en d'autres formes de capital. Par exemple lorsqu'une personne demande de l'argent et qu'un parent ou un ami accepte de l'aider, elle transforme son capital social en capital économique. De même, si cet ami ou parent en échange vous permet d'accéder à un contrat de qualification dans son entreprise, vous transformez votre capital social en capital humain.

Une dernière caractéristique est la substituabilité et la complémentarité. Le capital social peut être un substitut ou un complément à d'autres ressources. Il est substituable dans le sens où un agent dont le capital humain est insuffisant (formation ou qualification) pour accéder à un emploi au salaire élevé peut se faire aider «pistonner, former, suggérer à une connaissance» par ses relations pour atteindre son objectif. Complémentaire, par exemple avec le capital économique, lors de Touiza des proches et des amis participent, par exemple, à la construction de la maison individuelle d'un membre.

---

<sup>85</sup> Idem, 2000. P. 5.

Puisque la durabilité nous incite à penser à long terme, il faut noter qu'il est difficile d'envisager les besoins sociaux futurs.

#### **2.2.3.2.4- Mesure du capital social**

L'évaluation et l'agrégation du capital social posent davantage de difficultés techniques. Il incorpore des aspects subjectifs difficiles à mesurer. Pour une société donnée, il est possible de choisir des indicateurs différents et d'attribuer implicitement à chacun des pondérations ou des degrés d'importance différents.

Il est difficile de mesurer le capital social<sup>86</sup>. La plupart des mesures portent sur la confiance et les niveaux d'engagement ou d'interaction dans des activités sociales ou des activités de groupe. En général, la mesure du capital social est fondée sur un indice composite qui couvre le plus grand nombre possible d'aspects essentiels (réseaux, valeurs et normes) et respecte un équilibre entre les éléments subjectifs liés à l'attitude (ex. niveaux de confiance déclarés) d'une part et les aspects comportementaux (ex. l'appartenance à des associations et l'étendue des liens sociaux)

La mesure de capital social est au stade rudimentaire et rencontre certaines difficultés considérables. La majorité des aspects de capital social sont tacites et relationnels et ne se prêtent pas aisément à la mesure ou à la codification. Lors de la mesure, une certaine confusion entre les sources, les fonctions et les résultats est commise. Les aspects comme les attitudes des individus ou leurs comportements sont des mesures indicatives du capital qu'il ne faut pas toutefois confondre avec le concept lui-même.

Dans la pratique, il est difficile de recueillir des données complètes sur le capital social notamment sur l'échelle internationale. Généralement, comme le fait la Banque Mondiale, suite au manque de ressources de données appropriées, des enquêtes par questionnaires sont réalisées. Sachant que les questionnaires ne peuvent être complets pour incorporer les multiples aspects de capital social.

Il est aussi très difficile d'attribuer une unité de mesure notamment monétaire. Le capital social est un phénomène essentiellement relationnel. Ces relations ont lieu en dehors du marché. À ce titre, nous parlons d'externalités. Le capital social génère donc des externalités difficiles à lister de manière exhaustive<sup>87</sup>. Cela risquerait de présenter un défaut de cohérence interne, la valeur de l'externalité dépend de la force des liens: la durée de la relation (temps passé ensemble), l'intensité émotionnelle, l'intimité, et les services réciproques que se rendent les partenaires. Le lien fort de groupe est susceptible de générer une confiance commune, des normes et des règles réciproques, développe les liens sociaux

---

<sup>86</sup> OCDE, 2001. P. 49.

<sup>87</sup> Sirven N., 2000. P. 8.

donc de stock du capital social. Alors que le lien faible de groupe aura des impacts néfastes sur le stock du capital.

Le stock de capital social fait référence à la mobilisation d'un actif qui s'identifie aux ressources sociales de l'individu. Alors que les flux du capital seront relatifs aux effets de ces ressources sociales sur le bien-être de l'individu. Des ressources pouvant générer un flux d'avantages ou de désavantages (dysfonctionnement) pour la société au fil du temps. Les indicateurs de dysfonctionnement social ; l'absence de coopération, comme l'évolution de la criminalité, de l'éclatement des familles et de la confiance..., représentent la dépréciation de capital social.

Étant donné la rigidité de nos modes de vie et ses répercussions à long terme des décisions actuelles, les différents types de capital constituent un des principaux mécanismes assurant un lien entre les générations. Avec le temps, le stock du capital suit une évolution, se déprécie, s'accroît ou se régénère naturellement. Ces évolutions des flux mettent très longtemps à se répercuter sur les stocks. Les différents types de capital présentent des caractéristiques et des longévités différentes, mais ont en commun de s'accumuler ou de se reconstituer lentement et de se dissoudre rapidement si leur mode d'exploitation n'est pas imprimé d'un souci de durabilité.

Si le stock de capital ne permet pas de répondre aux besoins croissants de l'humanité, les générations futures risquent d'être confrontées à l'effondrement, à la non durabilité.

Les différents types de capital affectent le bien-être par le biais de divers canaux et produisent de multiples retombées. Ces retombées peuvent avoir un caractère économique ou non économique, individuel ou collectif.

L'impact des différents types de capital sur le bien-être et sur le développement durable est fonction des dispositifs politiques, institutionnels et juridiques en place (notamment ceux garantissant les droits de propriété et le respect des contrats et obligations), ainsi que de la mesure dans laquelle ces institutions agissent de manière responsable et dans le respect des principes démocratiques.

### **2.3- Liens entre les piliers du développement durable**

Dans cette sous-section, nous nous intéresserons de près aux multiples liens d'interaction entre les trois dimensions de DD représentées par les trois types de capitaux. Nous nous intéresserons de près aux multiples interactions et aussi aux différentes relations de substitution et de complémentarité entre les trois catégories de capitaux.

Toutes les divergences et les difficultés, liées à la définition, à la conception du DD et surtout à sa mesure, trouvent leurs origines dans la diversité des réflexions sur les préoccupations et dans la prise en compte des interdépendances ou interactions entre ces

capitaux représentatifs des trois dimensions du DD. Ces difficultés se manifestent lors de l'évaluation et surtout lors de l'agrégation des différents types de capital.

Si le DD doit être atteint, comprendre les liens, les interactions et les interconnexions entre ses dimensions sont d'une importance significative. C'est parce que le comportement d'un système est généralement déterminé autant par les liens de causalité entre ses variables que par les changements dans les valeurs des variables elles-mêmes<sup>88</sup>. Pour cette raison que l'adoption ; 1) d'une approche systémique est nécessaire pour mesurer le DD, 2) d'une approche intégrée est nécessaire pour le mettre en œuvre.

### **2.3.1- Interactions entre les piliers du développement durable**

Tel que mentionnée précédemment dans le premier chapitre, la notion de DD met l'accent sur la compatibilité à long terme. Tout en se rappelant qu'il peut y avoir concurrence entre ces objectifs d'ordre économique, environnemental et social ce qui complique la mise en œuvre des stratégies du DD.

Ce dilemme entre les trois objectifs conflictuels nous impose deux conclusions essentielles.

Premièrement, dans le processus du développement, il faut trouver un juste équilibre entre ces différents objectifs et exploiter leurs effets de synergie, car les progrès accomplis dans un domaine particulier risquent de se révéler de courte durée, donc non durables, s'ils ne s'accompagnent pas d'avancées sur les deux autres domaines.

Deuxièmement, le développement doit s'inscrire dans une perspective à long terme, tenant compte de ses retombées futures. Ainsi, les décisions de la génération actuelle doivent s'assurer que les dégradations provoquées ne doivent pas compromettre les opportunités et les chances des générations futures. Rappelons que les dégradations des systèmes écologique et social sont parfois difficilement réversibles, si elles ne sont pas irréversibles.

Une façon de confirmer l'interprétation selon laquelle le DD consiste à chercher perpétuellement un équilibre dynamique.

Ces interactions sont source de complexités et de risques nouveaux pour la mise en œuvre et la mesure de DD. Le défi consiste à mieux intégrer les considérations de durabilité dans les politiques économiques, étant donné que les objectifs économiques occupent actuellement une place prépondérante dans nos décisions quotidiennes.

Exploiter les synergies entre les trois domaines de DD peut permettre de concevoir une compréhension détaillée de leurs complexités et surtout de faciliter la mise en œuvre. Des arbitrages sont cependant parfois inévitables du fait que les différents objectifs ne revêtent pas le même degré de priorité à l'échelle nationale ou internationale et qu'ils peuvent dans

---

<sup>88</sup> Gallopín G., 2003. P. 22.

certains cas se révéler incompatibles. Telle mesure destinée à stimuler l'activité économique d'un secteur donné ou d'une région particulière peut avoir des retombées défavorables sur la qualité de l'environnement. Telle disposition visant à accroître l'efficacité économique peut aller à l'encontre des objectifs d'équité et de cohésion sociale, le contraire est aussi possible, une disposition supposée assurer l'équité peut d'une manière ou d'une autre entraver le bon fonctionnement des marchés.

### **2.3.1.1- Interactions entre l'économique et l'environnemental**

L'interaction de l'environnemental vers l'économique, concerne tous les services que les ressources environnementales rendent pour l'activité économique, les ressources naturelles et le rôle de réceptacle..., et aux répercussions économiques de certaines mesures de protection de l'environnement, écotaxes et normes....

De l'autre côté, interviennent les retombées des activités économiques sur l'environnement. Soit du comportement dommageable, telles que, les pressions exercées par les activités économiques sur les ressources naturelles. Soit du comportement bénéfique, tel que, l'investissement dans la protection de l'environnement (réhabilitation, reboisement, dépollution). Ainsi que les droits de propriété régissant l'utilisation des ressources naturelles.

La pollution maîtrisée dans son ensemble par le progrès technique est illustrée par la courbe environnementale de Kuznets. Au début des années 1990, plusieurs études empiriques (ex. De Bruyn et al.1998) ont constaté l'existence d'une courbe en cloche entre divers indices de pollution et le niveau de revenu par tête.

### **2.3.1.2- Interactions entre l'environnemental et le social**

L'interaction de l'environnement vers le social vient de ce que l'environnement est source d'aménités pour le bien-être humain, même si les avantages qui en découlent ne peuvent être chiffrés. Une dégradation de l'environnement et une raréfaction des ressources qu'il offre, ce qui peut mettre en péril la santé des populations exposées. Un environnement sain contribue à améliorer les conditions de vie et de travail et à prévenir l'émergence de conflits.

En sens inverse, de social vers l'environnement, les conditions sociales influent sur l'environnement par le biais des modes de consommation des ressources environnementales (multiplication des véhicules) tandis que le niveau d'instruction et la sensibilisation peuvent influencer la protection de l'environnement. Certaines caractéristiques de l'organisation sociale, comme l'imposition de normes et la confiance mutuelle, peuvent par ailleurs limiter les comportements dommageables pour l'environnement. Francine Mestrum, auteur de nombreux travaux sur la pauvreté, a démontré entre autres que sans la réduction des inégalités sociales dans le monde, il ne peut y avoir de protection de l'environnement efficace.

### 2.3.1.3- Interactions entre l'économique et le social

Les tendances économiques et sociales sont liées, mais en partie seulement<sup>89</sup>. De la sphère sociale vers l'économique, l'interaction est liée à l'intervention du facteur humain dans l'activité économique (main-d'œuvre, compétences, connaissances et créativité) et à la manière dont les valeurs sociales, attitudes et institutions sociales, affectent le fonctionnement de l'économie, en contribuant par exemple à réduire les coûts de transaction ou à rendre moins nécessaire l'intervention de l'État pour introduire des règles contraignantes. Le capital humain et social, ainsi que les dispositions politiques, institutionnelles et juridiques, ont leurs propres liens traditionnels directs avec le capital produit et le capital naturel<sup>90</sup>.

Dans l'autre sens, la plupart des processus économiques ont des retombées sur la société, prospérité accrue, plus de moyens de financement des programmes de sécurité sociale ou modifient la répartition du revenu économique et, éventuellement, soient à l'origine de pressions sur les systèmes sociaux et culturels, de perturbations et de flux migratoires.

La croissance économique a une incidence positive sur les revenus du travail, l'emploi... conditions sociales. Une croissance économique rapide réduit la pauvreté absolue<sup>91</sup>, améliorations des niveaux de vie, des conditions de travail et de l'éducation. La croissance procure effectivement des ressources qui permettent de s'attaquer à l'exclusion sociale, à la pauvreté et à la mauvaise santé... la croissance élargit la palette des choix qui s'offrent à l'être humain (par ex. travail, loisirs ou activités politiques et culturelles)<sup>92</sup>.

### 2.3.2- Complémentarité et substituabilité

En plus des dimensions théoriques et philosophiques, le débat sur la substitution a d'importantes implications pratiques pour la politique de DD. Étudier la substituabilité entre les capitaux, comme nous le verrons dans la prochaine section, est primordial pour saisir les enjeux des deux principales approches de durabilité, forte et faible. Ces différents types de capitaux ne sont pas forcément substituables. Dans ce cas, il est essentiel de savoir dans quelle mesure les différents types de capital peuvent se substituer l'un à l'autre pour assurer concrètement que le stock de capital global ne diminue pas.

Dans l'optique économique, la substitution s'entend à la marge (entre une unité d'un type de capital et une unité plus ou moins d'un autre type de capital) plutôt qu'en termes absolus (un type de capital pouvant complètement remplacer un autre). Dès lors qu'une substitution est possible à la marge, l'épuisement d'un type d'actif n'exclut pas le DD sous réserve qu'il soit compensé par l'accroissement d'autres catégories d'actifs<sup>93</sup>. Nous parlons

---

<sup>89</sup> OCDE (1), 2001.

<sup>90</sup> Idem, 2001.

<sup>91</sup> Idem, 2001. P. 10.

<sup>92</sup> Sen A., 1987.

<sup>93</sup> OCDE (2), 2001,

alors de « durabilité faible ». Si une unité de capital naturel peut être substituée par une unité d'un autre type de capital, la notion de durabilité faible est respectée. Une substitution est envisageable entre ressources naturelles, voire entre les ressources naturelles et d'autres formes de richesse.

Ainsi, l'épuisement irréversible, en dépit d'une bonne gestion, d'une ressource non renouvelable (comme le pétrole) est compatible avec une durabilité faible du moment qu'il est compensé par l'accumulation de capital produit et de capital humain qui ne profiteront pas uniquement à la génération présente.

Au contraire, la « durabilité forte » où le capital naturel ne peut être remplacé par un autre type de capital. Il doit être préservé pour les générations futures. Dans l'hypothèse où il n'existe pas de substitut à certains types de capital et où leur dégradation entraîne une perte irréversible pour les générations futures. Par exemple, accroître la flotte de bateaux de pêche ne sera d'aucune utilité si les ressources halieutiques sont épuisées. Dans cette acception, la durabilité peut impliquer le maintien d'un stock donné (critique) de capital naturel, lequel devient alors une catégorie particulière d'actifs.

Jusqu'à présent le progrès économique était essentiellement caractérisé par le remplacement du capital naturel par du capital produit (ex. le bois de chauffage est remplacé par le gazole), préserver un niveau minimal de certains actifs naturels peut se révéler indispensable pour que le développement puisse durer. Notamment, lorsque la perte de capital est irréversible comme c'est le cas avec certaines ressources naturelles non renouvelables (comme les énergies fossiles, pour lesquelles un recyclage est impossible) voire même avec des ressources renouvelables, dont l'exploitation est poussée au-delà de ce qu'autoriserait leur capacité de reproduction. Aujourd'hui le constat est sans équivoque, la grande partie des ressources environnementales ; ressources naturelles et les écosystèmes (notamment les ressources énergétiques) sont aujourd'hui considérés comme entrant dans cette catégorie. Les critères de durabilité deviennent plus sévères à atteindre une fois le stock de ces ressources parvenu au seuil critique, notamment si nous dépassons leurs limites de régénération et de substituabilité. Autour de tout ça, nous ne devons pas oublier de ne pas dépasser la capacité d'absorption de l'environnement (ex. GES comme le CO<sub>2</sub> rejeter par la combustion énergétique) et par la nécessité d'éviter de faire subir à l'environnement des dommages majeurs irréversibles.

Aujourd'hui, il est très important de mieux comprendre le rôle des différentes composantes du stock de capital dans l'amélioration de notre bien-être. Et aussi de comprendre les conditions de la durabilité, à savoir préserver intact le stock de capital, en précisant le degré de substituabilité entre les différents types de capital.

L'examen de la durabilité ne se limite pas à étudier la substituabilité entre les différents types de capital. Or, les différents types de capital jouent des rôles complémentaires

dans la création de notre bien-être et chaque type de capital se révèle plus productif si, parallèlement, la disponibilité des autres est suffisante. En l'absence de quelques-uns des services essentiels qu'assure l'environnement (ex. matière première et système climatique bien réglé) l'économie ne pourrait pas fonctionner. Un capital naturel intact se traduit par une population en meilleure santé ce qui favorisera le niveau de productivité. La réduction de certaines formes de pollution peut entraîner une augmentation du rendement des cultures et réduire la fréquence et l'intensité des catastrophes naturelles qui provoquent des dégâts humains et matériaux.

Les préoccupations de veiller à l'utilisation durable des ressources renouvelables, c'est-à-dire éviter leur surexploitation, permettent de dégager des recettes totales plus élevées grâce à une utilisation continue et de préserver les possibilités d'emploi du stock. Des liens importants de complémentarité jouent également entre le capital social et le capital humain, de même qu'entrent le capital social et le capital naturel, les normes de réciprocité opérant au sein de la collectivité encourageant des comportements moins nocifs pour l'environnement.

En politique économique, comme nous l'avons indiqué plus haut, la notion de développement est habituellement assimilée à la croissance du revenu réel par habitant. De son côté, la notion de DD implique que nous nous préoccupons de la qualité de la croissance économique autant que de son niveau quantitatif, et du surplus de bien-être qui accompagne cette croissance économique, pour chaque individu en considérant les trois types de capital.

La durabilité économique renvoie aux impératifs d'une croissance économique soutenue et durable, à savoir préserver la stabilité financière, veiller à ce que l'inflation reste modérée et sans secousses, et entretenir les capacités d'investissement et d'innovation. La durabilité environnementale suppose de son côté de maintenir l'intégrité, la productivité et la réactivité des systèmes biologiques et physiques et de préserver l'accès à un environnement sain. Quant à la durabilité sociale, elle met l'accent sur un niveau élevé d'emploi, sur la capacité d'adaptation des systèmes de protection sociale aux grandes évolutions démographiques et aux changements structurels, sur l'équité, et sur la participation démocratique à la prise des décisions. Autant d'exigences qui se distinguent de l'efficacité économique, et sont tout aussi importantes.

La notion de DD souligne les liens qui existent entre ces trois dimensions, leur complémentarité à long terme et la nécessité de trouver entre elles un juste équilibre en cas de conflit d'intérêts sur le court terme. Le DD est une trajectoire à suivre pendant une longue période.

### **Section 3- Approches du développement durable**

La différence entre la structure et les résultats des indices du DD est liée fortement à l'interprétation du concept de durabilité. Jusqu'à présent, des économistes, notamment de l'économie écologiste et de l'économie de l'environnement, ont contribué à la discussion sur

des aspects spécifiques de la durabilité. actuellement, il n'y a pas idée (notion, concept) unificatrice<sup>94</sup>. C'est pour cette raison que nous voyons très primordial d'analyser a priori ces deux approches avant de proposer des règles et de fournir un indice de durabilité énergétique dans les chapitres trois et quatre. Cette analyse va nous permettre également de savoir comment les différentes visions sur le sens du DD peuvent influencer la manière de concevoir la durabilité et les indicateurs de sa mesure. Elle va aussi nous servir comme fil conducteur pour évaluer la part normative et la part objective du choix des paramètres et de leur méthode d'agrégation.

Comme nous l'avons déjà signalé auparavant dans le premier chapitre, d'un côté, les politiciens et les hommes d'affaires se vêtissent désormais du qualificatif 'durable', qui semblent être devenu, le nouvel avatar du 'politiquement correct'. De l'autre côté, les débats sont vifs dans la sphère académique entre les 'partisans' et les 'sceptiques' du DD.

D'autres débats, plus sérieux et plus constructifs, portent sur le sens, le contenu et les divers degrés de la durabilité (forts, faible, etc.). Ces débats sont étroitement liés à la deuxième partie de la définition Brundtland du DD ; « ...la capacité des générations futures à satisfaire leurs besoins<sup>95</sup> ». L'enjeu est lié à la capacité et de la possibilité de faire des choix concernant le mode de vie, donc concernant le stock du capital dont les générations futures disposeront.

Les interprétations économiques de ces débats par l'économie de l'environnement et des ressources naturelles d'une part et de l'économie écologiste d'autre part, avec leurs positions extrémistes, donnèrent naissance, respectivement (au minimum<sup>96</sup>) à deux concepts de durabilité: la soutenabilité faible et la soutenabilité forte. Elles sont à la fois des cadres de durabilité et deux grandes familles d'approches du DD. Cet antagonisme entre durabilité forte et faible nous revoit également à un différend plus ancien chez les économistes classiques entre optimistes et pessimistes des XVIIIe et XIXe siècles (voir section 1 de chapitre 1). L'usage des termes «fort» et «faible» ici se réfère au degré d'exigence des hypothèses et n'implique pas que l'une soit nécessairement meilleure que l'autre.

Dans le débat divergent entre les deux interprétations de la durabilité faible et forte il s'agit de la recherche de trajectoires optimales d'allocation intertemporelle des ressources (des stocks de capitaux). L'attention est centrée sur les ressources naturelles épuisables, le cas des ressources naturelles renouvelables est plus simple, du moins en théorie. Dans ce débat, les démarches sont de nature très différente. Elles partent d'une définition a priori de ce qu'est la durabilité qui imposera les contraintes de ce qui devrait être durable. Dans ce débat,

---

<sup>94</sup> Baumgärtne S., Quaas M., 2010.

<sup>95</sup> CMED, 1987, p.43

<sup>96</sup> Puisque, il existe d'autres positions de durabilité que nous pouvons qualifier "d'extrémistes" qui découlent de ces positions principales, nous pouvons citer ; durabilité très faible, durabilité très forte inventées par Pearce et Atkinson (1992). Turner (1993) les a subdivisés en quatre catégories : très faibles, faibles, fortes et très fortes.

l'économie a une représentation particulière qui se traduit, d'une part, par l'allocation intertemporelle des ressources, et, d'autre part, par la prise en compte d'interactions entre environnement et production et/ou consommation, puisque, quelle que soit la conception que nous puissions avoir d'un DD, ce sont ces deux points qui sont au cœur des débats.

D'autre part, se pose également la question de proposer des règles et de fournir des indicateurs de la durabilité. L'évaluation de la durabilité sera différente selon que la durabilité est vue sous un angle faible ou fort<sup>97</sup>.

### 3.1- Approche de soutenabilité faible

- Position anthropocentrique,
- Basée sur la certitude d'une croissance continue grâce au progrès technique.
- Approche économique, place l'économie au centre des préoccupations,
- Soutenue par le monde des affaires,
- Formulée et défendue par le courant néoclassique (Solow, Stiglitz, Weitzman...)
- S'appuie sur la substituabilité des capitaux et sur le progrès technique.
- Appelée également approche par stock de capital (volume du capital agrégé)

Cette vision et conception du DD, dite utilitariste, place l'économie au centre des préoccupations (voir § 4.1.4, chapitre 1). Elle dérive des idées des économistes classiques optimistes de XVIII<sup>e</sup> siècle. L'essence de l'anthropocentrique est une attitude que l'homme est au-dessus de la nature et peut réorganiser à sa propre discrétion pour le faire autant que possible<sup>98</sup>. Dans ce cas, nous parlons de la durabilité du système humain<sup>99</sup>. Le capital environnemental (énergie fossile, faune, flore...) n'a de valeur que par les services qu'il rend à l'homme (valeur d'usage), il n'a pas de valeur d'existence. Ainsi les ressources naturelles non renouvelables (telle que les énergies fossiles) peuvent être totalement utilisées dans la mesure où elles sont transformées en capital bâti transmis aux générations futures (ayant une valeur économique, un intérêt technologique) du moment que la somme totale des stocks reste inchangée. Ainsi, selon cette conception, il est possible de détruire le stock de capital environnemental, s'il est substitué par des technologies qui fournissent les mêmes services.

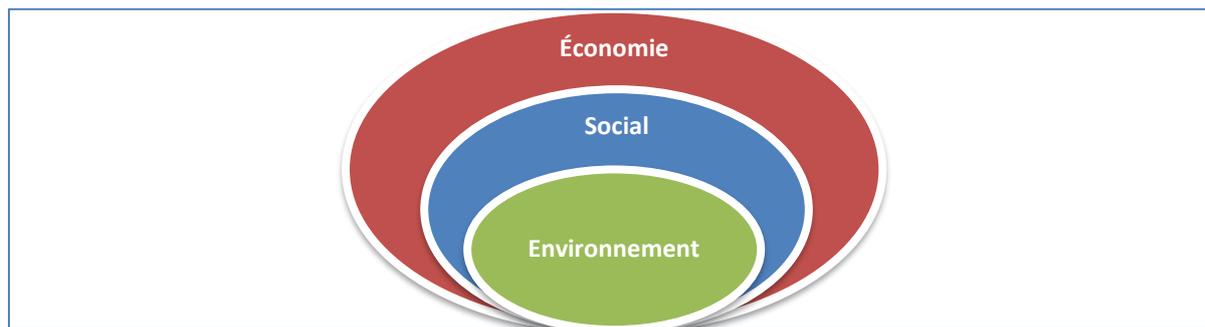
Elle considère l'environnement comme infime devant le champ économique et social. La figure suivante, nous montre la hiérarchisation des trois capitaux, selon leurs tailles qui reflètent leur degré de préoccupation (pondération).

---

<sup>97</sup> Sala S., Ciuffo B., Nijkamp P. 2015.

<sup>98</sup> Seghezzi I., 2009.

<sup>99</sup> Gallopín G., 2003. P. 13.

**Figure 2.1 : Approche de soutenabilité faible**

Source : Boutaud (2), 2005. P. 70.

Elle est qualifiée par H. DALY par durabilité faible parce que les exigences en matière de préservation des ressources sont faibles. «Les objectifs sociaux peuvent être compensés par une bonne performance environnementale qui elle-même peut céder le pas à d'excellents résultats économiques »<sup>100</sup>.

Pezzey, 1992, 1997, Perman et al.2003 et Neumayer, 2003, définissent la durabilité faible selon l'idée d'utilité, «...l'utilité ou la consommation ne diminue pas au fil du temps »<sup>101</sup>. Les économistes néoclassiques remplacent les termes «besoins et satisfaction» de la définition Brundtland de DD par le concept économique plus pratique de «l'utilité».

Dans les modèles de Solow et de Stiglitz, une fonction de production de type Cobb-Douglas est utilisée. Les économistes doivent déterminer les intrants dans cette fonction, puis élaborer une règle pour assurer au moins une utilité non-déclinante pour une longue période finie. Selon Solow, 1974, le seul moyen d'assurer une consommation non-décroissante est d'avoir un stock de capital global constant. Dans l'expression DD, cette approche se focalise sur le terme développement lui-même associé à la croissance et plus particulièrement à la croissance économique. Ainsi, l'expression DD est assimilée à la croissance durable par les néoclassiques.

Solow, 1974, 1986, Dasgupta et Heal, 1974, 1979, Pezzey, 1989, et Smulders, 1998 interprètent la durabilité comme la contrainte de non-décroissance de génération en génération en termes de bien-être par tête<sup>102</sup>. Ainsi, une génération souhaitant élever son niveau de vie ne pourrait le faire que si cette amélioration est possible pour toutes les générations futures. Pour la théorie de la croissance optimale, il s'agit de transmettre de génération en génération un capital donnant accès à un niveau supérieur de consommation. Solow voit l'exigence de durabilité comme un impératif de préservation indéfinie des capacités productives des sociétés humaines. C'est dans ce cadre que se pose le débat sur la substituabilité des différentes formes de capitaux (environnementaux et économiques). La formulation du problème se fait par

<sup>100</sup> Gendron R., 2000, cité par Gisèle B., 2010, P.61.

<sup>101</sup> John C. V. Pezzey, 1997.

<sup>102</sup> Ferdinand C., Martinet V., Rotillon G., 2003. P.02.

l'optimisation de la somme des utilités actualisées de la consommation. L'utilité découle uniquement de l'utilisation de la ressource et aucune valeur n'est accordée à l'existence du stock.

Cette approche est la plus courante dans le droit positif et les politiques publiques. Elle a inspiré les constitutions Suisse et Belge et la charte Française de l'environnement...<sup>103</sup>. selon des chercheurs tels que S. Baker, J. Barry et C. Rootes, cette conception de la durabilité est celle qui prévaut dans beaucoup d'organisations internationales (NU, BM, WBCSD) et aussi dans l'Union européenne<sup>104</sup>. L'indicateur de mesure de la durabilité faible est proposé par la Commission Stiglitz ; l'Épargne Nette Ajustée (ENA), où les trois formes de capital sont interchangeables.

Déjà avant le rapport Brandtland, la théorie de la croissance néoclassique, l'économie de l'environnement et des ressources naturelles, avait présenté des modèles capables d'atteindre l'équité intergénérationnelle (Solow, 1974, 1986, Hartwick, 1977, 1978)<sup>105</sup>. L'équité intergénérationnelle peut être traduite comme DD dans le modèle Hartwick et Solow puisqu'ils ont mis au point une règle qui assure un stock de capital constant. Ce modèle est connu sous le nom de "Solow-Hartwick durabilité"<sup>106</sup> et qualifiée, en 1994, par l'écologiste H. Daly par faible durabilité. La durabilité faible est également nommée « la durabilité économique »<sup>107</sup>.

L'autre point (argument) de départ de la foi que donne l'approche de durabilité faible à la croissance économique est la règle du Kuznets. En effet, la courbe environnementale du Kuznets<sup>108</sup>, qui prend la forme de « U » inversé, met en évidence à travers des études empiriques le lien entre le niveau de pollution et le niveau de revenu (la croissance). Selon cette courbe de Kuznets des années 1990, la dégradation de capital environnemental diminuera significativement lorsque nos économies entreront dans la phase de postindustrielle caractérisée par un niveau élevé de revenu<sup>109</sup>. Durant cette phase postindustrielle, les dégradations environnementales diminuent avec l'augmentation de revenu par habitant. Contrairement aux deux autres phases, préindustrielles et en voie d'industrialisation, durant lesquelles les dégradations environnementales augmentent avec le revenu. Ainsi, la qualité environnementale devient un bien supérieur. Contrairement aux conclusions du rapport

---

<sup>103</sup> P.F.N.S.P. 2006. P. 248.

<sup>104</sup> Halacheva P., 2006. P.16.

<sup>105</sup> Il comprend la «durabilité Hartwick-Solow», qui nécessite le maintien du stock de capital total (naturel et humain) de la société et de la «durabilité hicksienne» qui exige une consommation non décroissante, y compris la consommation de biens et services environnementaux.

<sup>106</sup> Common M., Perrings C., 1992.

<sup>107</sup> Young C., 2011. P. 2.

<sup>108</sup> Dans les faits: la courbe de Kuznets environnementale n'est vérifiée que dans un nombre limité de cas et pour des certains types de polluants seulement

<sup>109</sup> Les premières phases du développement s'accompagneraient d'une augmentation de la pollution, mais, passé un certain seuil de revenu, la tendance s'inverserait.

Meadows, la croissance n'est alors pas le problème, elle est la solution, car elle nous apporte des richesses qui peuvent être réinvesties dans la R&D.

Au sein de modèle des théories de la croissance, qui nie ou minimise l'épuisement des ressources naturelles et la dégradation des écosystèmes, Hotelling, Hartwick..., ont développé, depuis 1931<sup>110</sup>, l'approche de la soutenabilité faible en intégrant l'environnement<sup>111</sup> dans le modèle d'équilibre général Walrasien<sup>112</sup>. Les externalités sont prises en compte. Ils vérifient si les trajectoires optimales d'évolution de l'économie permettent, ou non, de maintenir constantes les utilités ou les consommations par tête, et donc un bien-être, des différentes générations.

L'analyse de la contribution de la durabilité faible peut se faire sous deux principes fondamentaux qui constituent la colonne vertébrale de l'approche : la substituabilité des capitaux et le rôle de progrès technique.

### 3.1.1- Substituabilité

La soutenabilité faible, fréquemment baptisée règle dite de HHS (Hicks, Hartwick, Solow), basée sur le modèle de Solow-Hartwick (Solow, 1974 et 1986) et Hartwick<sup>113</sup> (1977, 1978). Selon la Règle d'Hartwick, toute richesse créée grâce à l'exploitation des ressources non renouvelables doit être en partie réinvestie dans la R&D destinée à créer des innovations qui se substitueront au capital naturel détruit. Cette règle explore le principe de substituabilité entre les types de capitaux. Elle veille à assurer une trajectoire optimale d'évolution de l'économie en permettant de garantir des consommations par tête constantes à travers les générations. Elle montre qu'une économie peut atteindre l'équité intergénérationnelle en s'appuyant sur la règle d'Hartwick.

En 1977, Hartwick propose une règle de compensation intergénérationnelle ; « *les rentes prélevées au fur et à mesure de l'épuisement des ressources naturelles doivent être réinvesties dans le capital bâti qui remplacera le capital environnemental épuisé* ». Ce modèle a engendré la règle Solow-Hartwick d'épargne-investissement qui permettrait de maintenir une consommation constante au cours du temps. Cette règle de récompensations

---

<sup>110</sup> Le terme soutenabilité n'est pas évoqué à l'époque, mais il est clair que cette littérature concerne directement cette question.

<sup>111</sup> Sans compter les services d'aménités de cet environnement ; les aspects positifs non quantifiables liés à la présence du capital environnemental.

<sup>112</sup> Harribey J.-M., 1997.

<sup>113</sup> La règle de Hotelling (1931): le long du sentier optimal d'extraction, la productivité marginale de la ressource (son rendement) croît au taux d'intérêt réel. Les travaux de Hartwick (1977) ont mis en évidence une règle d'investissement en capital permettant à un sentier optimal de satisfaire l'équité intergénérationnelle. Une compensation intergénérationnelle selon laquelle les rentes prélevées au fur et à mesure de l'épuisement des ressources naturelles doivent être réinvesties pour produire du capital qui puisse remplacer les ressources naturelles épuisées. Hotelling (1931) complétées par Hartwick (1977) : le prix de la ressource doit augmenter de manière exponentielle (proportionnellement au taux d'intérêt) et la rente tirée de l'exploitation de la ressource doit être réinvestie pour conserver le stock de capital total en valeur<sup>113</sup>.

fait appel à l'hypothèse implicite d'une substituabilité quasi-illimitée entre le capital environnemental et bâti. Cette "règle d'Hartwick" conduit au maintien d'un niveau de consommation constant donc à la durabilité. Vue autrement, la soutenabilité faible propose de maintenir la dotation en capital et de vivre avec le flux de revenus sans entamer le capital global et donc sans nuire aux générations futures. Nous parlons d'une approche (ou vision) très faible de la durabilité lorsque les capitaux manufacturé et humain peuvent se substituer parfaitement l'un à l'autre<sup>114</sup>.

Si cette règle est adoptée et que le stock de ressource est extrait selon la règle d'épuisement optimal de la Rente d'Hotelling de 1931, le maintien d'une consommation constante et l'accumulation du capital bâti compenseraient tout juste l'épuisement de la ressource... Si nous élargissons la règle de Solow-Hartwick à l'ensemble du capital, nous obtenons la condition de la règle HHS (Hicks, Hartwick, Solow). Cette règle suppose une substituabilité parfaite entre les différents types de capitaux<sup>115</sup>. Cette substitution peut être globale ou absolue. Certaines ressources naturelles peuvent se substituer à d'autres (gaz au pétrole pour se réchauffer par exemple), le capital environnemental doit être géré de manière à garantir sa conservation globale. La substitution absolue, il peut aussi être compensé par des éléments sociaux ou économiques. Par exemple, le progrès technique permet de pallier la disparition de certaines ressources épuisables comme le pétrole et le gaz en développant les énergies alternatives comme le solaire et l'éolien. Les engrais chimiques produits industriellement peuvent compenser la perte de fertilité naturelle des sols.

L'un des capitaux peut diminuer à condition que l'autre augmente au moins d'autant afin de maintenir l'agrégat de capital global constant ou en croissance<sup>116</sup>. Autrement dit, la réduction des réserves d'une ressource épuisable peut être compensée par un accroissement du capital bâti de la même valeur, ce qui permettra de garder le stock de capital global constant, la possibilité de créer dans le futur au moins autant de biens et services. Cette hypothèse de substituabilité est imposée par l'existence d'une tension potentielle entre le caractère épuisable de certaines ressources naturelles et l'infinité des générations qui peuvent *a priori* en tirer un bénéfice<sup>117</sup>.

L'irréversibilité des phénomènes biophysiques n'est pas prise en compte en la considérant comme insignifiante par rapport à la dimension économique<sup>118</sup>. Ainsi les coûts des dommages irréversibles infligés aux écosystèmes tels que la dégradation de la qualité environnementale, la perte de biodiversité ou le changement climatique sont totalement sous-estimés.

---

<sup>114</sup> Gallopín G., 2003. P. 13.

<sup>115</sup> Commenge G., 2009.

<sup>116</sup> Une société est faiblement durable si le bien-être ne diminue pas de génération en génération.

<sup>117</sup> Figuières C., Guyomard H., Rotillon G., 2007. P.79.

<sup>118</sup> Godard O., 1991

### 3.1.2- Progrès technique

La question majeure qui se pose ici est : quels sont les rôles joués par la science et le progrès technique dans le processus de DD ? La technologie est-elle une solution ou un problème ? Avec le progrès technique, les néoclassiques admettent une diminution de capital environnemental, puisqu'il permettra de compenser l'épuisement d'une ressource par deux façons. Premièrement, en optimisant son usage, deuxièmement, par l'invention des substituts artificiels. Par hypothèse, ces auteurs confirment que le progrès technique sera toujours capable de modifier les processus productifs dans un sens de moins en moins polluant et de plus en plus efficace. Les pertes en volume dans le stock seront récompensées par le progrès technique qui améliore les rendements donc d'utilité. Le progrès technique permet l'amélioration de l'usage de la ressource (une même quantité de ressource fournit plus de bien-être). Le progrès technique permet aussi d'inventer et de développer des procédés inédits et des substituts artificiels. Par exemple, produire de l'électricité en exploitant l'énergie solaire au lieu de consommer de charbon ou de gaz naturel.

En prolongeant les travaux de Stiglitz, 1974, qui souligne que le facteur de progrès technique peut compenser l'épuisement d'une ressource en optimisant son usage, la recherche de trajectoires optimales d'allocation intertemporelle des ressources permettant de garder certaines variables non-décroissantes nécessite d'intégrer le rôle du progrès technique. Ce progrès technique devient alors un élément fondamental jouant sur la vitesse d'utilisation de la ressource. Si Hartwick étudie la durabilité comme la non-décroissance de la quantité de capital à consommer, Stiglitz et Solow l'étudient comme la non-décroissance de niveau d'utilité que procurera ce capital, donc de bien-être futur. Ainsi, les néoclassiques traduisent l'idée de durabilité par la consommation non-décroissante et par le niveau d'utilité non-décroissant. Le problème de durabilité, suivant l'approche néoclassique, est alors un problème de maximisation de l'utilité totale (approche par consommation totale) pendant un temps infini. Ainsi, il suffirait, pour que le développement soit durable, que la croissance du capital total soit plus grande ou égale à zéro.

Les néoclassiques dans l'approche de durabilité faible voient leurs résultats généralement compromis par l'effet rebond<sup>119</sup>. Alcott, 2008, distingue deux effets rebond majeurs<sup>120</sup>. L'effet rebond technologique dans lequel les résultats obtenus grâce au progrès technique dans la baisse de l'utilisation des ressources environnementales (efficacité technologique) est sauvant annulé s'ils ne sont pas aggravés par l'effet rebond<sup>121</sup>. Le deuxième effet rebond est lié à la consommation, la baisse de la consommation entraîne une baisse des prix qui attire de nouveaux consommateurs. Le progrès technique ne suffira pas à résoudre les problèmes de durabilité puisque ses vertus sont limitées par l'effet rebond.

---

<sup>119</sup> Laville E., 2011.

<sup>120</sup> Figuière C. et al. 2006.P.53.

<sup>121</sup> Hanley N., McGregor P. G., Swales J. K., Turner K., 2009.

L'effet rebond est la façon dont certains gains environnementaux obtenus grâce à l'amélioration de l'efficacité ou le rendement des équipements vont être annulés par une augmentation des usages par l'effet prix. Le domaine énergétique est largement touché par l'effet rebond<sup>122</sup> notamment les transports. Harry Saunders, « *les améliorations de l'efficacité énergétique qui, au sens le plus large, sont justifiées au niveau microéconomique, conduisent à de plus hauts niveaux de consommation d'énergie au niveau macroéconomique* ». L'effet rebond direct (quand la baisse du prix d'une ressource en accroît sa consommation) et des effets rebonds indirects (quand la hausse du pouvoir d'achat, issue des gains d'efficience, augmente la demande des ménages), remettent en cause l'optimisme des néoclassiques qui considèrent que les gains d'efficacité par le progrès technique permettraient de lutter contre l'épuisement des ressources épuisables sans rien changer à nos modes de vie et de production. Selon l'AIE, le progrès technique ne représentera que la moitié de l'effort nécessaire pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effets de serre. Pour aller plus loin, en plus de progrès technique, il est primordial de modifier également les comportements. Sans oublier que les nouvelles techniques utilisées ne sont pas forcément moins néfastes pour l'environnement (ex. débat actuel sur le gaz de schiste).

Smulders, 1999, qui a développé un modèle de croissance avec une fonction de production qui dépend de la qualité environnementale, de l'utilisation de l'environnement et du capital humain, signale que tous les inputs sont essentiels à la croissance. La production sera nulle si le stock de l'un des inputs est nul. Ainsi, la conception de la soutenabilité faible repose sur l'idée de la définition de capitaux critiques qui devraient être préservés au-dessus d'un certain seuil. Une certaine reconnaissance de l'importance de certaines fonctions écologiques qui ne peuvent pas être remplacées par la technologie ou le capital humain.

La question du DD est souvent posée en économie sous la forme : que devons-nous empêcher d'incliner dans le long terme ? Ainsi, Solow, 1993, déclare que la durabilité est une capacité générale à produire du bien-être. L'économie est présentée de manière très standard comme un système dynamique caractérisant un planificateur cherchant à maximiser la somme infinie actualisée des utilités que les différentes générations retirent de la consommation, sous la contrainte de disponibilité d'une ressource épuisable. Un taux d'actualisation permet d'agrèger les utilités des différentes générations en les pondérant. Ce taux d'actualisation mesure la préférence pour le présent. Si le taux d'actualisation est nul, il y a indifférence entre consommer aujourd'hui ou demain, et il n'y a donc pas de préférence pour le présent. Dès que ce taux est positif<sup>123</sup>, il y a une préférence pour le présent d'autant plus forte que le paramètre

---

<sup>122</sup> Sorrell Steven, 2010, affirme que [*les effets rebond des améliorations de l'efficacité énergétique sont significatifs et limitent le potentiel de découplage de la consommation d'énergie de la croissance économique*].

<sup>123</sup> Avec un taux d'actualisation minimal de 5%, il faudrait pouvoir s'attendre à un doublement en 14 ans du prix net des ressources pour assurer leur conservation. Moins de ça, il est plus profitable d'extraire la ressource immédiatement et d'investir les gains à 5%. Pour les ressources renouvelables, le rendement annuel doit être au

est élevé, ce que les analystes appellent la dictature<sup>124</sup> du présent. Une contradiction flagrante au principe de l'équité entre les différentes générations. Heal, 1998, pose la condition d'égaliser le taux de croissance de l'utilité marginale de la consommation et le taux d'actualisation, et ce jusqu'à épuisement de la ressource<sup>125</sup>.

Plusieurs indices convergent à conclure que la démarche Onusienne de mise en œuvre de DD suit une vision anthropocentrique, donc approche en durabilité faible. Le premier principe de Rio 1992 confirme cette vision et le protocole de Kyoto réaffirme cela, puisqu'il accepte une dégradation de climat de 2°C.

Quelques problèmes restent en suspens : comment valoriser le capital naturel ? comment valoriser le futur ? comment savoir si le bien-être est correctement mesuré par le PIB ? Par ailleurs, d'aucuns estiment qu'il existe des limites à la substitution entre le capital naturel et physique. Des limites liées à la logique de la démarche néo-classique ; l'impossibilité de réaliser un optimum de Pareto, l'impossibilité d'évaluer monétairement les éléments naturels, sur la difficulté de créer un marché, et enfin sur la méthode mécaniste de l'économie de l'environnement. C'est dans ce domaine que se situe la différence essentielle entre la soutenabilité faible et la soutenabilité forte.

### 3.2- Approche de soutenabilité forte

En parfaite opposition à l'approche de durabilité faible et au contre-pied de la posture épistémologique des néoclassiques :

- Position écocentrique, place l'environnement au centre des préoccupations,
- Approche écologiste,
- Basée sur l'incertitude d'une croissance infinie, l'irréversibilité et l'insubstituabilité,
- S'appuie sur le maintien d'un stock critique du capital naturel,
- Formulée et défendue par l'économie écologiste (*Daly, Pearce, Georgescu-Roegen...*)
- Soutenu par de nombreuses ONG et environnementalistes.
- Appelée également approche par équilibre (équilibre entre les dimensions)

Cette vision plus élargie, dite biocentrique ou écocentrique, naît des critiques du modèle néoclassique et de la reconnaissance de l'importance des flux non monétarisés. Elle part de l'hypothèse, comme le suggérait déjà A. Marshall en 1920 et les physiocrates auparavant, que

---

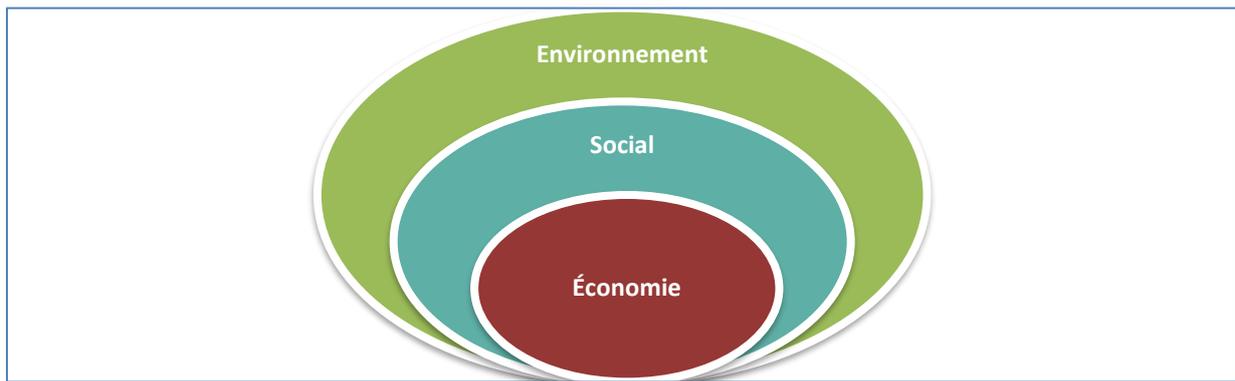
moins égal au taux d'intérêt du marché pour une gestion durable des ressources. Pour des taux inférieurs, les incitations économiques favorisent un abatage des arbres pour des gains monétaires immédiats.

<sup>124</sup> Différents critères de durabilité existent : utilitariste actualisé (maximiser la somme inter-temporelle des utilités actualisées), Maximin (maximiser l'utilité de la génération la plus pauvre, ce qui revient à la fin à égaliser le niveau d'utilité pour toutes les générations), règle d'or verte (maximiser l'utilité de la génération à l'infini), critère de Chichilinsky (somme pondérée entre critère utilitariste actualisé et règle d'or verte), etc. Ces différents critères donnent chacun plus ou moins de poids aux générations futures. Le critère utilitariste actualisé donne le plus de poids aux générations présentes (dictature du présent) alors que la règle d'or verte donne le plus de poids aux générations les plus éloignées (dictature du futur).

<sup>125</sup> Figuières et al, op. cit, P. 81.

le capital environnemental est un capital spécifique<sup>126</sup> en constituant un système intégré de support à la vie<sup>127</sup>. Ici, nous parlons de la durabilité du système écologique<sup>128</sup>. Elle dérive de certaines idées des économistes classiques pessimistes de XVIII<sup>e</sup> siècle, Malthus, Ricardo... (Voir le chapitre 1), aujourd'hui regroupés sous la discipline de l'économie écologiste. Cette dernière est construite autour de quelques principes communs : pluralisme de la valeur, pluralisme méthodologique, évaluation multicritère, connaissance des interdépendances entre les trois sphères de DD, etc.<sup>129</sup>. L'irréversibilité des phénomènes biophysiques est prise en compte. Les bouleversements provoqués par l'utilisation des ressources naturelles peuvent conduire à des irréversibilités graves; extinction des espèces et des ressources, dégradation des systèmes naturels...<sup>130</sup>. Ainsi, la seule croissance économique, donc l'accroissement du capital bâti et financier, ne peut assurer un DD. Les trois capitaux sont alors complémentaires et non substituables<sup>131</sup>. Les capitaux humains, sociopolitiques et naturels sont des facteurs explicatifs puissants de la satisfaction de vie subjective, reléguant le rôle du capital bâti au troisième plan<sup>132</sup>. Les écologiques renoncent au bien-être utilitariste et marchand des néoclassiques pour le remplacer par des considérations d'équité intergénérationnelle<sup>133</sup>.

**Figure 2.2 : Approche de soutenabilité forte :**



Source : Boutaud (2), 2005. P.75

Cette approche propose, comme le montre la figure 2.2, un modèle bioéconomique hiérarchisé où l'économie est considérée comme un sous-système d'un système plus englobant constitué par l'ensemble des activités humaines, lui-même compris dans le système

<sup>126</sup> Le capital environnemental est constitué d'éléments fondamentaux qui ne sauraient faire l'objet d'une substitution technologique satisfaisante. L'eau, l'air, les grands équilibres naturels, biogéochimiques et climatiques ne peuvent être remplacés ou dégradés car ils conditionnent la vie.

<sup>127</sup> Abdelmalki L. et Mundler P., 2010, P.79.

<sup>128</sup> Gallopín G., 2003. P.14.

<sup>129</sup> Abdelmalki L. et Mundler P., 2010.

<sup>130</sup> Godard O., 1991

<sup>131</sup> Selon les écologistes cette substitution n'est que partielle et de court-terme et que la dégradation peut être irréversible sur le long terme, la bonne santé des écosystèmes naturels est un facteur irremplaçable, contrairement au capital bâti. Exemple, les applications massives d'engrais chimiques peuvent accélérer l'épuisement des autres nutriments dans le sol, ainsi que polluer les ressources en eau.

<sup>132</sup> Saamah A., Thompson S., Marks N., 2008.

<sup>133</sup> Abdelmalki L., Mundler P., 2010, P.52.

plus vaste de la Biosphère<sup>134</sup>. Nous parlons du paradigme de la thermodynamique qui a été transposé à l'économie par, le père de l'approche bioéconomie, Georgescu-Roegen en 1971<sup>135</sup>.

La durabilité vue par les écocentristes ou les bioéconomistes correspond à une nouvelle grande question pluridisciplinaire (sciences du vivant, des sciences économiques et sociales) contrairement à la vision monodisciplinaire (purement économique) des néoclassiques. C'est une rupture dans le champ du discours scientifique. Le DD impose une nouvelle réflexion qui conduit à une certaine remise en cause de l'idée de progrès et remet en cause nos idées reçues sur le développement.

La distinction classique entre croissance et développement (voir section 2, chapitre 1) est reprise par les économistes écologiques qui cherchent à déterminer des limites quantitatives à la croissance, tout en laissant ouvertes des possibilités de développement qui s'expriment de manière qualitative. Comme l'explique clairement *Kenneth Boulding* dans sa célèbre citation : « *Celui qui croit qu'une croissance infinie dans un monde fini est possible soit un fou, soit un économiste* ».

Contrairement à l'approche faible de durabilité qui représente un ensemble cohérent en termes d'idées et d'hypothèses, les partisans de la durabilité forte présentent certaines hétérogénéités<sup>136</sup> (voir § 4.1.3, chapitre 1). L'approche conservationniste est pour un état stationnaire (H. Daly), l'École de Londres propose une certaine complémentarité entre les analyses de la soutenabilité forte et faible (D. Pearce). Les plus radicaux sont ceux avançant les thèses des « économique-écologiques »<sup>137</sup>. Ces derniers se rapprochent plus de courant de décroissance dans leurs idées.

La durabilité forte est définie par quatre conditions fortement corrélées ; faible substituabilité, irréversibilité, seuil critique et non-monetisation<sup>138</sup>. L'analyse de modèle de durabilité forte, qui bouleverse la posture épistémologique des néoclassiques, doit se faire sur plusieurs niveaux. D'une part, par des principes entendus comme des règles minimales de prudence telles que ; l'incertitude, la précaution et la spécificité liées au capital naturel et au progrès technique. D'autre part, par l'analyse fondée sur les lois de la thermodynamique de laquelle découlent d'autres principes tels que ; capital spécifique, capital critique, l'insubstituabilité et l'irréversibilité des phénomènes.

---

<sup>134</sup> Passet R., 1979. p. 11

<sup>135</sup> Georgescu-Roegen N., 1971.

<sup>136</sup> Vivien F.-D., 2009. P. 79.

<sup>137</sup> Belem G., 2010.

<sup>138</sup> Figuière et al, 2014, P. XXI.

L'incertitude<sup>139</sup>, l'irréversibilité, la précaution<sup>140</sup> et l'insubstituabilité constituent les principes de base de l'économie écologique. Ils constituent la base d'appui de réticence aux effets bénéfiques du progrès technique et de la substituabilité entre capital bâti et naturel. Les économistes écologiques mettent en lumière les limites de la confiance en la technologie<sup>141</sup>. La combinaison entre incertitude et irréversibilité<sup>142</sup> préconise le principe de précaution dans la mesure où les équilibres des systèmes naturels sont fragiles et instables. Ce principe de précaution renvoie à l'orientation des choix vers les options permettant la conservation des potentiels de choix offerts aux générations futures.

### 3.2.1- Spécificité du capital naturel

Les bioéconomistes reconnaissent la spécificité de capital naturel suite à l'existence d'une asymétrie forte entre le capital naturel et celui bâti. Le capital bâti peut être augmenté ou diminué aisément par l'homme, alors que le capital naturel est sujet à des irréversibilités, car il ne peut être que très rarement augmenté lorsque les prélèvements ou les détériorations antérieures l'amènent à l'anéantissement. Comme le suggérait déjà Marshall en 1920, avançant que la Terre devait être traitée comme une chose en elle-même, car, contrairement au capital, elle ne pouvait être augmentée ou diminuée, mais était en quantité figée. Ce qui incite H. Daly à la reconnaissance des limites biophysiques et à la nécessité de stopper la croissance et mettre en lumière les limites de la confiance en la technologie. Le progrès technique apporte des solutions, mais il induit aussi des problèmes dans les domaines de la santé et de l'environnement. En conséquence, le modèle de soutenabilité forte est caractérisé par la nécessité de maintenir, à très long terme, un stock de capital naturel critique, qui doit à tout prix être préservé<sup>143</sup>, et dont les générations futures ne sauraient se passer. Les économistes écologistes avancent l'idée que les capitaux environnementaux, sociaux et économiques ne sont pas parfaitement substituables, mais que, le plus souvent, ces différents types de capitaux sont complémentaires.

L'approche de soutenabilité forte est en parfaite contradiction à celle de soutenabilité faible. Elle voit la croissance économique comme une cause et adopte une approche beaucoup plus prudente vis-à-vis de la technologie. Portée à l'origine par différents penseurs de l'économie écologique (R. Passet, N. Georgescu-Roegen, H. Daly...). Ils adoptent au contraire une vision pluridisciplinaire dans laquelle l'économie intégrée dans la biosphère et

---

<sup>139</sup> Des incertitudes sur les conséquences de la pollution et de l'épuisement des ressources, des préférences des générations futures, évolutions de l'information et de la connaissance scientifique au cours du temps.

<sup>140</sup> Définie par la Déclaration des Nations Unies sur l'environnement et le développement, 1992, de la manière suivante: «Là où les menaces de dommages graves ou irréversibles, le manque de certitude scientifique absolue ne doit pas être invoqué pour remettre à plus tard mesures visant à prévenir la dégradation de l'environnement"»

<sup>141</sup> BelemG., 2010.

<sup>142</sup> Deuxième loi de la thermodynamique, loi de l'entropie

<sup>143</sup> P.F.N.S.P., 2006.

refusent que l'environnement soit soumis aux normes et raisonnements économiques anthropocentriques.

### 3.2.2- Capital minimal critique

Si la soutenabilité faible préconise une non-décroissance du bien-être, pour les générations futures, via une non-décroissance du stock de capital global, la soutenabilité forte part du principe que le capital naturel détermine le bien-être de l'homme et devient un facteur limitant de la croissance. Elle nécessite donc une non-décroissance du stock de capital naturel entre les générations. Elle met en avant le caractère écologique de la soutenabilité en opposition avec la vision économique dominante de la soutenabilité faible. Ainsi, la condition de durabilité en soutenabilité forte est de maintenir le niveau de chaque type de capital. La condition généralisée est que tout capital critique doit se maintenir ou augmenter. Il suffirait, pour que le développement soit durable, d'empêcher la décroissance de chaque capital notamment le capital naturel. Puisque dans les priorités, les questions environnementales sont avant les questions d'efficacité économique.

Le rapport Brundtland, dans son deuxième chapitre dédié au DD, évoque cette notion de capital critique. Dans une définition du DD, connue comme la définition du DD au sens étroit, nous pouvons lire que [*au strict minimum, le DD signifie ne pas mettre en danger les systèmes naturels qui nous font vivre...*].

La non-décroissance du capital naturel se justifie, pour les adeptes de la soutenabilité forte, par les limites aux possibilités de substitution (substitution marginale et non totale) entre capital naturel et capital physique et par le risque non négligeable d'irréversibilités et d'incertitude en cas d'exploitation intense des ressources naturelles. Ils préconisent alors une politique liée au principe de précaution.

Par ailleurs, les notions écologiques et d'équité étant privilégiées par rapport aux notions économiques, en soutenabilité forte. L'argument de non-décroissance du capital naturel global empêche toute pollution nette, par conséquent empêche toute croissance économique (le capital naturel est un input pour la production du capital économique). Nous rejoignons donc ici des propos semblables à ceux défendus par le Club de Rome, la croissance est remise en cause. L'innovation technologique a pour objectif principal de permettre un processus de fabrication moins intensif du point de vue environnemental. Limiter l'usage du capital naturel, notamment par la décroissance des facteurs de production matériels et énergétiques.

Selon le degré de confiance dans les effets escomptés de progrès technique et de la substituabilité entre capital naturel et économique, nous distinguons trois approches de soutenabilité forte.

La première approche dite conservacionnisteprône pour un état stationnaire ; exige de maintenir le stock de capital naturel constant. Essentiellement développée par H. DALY, une réponse directe et opposée aux défenseurs de la soutenabilité faible, il exige de maintenir constant le stock de capital naturel. H. DALY fonde son analyse sur les hypothèses suivantes. Les taux d'actualisation et de substitution sont nuls puisque les générations ont les mêmes droits et les capitaux sont complémentaires. Devant les lois de la thermodynamique, l'impact de progrès technique ne peut être que limité sur le capital environnemental. Pour DALY, les prix ou rentes de rareté des ressources naturelles épuisables n'ont aucune signification. Puis, le marché doit être remplacé par des institutions chargées de réglementer leur usage (approche règlementaire). Elle implique des croissances économique et démographique nulles.

La seconde approche, dite de réconciliation ou école de Londres, prend la voie médiane entre la préservation de l'environnement et la croissance économique. Essentiellement défendue par Pearce qui montre que la recherche de l'optimum économique condamne au déséquilibre écologique ou bien que la sauvegarde de l'équilibre écologique oblige à choisir délibérément dès le départ une situation économiquement sous-optimale<sup>144</sup>. Ici, il y a distinction entre deux sous types du capital environnemental, selon le niveau de réversibilité. Un capital réversible qui peut être traité avec les critères d'efficacité économique traditionnels et un capital irréversible qui peut être utilisé sous des contraintes a priori, et constitue le capital naturel critique.

La troisième approche est celle qui avance des thèses économique-écologiques.

Selon la logique de la durabilité forte, Il serait acceptable, pour se chauffer par exemple, de couper des forêts à un endroit seulement si des forêts similaires sont plantées ailleurs afin que le stock total de forêts reste constant. Les stocks de pétrole et de gaz pourraient être exploités jusqu'à l'épuisement seulement si des sources d'énergie alternative de capacité égale sont simultanément développées. Comme suite logique, la mise en œuvre de la durabilité forte solliciterait une intervention extensive de l'État sur les marchés, et un changement radical dans la nature de l'activité économique.

Comme pour la soutenabilité faible, les problèmes de la mesure se posent encore plus pour la durabilité forte. Les valeurs sont souvent incommensurables ; elles ne peuvent être mesurées dans les mêmes unités, elle défend les méthodes d'évaluation multicritère. Si elle est exclusivement monétaire pour la durabilité faible, la durabilité forte fait recours, d'une part, à des mesures quantitatives qui peuvent prendre des fois des grandeurs monétaires ou le plus souvent des grandeurs biophysiques. D'une autre part, elle fait recours à des mesures qualitatives.

---

<sup>144</sup> Harribey J.-M., 1997. P. 9.

Les indicateurs de soutenabilité forte sont fondés sur une évaluation énergétique selon les lois de la thermodynamique. Les économistes écologiques suggèrent une profonde remise en cause des cadres théoriques et conceptuels de la science économique dominante. Selon la thermodynamique, l'économie est considérée comme une machine de dégradation absolue<sup>145</sup>. Elle épuise les ressources en les transformant, au bout de processus, en externalités négatives irréversibles (ex. déchets non recyclables). Alors, la croissance économique n'est qu'une accélération de l'épuisement de la Terre pour les générations futures. Elle donne lieu à divers indicateurs physiques et biophysiques de soutenabilité forte<sup>146</sup> qui fixeront des limites à respecter en matière environnementale : d'enthalpique, d'exergésique, d'énergie et d'entropie. Le calcul et la construction de ces indicateurs se basent fortement sur des principes thermodynamiques que nous ne voyons pas l'utilité de les détailler. Elle a aussi donné lieu à d'autres indicateurs : le HANPP (*human appropriation of net primary production*), le PIB des pauvres, l'*intensité matérielle de la consommation* basée sur l'étude des flux de matières, l'EROI (*energy return on energy input*), le MIPS (*material input per unit service*), l'*empreinte écologique*... L'économie écologique conteste l'idée que le futur doit être actualisé (taux d'actualisation nul) et présuppose en général un horizon temporel plus long que l'économie de l'environnement.

En raison des hypothèses contrastées de durabilité faible et la durabilité forte, les résultats des deux séries d'indicateurs sont souvent incomparables et s'ils le sont, ils se contredisent, car il est évident que des études basées sur des concepts divers et contradictoires donnent des résultats contrastés. Par exemple, l'*indice du bien-être économique durable* conçu par H. Daly et l'*indicateur de progrès réel* construit par ONG *redifining progress*, montrent une régression chronique aux USA depuis 1970<sup>147</sup>.

Il est si difficile de comparer les deux visions de durabilité. Contrairement à la durabilité faible, construite sur une approche purement économique, la durabilité forte est basée sur une approche de l'économie qui n'est pas mécaniste, mais tient compte des lois propres à la thermodynamique.

Ce débat ambigu entre durabilité faible et forte se retrouve dans la littérature scientifique, en politique et bien évidemment dans les indicateurs de durabilité. L'élaboration d'indicateurs de durabilité relève ainsi d'un grand degré de subjectivité. Il s'agit d'introduire l'objectif de mesurer le DD entre faible et forte durabilité. Une étude profonde des deux approches de durabilité constitue le premier pas important pour aborder la question des indicateurs. La remarque intéressante est que la soutenabilité forte est un modèle plus général que la soutenabilité faible puisqu'il permet d'inclure des conditions de soutenabilité faible, et

---

<sup>145</sup> Abdelmalki L., Mundler P., 2010. P. 34.

<sup>146</sup> De nombreux économistes sensibles à la question environnementale ainsi que des écologistes utilisent des modèles écologiques plutôt que des modèles économiques.

<sup>147</sup> Abdelmalki L., Mundler P., 2010. P. 33.

pas l'inverse. Le point commun dans les deux cas, il s'agit d'identifier les situations de non-soutenabilité comme des situations de surconsommation de notre patrimoine global ou de telle ou telle composante cruciale de notre patrimoine<sup>148</sup>.

Au sein des réflexions et des approches sur la durabilité, le débat n'est pas uniquement limité à la dualité en durabilité forte et faible. Il y a aussi distinction en deux autres approches « extrémistes », selon Godard, 2001: durabilité très forte (capital naturel intouchable) et durabilité très faible (substitution parfaite). Le débat n'est pas limité aux approches de l'économie de l'environnement et de l'économie écologique puisque le DD recouvre aussi la dimension sociale que ces deux approches n'abordent pas de façon explicite<sup>149</sup>. Il existe une troisième approche de durabilité, moins connue, appelée approche sociocentrée<sup>150</sup> défendue par la discipline de l'anthropologie fondée sur le concept de la durabilité des groupes humains au sein des systèmes écologiques. Évidemment, chacune de ces approches de durabilité dicte un ensemble différent de critères pour la sélection des indicateurs et influence fondamentalement le résultat final d'une évaluation de durabilité.

Pour être effectif et dépasser son statut de slogan, le DD doit être compris comme un agencement hiérarchisé des pôles économie, environnement et société où le développement social est envisagé comme un objectif, l'économie comme un moyen et l'intégrité de l'environnement comme une condition, l'équité étant à la fois un moyen, une condition et une fin du DD<sup>151</sup>.

#### **Section 4-Évaluation de durabilité**

Tel que mentionné dans les deux dernières sections précédentes, la mesure de la durabilité constitue un défi majeur. Cette difficulté trouve sa genèse dans l'imprécision de la définition même du DD<sup>152</sup>, comme déjà signalée dans le premier chapitre.

L'évaluation de la durabilité (EDD) est un cadre récent d'évaluation d'impact sur l'environnement (EIE) et d'évaluation environnementale stratégique (EES) qui met l'accent sur la réalisation des progrès en matière de durabilité. Elle peut prendre de nombreuses formes et fondamentalement pluraliste<sup>153</sup>. L'EDD est une méthode d'évaluation très complexe qui exige la maîtrise et l'intégration d'un nombre important d'éléments. Elle vise à appuyer la prise de décision dans un contexte environnemental, économique et social plus vaste et transcende<sup>154</sup>. Elle nécessite la gestion d'une grande variété de types d'informations, de

---

<sup>148</sup> Blanchet D., 2009. P. 92.

<sup>149</sup> Gendron R., 2000, cité par Belem G., 2010. P. 61.

<sup>150</sup> Sébastien Léa, Brodhag Christian. 2004.

<sup>151</sup> Gendron et Revéret, 2000, cité par Belem G. 2010. P. 62.

<sup>152</sup> Sala S., Biagio C., Nijkamp P., 2015.

<sup>153</sup> Bond A., Morrison-Saunders A., Pope J., 2012.

<sup>154</sup> Sala S., Biagio C., Nijkamp P., 2015.

paramètres et d'incertitudes<sup>155</sup>. La complexité de cette tâche d'évaluation relève de ces éléments précédents et implique un certain nombre d'implications pratiques et éthiques<sup>156</sup>.

En effet, l'EDD est l'un des types les plus complexes de méthodologies d'évaluation. Cela comporte non seulement des aspects multidisciplinaires, mais aussi des éléments culturels et fondés sur des valeurs rarement partagées<sup>157</sup>. À l'ère de la bonne gouvernance, l'EDD est généralement utilisée pour appuyer la prise de décision et l'élaboration de politiques dans un contexte large. En effet, depuis les dix dernières années, l'EDD devient de plus en plus une pratique courante dans les évaluations de produits, de politiques et d'institutions<sup>158</sup>. La nouveauté est la sollicitation croissante d'EDD d'avantage qualitative.

Si la documentation francophone est rare sur le sujet, de côté anglophone, la documentation est largement abondante, notamment lors de la dernière décennie. Des concepts tels qu'«évaluation intégrée», «évaluation intégrée de la durabilité» et «évaluation de l'impact sur la durabilité» sont introduits pour offrir de nouvelles perspectives d'évaluation d'impact axées sur la planification et la prise de décision en matière de DD<sup>159</sup>. Cette pratique généralisée d'EDD englobe un large éventail de processus en constante évolution, ce qui rend le domaine potentiellement désorientant sur le plan conceptuel et difficile à parcourir<sup>160</sup>.

L'objectif de cette section est de définir les grandes étapes qui forment une EDD. Cette section jouera le rôle d'une introduction à la construction de l'indice composite de durabilité énergétique (IDSE). L'objectif n'est pas de réaliser un examen des méthodes déjà existantes d'EDD. Surtout de ne pas présenter une liste exhaustive des différentes approches et méthodes ou d'examiner leurs capacités à soutenir les EDD. En fait, la littérature sur ces approches et méthodes ressemble à un océan de propositions plein de divergences et de détails. Il est presque impossible pour un non-spécialiste aguerri en la matière de se retrouver. Ici, nous essayerons juste de mettre en évidence la pertinence et les problèmes méthodologiques des projets d'EDD.

#### **4.1-État de l'art dans l'évaluation de la durabilité**

Comme mentionné précédemment, les interactions homme-nature et entre les hommes posent des problèmes urgents et complexes, le constat est que; les sciences normales deviennent de plus en plus incapables à aborder et à proposer des solutions raisonnables et fiables pour relever cette complexité. Cela pousse les scientifiques à proposer de nouveaux

---

<sup>155</sup> MarcoC., Coles S. R., Kirwan K.,2014.

<sup>156</sup> GasparatosA., ScolobigA.,2012.

<sup>157</sup> Hacking T., Guthrie P., 2008.

<sup>158</sup> Pope J. et al., 2017.

<sup>159</sup> Hacking T., Guthrie P., 2008.

<sup>160</sup> Pope J. et al., 2017.

modèles et paradigmes, ce qui conduit au domaine émergent de la science de la durabilité, qualifié de science post-normale par A. Bond et al, 2012.

Morrison-Saunders et al, 2014 saisissent l'EDD comme tout processus ayant pour objectif d'orienter vers la durabilité. Ils la définissent comme «un processus incorporant explicitement une articulation claire du concept de durabilité, au minimum, incluant les trois dimensions de DD»<sup>161</sup>.

#### 4.1.1- Objectifs de l'évaluation de la durabilité

Généralement, l'EDD a plusieurs objectifs. Elle est une méthodologie «*qui peut aider les décideurs à décider des actions à entreprendre et à ne pas prendre pour tenter de rendre la société plus durable*»<sup>162</sup>. Elle a pour objectif de faire en sorte que «*les plans et les activités apportent une contribution optimale au DD*»<sup>163</sup>. Elle offre la possibilité d'exprimer, à partir d'un ensemble de données quantifiées, l'état des territoires dans différents domaines. Elle aide également à mesurer les conséquences des décisions prises et éclairer les choix politiques<sup>164</sup>. En fait, les modèles de mesure de durabilité devraient être capables de distinguer et d'évaluer de manière solide et fiable si de nouveaux développements «*répondent aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs*».

Dans la pratique, l'objectif de l'EDD peut varier considérablement, d'une échelle micro à une échelle macro<sup>165</sup>. L'intégration de divers processus et mécanismes ne peut pas toujours être prise en compte avec les mêmes approches. Les piliers de la durabilité incorporés peuvent varier, certaines études ne prennent en compte que les aspects environnementaux, d'autres que les aspects environnementaux et économiques et que d'autres les trois piliers (Évaluation du triple résultat ; Évaluation des impacts approfondie ; Évaluation des impacts 3E : Environnement, économie, équité,).

Selon Bebbington et al. 2007<sup>166</sup>, «il est largement reconnu que les individus, les organisations et les sociétés ont besoin de trouver des modèles, des mesures et des outils leur permettant de déterminer dans quelle mesure et de quelle manière les activités actuelles ne sont pas durables». D'après Ness et al. 2007 «*l'objectif de l'EDD est de fournir aux décideurs une évaluation à court et à long terme des systèmes globaux locaux intégrés de la nature et de la société, afin de les aider à déterminer quelles actions doivent ou non être entreprises tenter de rendre la société durable* ».

La mesure de la durabilité est essentiellement une procédure structurée englobant différentes méthodes et modèles d'analyse spécifiques à un domaine, pour des applications et des contextes de décision spécifiques.

---

<sup>161</sup> Morrison-Saunders A. et al., 2014.

<sup>162</sup> Devuyst D., et al, 2001. P. 9.

<sup>163</sup> Verheem R., 2002.

<sup>164</sup> Cardebat J.-M., Sionneau B., 2012.

<sup>165</sup> Marco C., Coles S. R., Kirwan K., 2014.

<sup>166</sup> Bebbington J., Brown J., Frame B., 2007.

#### 4.1.2- Défis de l'évaluation

Il existe une liste très longue de tentatives empiriques de mesures de durabilité au point qu'il est impossible d'en faire une liste exhaustive<sup>167</sup>. Cet encombrement est souvent lié au flou intrinsèque du concept de durabilité, à la capacité de traiter des problèmes multiples et leurs interactions avec des mesures robustes et adaptées à leurs objectifs<sup>168</sup>. Cependant, malgré cet effort académique, le chemin reste encore long sur la manière de définir, de planifier et de mesurer les progrès accomplis en matière de durabilité<sup>169</sup>. Et surtout, parce que la durabilité implique un certain nombre d'implications pratiques et éthiques<sup>170</sup>. L'EDD reste un vaste domaine qui peut englober de nombreux processus et pratiques. Nous n'avons pas encore atteint le point où il existe un consensus universel sur la signification de l'EDD, et encore moins sur un processus communément admis pour son application<sup>171</sup>.

Les principaux défis de la mesure de la durabilité sont liés à la nécessité d'identifier une ligne de démarcation, à la fois scientifique et politique, capable de définir une frontière entre ce qui contribue au DD et ce qui ne l'est pas. Ces défis sont aussi liés à porter des solutions dans un cadre transdisciplinaire. La grande difficulté est liée à l'incertitude sur notre capacité à prévoir l'impact des décisions humaines, surtout l'écosystème. Et aussi, à l'incertitude de comprendre un élément particulier de l'écosystème lui-même, une compréhension complète de la dynamique complexe, ce qui peut avoir des répercussions importantes sur la qualité et l'utilité de l'évaluation. Il faut noter que pour l'EDD, *«la sélection et la définition d'indicateurs pertinents définissent dans une large mesure l'ensemble du problème»*<sup>172</sup>.

Pour l'EDD, il y a une nécessité urgente d'adopter une approche globale et de développer de méthodologies robustes permettant de mesurer tous les aspects importants de la durabilité. Ce qui n'est pas une chose facile pour le moment.

#### 4.1.3- Comment soulever les défis de la mesure

Afin de donner des orientations et des principes d'évaluation, des réflexions commencent à être proposés. Ce que nous appelons le Bellagio STAMP (principes d'évaluation et de mesure de la durabilité<sup>173</sup>) constitue, dans ce contexte, un exemple intéressant de telles tentatives, voir § 4.2.2, chapitre 4. Il a été développé pour la première fois en 1996 et a été récemment élargi et réétudié<sup>174</sup>.

---

<sup>167</sup> Bond Alan, 2012.

<sup>168</sup> Böhringer C., Patrick E. Jochem P., 2007.

<sup>169</sup> Gasparatos A., Scolobig A., 2012.

<sup>170</sup> Idem., 2012.

<sup>171</sup> Pope J. et al., 2017.

<sup>172</sup> Pollesch N.L., Dale V.H., 2016.

<sup>173</sup> László P. et al., 2012.

<sup>174</sup> Pinter et al., 2012

Ces réflexions cherchent à définir les principes et les exigences d'une architecture de sécurité robuste. Toutefois, la plupart des études finissent toujours par comparer différentes alternatives sur la base d'indicateurs choisis parmi diverses alternatives dans les trois piliers de durabilité, sans approfondir l'analyse aux interconnexions potentielles entre ces piliers.

Afin de soulever les difficultés liées à l'EDD, la communauté scientifique a proposé de dépasser la science normale (traditionnelle) pour une science post-normale appelée science de durabilité. Les éléments qui sous-tendent cette nouvelle discipline et les pratiques de recherche correspondantes sont des approches transdisciplinaires, communautaires, interactives et participatives.

Le concept de durabilité, d'un point de vue disciplinaire, transcende la relation sujet-objet de la science traditionnelle et introduit une composante relationnelle en tant qu'objet de l'étude, dans laquelle la dimension spatio-temporelle et l'environnement contextuel de cette relation sont abordés. Il est clair que la science moderne montre un intérêt croissant pour la montée en puissance de défis toujours plus complexes et dynamiques dans notre monde. La science traditionnelle est de plus en plus considérée comme incapable de traiter et de fournir des réponses efficaces et utiles à ces défis<sup>175</sup>. La science de la durabilité comme science post-normale introduit ainsi une rupture conceptuelle et exige de dépasser les défis de la recherche:

- Adopter une approche holistique pour comprendre les interactions dynamiques et la vulnérabilité et la résistance de systèmes socioécologiques complexes;
- Passer de la multidisciplinarité, via l'interdisciplinarité, à la transdisciplinarité. Passer de l'application non intégrée de plusieurs méthodologies disciplinaires via l'intégration vers l'intégration fonctionnelle de différentes méthodologies.
- Avoir une fonction normative ; capacité de fournir une direction à travers des visions afin de se conformaient à un ensemble varié d'objectifs chargés de valeurs.
- Promouvoir l'apprentissage social et la rétroaction mutuelle ; (apprendre par l'action, par l'apprentissage) conduisant à la coproduction de connaissances avec d'autres groupes de parties prenantes dans le cadre d'un processus commun d'identification et de résolution des problèmes.
- Faire face aux incertitudes ; adopter une approche probabiliste pour l'évaluation de scénarios est essentielle pour parvenir à une prise de décision robuste<sup>176</sup>.

---

<sup>175</sup> Sala S, Biagio C, Nijkamp P., 2015.

<sup>176</sup> Funtowicz S.O., Ravetz J.R, 1993.

#### 4.1.4- Types d'approches d'évaluation de durabilité

Plusieurs méthodes d'évaluation existent, les différences concernent trois plans :

- Sur le plan ontologique, appelle à une évaluation complète et à l'intégration de la capacité de charge des systèmes évalués afin de définir des limites et des seuils de durabilité;
- Méthodologique, modéliser et évaluer le retour d'information et les interactions réciproques entre les systèmes environnementaux et socio-économiques au moyen de méthodologies spécifiques;
- Épistémologique, la science post-normale nécessite une perspective différente en ce qui concerne l'interface science-politique. Cela nécessite une contribution et une implication concrètes des parties prenantes à toutes les étapes du processus.

Réaliser une EDD nécessite d'intégrer les principes, les seuils et les objectifs de durabilité dans l'évaluation, ainsi que de passer d'une simple approche multidisciplinaire à une approche interdisciplinaire et transdisciplinaire.

Morrison-Saunders et al. 2014, en prolongeant les travaux de Pope et al. 2004, ils ont identifié trois modèles conceptuels d'EDD:

- Évaluation intégrée pilotée par une EIE, qui vise à minimiser les impacts négatifs dans des limites acceptables; (la plus utilisée dans la pratique), Australie, Afrique du Sud.
- Évaluation intégrée dirigée par des objectifs, qui vise à maximiser les résultats positifs de «triple résultat»; basée sur EES, Angleterre.
- EDD, qui vise à déterminer si une proposition est durable ou non, Canada.

Les deux premiers modèles supposent une compréhension simpliste et réductionniste du «triple résultat» qui peut être facilement identifiée dans la pratique, tandis que le troisième modèle incarne une approche plus intégrée et holistique<sup>177</sup>. Dans l'EDD, il y a des propositions plutôt conceptuelles et holistiques (considérant les systèmes comme un tout) basées sur les principes de durabilité (rapport Brundtland)<sup>178</sup>, qui introduisent des cadres pour englober et combiner différentes valeurs et perspectives, et d'autres, plus concrètes et opérationnelles, qui tentent de définir et d'en déduire des critères (piliers) de durabilité pour rendre opérationnel le concept de durabilité.<sup>179</sup>

#### 4.2-Outils de mesure de durabilité

Une multitude d'outils, de méthodes et de techniques ont été mis au point pour mesurer la durabilité<sup>180</sup>, axés sur différents domaines (piliers), échelles et objectifs (micro, méso et

<sup>177</sup> Pope et al., 2004.

<sup>178</sup> Gibson, 2006.

<sup>179</sup> Marco Ci, Coles S. R., Kirwan K., 2014.

<sup>180</sup> Pope J., Bond A., Hugé J., Morrison-Saunders A., 2017.

macro), certains ne couvrent que certains piliers et objectifs (par exemple, analyse du cycle de vie) et élargissement des deux (par exemple, analyse coûts-avantages, analyse multicritère de décision)<sup>181</sup>.

Les outils d'évaluation sont définis comme les diverses techniques analytiques pouvant être utilisées pour faciliter la mesure de durabilité des différentes alternatives (projets/politiques)<sup>182</sup>. Les outils d'EDD sont nombreux. Selon l'unité de mesure, trois grandes catégories existent: monétaire, biophysique et indiciaire. La difficulté est liée au manque des directives et des critères bien établis sur la manière de choisir entre ces outils. Habituellement, l'adoption d'un outil est généralement effectuée par subjectivité, spécialité ou qualifications de l'évaluateur et dépend généralement des contraintes de temps, de données, de budget et de la gamme d'outils disponible plutôt que sur une base théorique solide ou le contexte de la stratégie globale d'évaluation<sup>183</sup>. Cela va jouer inévitablement sur la crédibilité et la légitimité de la mesure. Ce qui expose ainsi la mesure à un certain nombre d'implications pratiques et éthiques et qui influent considérablement sur les résultats. Le tableau 2.1, suivant, présente une liste non exhaustive des outils de mesure disponibles, selon l'unité de mesure.

**Tableau 2.1 : Principaux outils de mesure de la durabilité**

Famille d'outils	Notion de valeur	Outils
<b>Monétaire</b> <sup>184</sup> (utilité, Préférence subjective)	Évaluation monétaire néoclassique (égoïste)	Consentement à payer
		Compensation à accepter
		Dépenses d'évitement
		Analyse coûts-avantages
		Prix du marché
		Marchés simulés
		Frais de déplacement
		Valeurs de propriété hédonique
		Valeurs salariales hédoniques
	Évaluation monétaire délibérée (Altruiste)	
<b>Biophysique</b>	Évaluation physique hors des préférences humaines	Empreinte écologique
		Synthèse de l'énergie
		Analyse exergie
		Comptabilité énergétique
		Analyse des flux de matières
<b>Basée sur des indicateurs</b>	Indicateurs	Indicateur simple
		Tableau de bord
	Indices composites (IC)	Non intégrés
		Flux régionaux
		Intégrés
	Analyse Multicritère (AMC) (non réductionniste)	Electre, Promethee, Multi-attributeutility analysis
		Processus d'analyse hiérarchique (AHP)

Source : Établi par nos soins.

<sup>181</sup> Singh R. K., et al. , 2009.

<sup>182</sup> Gasparatos A., Scolobig A.,2012.

<sup>183</sup> Idem.

<sup>184</sup> Ce groupe comprend des outils qui ne sont pas des techniques d'évaluation de la durabilité, mais plutôt un ensemble important d'outils pouvant être utilisés pour aider d'autres outils lorsque des valeurs monétaires sont nécessaires pour des biens et services qui ne se trouvent pas sur le marché.

Il existe d'autres typologies d'outils d'évaluation : Typologie selon le point de vue ; réductionniste et holisme (non-réductionniste)<sup>185</sup>. À l'exception de l'analyse multicritère, tous les outils, les indices composites compris, ont un point de vue réductionniste<sup>186</sup>. Il existe aussi une typologie selon le degré d'intégration<sup>187</sup>. L'outil non intégré est une représentation opérationnelle d'un attribut d'un système (unidimensionnel). L'outil intégré tente de traiter de manière globale (multidimensionnelle) les informations provenant d'indicateurs individuels, en prenant en compte les interrelations et les interdépendances entre eux, en tenant compte de l'importance différente qu'elles pourraient avoir et en adoptant différents degrés d'agrégation.

Selon Bergh et Jeroen, 1996 cités par Gallopín, 2003<sup>188</sup>, certains indicateurs de durabilité qui ont été proposés se réfèrent à:

- Réduire l'impact des activités humaines sur l'environnement;
- Respect de la capacité de charge des ressources naturelles et des écosystèmes;
- Intégrer de triple-objectifs à long terme,
- Préserver la diversité biologique, culturelle et économique.

La durabilité a différentes significations appartenant à différents contextes<sup>189</sup>. Certes, comme déjà mentionné dans la section précédente dans les deux approches de durabilité (forte et faible), chaque outil reflète des hypothèses implicites et le résultat final de la mesure n'est pas forcément le même puisque l'EDD est spécifique dans chaque outil. De nombreux exemples d'outils (notamment monétaires<sup>190</sup>) ne sont que des exemples de mesure incorporée qui ont été étendus pour intégrer des externalités sociales, économiques et environnementales, reflétant une approche à triple résultat en matière de durabilité. En conséquence, les options évaluées sous cet angle pourraient également ne pas aboutir à une pratique durable. Pour cette raison que c'est urgent de proposer une définition stable et commune au concept de durabilité, puisque la raison de ces contestations réside dans les origines mêmes du concept de durabilité.

Le choix d'outil d'EDD est loin d'être une mince affaire<sup>191</sup>. Il implique également une série de choix méthodologiques très chargés en valeur, notamment lors de la sélection, de pondération, de la normalisation et de l'agrégation des indicateurs. Dans les indices composites (IC), toutes les notions de valeur sont perdues lors de la normalisation et de l'agrégation des indicateurs<sup>192</sup>. Cela implique qu'il est impossible d'attribuer une perspective d'évaluation spécifique ou de comprendre le rôle de l'homme de la même manière que dans

---

<sup>185</sup> Bond A, Morrison-Saunders A., 2011.

<sup>186</sup> Gasparatos A., 2010.

<sup>187</sup> Ness B. et al., 2007.

<sup>188</sup> Gallopín G., 2003. P. 22.

<sup>189</sup> Pollesch N.L., Dale V.H., 2016.

<sup>190</sup> l'analyse coûts-avantages, à été utilisé pour l'évaluation de projets depuis le début des années 1970.

<sup>191</sup> Gasparatos A., 2010.

<sup>192</sup> idem

les outils économiques et biophysiques. La véritable difficulté qu'il existe très peu de littérature académique proposant la sélection systématique d'outils d'EDD<sup>193</sup>.

Tous ces outils impliquent l'adoption de points de vue extrêmement réductionnistes du monde lors de l'EDD. L'agrégation d'indicateurs dans les indices composites (IC) est également une décision méthodologique réductrice par nature. De telles conceptions réductionnistes du monde réel pourraient être jugées indésirables dans l'EDD<sup>194</sup>.

Des outils tels que coûts-avantages et les IC qui contiennent des étapes d'agrégation explicites permettent essentiellement des compromis entre les différentes questions de durabilité en adoptant ainsi une perspective de durabilité faible. Le manque d'agrégation dans les AMC implique que ces outils sont plus proches du concept de durabilité forte<sup>195</sup>. Une décision sur l'acceptabilité des compromis implique d'importants jugements de valeur et encadre dans une large mesure le processus d'évaluation global et ses résultats<sup>196</sup>.

Selon Gasparatos et Scolobig, 2012, il existe quatre manières de choisir un outil de mesure, selon:

- Perspectives souhaitées de l'évaluation.
- Caractéristiques souhaitables de l'EDD
- Critère d'acceptabilité adopté
- Valeurs des acteurs concernés.

En gros, la discussion est sur ce qui est important de mesurer pour l'évaluateur et sur sa façon de le mesurer que sur les exigences en matière de durabilité.

Dans le présent travail, nous avons opté pour l'outil basé sur les indicateurs, plus exactement l'indice composite (IC) pour évaluer la durabilité de développement énergétique avec une volonté de suivre une approche intégrée. Ce choix ne signifie pas que les indices composites offrent plus précision dans l'évaluation comparativement aux autres outils. Comme les deux autres outils de mesure (monétaire et biophysique) l'indice composite comporte des points de force et de faiblesse. Nous n'allons pas présenter une analyse comparative entre les trois familles d'outils, cette opération s'avère très laborieuse et volumineuse. Nous essayerons seulement de donner quelques éléments en faveur de notre choix. Puisqu'aucune perspective unique ne peut englober pleinement la réalité de l'ensemble du système énergétique. Bien que légitime, en ses propres termes, un outil ne peut être suffisant pour une analyse complète du système. Le grand nombre et la divergence au sein des publications scientifiques sur le sujet en témoignent.

---

<sup>193</sup> Idem

<sup>194</sup> Bond A., Morrison-Saunders A., 2011.

<sup>195</sup> Gasparatos et al., 2008

<sup>196</sup> Bond A., Morrison-Saunders A., 2011.

En termes de perspective, contrairement aux outils monétaires et biophysiques, les outils basés sur des indicateurs (IC ou AMC) peuvent grandement contribuer à l'adoption d'une vision plus globale de la durabilité et à la définition d'un plus large éventail de perspectives légitimes. Cependant, la normalisation et l'agrégation dans les IC signifient que les éléments de configuration perdent finalement toute notion de valeur.

En termes des caractéristiques souhaitables de l'EDD, Les IC et les AMC peuvent en principe prendre en compte d'évaluation intégrée et prédictive, les considérations d'équité, mais cela dépend de manière significative du choix des indicateurs, pondération, normalisation et agrégation, voir le chapitre 4, notamment la section 2.

En termes de critère d'acceptabilité et de valeurs des acteurs, les IC sont des options méthodologiques plus saines pour les évaluations basées sur les niveaux de référence, car ils permettent des compromis entre les questions de durabilité.

En termes des valeurs des acteurs, l'évaluation découlent de valeurs (nous mesurons ce qui important pour nous) et créent des valeurs (nous nous soucions de ce que nous mesurons).

La méthodologie est développée conformément au cadre de durabilité. La transparence des valeurs et du choix des outils d'analyse, la robustesse des étapes analytiques et la flexibilité du contexte décisionnel de l'application sont toutes discutées en tant qu'éléments clés du cadre méthodologique d'évaluation.

La classification et l'évaluation des indicateurs peuvent être effectuées en fonction des dimensions générales suivantes de la mesure, bien définies par Booyesen, 2002<sup>197</sup> :

- Aspects de la durabilité à mesurer par des indicateurs.
- Méthodes utilisés pour développer l'IC tels que quantitatifs ou qualitatifs, subjectifs ou objectifs, cardinaux ou ordinaux, unidimensionnels ou multidimensionnels.
- L'IC compare la mesure de durabilité sur une section transversale ou une série chronologique, de manière absolue ou relative.
- L'IC mesure la durabilité en termes d'intrants (moyens) ou de produits (fins).
- Clarté et simplicité dans son contenu, son but, sa méthode, son application comparative et son objectif.
- Disponibilité des données pour les différents indicateurs.
- Flexibilité dans l'indicateur pour permettre le changement, le but, la méthode et l'application comparative.

#### **4.3-Cadre méthodologique**

Le cadre méthodologique peut être utilisé pour évaluer l'action humaine afin de définir le degré de durabilité par le biais d'une évaluation du DD. Il considère les valeurs et les

---

<sup>197</sup> Booyesen F., 2002.

principes de durabilité comme des choix préliminaires dans la définition du cadre<sup>198</sup> de durabilité sur lequel l'évaluation sera fondée<sup>199</sup>. Il tente de traduire les principes et les concepts sous-jacents dans la mise en œuvre des outils d'analyse qui seront utilisés pour l'évaluation finale de la durabilité. Le rôle des différents éléments du cadre est de sensibiliser les acteurs à plusieurs variables possibles qui influenceront le résultat final de l'analyse.

La plupart des critiques formulées sur les indices composites, voir la section 2 de chapitre quatre, portent sur les aspects méthodologiques qui ont conduit à leur construction et sur les choix méthodologiques de certaines variables et leur pondération<sup>200</sup>.

Le cadre méthodologique d'EDD vise à garantir qu'aucune variable de décision ne sera négligée afin d'assurer l'exhaustivité et la compréhension de l'évaluation. L'objectif est de concevoir un cadre permettant de suivre des étapes procédurales logiques et cohérentes.

#### **4.3.1- Principes d'évaluation de la durabilité**

Les intrants externes à la méthodologie sont des valeurs (ce qui doit et comment être mesuré) prises en compte dans le cadre de durabilité. Les éléments méthodologiques internes comprennent l'approche à adopter, la conception de scénarios, des modèles analytiques et des indicateurs mesurables pour une analyse opérationnelle. Les intrants sont des éléments clés du cadre d'évaluation.

En plus des principes intrinsèques au concept de durabilité, d'autres principes doivent être pris en compte dans la méthodologie de la mesure :

- Vision directrice : guider par l'objectif, celui de parvenir au bien-être dans les limites de la capacité de charge et de l'assurer aux générations futures.
- Considérations essentielles : Les composantes sous-jacentes du système dans son ensemble doivent être prises en compte ainsi que leurs interactions.
- Portée adéquate : adopter un horizon temporel et un champ géographique appropriés afin de traiter les effets des décisions dans le temps et dans l'espace.
- Cadre et indicateurs : l'évaluation devrait être basée sur: un cadre conceptuel qui sera la base d'identification des indicateurs, projections et modèles fiables connexes; les données les plus récentes pour en déduire les tendances et élaborer des scénarios; méthodes de mesure normalisées pour assurer la comparabilité. Enfin, la comparaison des valeurs des indicateurs avec les cibles et les points de repère.

---

<sup>198</sup> Les cadres d'évaluation sont des procédures intégrées et structurées, semblables à des protocoles, qui contiennent un certain nombre d'étapes prescrites qui doivent être suivies afin d'atteindre un objectif prédéterminé.

<sup>199</sup> Bond A., Morrison-Saunders A., Pope J., 2012.

<sup>200</sup> Dialga I., Thi-Hang-Giang Le., 2014.

D'autres principes liés à la bonne gouvernance peuvent être ajoutés comme : transparence, communications efficaces, large participation, continuité d'amélioration et capacité de changement.

#### **4.3.2- Procédure d'évaluation de la durabilité**

La procédure de mesure de la durabilité comprend plusieurs étapes, basées sur la définition de: l'approche (ou cadre) de la durabilité et de ses objectifs, le contexte de décision et les choix méthodologiques pour l'évaluation. La procédure pour l'EDD renvoie à une approche de la durabilité qualifiée par de procédurale<sup>201</sup>.

##### **4.3.2.1- Approche de la durabilité**

L'approche de la durabilité adoptée constitue un élément important pour le l'EDD. Comme déjà indiqué précédemment (sections 2.1 et 2.3), l'évaluation dépend et diffère selon le cadre de durabilité auquel elle se réfère, les résultats diffèrent selon que la durabilité est vue sous un angle de durabilité faible ou forte. L'approche de la durabilité caractérisée par deux aspects: les valeurs et les principes de durabilité.

##### **4.3.2.1.1-Systèmes de valeur intégrés**

Le sens de valeur ici est lié à l'éthique de l'évaluateur, c'est-à-dire ce qui doit être important à mesurer et comment doit être mesuré. Les indicateurs (donc l'EDD) découlent de valeurs et créent des valeurs<sup>202</sup>, par exemple la sélection de données, la définition de critères, l'agrégation et la pondération qui influence fortement l'analyse. Ce qui signifie que nous mesurons ce qui nous intéresse et nous nous soucions de ce que nous mesurons. Le concept de valeur d'un outil d'évaluation reflète essentiellement la vision du monde que cet outil englobe lors de la mesure de la performance de projets en matière de durabilité<sup>203</sup>. Comme déjà signaler précédemment, la notion de durabilité et de DD fait l'objet de plusieurs interprétations, parfois conflictuelles, selon les considérations qui résultent des valeurs éthiques (objectif, spécialité, courant, ...). Par exemple, les outils biophysiques et monétaires utilisent différents concepts de valeur pour mesurer les impacts sur la durabilité. Il existe trois types de valeurs (souvent le mot croyances est utilisé) : égoïste (préoccupation pour soi), sociales-altruistes (préoccupation pour les autres êtres humains), et biosphérique (préoccupation pour les espèces non humaines)<sup>204</sup>.

L'utilité et l'efficacité de l'EDD sont souvent fortement mises en doute puisqu'elles sont déterminées sur la base de plusieurs cadres théoriques de durabilité différents (voir

---

<sup>201</sup> Vivien F.-D., Lepart J., Marty P., 2013.

<sup>202</sup> Meadows, D., 1998.

<sup>203</sup> Knox-Hayes J., 2015.

<sup>204</sup> Stern P.C., Dietz T., Kalof L., Guagnano G.A., 1995.

section 2.3 précédente) sans garantie spécifique de résultats durables<sup>205</sup>. Dans la pratique, le choix d'une méthode d'évaluation est souvent effectué par un ou plusieurs experts, sans prise en compte précise des valeurs des parties prenantes concernées. Cet ensemble diversifié de perspectives intègre le rôle commun des perspectives individuelles. Cela nécessite de cartographier les différents contextes dans lesquels le projet peut être compris. Ainsi, en choisissant une méthode, l'expert projette finalement une vision du monde spécifique à son domaine en tant qu'outil de mesure légitime permettant d'évaluer les performances de la durabilité. Aucune méthodologie ne pourrait éviter d'être le résultat d'un certain milieu scientifique, culturel et politique. Malgré la nécessité d'obtenir l'évaluation la plus objective possible, une présentation transparente des valeurs qui sous-tendent l'évaluation est essentielle pour assurer la crédibilité et la solidité des méthodes d'EDD (durabilité forte ou faible, et définition claire de la vision et de la perspective directrices). En choisissant l'outil d'évaluation, l'évaluateur souscrit et applique finalement une vision du monde particulière en tant que critère légitime pour évaluer la durabilité d'un projet particulier<sup>206</sup>. Pour en remédier, la sélection d'outil d'évaluation devrait être cohérente avec les valeurs des parties prenantes concernées.

#### 4.3.2.1.2- Principes de durabilité

Les principes de durabilité sont liés aux contextes de l'analyse qui prend en compte les différentes valeurs et les traduit ensuite différemment dans des contextes différents. Dans ces principes de durabilité, relativement identiques à ceux de DD<sup>207</sup>, plusieurs éléments et plusieurs visions peuvent être distingués, et ce malgré qu'ils doivent être respectés, quelles que soient les valeurs culturelles et sociopolitiques spécifiques des évaluateurs. Par exemple les principes de durabilité, tels qu'ils sont compris aux États-Unis, en Europe, peuvent être considérablement différents en raison des particularités culturelles profondes et des différences associées à ces domaines. D'ailleurs, les différends viennent de là, lors des accords internationaux (ex. COP21, Paris 2015).

Généralement, les sources de principes sont définies traditionnellement par l'ONU, par exemple, Action 21, objectif du Millénaire pour le développement... et aussi par d'autres, par exemple, la stratégie de DD de l'UE etc.

Les valeurs et les principes de durabilité définissent un cadre de durabilité (même l'inverse est envisageable). Comme déjà souligné, il existe différents cadres de durabilité, selon les principes et les valeurs des interprétations économiques, écologiques,

---

<sup>205</sup> Bond et al., 2011.

<sup>206</sup> Gasparatos A., 2010.

<sup>207</sup> les principes de durabilité bien connus sont: le principe de précaution; irréversibilité; régénération; la substituabilité; charges critiques; l'approche holistique; le principe pollueur-payeur; équité intergénérationnelle; bonne gouvernance.

thermodynamiques... le cadre de durabilité sera traduit en objectifs de durabilité avec lesquels les résultats de l'évaluation seront comparés.

La difficulté majeure, en plus de cadre de durabilité à reconnaître, est liée à l'identification de ces objectifs. Cette étape est décisive dans un projet de construction de l'outil d'EDD, elle représente pour nous un carrefour plein de voies de sorties où le choix de voie à prendre n'est pas chose facile. Deux manières d'identification d'objectifs sont envisageables (fondés sur la science et les politiques), 1) de manière exogène par un organe intergouvernemental (comme les NU., GIEC...) ou 2) de manière endogène selon l'opinion individuelle de l'évaluateur. Dans ce derniers cas, la subjectivité sera forte ; sentiments, opinions et les intérêts.

#### 4.3.2.2- Contexte de l'évaluation

L'évaluation peut être réalisée dans plusieurs contextes et avoir des objectifs différents ; ex. évaluer l'impact des institutions pour savoir si elles suivent une trajectoire durable ou pas. Cette étape consiste à rassembler tous les éléments possibles afin d'identifier le meilleur cadre possible pour entreprendre l'évaluation.

Cette étape de la procédure de l'évaluation doit filtrer et traduire en termes pratiques le cadre de durabilité défini par le contexte de l'évaluation. De cette manière, tous les messages possibles reçus pour l'analyse seront reformulés dans un contexte de décision quantitatif. Le contexte de décision peut être conceptualisé sous différentes formes selon les aspects fondamentaux à prendre en compte: 1) l'acteur 2) l'ampleur de l'évaluation ; 3) la complexité de la décision; 4) l'incertitude de la décision 5) l'horizon temporel; 6) l'activité concernée par la décision et 7) les impacts d'intérêt.

L'élément clé à définir dans le contexte de la décision est l'approche adoptée pour réaliser l'EDD. Dans la théorie de la décision, deux approches principales sont envisagées :

**Approche du seuil** privilégiée lorsqu'il existe des limites critiques qu'il ne faut pas franchir pour éviter des conséquences majeures. Ces seuils seront identifiés comme des cibles. Un indicateur simple est évalué, par exemple, la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère pour limiter le réchauffement climatique à 2°C en 2100. Lancker et Nijkamp, 2000, insistent sur les valeurs cibles des indicateurs et indiquent qu'*«un indicateur donné ne dit rien sur la durabilité, à moins qu'une valeur de référence telle que des seuils ne lui soit donnée»*.

Approche de planification de scénarios axée sur l'identification de différents scénarios plausibles. Ces scénarios sont évalués à l'aide de critères relatifs aux trois piliers de la durabilité. Dans la plupart des cas, un seul indice composite est évalué comme une combinaison pondérée des critères.

### 4.3.2.3- Choix méthodologiques

Cette étape représente l'âme de projet d'EDD, elle impliquera toutes les phases de l'évaluation. C'est à cette étape que le choix de l'approche méthodologique la plus appropriée sera fait. Évidemment, la pertinence des résultats dépend de ce choix méthodologique. Elle est composée de différentes phases hiérarchiques :

#### 4.3.2.3.1- Identification des méthodologies les plus appropriées

Cette étape d'identification des méthodologies les plus appropriées est d'une importance primordiale pour identifier le moyen le plus approprié pour l'évaluation.

Depuis 1987, une surabondance d'indicateurs, de méthodes et de modèles pour l'EDD ont été développée. Ces méthodes ont des critères spécifiques. Comme déjà signalés ci-dessus, ces critères, qui couvrent les aspects ontologiques, épistémologiques et méthodologiques, reposaient sur une définition spécifique de durabilité, de l'EDD et sur une définition claire des valeurs éthiques et culturelles intrinsèques.

Parmi les méthodes existantes, il n'existe pas uniquement des méthodes développées spécifiquement pour être utilisées dans l'EDD, notamment celles développées dans le cadre de la durabilité faible. Le réductionnisme reste le paradigme dominant de l'EDD<sup>208</sup>. Peu de méthodes sont complètes pour une évaluation intégrée par pilier. De telles conceptions réductionnistes du monde pourraient être jugées indésirables dans les EDD<sup>209</sup>.

Il existe des critères communs à toutes les méthodes d'évaluation. En fait, pour la crédibilité et la robustesse de l'évaluation en général, pas particuliers aux méthodes d'EDD, il faut considérer des éléments méthodologiques essentiels. En fait, les éléments méthodologiques sont essentiels à la robustesse de l'évaluation. Par exemple, les évaluations peuvent devenir inefficaces, voire contre-productives, si elles ne tiennent pas compte de facteurs ayant une influence sur le comportement de l'indice: l'échelle des données disponibles et le choix des limites du système; l'inclusion, la transformation et la pondération des données d'indicateurs; et la méthode d'agrégation utilisée. Même un ensemble d'indicateurs bien défini et des données de haute qualité qui l'accompagnent peuvent conduire à des évaluations complètement différentes d'un système en fonction de la procédure de normalisation et d'agrégation utilisée<sup>210</sup>.

Par contre, il existe d'autres critères spécifiques à la méthodologie d'EDD tels que<sup>211</sup>:

- Limites : formulation de seuils scientifiques et politiques.
- Exhaustivité : couvrant plus d'une dimension.

---

<sup>208</sup> Gasparatos A., 2010.

<sup>209</sup> Bond A., Morrison-Saunders A., 2011.

<sup>210</sup> Pollesch N.L., Dale V.H., 2016.

<sup>211</sup> Bond A., Morrison-Saunders A., Pope J., 2012.

- Intégration : approche transdisciplinaire, intersectorielle et participée.
- Participation des parties prenantes : interaction étroite à toutes les phases de l'évaluation.
- Évolutivité : méthodes capables de traiter des aspects multi-temporels et multi-échelles.
- Caractère stratégique : méthodes intégrant déjà les principes de durabilité, par exemple, cycle de vie, et les méthodes véritablement orientées vers le changement.
- Transparence : modèle ouvert où les valeurs sont rapportées de manière transparente.

Le point commun à toutes les méthodes d'évaluation, propre à la durabilité ou non, est le réductionnisme qui reste le paradigme dominant de l'évaluation. Rares les méthodes qui sont complètes pour une évaluation intégrée par dimension de durabilité.

Généralement, notamment dans l'objectif de notre recherche de construire un indice de durabilité des systèmes énergétiques, (IDSE), le critère le plus significatif est celui de savoir si la méthode est basée sur le traitement d'un ou plusieurs piliers; être intégré dans un seul pilier pour garantir l'exhaustivité de l'évaluation. Afin d'atteindre notre objectif, nous penchons vers trois approches pour l'identification et la sélection de méthodologies appropriées et de méthodes connexes pour l'EDD:

- l'approche réductionniste, dans laquelle les résultats de plusieurs modèles et outils sont combinés, couvrant les trois piliers;
- l'approche holistique, évaluer les propriétés émergentes du système socioécologique affectant le problème énergétique, donc son évaluation;
- l'approche combinée, dans laquelle, dans le cadre de l'approche globale de l'évaluation, le modèle et les méthodes réductionnistes sont utilisés pour approfondir un thème spécifique de l'évaluation.

### **2.3.3.2- Faire face aux incertitudes dans l'évaluation de la durabilité.**

Pour l'EDD, une analyse complexe est nécessaire. La notion de durabilité englobe réellement un nombre important et diversifié de disciplines et de domaines. Réaliser une représentation vraisemblable et holistique de cette réalité n'est pas chose facile. Elle nécessite une compréhension approfondie du monde réel, en particulier en termes de pression et réaction. Ceci est d'autant plus important que nous considérons le monde dans lequel nous vivons comme un système complexe, impliquant de nombreux sous-systèmes étroitement liés les uns aux autres. L'incertitude est liée à la qualité de notre compréhension de système ou de du monde réel et surtout à l'analyse réductionniste. De nombreuses sources d'incertitude existent telles que: probabilité de contre-effets; effets à long terme; vitesse des changements; discontinuités ou perturbations; degré d'efficacité des outils politiques, etc. l'incertitude est liée à la tentative de modéliser plusieurs processus complexes.

Ce qu'il faut faire est d'identifier et de traiter les différentes sources d'incertitude afin d'accroître la robustesse de l'évaluation, sinon, le concept d'EDD risque d'être privé de toute utilité pratique. Cela signifie que toute étude technique dans un rapport sur l'EDD visant à appuyer la prise de décision doit évaluer de manière cohérente et systématique les incertitudes, aussi bien des facteurs d'impact que des avantages liés aux options stratégiques. L'incertitude peut être liée aux différents enjeux, pouvoirs et conflits.

### **Conclusion du chapitre**

Proposer une définition définitive et unanime au concept de durabilité s'avère difficile, alors là proposer une définition opérationnelle et mesurable, le chemin reste long. La durabilité est au centre d'enjeux idéologiques et scientifiques. Il n'existe pas de consensus scientifique sur les conditions de la durabilité.

Même s'il y'a aujourd'hui un consensus sur les dimensions de durabilité et leurs contenus, il n'existe pas encore un compromis sur la façon de les mesurer afin d'évaluer les progrès vers la durabilité. Les difficultés viennent de plusieurs sources. Difficultés à mesurer certains éléments des dimensions de durabilité notamment d'ordre social. Des difficultés à soulever les incertitudes sur la compréhension de monde réel et des systèmes complexes. Appréhender les liens entre les dimensions pose des problèmes théoriques et pratiques pour l'EDD, d'ailleurs ils sont à l'origine des conflits entre les approches (ou cadres) de durabilité en termes de ; valeurs, hypothèses, principes, outils...

L'EDD comme nouveau cadre d'évaluation de progrès, d'impact, de prise de décision... pose à son tour d'autres problèmes. Nous assistons à un foisonnement des outils d'évaluation, plusieurs formes sont envisageables avec des degrés de complexité encombrant. Dans la littérature, il existe un large éventail de processus d'EDD. Cet éventail n'est pas forcément composé de processus d'évaluation vraiment complets et robustes, ce qui fragilise la crédibilité et l'objectivité de ces évaluations.

Le processus d'évaluation de la durabilité pose aussi de difficultés d'ordre méthodologique. Cependant, à ce niveau, un certain compromis relatif se forme. Un projet d'EDD, en connaissance des défis qui reste à résoudre, doit remplir au moins trois caractéristiques principales de la science de la durabilité: transdisciplinarité; perception holistique de la réalité, évaluation intégrée et collaboration dans la recherche scientifique. Ainsi: la durabilité est évaluée en prenant en compte des seuils fondés sur la science et/ou les politiques; la transparence est assurée par la déclaration des valeurs de base. La transdisciplinarité informe l'évaluation par la coproduction de connaissances avec les parties prenantes (en termes de définition et de solution du problème).

Évaluer la durabilité revient à évaluer l'effet d'une politique, d'un produit ou d'un organisme sur le DD. Il est nécessaire d'identifier des objectifs clairs et bien fondés au niveau

de l'analyse technique et scientifique à utiliser pour appuyer la prise de décision. Le prochain chapitre abordera en détail ces éléments en les transposant sur un problème jugé, à l'heure actuelle, prioritaire par rapport à d'autres, l'énergie. En effet, au sein de grand ensemble de mesure du DD, la question énergétique est largement répertoriée. Cela reflète l'importance attribuée à cette question. Nous espérons l'élargir, après le recensement de ces nombreuses difficultés liées à l'EDD. Nous visons à savoir, si la durabilité énergétique pourra-t-elle être mesurée objectivement?

## Chapitre 3 :

### Durabilité énergétique : conceptualisation et évaluation

Lors de la neuvième session de la Commission du développement durable (CDD-9) en 2001, des organisations internationales et nationales telles que l'AIEA, le DAESNU, l'AIE... confirment que l'énergie est un sujet majeur pour un DD. En 2015, les NU ont adopté un nouvel ensemble de 17 objectifs du DD. Cet ensemble constitue un nouvel agenda de DD dans lequel l'énergie occupe une place prépondérante.

La présente thèse porte sur un objectif qui a un impact significatif sur l'ensemble de l'humanité c'est l'objectif 7 pour le DD, celui d' « Assurer l'accès à des services énergétiques abordables, fiables, durables et modernes pour tous ». Ce troisième chapitre vise à spécifier les caractéristiques de base d'un système énergétique qui peut continuer de fonctionner indéfiniment dans le futur. L'objectif de ce chapitre consiste à déplier un modèle de système énergétique durable (SED) et d'explicitier les méthodes d'évaluation de la durabilité énergétique (EDE), une manière de savoir comment le DD dépend directement de l'énergie. D'une autre manière, comment la durabilité reconconditionnera nos systèmes énergétiques ? Et pourquoi l'évaluation de la durabilité est-elle importante? La méthode suivie peut être classée comme descriptive et exploratoire dont l'intérêt reposait sur la lecture, l'identification, l'analyse et la discussion des fondements théoriques et conceptuels sur les problèmes, les concepts, l'évaluation liés à la durabilité énergétique.

Dans la première section, nous commencerons par la discussion sur la problématique énergétique, parce qu'elle a le mérite de susciter un détour préalable par certains éléments indispensables à la compréhension des enjeux liés à l'énergie comme domaine prédominant pour un DD. Un léger préambule de système énergétique mondial actuel et passé en revue pour saisir, premièrement, ses insuffisances et, deuxièmement, de rendre en évidence la nécessité d'une transition énergétique durable. La deuxième section prendra le relais en visant de près la conceptualisation de durabilité énergétique. En prenant comme référence la littérature déjà existante, elle exposera les critères de base des différentes conceptions du système énergétique durable. La troisième section, comme introduction à l'évaluation de la durabilité des systèmes énergétiques (EDSE), mettra en exergue les dimensions et les indicateurs de durabilité énergétique. Nous finirons, dans la quatrième section, par aborder le cœur de notre projet, celui de l'évaluation de la durabilité énergétique. Les approches et les catégories d'outils d'évaluation de la durabilité énergétique seront explicitées. À la fin, nous passerons en revue une série d'indices composites dédiés à l'évaluation de développement énergétique durable. Une façon de jeter les bases de construction d'un nouvel indice composite permettant de mesurer la durabilité énergétique.

## Section 1- Problématique énergétique

Cette première section représente une introduction pour comprendre les questions énergétiques dans le contexte du DD afin de saisir, plus loin, la notion de durabilité énergétique. Une bonne compréhension de la problématique énergétique constitue une clé pour une meilleure évaluation de l'éventail des choix futurs. Il est essentiel de comprendre les conditions non durables des systèmes énergétiques actuels pour comprendre<sup>1</sup>) les défis énergétiques du XXIe siècle et 2) d'en proposer des réponses concrètes et 3) les enjeux de la mesure de la durabilité énergétique par un indice composite. Les connaissances issues de différents problèmes liés à l'énergie deviennent pertinentes lors de l'élaboration de solutions pour un avenir énergétique durable.

Dans le domaine de l'énergie, nos sociétés sont confrontées à trois problèmes majeurs : dépendance, épuisement et pollution. La problématique énergétique est caractérisée par trois problèmes qui forment ce que le conseil mondial de l'énergie (CME) appelle le Trilemme énergétique<sup>2</sup> : la dépendance grandissante à l'énergie principalement fossile, la raréfaction de ces énergies fossiles, la menace de réchauffement climatique liée à leur utilisation. Un quatrième problème est lié au manque d'immaturation d'énergies alternatives, la difficulté de trouver une alternative, notamment propre, à ces énergies fossiles. Nous pouvons encore ajouter un cinquième problème lié aux inégalités de répartition de l'accès à l'énergie dans le monde notamment entre riche et pauvre. Ce dernier problème sera abordé dans la section 3 ci-après dans laquelle nous aborderons la dimension sociale de l'énergie.

### 1.1- Dépendance à l'énergie

L'énergie, selon l'économiste E.F. Schumacher «*n'est pas seulement un autre produit, mais la condition préalable à tous produits de base, un facteur de base égal à l'air, l'eau et la terre*»<sup>3</sup>. À l'instar des matières premières, la disponibilité d'énergie a permis la révolution industrielle et elle a aussi freiné en 1973 les trente glorieuses en occident. L'énergie est à la fois un bien de consommation finale et une consommation intermédiaire utilisée dans le processus productif.

L'analyse macroéconomique de la question énergétique fait depuis longtemps l'objet de plusieurs études. Cet intérêt se justifie notamment par le fait qu'il semble y avoir un lien fort entre la croissance économique et la forte consommation énergétique<sup>4</sup>. Plusieurs approches ont été utilisées pour appréhender ce lien de dépendance<sup>5</sup>. Nous pouvons les

---

<sup>1</sup> Pour plus d'approfondissement, consulter, PNUD et al., 2000.

<sup>2</sup> CMD, 2013. Le trilemme (dérivé du dilemme), est une situation qui offre le choix entre trois alternatives menant à des résultats différents et dont les partis sont d'égal intérêt.

<sup>3</sup> Kirk G., 1997.

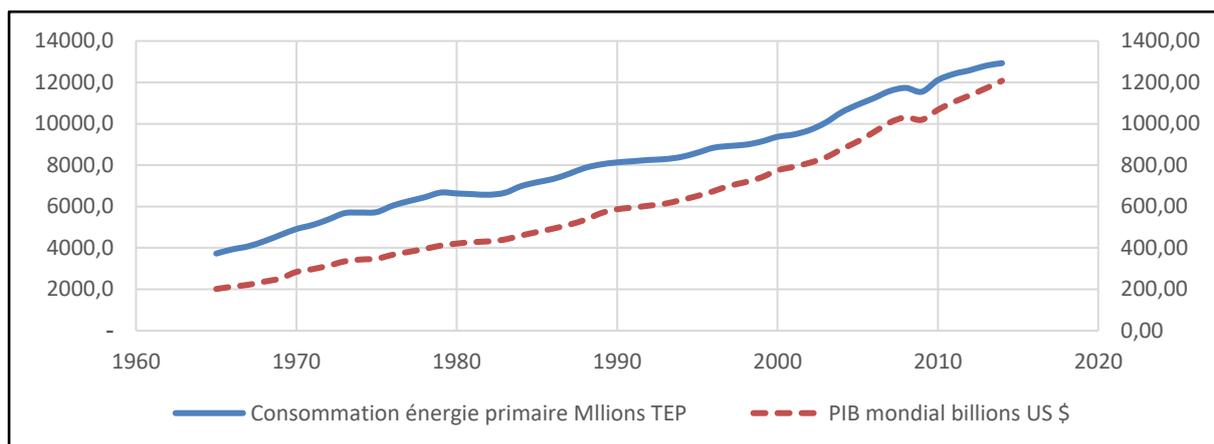
<sup>4</sup> Giraud G., Kahraman Z., 2014.

<sup>5</sup> Pour plus de détails voir l'article: Giraud G., Kahraman Z., 2014.

répartir en trois groupes distincts. Les uns ont adopté l'approche en termes de corrélation et les autres en termes de causalité et dans certains cas en termes d'élasticité.

Une double corrélation est observée entre croissance économique et consommation d'énergie : une corrélation dans le temps (figure 1) où l'énergie consommée augmente parallèlement au PIB, et une corrélation dans l'espace (figure 2) où les pays les plus développés sont aussi ceux dont la consommation d'énergie est la plus élevée et vis versa.

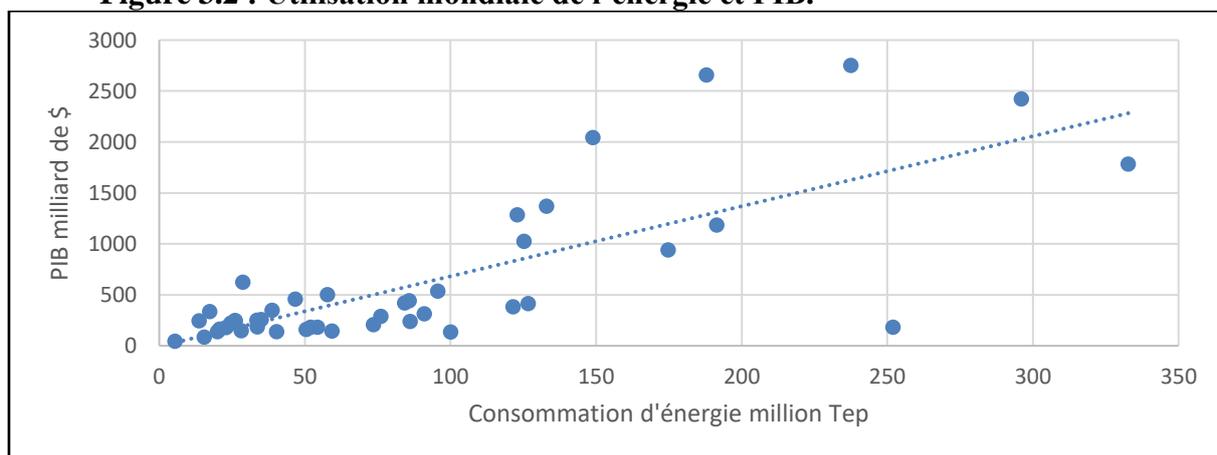
**Figure 3.1 : Relation mondiale entre la consommation d'énergie primaire et le PIB**



Sources : Élaborée par nos soins à partir : Banque Mondiale (PIB), BP 2015.

Les pays où le PIB est le plus élevé se caractérisent par une consommation d'énergie supérieure, car les régions les plus touchées par le manque d'électricité sont celles où le PIB est le plus faible. La même corrélation est constatée entre la consommation d'énergie et l'évolution de l'IDH<sup>6</sup>.

**Figure 3.2 : Utilisation mondiale de l'énergie et PIB.**



Source : Élaborée par nos soins à partir : Banque Mondiale (PIB), BP 2015.

Il existe un lien étroit entre la quantité d'énergie utilisée par une économie et sa taille (PIB). Cela est évident, puisque, à l'instar des matières premières, l'énergie est un facteur de production essentiel, une consommation intermédiaire utilisée dans le processus productif. C'est la raison par laquelle les trois plus grandes économies (États-Unis, Chine, Inde) utilisent

<sup>6</sup> PNUD, 2004.

45% de l'énergie mondiale en 2014<sup>7</sup> beaucoup plus d'énergie que les petites économies. Le PIB mondial et la consommation mondiale d'énergie ont augmenté régulièrement (figure 1). La consommation d'énergie et le PIB mondial évoluent au même rythme. L'énergie est donc un ingrédient principal de la croissance économique. Une augmentation de la consommation d'énergie d'un pays a un impact positif sur son développement économique, social et technologique<sup>8</sup>.

Selon des travaux économétriques, il existe une causalité (selon le sens Granger) entre l'utilisation de l'énergie et le PIB pour de nombreux pays industrialisés<sup>9</sup>. Il existe une relation de causalité unidirectionnelle de la consommation d'énergie vers le PIB pour plusieurs pays<sup>10</sup>. Cela signifie que l'augmentation du PIB nécessitera vraisemblablement une augmentation de la consommation d'énergie<sup>11</sup>. Par contre, pour certains pays, les résultats montrent qu'il y a une causalité bidirectionnelle ; Venezuela<sup>12</sup> et dans certains pays de l'OCDE<sup>13</sup>. Cela implique qu'il existe des interactions, une augmentation de la consommation d'énergie dans ces pays affecte directement la croissance économique et cette croissance économique stimule aussi la consommation d'énergie. Cette causalité implique que l'économie est à la merci d'un choc d'offre énergétique négatif. Elle conclut également que l'énergie, comme un facteur de production de base, peut avoir un effet certain et direct sur l'inflation.

Pour désigner et évaluer la dépendance du PIB vis-à-vis de l'énergie, les économistes parlent plutôt d'élasticité du PIB par rapport à l'énergie: l'analyse de séries temporelles longues de consommation d'énergie primaire sur une trentaine de pays (l'Algérie incluse)<sup>14</sup> montre que cette élasticité est durablement et structurellement autour de 60%. Ce qui signifie, lorsque la consommation d'énergie primaire augmente de 10 %, le PIB tend à croître d'environ 6 % en moyenne, avec éventuellement un retard pouvant aller jusqu'à une année et demie<sup>15</sup>.

La dépendance des niveaux de croissance à la consommation d'énergie est étudiée dans une vision, au sein de laquelle, l'énergie est considérée comme un facteur de production. Dans certains cas, cette dépendance est plus structurelle, dans le sens où le secteur

---

<sup>7</sup> BP Statistical Review of World Energy, 2015.

<sup>8</sup> Dincer et Rosen, 2005.

<sup>9</sup> Stern D. I., 2000.

<sup>10</sup> Yoo S.-H., Kwak S.-Y., 2010.

<sup>11</sup> La diminution de la demande énergétique ne constituerait pas, dans un pays développé, le signal de la décroissance de l'économie, pas plus que l'abaissement du niveau de vie et de confort que nous connaissons actuellement. L'amélioration de la performance énergétique permet de diminuer la consommation primaire d'énergies sans porter atteinte au développement économique et social.

<sup>12</sup> Yoo S.-H., Kwak S.-Y., 2010.

<sup>13</sup> Lee et al. 2008 cité par Giraud G. et Kahraman Z., 2014.

<sup>14</sup> Giraud G., Kahraman Z., 2014.

<sup>15</sup> Bien sûr, ce constat doit tenir compte du fait que beaucoup d'autres variables s'agissent en même temps que la consommation d'énergie, lesquelles ont aussi une influence sur le PIB. Il faut donc interpréter cela avec précaution.

énergétique constitue l'économie elle-même, de moins sa grande partie. Dans ce cas, nous parlons de certains pays exportateurs d'hydrocarbures comme : Algérie, Libye, Nigeria, pays du golfe, Venezuela... des pays où le secteur énergétique représente environ la moitié de l'économie. Des pays où les prix de pétrole font le beau et le mauvais temps. Pour ces pays-là, la chute des prix ou l'épuisement des réserves constituent une impasse, le cas de l'Algérie.

En Algérie, le 11<sup>e</sup> exportateur de pétrole, les hydrocarbures représentent de très loin et depuis des décennies la principale source de revenus du pays. En effet, les hydrocarbures représentent : 94,79 % des exportations globales, 75%<sup>16</sup> recettes fiscales et plus d'un tiers du PIB (36% en 2012). La chute de cours de pétrole, depuis 2014, a mis à mal l'économie algérienne, le déficit budgétaire s'est creusé ainsi que celui de la balance commerciale, avec un déficit record de -18,5 Mds USD en 2016<sup>17</sup>. La Banque d'Algérie tire la sonnette d'alarme sur la fonte rapide de réserves de change, pas moins de 100 Mds USD que l'Algérie a ainsi perdu de 2014 à mi 2018. Une dangereuse dérive qui peut conduire le pays vers l'insolvabilité, comme ce fut le cas en 1990. Ce qui a incité le gouvernement d'entrer dans une cure d'austérité.

Généralement, les hydrocarbures sont étudiés et connus de public uniquement de côté énergétique, alors qu'elles sont la source de beaucoup de produits dérivés non énergétiques. Ces produits dérivés ne sont pas de moindre importance, en fait, ils sont utilisés dans de nombreux domaines et nous ne pouvons pas, pour l'instant, imaginer l'avenir sans ces produits. Nous pouvons aussi utiliser le pétrole pour obtenir d'autres produits comme le bitume, les polymères, les lubrifiants, d'autres matières chimiques dérivées ; le benzène, le toluène, les xylènes qui permettent la fabrication des plastiques, textiles synthétiques, caoutchoucs synthétiques, détergents et la fabrication d'engrais<sup>18</sup>. Ainsi, la dépendance, à l'énergie en général et aux hydrocarbures en particulier, ne posera pas uniquement problème d'ordre purement énergétique, mais aussi d'ordre nonénergétique. L'énergie est un bien de consommation intermédiaire utilisé sous plusieurs figures dans le processus productif. Ce qui fait de l'énergie un moteur essentiel de la croissance économique.

## **1.2- Épuisement de l'énergie**

À l'heure actuelle, 80% de l'énergie primaire dans le monde provient des combustibles fossiles<sup>19</sup> ; le pétrole représente 30%, le charbon 30% et le gaz naturel 20%, 10% pour le nucléaire dans le monde<sup>20</sup>. Les énergies renouvelables ne représentent que 10% (0,1% en Algérie de 2015). Devant les difficultés techniques et économiques, ces énergies renouvelables ne pourront par se substituer aux fossiles dans un avenir proche. Selon les

---

<sup>16</sup> Kateb M. L., Ouddane B., 2018.

<sup>17</sup> [www.lemoci.com/fiche-pays/algerie](http://www.lemoci.com/fiche-pays/algerie), consulté le 27/10/2018.

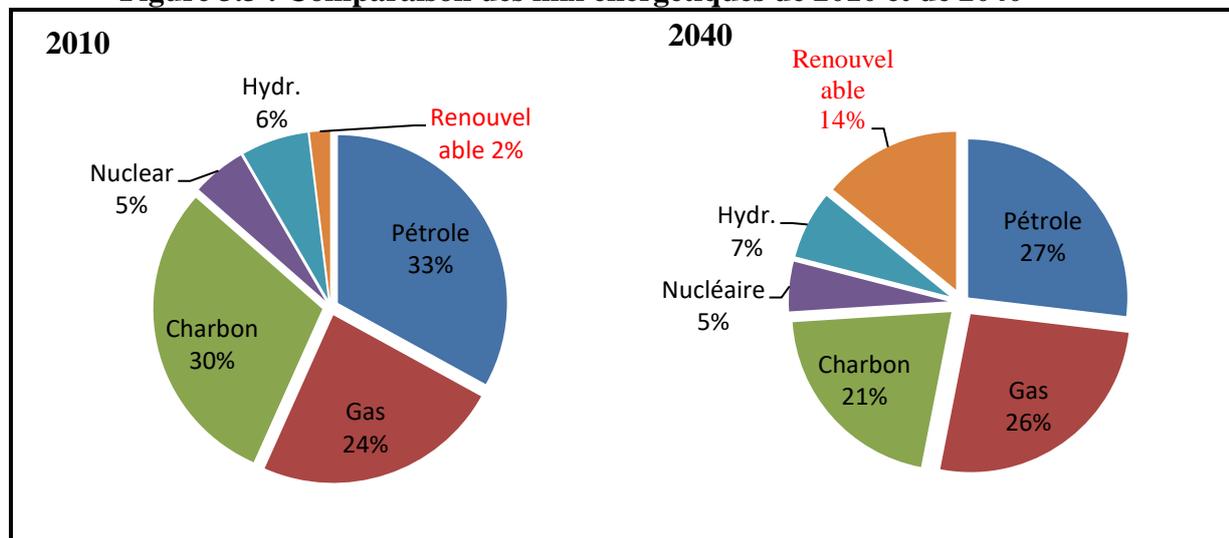
<sup>18</sup> Révolution verte, 1950-1980, qui a fait augmenter de 250% la production céréalière mondiale, le potentiel a été fourni par l'énergie fossile sous forme d'engrais, de pesticides et de carburants aux machines.

<sup>19</sup> BP, Energy Outlook, 2018.

<sup>20</sup> BP, Energy Outlook 2018

prévisions, et compte tenu de leur domination actuelle (voir la figure 3.3), les combustibles fossiles resteront longtemps l'épine dorsale du système énergétique mondial<sup>21</sup>. Nos économies, fortement dépendantes d'énergies fossiles épuisables et dans lesquelles les énergies alternatives ne seront pas prêtes pour demain, foncent droit au mur, ainsi leur durabilité est fortement compromise.

**Figure 3.3 : Comparaison des mix énergétiques de 2010 et de 2040**



Source : Élaborée par nos soins à partir des données de BP, Energy Outlook, 2018.

Ainsi, l'une des plus grandes problématiques énergétiques actuelles est ; fasse à la raréfaction et l'épuisement des énergies de stock (fossiles et fissiles) aucune solution fiable de remplacement n'a été encore trouvée : aucun scénario de référence ne considère les énergies renouvelables comme suffisantes pour faire face à la demande. Ceci nous confirme un monde où l'accès à l'énergie posera problème, l'énergie va devenir de plus en plus rare et chère. En effet, malgré la générosité de taux de croissance annuel des énergies renouvelables de 14,1% depuis le début de siècle, la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique mondial ne dépasse pas 10 % (dont 6,8% d'hydroélectrique) en 2015<sup>22</sup>. D'ici 2040, cette part ne sera que de 21%.

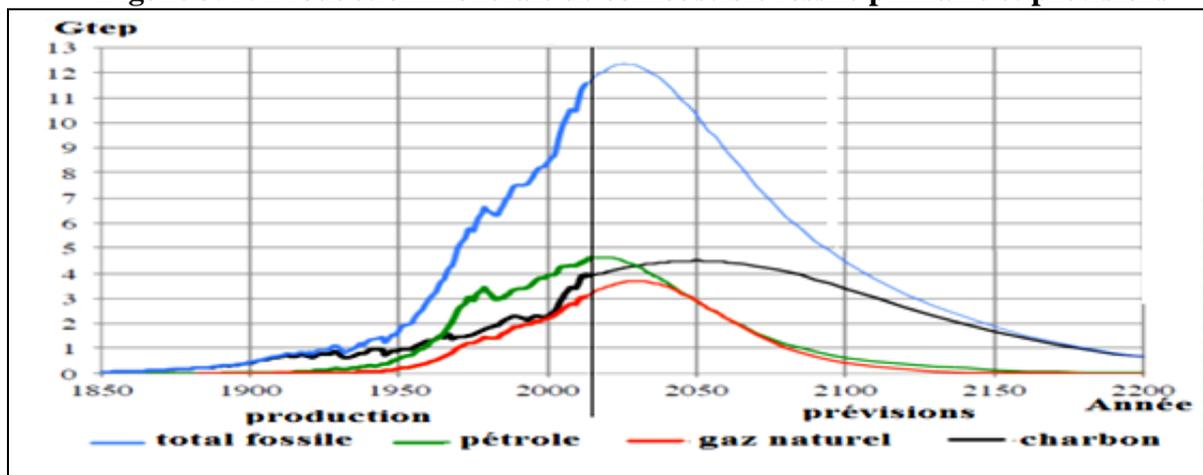
Cette menace sur les réserves fossiles peut être explorée par plusieurs éléments ; la surexploitation, la raréfaction de nouvelles découvertes et l'épuisement des réserves prouvées de l'énergie fossile primaire.

Dans l'ensemble, nous constatons que la production mondiale d'énergie fossile a été multipliée par plus de 1 358 depuis 1800, en passant de 97,2 à 132051,5 TWh<sup>23</sup>. Rien qu'entre 2000 et 2016 (16 ans), elle a augmenté près de 40% (figure 3.4). Soit une croissance annuelle moyenne est de 1,9 %. La pression est exercée plus sur les réserves de pétrole, pour lesquelles la croissance d'extraction a été de 23% depuis 2000.

<sup>21</sup> Höök M., Tang X., 2013.

<sup>22</sup> BP, 2016.

<sup>23</sup> BP, 2017.

**Figure 3.4 : Production mondiale de combustible fossile primaire et prévisions**

Source : Laherrère Jean, juin 2015

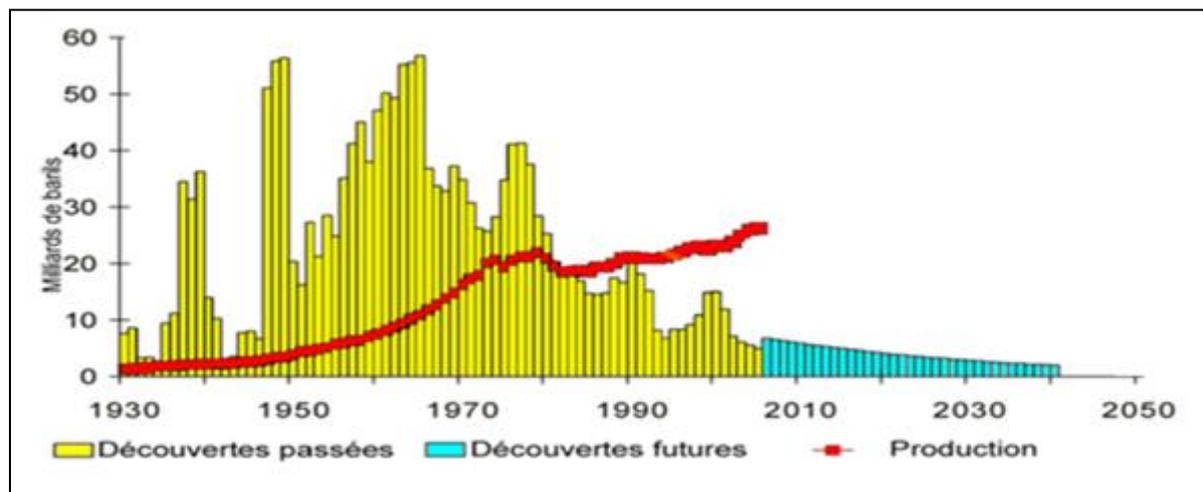
Devant la forte croissance démographique mondiale de 1,2 % par année et la population mondiale qui dépassera les 9 milliards en 2050, selon l'ONU, la pression sur les énergies fossiles ne s'atténuera pas. Devant les objectifs de croissance toujours ambitieux du monde qui sort de crise économique de 2008, nous ne pouvons qu'envisager l'accélération de taux d'extraction des fossiles ce qui précipitera leur épuisement.

### 1.3- Ralentissement des découvertes

Au moment où l'extraction des énergies fossiles s'accélère et la consommation ne cesse de croître, les découvertes conventionnelles se font de plus en plus rares et de plus en plus volumineuses et cela représente un problème sérieux. Les temps de grandes et de nombreuses découvertes de pétrole (Ghawar en Arabie Saoudite en 1948, Burgan au Koweït en 1938) réalisées entre 1945 et 1975 sont révolus. Depuis des décennies, les découvertes se font de plus en plus rares et de dimensions plus réduites comme le présente la figure ci-après.

Les découvertes d'hydrocarbure ont fortement progressé après la Seconde Guerre mondiale et ont passé leur "pic des découvertes" en 1964 avec **124** Gbep en une seule année. Depuis des décennies, la tendance globale est à la baisse avec un rythme inquiétant.

**Figure 3.5 : Volume de découvertes de pétrole conventionnel et prévisions**  
(Incluant l'offshore profond et le pétrole arctique).



Source : LaherrèreJean, juin 2015

Le géologue M. K. Hubbert est le premier à observer la correspondance entre les découvertes et le taux de production de pétrole en 1959. Depuis, il est désigné par **pic de Hubbert** le pic de production le moment où la production de l'énergie primaire culmine puis décroît ensuite. Il s'est avéré qu'il avait vu juste, pour ce qui est du pétrole conventionnel, en prédisant en 1959 que le pic de production aux USA surviendra au début des années 1970<sup>24</sup>.

Dans le monde, l'écart entre les réserves et les extractions se creuse. Les découvertes des énergies fossiles, en décroissance, ne dépassent plus depuis 1980 les 50 Gbep/an, dont 20 Gb de pétrole, alors que le monde en consomme plus de 32 Gbep/an. En 2014, selon les données de BP en 2015, le total des découvertes est estimé à 16 Gbep, c'est-à-dire le plus bas niveau depuis 1952. Autrement dit, le monde a découvert, en 2014, trois fois moins d'hydrocarbures qu'il n'en consomme.

Selon les statistiques de BP en 2015, chaque jour l'économie mondiale consomme environ 95 millions de barils de pétrole soit 34.7 Mds/an et elle découvre seulement 20 Mb/j, soit un déficit journalier de 75 Mb. Les prévisions ne sont pas optimistes, en effet, les prévisions sur les découvertes et les réserves prouvées des fossiles conventionnelles connaîtront des régressions continues au point de s'annuler avant le milieu de XXI<sup>e</sup> siècle pour le pétrole. Les découvertes seront de plus en plus faibles et de plus en plus profondes à atteindre et pas forcément moins polluantes.

Selon les données de l'OPEP, la production pétrolière mondiale a dépassé son pic en novembre 2015 à 96 Mb/j et les pays OPEP ont dépassé leur pic en octobre 2016

<sup>24</sup> Fixé le pic de production est purement spéculatif, car personne ne peut le savoir étant donné l'instabilité actuelle (crise économique, conflits et instabilité politique et régionale). Un prix qui remonterait au-delà de 50\$ pourrait inverser la tendance avec le temps.

à 32,7Mb/j<sup>25</sup>. L'Algérie a dépassé son pic de production de pétrole très tôt, il y a plus d'une décennie, en 2007 à 1.08 Mb/j suivi d'un déclin quasi constant.

Pour réduire cet écart entre production et découverte, nous ferons recours aux fossiles non conventionnels et certains pays, comme la France, font recours au nucléaire<sup>26</sup>. En effet, depuis quelques années, l'arrivée sur le marché de pétrole non conventionnel (bitumineux, schiste) a stabilisé un certain temps l'offre et la demande ainsi que les prix, mais selon l'AIE, les réserves économiquement exploitables risquent de décliner rapidement notamment pour les non-conventionnelles, pétrole et gaz de schiste<sup>27</sup>.

#### **1.4- Indice de durée des réserves énergétiques prouvées**

À présent, nous nous intéresserons aux taux d'épuisement des réserves exprimé par la durée de vie des fossiles. Quand allons-nous manquer de combustibles fossiles ? Les combustibles fossiles et fissiles sont, par définition, des ressources de stocks et finiront par s'épuiser si nous les consommons longuement. Par conséquent, il est utopique d'envisager une durabilité énergétique en laissant nos systèmes énergétiques (par conséquent, nos économies) majoritairement basés sur ces énergies épuisables. La disponibilité d'approvisionnement en combustible énergétique est un aspect clé de la durabilité. Le taux d'utilisation des réserves énergétiques dépend de nombreux facteurs, dont la ; conjoncture économique, les prix, le progrès technologique et les efforts d'exploration. Par conséquent, cet indicateur ne représente qu'une mesure relative de la disponibilité des réserves.

En réalité la prévision du pic des hydrocarbures est très incertaine suite à de nombreux inconvénients d'ordre technico-économiques qui évoluent avec le temps. La plupart des tentatives de prévenir ce pic ont été infructueuses. La question évidente qui se pose est la suivante: jusqu'à quand les énergies fossiles seront disponibles pour soutenir l'économie ? Pour donner une estimation indicative statique de la durée pendant laquelle la consommation des combustibles fossiles est possible, le tracé de ratio réserves sur production est concluant. Il montre les meilleures estimations du nombre d'années restantes de combustibles fossiles, qui mesure le nombre d'années restantes de production sur la base des réserves connues et des niveaux de production annuels.

---

<sup>25</sup> [peakoilbarrel.com](http://peakoilbarrel.com), consulté le 21/10/2018.

<sup>26</sup> Nous attendons à ce que les renouvelables remplissent cet écart (malgré les insuffisances et l'immaturation dont elles souffrent).

<sup>27</sup> Une raison à cela est que le taux d'extraction de ce type de pétrole est très faible, les experts estiment qu'il est économiquement possible d'extraire que 3 à 6 % de la ressource en place par la méthode de la fracturation hydraulique, mais guère plus. Pour le pétrole conventionnel c'est beaucoup plus.

**Tableau 3.1 : Réserves mondiales prouvées et production annuelle par source d'énergie en 2015**

Types d'énergie	Réserves prouvées	Réserves (Gtep)	Réserves en %	Production annuelle Gtep (%)	Années restantes de production ratio R/P
<b>Pétrole</b>	1697,6 GB	239,4	23%	4,4 (1,8%)	50,7
<b>Gaz naturel</b>	186,9 Tm <sup>3</sup>	168	16,2%	3,2 (1,9%)	52,8
<b>Charbon</b>	892 Gt	584	56,2%	3,8 (0,7%)	114
<b>Uranium<sup>28</sup></b>	4 684 KTU <sup>29</sup>	46,84	5%	0,56 (1,2%)	253
<b>TOTAL</b>	-	1038,24	100%	11,96 (1,2%)	86,8

Source : Élaborée par nos soins à partir de BP Statistical Review, 2016

Selon le tableau 3.1, les réserves énergétiques fossiles (nucléaire incluses) ne couvriront la demande mondiale que pendant 86 ans, soit jusqu'à la fin du siècle. Ce délai-là n'est valable que pour le volume des réserves connues en 2015 et au niveau de consommation mondiale de la même année. Évidemment, une modification de l'un ou des deux bouleversera complètement les résultats, à la hausse ou à la baisse. Généralement, selon les différentes prévisions, l'épuisement des réserves pourrait devenir un problème urgent dans la deuxième moitié de XXI<sup>e</sup> siècle.

L'Algérie n'échappera pas à cette réalité mondiale. En effet, comme le montre le tableau 3.2 ci-après, avec une extraction annuelle de 2,6% des réserves fossiles en 2014, la production nationale ne sera soutenue que pendant 38 ans, jusqu'à 2053, juste au moment où le problème d'épuisement des réserves atteindra son paroxysme à l'échelle mondiale. Mais cette durée sera encore courte si nous prenons comme référence le pic de production de 87 Mtep de 2007, la production nationale ne sera maintenue que pendant 17 ans pour le pétrole au lieu de 21 ans. Du côté du gaz naturel, les réserves sont relativement conséquentes par rapport au pétrole, la production pourra être maintenue pendant 50 ans. Au-delà de 2053, l'Algérie deviendra importatrice nette d'énergie si elle maintient ce rythme de production annuelle de 2,6% des réserves.

**Tableau 3.2 : Réserves prouvées, consommation et production par source d'énergie, Algérie en 2015.** (Les pourcentages sont calculés par rapport aux réserves prouvées)

Type d'énergie	Réserves prouvées	Réserves Gtep (%)	Consommation annuelle 2016 Gtep, (%)	Années restantes de consommation	Production annuelle Gtep, (%)	Années restantes de production
<b>Pétrole</b>	12,2 GB	1,5 (27%)	0,0193 (1,3%)	77,7	0,0685 (4,6%)	21,1
<b>Gaz naturel</b>	4,5 Tm <sup>3</sup>	4,04 (73%)	0,0351 (0,9%)	115	0,0747 (1,8%)	54,3
<b>Total</b>	-	5,54 (100%)	0,0544 (1,0%)	101,8	0,1432 (2,6%)	38,6

Source : Élaborée par nos soins à partir de BP Statistical Review, 2016

<sup>28</sup> OCDE, 2016.

<sup>29</sup> Kilo tonnes U (<130\$/kgU)

Dans l'hypothèse où l'Algérie gardera ses réserves exclusivement pour couvrir les besoins nationaux, les réserves seront suffisantes pour couvrir la consommation nationale pendant plus d'un siècle. L'Algérie ne consomme qu'un tiers de sa production. L'existence d'une certaine disproportion dans les taux de production et ceux des réserves. Alors que les réserves de pétrole ne représentent que 27% des réserves globales, la proportion de la production annuelle de pétrole représente le triple de celle gaz naturel.

Pour prolonger la durée de vie des fossiles, il est impératif 1) de promouvoir les politiques d'économie d'énergie, 2) d'accélérer le développement des énergies alternatives et 3) d'améliorer le progrès technique lié à l'exploitation des fossiles (si la contrainte de changement climatique sera négligée).

De plus en plus de preuves indiquent qu'il sera difficile de fournir suffisamment d'énergie fossile pour permettre la croissance continue des économies. L'insécurité énergétique (l'indisponibilité physique ou des prix trop volatils), a souvent été identifiée comme un défi majeur pour le monde du XXI<sup>e</sup> siècle, voir Czúsz et al., 2010 , McCartney et al., 2008 , Moriarty et Honnery, 2009 , Fantazzini et al., 2011 cités par Höök M., Tang X., 2013.

### **1.5-Pollution énergétique**

En plus de l'épuisement des ressources énergétiques, il existe une autre limite importante à l'utilisation des combustibles fossiles, la dégradation de l'environnement. Généralement, cette limite est résumée par le changement climatique. En matière de DD, le système énergétique (extraction, traitement, transport, utilisation) est la principale source de stress environnemental aux niveaux local, régional et mondial.

La combustion des fossiles, en particulier le charbon, est une source principale de métaux lourds, tels que le mercure, sélénium et l'arsenic. Ces émissions entraînent une gamme de déséquilibres environnementaux, les dépôts acides et le smog urbain. Ces déséquilibres sont à leur tour associés à plusieurs effets néfastes pour la santé humaine, notamment en ville (smog, particules fines). La combustion des fossiles émet de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) qui cause des pluies acides et qui provoque, l'acidification des cours d'eau, des dommages aux forêts... Les secteurs énergétiques en amont ont également des impacts locaux importants sur l'environnement comme la perturbation de vastes zones d'habitat naturel. L'exploitation du pétrole et du gaz nonconventionnels peut avoir des impacts encore plus graves, en particulier dans les écosystèmes sensibles tels que les zones humides et la toundra, et libère des déchets dangereux et toxiques lors des opérations de forage et de traitement des champs, notamment le gaz de schiste<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> Les études montrent que le bilan carbone du gaz non-conventionnel est similaire à celui du charbon, les émissions de CO<sub>2</sub> considérables, car la fracturation hydraulique impose une demande énergétique importante.

Bien que certaines sources qualifiées d'énergie renouvelable ; hydroélectrique, biomasse, biocarburants, leur exploitation peut avoir des coûts environnementaux et sociaux importants, selon son emplacement et son mode de développement (barrage, huile de palme...). Pour cette raison, il faut être prudent dans la qualification des sources énergétiques, ainsi, plus loin, nous proposerons des précisions entre énergie renouvelable, propre, verte et durable.

Le problème majeur provoqué et aggravé par l'énergie est le changement climatique. Un dérèglement causé par les émissions de gaz à effet de serre (GES) étroitement lié à l'utilisation d'énergie. En effet, de 1850 à 1990, les systèmes d'énergie fossile représentent 64% des émissions de carbone, 89% des émissions de soufre et 17% de méthane. En 2008, environ 70% de toutes les émissions anthropiques de GES proviennent de l'utilisation de l'énergie, la plus grande part provenant de la combustion de combustibles fossiles<sup>31</sup>. Par conséquent, il est essentiel d'examiner les futurs systèmes énergétiques afin de comprendre les futurs changements climatiques. D'ailleurs, toutes les études s'accordent pour dire que l'utilisation de combustibles fossiles est le paramètre à maîtriser puisqu'ils sont la source. Le changement climatique a souvent été identifié, par de nombreuses études, comme un défi majeur pour le monde du XXI<sup>e</sup> siècle parallèlement à l'indisponibilité physique d'énergie<sup>32</sup>.

Si l'épuisement des réserves est un problème urgent, il existe un autre problème sérieux: le changement climatique. Les émissions de GES restent emprisonnées dans l'atmosphère pendant de longues périodes, ce qui crée un stock atmosphérique qui entraîne la hausse des températures. Pour maintenir l'augmentation de la température mondiale moyenne en dessous de 2°C, il est impératif de définir un «budget carbone<sup>33</sup>» mondial évalué à 1 000 GtCO<sub>2</sub> en 2012.

Le cinquième rapport du GIEC de 2014 explique que si les émissions de CO<sub>2</sub> se maintiennent au niveau actuel de 40 Gt/an<sup>34</sup>, le budget carbone disparaîtra en 2037. Les réserves totales estimées de carbone fossile dépassent ce montant restant d'un facteur 4 à 7, les ressources étant encore beaucoup plus importantes. Les implications sont claires: le temps presse et nous ne pouvons pas utiliser toutes les réserves connues de combustibles fossiles. Nous devons laisser environ 60% des réserves connues dans le sol «carbone non brûlable» si nous voulons atteindre nos objectifs climatiques globaux de 2°C. Ainsi, pour un DD, il n'existe pas uniquement une contrainte physique (quantité) à l'utilisation des fossiles, il existe aussi une contrainte environnementale (qualité). Cette dernière est plus contraignante puisqu'elle rapproche encore plus la date limite d'utilisation des hydrocarbures. Le captage et

---

<sup>31</sup> Höök M., Tang X., 2013.

<sup>32</sup> Idem.

<sup>33</sup> Avec l'objectif de ne pas dépasser 2°C et le montant que nous avons déjà émis, nous pouvons calculer la quantité réelle de CO<sub>2</sub> qui nous reste à émettre. Cette quantité est appelée par le GIEC le «bilan carbone».

<sup>34</sup> GIEC. « Cinquième rapport d'évaluation : Changements climatiques ». 2014.

la séquestration du carbone pourront amortir cette contrainte. Toujours selon le GIEC, la combustion des réserves actuelles d'énergie fossiles (composées de 60% du charbon<sup>35</sup>) fera augmenter la température de globe de 5°C d'ici 2100, ce qui constituera une grave catastrophe pour le climat. Pour cette raison que l'avenir énergétique est un élément du débat sur le changement climatique<sup>36</sup>.

L'énergie nucléaire, faiblement émettrice des GES, pose d'importants soucis techniques et sécuritaires. Des risques posés par la gestion et l'évacuation des déchets radioactifs de longue durée de vie, des risques d'accident lors de l'exploitation ou lors du transport des déchets et le risque de prolifération d'armes nucléaires. Depuis 2011, suite à l'accident nucléaire de Fukushima au Japon, les inquiétudes et le débat sont relancés.

Ainsi, pour un DD, il convient d'engager le projet de la transition énergétique consistant à transiter d'une économie essentiellement carbonée, héritée de la deuxième révolution énergétique, vers une économie décarbonée de la troisième révolution énergétique<sup>37</sup>. De passer des énergies fossiles, épuisables et polluantes, vers des énergies renouvelables, propres et durables.

Les projections énergétiques montrent que les schémas actuels et futurs de l'utilisation mondiale de l'énergie ne sont pas durables<sup>38</sup>. Se concentrer uniquement sur un seul défi énergétique (la sécurité énergétique par ex.) ne permettra pas d'assurer un avenir énergétique durable. Il faut réussir à mieux gérer les compromis nécessaires entre les trois dimensions du trilemme énergétique. Il ne faut pas seulement choisir entre les trois problèmes. Nous pouvons et nous devons choisir de résoudre autant que possible les trois (voir la notion du DD comme compromis). Seules des améliorations significatives dans ces trois domaines permettront de répondre à la demande énergétique croissante tout en limitant les émissions de CO<sub>2</sub>. Pour une durabilité énergétique, il faut trouver des solutions qui nous permettront d'aborder à la fois les trois aspects de ces questions énergétiques.

Bien que l'énergie ne soit pas directement l'une des dimensions de DD, elle est indirectement liée à chacune d'elles. En d'autres termes, les ressources énergétiques sont le moteur de la majeure partie de l'activité économique, dans pratiquement tous les secteurs économiques, tels que l'industrie, les transports, etc. Les polluants provenant des processus énergétiques (production, transport, stockage, utilisation) sont généralement rejetés dans l'environnement. Enfin, les services fournis par l'énergie garantissent de bons niveaux de vie et contribuent souvent à la stabilité sociale ainsi qu'au développement culturel et social. Compte tenu des liens intimes existant entre l'énergie et les éléments clés du DD, de

---

<sup>35</sup> Le charbon est le combustible qui émet le plus de CO<sub>2</sub> par unité d'électricité produite

<sup>36</sup> Bal J.-L., 2010.

<sup>37</sup> Lauvergeon A., Jamard M.-H., 2008.

<sup>38</sup> Olayinka O. S., 2012.

nombreux projets entreprennent de préparer une transition vers un développement énergétique durable.

## **Section 2- Saisir le concept de durabilité énergétique**

Globalement, dans le cadre du DD, la durabilité énergétique (DE) consiste à résoudre de manière durable les problèmes liés à l'énergie cités précédemment.

Si certaines formes de production et l'utilisation d'énergie peuvent aller à l'encontre de la viabilité écologique, l'énergie n'en demeure pas moins essentielle au développement économique. En outre, les services énergétiques contribuent à satisfaire des besoins élémentaires et concourent au développement social par l'amélioration de l'éducation et de la santé publique ...

Les dimensions de l'énergie n'ont jamais eu le même poids ni le même intérêt dans les différents pays du monde. Depuis le premier sommet de la terre (1972), des évolutions sont intervenues et continuent d'intervenir à mesure de la progression de l'utilisation d'énergie et de la compréhension de ses incidences.

Dans le passé, l'approvisionnement en énergie a longtemps résumé l'objectif des décideurs pour alimenter la croissance économique. En ce qui concerne les problèmes d'environnement, ils étaient alors pour l'essentiel ignorés. Progressivement, des considérations sociales ont été intégrées au développement énergétique. Après les chocs pétroliers, des années 70 et 80, l'accès à prix raisonnable et la diversité des sources d'approvisionnement sont passés au cœur des préoccupations sociales de certains pays. Les pays importateurs de l'énergie investissent des sommes énormes dans la mise au point de nouvelles technologies énergétiques et dans l'amélioration de l'efficacité, et créent des réserves d'urgence pour assurer la continuité des approvisionnements en cas de nouvelles perturbations internationales. Certains pays ont même financé des projets de développement de nouvelles sources énergétiques comme le solaire et l'éolien.

Définir la durabilité énergétique est un préalable à sa mesure et à toute action politique visant à son renforcement. Sachant que la durabilité énergétique consiste à maîtriser, à étudier et à résoudre les problèmes énergétiques majeurs de manière durable.

### **2.1-Définitions élémentaires**

Avant de définir la notion de système énergétique durable (SED) ou de la durabilité énergétique (DE), nous voyons qu'il est très pertinent de préciser tout d'abord quelques définitions liées à la qualité et la nature de l'énergie. Cette précision sera essentielle afin d'éviter quelques amalgames ou imprécisions dans la classification des différentes énergies. De nombreuses définitions ont été données pour qualifier les sources d'énergie primaire, parmi lesquelles :

L'énergie renouvelable (ER), qualifiée d'énergie du flux par opposition à l'énergie du stock, ainsi, elle est une énergie relativement inépuisable. Elle est issue des éléments naturels : soleil, vent, chutes d'eau, marées, chaleur de la Terre, végétaux... les ER sont, dans certains cas, relativement renouvelables et ne sont pas forcément propres (ex. biocarburants). Généralement, leur exploitation n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes<sup>39</sup>. Par exemple, les déchets, notamment déchets ménagers, sont considérés comme une source d'énergie renouvelable en exploitant la chaleur de combustion.

L'énergie propre (EP), ou énergie verte, est une source d'énergie dont l'exploitation ne produit que des quantités négligeables de polluants, un impact sur l'environnement réduit ou faible<sup>40</sup>. Il existe différentes sources d'EP, les principales sont : la géothermie, la marémotrice, l'éolienne et le solaire. L'hydroélectrique et la biomasse n'en font pas forcément partie. L'EP est l'énergie qui « *peut être naturellement régénérée le temps d'une vie humaine, et dont l'extraction ne provoque aucun danger à long terme pour l'environnement* »<sup>41</sup>. La notion d'EP est relative et soumise à une appréciation subjective, puisque, toutes les sources d'énergie produisent des externalités négatives en amont ou en aval. Une société en quête de DD doit, dans l'idéal, utiliser uniquement des ressources énergétiques qui n'entraînent aucun impact négatif sur l'environnement.

Le concept d'énergie propre (EP) est distinct de celui d'énergie renouvelable : une énergie est dite renouvelable, si elle se reconstitue indépendamment de la pollution ou des déchets qu'elle génère ; inversement, le fait qu'une énergie soit propre n'implique pas qu'elle soit indéfiniment disponible. Bien que l'ER soit un indicateur essentiel de durabilité, elle ne permet pas le DD souhaité sans protéger l'environnement et prendre en compte les indicateurs économiques.

Pour la notion d'énergie durable ED (sustainable energy), de nombreuses définitions ont été données, parmi lesquelles :

L'énergie durable a deux composantes clés; énergies renouvelables et efficacité énergétique.<sup>42</sup>

L'énergie durable (ED) est considérée comme une source d'énergie primaire physiquement non épuisable et propre. Cette notion se rapproche plus à la notion d'énergie renouvelable non épuisable, dans le sens qu'elle reste toujours disponible, à laquelle nous exigeons, en plus, qu'elle soit propre. L'ED consiste à trouver des sources d'énergie à la fois propres et renouvelables<sup>43</sup>. Dans certaines études<sup>44</sup>, énergie verte et énergie durable sont les

---

<sup>39</sup> Edf, sur [www.edf.fr/lexique/energies-renouvelables](http://www.edf.fr/lexique/energies-renouvelables), consulté le 07/12/2018.

<sup>40</sup> Dincer I., Zamfirescu C., 2012.

<sup>41</sup> Jamaica Sustainable Development Network, sur <https://jis.gov.jm/.../jamaica-sustainable-development-network>, consulté le 07/12/2018.

<sup>42</sup> Lemaire X, 2010.

<sup>43</sup> Energy Alabama, sur <https://alcse.org/what-is-sustainable-energy/> consulté le 06/12/2018

<sup>44</sup> Nevzat Onat, Haydar Bayar, 2010.

mêmes. Dans d'autres études, l'énergie durable ne concerne que l'accès permanent à des services énergétiques sans parler obligatoirement des effets sur l'environnement.

Plusieurs formes d'énergies primaires peuvent être considérées comme durables ; l'éolienne, le solaire, la géothermie, et dans certaines mesures, l'hydraulique et la biomasse. Non seulement naturellement reconstituée, mais elle ne nuit pas à l'environnement, car elle n'émet pas de GES ni d'autres polluants. L'énergie durable est renouvelable au cours de la vie humaine et ne cause aucun (ou très peu) de dommages à long terme sur l'environnement. Par conséquent, les sources d'ED sont les meilleures sources d'énergie pour renforcer notre durabilité en général et notre durabilité énergétique en particulier. Pour atteindre les objectifs de durabilité actuels et futurs, des énergies durables sont indispensables dans les systèmes énergétiques<sup>45</sup>.

En fait, dans notre travail, nous ferons distinction entre les deux termes suivants, énergie durable et durabilité énergétique<sup>46</sup>, pour éviter tout amalgame et confusion entre les deux.

L'énergie durable (ED) est une qualification de source d'énergie primaire, alors que la durabilité énergétique (DE) est une qualification de domaine (ou du système) énergétique. L'ED concerne la pérennité ou la disponibilité d'une seule source énergétique propre. Alors que, le terme la DE regroupe l'utilisation de toutes les ressources énergétiques. Donc, le terme durabilité énergétique représente le secteur énergétique d'une manière globale en s'intéressant, en plus de ça, aux modes de consommation de ces énergies par les utilisateurs. Il y a lieu de parler de la production et de la consommation durable d'énergie.

D'une manière succincte, le terme durabilité énergétique concerne le système énergétique en tant qu'ensemble ; production, distribution et consommation d'énergie. Au sein de la durabilité énergétique, il s'agit d'un DD appliqué au système énergétique en intégrant les trois dimensions. Dans la durabilité énergétique, nous n'exigeons pas de l'énergie d'être uniquement disponible et propre, comme dans le cas de l'énergie durable, en exige encore qu'elle soit accessible et acceptable<sup>47</sup>. Dans cette logique, les notions « durabilité énergétique » et « durabilité de système énergétique », « système énergétique durable<sup>48</sup> », « développement énergétique durable<sup>49</sup> (AIEA et AIE) » ou encore, plus officiellement, « l'énergie pour le développement durable (AIEA, NU) » auront le même sens.

---

<sup>45</sup> Dinçer I., Acar C., 2017.

<sup>46</sup> Dans certaines études, les deux notions sont identiques, ex. Vidadili N. et al, 2017 et OyedepoD. O., 2012...alors qu'elles sont distinctes, dans d'autres études, ex. RosenM. A., 2009...

<sup>47</sup> Ozturk M., Yuksel Y. E., 2016.

<sup>48</sup> Dans certaines études, pour évoquer le système énergétique durable, les qualificatifs comme intelligent et verdisé (greenized) sont utilisés.

<sup>49</sup> Depuis 2005, l'AIEA revoir le sens de «développement énergétique durable DED». Depuis, il ne concerne que les énergies renouvelables et non un éventail plus large de choix énergétiques.

Évidemment, un système énergétique fondé sur un ensemble d'énergies durables et des modes de consommations durables exaucera les exigences de la durabilité énergétique. Dans la littérature, les énergies renouvelables sont considérées comme propres, abondantes et essentielles à la transition vers des systèmes énergétiques durables pour un avenir durable<sup>50</sup>.

## 2.2-Définition de la durabilité énergétique

Rappelons-nous que l'objectif de la durabilité, voir §2.2 du chapitre précédent, est de veiller à ce que les choix souhaitables (ou la capacité) de la société ne diminuent pas avec le temps et à ce que le niveau de production (ou de satisfaction) souhaitable soit toujours atteint. Tout en acceptant, au fil du temps, des substitutions et des changements dans la chaîne de processus pour refléter l'évolution des besoins et de l'expérience, mais en veillant à ce que les générations futures ne doivent pas avoir moins d'options (ou de capacité) que les actuelles. Nous devons comprendre que la durabilité énergétique (ou le DD du système énergétique) est un moyen par lequel les processus socio-économiques doivent être compatibles avec l'environnement.

L'accord universel sur une définition de la DE n'est pas encore atteint, mais diverses définitions et descriptions ont été présentées<sup>51</sup>. Conformément au rapport Brundtland et en s'appuyant sur la définition du DD de la durabilité mentionnée dans les deux chapitres précédents, nous proposerons de définir la durabilité énergétique transposée où le système énergétique durable est un système énergétique qui répond aux besoins énergétiques des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins (besoins énergétiques et d'autres). Il s'agit, tout simplement, de la notion de durabilité appliquée au système énergétique. Évidemment, la notion de DE recopie les objectifs normatifs et éthiques de durabilité globale. D'une certaine manière, le concept de DE est simplement l'application de notre définition synthétique de durabilité (présentée précédemment dans le chapitre 2) au domaine énergétique. À d'autres égards, la durabilité énergétique (DE) est plus complexe<sup>52</sup>.

L'énergie étant un élément essentiel de la plupart des activités économiques et du bien-être humain, elle est considérée comme indispensable pour atteindre la durabilité. Il est donc impératif d'avoir une idée claire et opérationnelle de la durabilité énergétique. La durabilité est un objectif extrêmement important pour l'activité humaine et le développement. La durabilité dans le domaine de l'énergie revêt une grande importance pour tout projet de durabilité globale étant donné 1) le caractère omniprésent de la consommation d'énergie, 2) son importance pour le développement économique et le niveau de vie, et 3) les impacts importants de l'énergie ont eu et continuent d'avoir sur l'environnement<sup>53</sup>.

---

<sup>50</sup> Dincer I., Acar C., 2017.

<sup>51</sup> Rosen M. A., 2009.

<sup>52</sup> Idem.

<sup>53</sup> Olayinka O.S., 2012.

La durabilité énergétique, selon Rosen 2009, implique la fourniture de services énergétiques de manière durable, ce qui nécessite à son tour que les services énergétiques soient fournis à tous les habitants de manière à ce que, aujourd'hui et à l'avenir, ils soient suffisants pour répondre aux besoins essentiels, à un prix abordable, sans nuire à l'environnement et soient acceptables pour les communautés et les individus<sup>54</sup>.

La durabilité énergétique (l'énergie pour le DD), selon l'ONU, est définie comme un système énergétique fournissant des services énergétiques abordables, accessibles et fiables qui répondent aux besoins économiques, sociaux et environnementaux dans le contexte général du développement de la société à laquelle les services sont destinés, tout en reconnaissant qu'une distribution équitable répond à ces besoins<sup>55</sup>.

Pour être considéré comme durable, selon Dinçer et Acar, le système énergétique doit utiliser des technologies et des ressources adéquates, propres, fiables et d'un coût abordable. Par conséquent, les systèmes d'énergie sont évalués en fonction de leur efficacité, de leur performance environnementale et de leurs sources d'énergie et de matériaux<sup>56</sup>. Les systèmes énergétiques devraient essentiellement favoriser une consommation et une production plus durables.

Aujourd'hui, tout le monde, de moins la plupart du monde scientifique, imagine la durabilité énergétique (DE) comme un système énergétique durable respectueux de l'environnement, du climat et des ressources, sans émissions, sûr et fiable, largement acceptée socialement et bien sûr économique. Malheureusement, ceci reste pour le moment une expression de bonne intention et il nous faudra encore vivre de longues années sans cette vision idéale<sup>57</sup>. Selon Paul Scherrer Institut (PSI), il n'y a pour le moment aucune solution parfaite : «*aucune technologie ne fait bonne figure*». La DE dépend donc des priorités que nous nous fixons, donc nous reviendrons au problème de subjectivité. Ainsi, comparativement à la notion de durabilité globale où la difficulté est liée, à la fois, à sa définition (donc conception) et à son opérationnalisation, dans la notion de DE, relativement, la difficulté ne concerne pas la définition ou la conception théorique de celle-ci, mais à la volonté de la rendre opérationnelle. Comme évidence, ces difficultés, presque chroniques, auront des impacts sur l'opérationnalisation, la mesure et l'évaluation du concept de DE.

Avec la notion de durabilité énergétique (DE), en plus de l'énergie durable, nous exigeons la maîtrise de l'énergie. Il s'agit de consommer moins en consommant mieux l'énergie. Également appelée le "négawatt" (mégawatt en moins), c.-à-d. l'énergie économisée par un changement de technologie ou/et de comportement. L'économie ou la

---

<sup>54</sup> Rosen M. A., 2009.

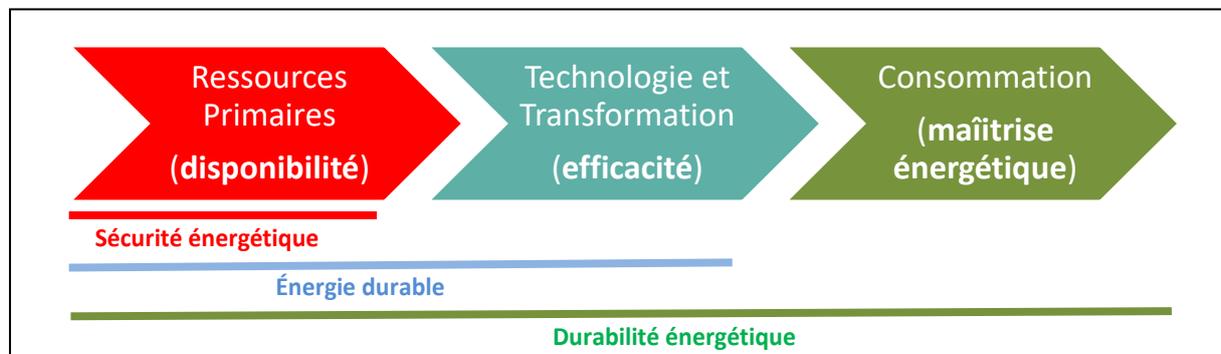
<sup>55</sup> La 9e session de la Commission du développement durable (CDD-9) de l'ONU lors du Sommet mondial pour le développement durable (SMDD) de 2002 à Johannesburg.

<sup>56</sup> Dinçer I., Acar C., 2017.

<sup>57</sup> PSI, 2010.

sobriété énergétique, consiste à supprimer le gaspillage déraisonnable et coûteux dans nos comportements individuels. L'efficacité énergétique consiste à réduire le plus possible les pertes par rapport à la ressource utilisée en utilisant des appareils à rendement énergétique amélioré.

**Figure 3.6: Hiérarchie entre les concepts liés à la qualité de l'énergie**



Source : Élaborée par nos soins.

Le mot d'ordre pour la politique énergétique à l'ère du DD n'est plus seulement la sécurité énergétique, approvisionnement physique (quantitatif) comme dans le passé<sup>58</sup>, mais aussi un accès qualitatif. L'énergie est un facteur très important pour la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement tels que l'élimination de la pauvreté extrême et de la faim, la réalisation de l'éducation primaire universelle, la promotion de l'égalité des sexes, la réduction de la mortalité infantile, la santé maternelle, la durabilité environnementale.

La durabilité énergétique englobe tous les aspects de la chaîne énergétique, de l'approvisionnement en énergie primaire jusqu'à l'utilisation finale. Dincer et Acar<sup>59</sup> l'ont simplifiée de manière holistique en tant que «concept à 3S» (Source-System-Service), tout au long de système énergétique tous les principes de durabilité énergétique (cités précédemment) doivent être satisfaits. Il faut choisir la source d'énergie de manière appropriée selon des critères, tels que l'abondance, la disponibilité locale, l'abordabilité, la fiabilité, la sécurité et le respect de l'environnement et enfin l'équité sociale.

Dans ce cas de la durabilité énergétique, les énergies renouvelables propres seront les plus favorables. Pour les énergies classiques (fossiles, nucléaire, biomasse), elles ne peuvent l'être que si elles sont accompagnées de mesures d'amélioration telles que, de dépollution (captage et séquestration de CO<sub>2</sub> et traitement efficace des déchets nucléaires de très longue durée de vie), plus d'efficacité (multigénération)... Dans l'étape de service, l'utilisation finale, il est tout aussi essentiel de suivre la même démarche, réduire les déchets, les pertes, les irréversibilités, etc. L'utilisation finale doit être propre, efficace, fiable, abordable, pratique

<sup>58</sup> Depuis les chocs pétroliers des 1970, la politique énergétique européenne est traditionnellement concentrée sur la sécurité et la diversité de l'approvisionnement, l'efficacité énergétique, les prix et la compétitivité. L'intégration des préoccupations environnementales ne date que de 1998.

<sup>59</sup> Dincer I., Acar C., 2015.

et sûre. Pour un système énergétique durable, il est essentiel de garantir des systèmes de stockage, de transfert et de livraison d'énergie nouveaux, intégrés et d'un prix raisonnable pour les vecteurs d'énergie à la pointe de la technologie.

### 2.3- Conceptions du système énergétique durable dans la littérature

Pour un DD, l'énergie reste incontestablement la clé pour résoudre les problèmes, tels que le changement climatique, la santé et l'environnement, la sécurité énergétique et alimentaire mondiale<sup>60</sup>. Les systèmes énergétiques traditionnels ne répondent pas à ces exigences multiples. Au cours de XXI<sup>e</sup> siècle, une transition écologique s'impose, une transition des systèmes énergétiques traditionnels vers des systèmes énergétiques durables (SED). Cette transition nous incite principalement à trouver des solutions (des alternatives) afin d'améliorer les performances énergétiques, exérgétiques (la qualité d'une énergie) et environnementales pour une meilleure durabilité. Une transition énergétique qui prend en compte divers critères, tels que l'impact sur l'environnement, l'utilisation des ressources, l'efficacité et le rapport coût-efficacité, ce qui permettra d'atteindre une meilleure DE.

Pour cette raison, une transition vers des SED est devenue une fatalité. Alors, c'est quoi une transition vers des SED ? C'est une mutation substantielle des systèmes énergétiques qui a comme objectif ultime de répondre de manière durable (ou durablement) à la demande mondiale croissante en énergie sans nuire à l'environnement, à la société et à l'économie.

Également à ce niveau, il n'existe pas de description précise et commune de SED. Chaque étude le décrit et le considère différemment en fonction des caractéristiques et des conditions géographiques, économiques, etc. Ainsi, il peut être défini différemment avec des méthodologies différentes. Un SED qui fonctionne efficacement, à un endroit donné, risque de ne pas bien fonctionner à un autre endroit<sup>61</sup>.

Il existe de nombreuses études dans la littérature portant sur de nombreuses caractéristiques des SED. Ces études vont nous servir comme guides lors de la sélection d'indicateurs dans le chapitre quatre. Toujours dans le souci d'opérationnalisation de la durabilité, il convient de privilégier celles qui intègrent une approche pragmatique. Pour cela, nous avons sélectionné quatre études.

La première étude est celle de Marc A. Rosen où la durabilité énergétique est abordée en mettant l'accent sur les aspects techniques de la durabilité énergétique en privilégiant le pragmatisme. Pour Rosen<sup>62</sup>, la durabilité énergétique est intimement liée à *''la manière dont les ressources énergétiques peuvent être utilisées de manière durable''*. Rosen a identifié cinq facteurs à prendre en compte pour progresser vers la durabilité énergétique :

---

<sup>60</sup> Dincer I., Acar C., 2017.

<sup>61</sup> Idem.

<sup>62</sup> Rosen M. A., 2009.

- Exploiter de sources d'énergie durables (renouvelables et propres)<sup>63</sup>,
- Utiliser de vecteurs énergétiques durables,
- Augmenter l'efficacité, en privilégiant l'analyse exégétique (conservation, substitution, qualité de l'énergie, cogénération),
- Réduire l'impact environnemental,
- Améliorer l'acceptabilité socio-économique :

Ce dernier facteur comprend des facteurs liés aux précédents facteurs :

- Participation et acceptabilité sociale de la communauté (parties prenantes),
- Abordabilité économique (accès à l'énergie),
- Équité (d'équité dans le temps et dans l'espace),
- Changer les modes de vie (comportements),
- Utilisation des sols et l'esthétique.

Selon Rosen, pour rester centrée sur la durabilité, l'exploitation de sources d'énergie durables reste un facteur irréfutable et doit tenir compte de l'économie, de la stabilité mondiale et de l'équité géographique et intergénérationnelle. Les résultats suggèrent que la prise en compte de ces facteurs clés peut aider à identifier, à développer et à mettre en œuvre des options et des voies pour la durabilité énergétique, ce qui peut faciliter un changement sociétal plus large vers des SED.

La deuxième étude est celle de Dinçer et Acar où la durabilité énergétique est abordée en mettant l'accent sur des cibles multidimensionnelles, multidisciplinaires, complexes et dynamiques du SED. Pour être considéré comme durable, un système énergétique doit répondre simultanément, sans interruption, à ces nombreux critères :

**Sécurité énergétique** : Un SED tire parti de sources abordables, fiables, disponibles localement, abondantes et renouvelables. De tels systèmes énergétiques deviennent alors **autonomes, sûrs, efficaces** et donc sécurisés.

**Exergétiquement sain** : l'exergie est liée à la qualité de l'énergie. Cela signifie que le système doit minimiser la destruction d'exergie et une efficacité maximale de l'exergie. Le SED conservera non seulement la quantité, mais également **la qualité énergétique**.

**Respect de l'environnement** : le SED doit être propre à chaque étape, de la source à l'utilisation finale, moins de pollution, de gaspillage et de perte d'énergie.

**Faisabilité économique** : utiliser des ressources abordables, fiables, disponibles et abondantes. De plus, optimiser l'efficacité du système et les résultats souhaités afin de présenter des avantages économiques considérables.

---

<sup>63</sup> En effet, Les méthodes de production d'énergie sont l'un des principaux indicateurs à prendre en compte dans l'optique du DD, selon Ozturk M., Yunus E. Y., 2016.

**Viabilité commerciale :** Prendre en compte les conditions locales en utilisant des ressources disponibles ou facilement accessibles et fournir les services souhaités et considérés comme commercialement viables afin qu'il soit en mesure de faire **concurrence et pour être rentables**. Par exemple, la multigénération est un exemple de la manière dont un SED pourrait augmenter le nombre de sorties afin de fournir des produits plus commerciaux.

**Acceptabilité sociale :** le système énergétique doit être socialement acceptable pour les communautés locales et mondiales, car le SED peut satisfaire les besoins sociaux et harmoniser les options de l'utilisation finale de système d'énergie. Il devrait être accepté par la société afin de l'intégrer à sa vie quotidienne et de remplacer les systèmes traditionnels.

**Fiabilité:** À chaque étape, de la production jusqu'à l'utilisation finale de l'énergie, le SED doit être fiable: de ressources de qualité, disponibles et facilement accessibles, systèmes de traitement et conversion et vecteurs fiables pour l'utilisation finale ce qui augmente également la possibilité d'acceptabilité sociale.

**Intégrable:** combiner le système et les sources d'énergie dans une forme synergique pour améliorer l'efficacité, la rentabilité, l'utilisation des ressources et l'environnement. L'intégrabilité facilitera l'intégration du système à des fins multigénérationnelles. Moins le système énergétique nécessitera de modifications, plus il sera sans doute accepté par la société et l'industrie. Ainsi, nous devons nous attendre à des SED pouvant être intégrés à l'infrastructure énergétique déjà existante.

La troisième étude est celle de l'OCDE. Il est presque inconcevable d'aborder SED sans intégrer les études multiples et variées de l'OCDE (et même de AIE). L'OCDE aborde la durabilité énergétique comme étant une politique à mettre en œuvre pour un SED ; concilier sécurité d'approvisionnement, croissance économique et protection de l'environnement. Pour OCDE, 2001<sup>64</sup>, la durabilité énergétique s'attache à créer les conditions qui permettent au secteur énergétique de contribuer au maximum au DD. Ces conditions consistent à :

**Garantir l'approvisionnement énergétique :** diversification des sources et recours coordonné à des mécanismes permettant de réagir avec souplesse aux perturbations d'approvisionnement.

**Améliorer l'efficacité énergétique,** booster le progrès technique et sa diffusion notamment dans les énergies renouvelables.

**Marchés de l'énergie concurrentiels, transparents et à l'abri des distorsions.** Le prix façonne les comportements et les technologies, il faut que **le prix tienne pleinement compte de tous types de coûts** ; élimination progressive des subventions et l'internalisation des externalités, de préférence au moyen d'instruments fondés sur le jeu du marché. Des

---

<sup>64</sup> OCDE (2). 2001. P. 404.

marchés ouverts et concurrentiels (sans obstacles tarifaires) ce qui renforcera la confiance à leur égard.

**Cadre solide pour la prise de décision** qui envoie des signaux clairs au marché. Susciter des choix durables par des incitations, des mesures réglementaires et des normes claires.

**Libéraliser les marchés de l'énergie** et mettre en place des dispositifs pour protéger l'environnement et accroître le bien-être social qui devraient être stables et prévisibles et promouvoir une infrastructure énergétique ouverte et concurrentielle.

**Adoption systématique de solutions technologiques exemplaires.** Créer des conditions favorables au recours accru aux technologies moins polluantes et plus efficaces.

**Garantir un accès mondial à l'électricité** : par la mise au point et la diffusion de technologies, ainsi que par l'instauration d'un cadre d'action juridique, fiscal et énergétique stable qui soit de nature à stimuler l'afflux de capitaux privés.

**Normes de sécurité rigoureuses** des équipements, installations et infrastructures énergétiques, et créer les mécanismes voulus pour faire face aux risques d'accident ou de défaillance.

**Promouvoir la R&D et la diffusion d'informations** (*y compris sous forme de données et de statistiques*), en vue de favoriser des applications commerciales et l'évolution des comportements de consommation. Des mécanismes de décision transparents s'imposent qui assurent une large participation des responsables de l'action gouvernementale et des acteurs intéressés.

Nous pouvons évoquer également une quatrième étude, celle des NU, sauf que cette étude n'est pas spécifique à la durabilité énergétique, mais à la durabilité dans son sens global. En effet, les NU ont formulé en 2015<sup>65</sup> les 17 objectifs du DD (ODD) d'ici 2030 (abrégé en "Agenda 2030"), dont le 7<sup>e</sup> objectif est lié à l'énergie. La nature de ces objectifs est évolutive, change annuellement<sup>66</sup>. Cet objectif consiste à garantir l'accès de tous à une énergie abordable, fiable, durable et moderne. D'ici à 2030<sup>67</sup>, les objectifs énergétiques pour un DD sont : garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables et modernes, à un coût abordable ; accroître nettement la part de l'énergie renouvelable dans le bouquet énergétique mondial ; multiplier par deux le taux mondial d'amélioration de l'efficacité énergétique (grâce aux progrès techniques).

Le même problème, que dans le DD et la durabilité globale, se pose dans la conception de la durabilité énergétique. Même s'il existe un soi-disant consensus qui ne peut être que

---

<sup>65</sup> UN, 2015.

<sup>66</sup> ONU, 2018, P.22

<sup>67</sup> <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>, consulté le 12/02/2019

relatif sur la définition de la durabilité énergétique, le SED souffre de la diversification de définitions et de plusieurs façons de l'examiner<sup>68</sup>. Les différences entre les quatre études précédentes en témoignent. Cela nous laisse prévoir des difficultés (ou diversification, absence de vision commune sur l'évaluation de DE et sur le choix d'indicateurs).

Certains des avantages des systèmes énergétiques durables peuvent être résumés comme une meilleure santé et un meilleur environnement, un meilleur emploi, de meilleures économies, une meilleure productivité, un meilleur bien-être social (par exemple, une réduction de la pauvreté), de meilleures infrastructures et une meilleure sécurité énergétique<sup>69</sup>. Ainsi, nous pourrions aisément avancer que la SED suggère d'améliorer, donc un sens de progrès, de nombreux paramètres et dans de nombreux domaines. Cela paraît évident, puisque la durabilité énergétique est multidimensionnelle. Sans oublier que le SED présente également des avantages financiers, environnementaux et sociétaux considérables. Le défi qui persiste, pour la mesure de la durabilité énergétique, notamment par un indice composite, est celui de traduire tous les éléments précédents sous forme d'indicateurs clairs, faciles, disponibles et abordables.

## **2.4- Solutions triplement avantageuses à la durabilité énergétique**

Certaines actions sont mises en œuvre pour amorcer des changements structurels pour des SED. À présent, nous présenterons des solutions à triple résultat ; renforcent les gains d'efficacité économique tout en réduisant (même en éliminant) les nuisances subies par l'environnement et la société.

L'objectif de renforcer la durabilité énergétique engage d'élargir la flexibilité au sein des SED pour élargir la marge de manœuvre pour progresser par rapport à l'ensemble des trois axes. L'élargissement des marges de manœuvre multiplie le nombre des pistes à suivre pour s'insérer dans la voie de DD. Pour une durabilité énergétique, trois solutions semblent prometteuses. Ces trois actions ont été déjà préconisées lors du sommet mondial de 2002, « *Combiner davantage d'énergie renouvelable, d'efficacité énergétique et de technologies énergétiques avancées* ».

### **2.4.1- Efficacité énergétique**

En général, l'efficacité énergétique (EE) désigne le fait d'utiliser moins d'énergie qu'avant pour fournir des services énergétiques équivalents. Dans le cadre de la durabilité énergétique, elle nous renvoie à maîtriser en priorité la production, la conversion et la consommation de l'énergie. La lutte économique et écologique passera donc par une nécessaire efficacité énergétique. Cette dernière a un double avantage. Elle accroît l'efficacité économique en réduisant les dépenses énergétiques pour un même service énergétique, donc

---

<sup>68</sup> Voir: Iddrisu I., Subhes C. Bhattacharyya. 2015.

<sup>69</sup> Dincer I., Zamfirescu C., 2012.

elle renforce l'abordabilité et ainsi l'accès à l'énergie. Elle atténue les incidences sur l'environnement puisqu'elle réduit la demande d'une part, et elle réduit les pressions sur l'environnement d'autre part. Elle permet de renforcer à la fois : la sécurité énergétique en réduisant la dépendance aux importations de combustibles fossiles, de baisser les dépenses en énergie, de retarder surtout l'épuisement des réserves fossiles.

Les analyses mettent en évidence de nombreux gisements d'économies possibles en améliorant l'efficacité énergétique des équipements et des installations dans plusieurs secteurs ; industrie, bâtiment, transport, résidentiel et production d'électricité.

Le seul problème est l'existence de l'effet rebond : les consommateurs d'énergie s'adaptent à la baisse du prix du service énergétique en augmentant la demande. Les progrès technologiques et l'efficacité énergétique en réduisant les dépenses énergétiques qui n'aboutissent pas toujours à une diminution correspondante de l'intensité énergétique à l'échelle de l'entreprise, du secteur et de l'économie.

#### **2.4.2- Énergies propres et renouvelables**

Malgré l'handicap de coûts de production relativement élevés et les problèmes techniques (intermittence), les énergies renouvelables offrent de nombreux avantages. Elles offrent un accès fiable et sûr à l'énergie puisqu'elles sont souvent produites à partir de sources inépuisables disponibles à l'échelle locale. La production et la consommation de ce type d'énergie sont généralement respectueuses de l'environnement, notamment en émission en GES. Le sens de la durabilité recommande à relever les problèmes techniques et à rendre compétitives les énergies renouvelables en jouant sur la contrainte de prix (prix concurrentiels).

Les énergies propres et renouvelables peuvent apporter une solution intégrale à la problématique énergétique à l'échelle mondiale. Ce type d'énergie engendre une diversification inaccoutumée de l'offre énergétique et à long terme elles peuvent remplacer les énergies fossiles en épuisement persistant. Les ressources renouvelables sont disponibles localement en garantissant un bon rapport coût-efficacité et une sécurité d'approvisionnement.

Ces sources d'énergie régleront le problème d'accès des populations rurales et isolées, notamment en Afrique, utilisées à la place de bois de forêt. Leur utilisation peut se traduire par des réductions drastiques des émissions polluantes telle que pollution de l'air des villes et des émissions de GES. Lors des dix dernières années, partout dans le monde, les coûts de production tendent à baisser pour l'ensemble des types de ressources renouvelables. Entre 2010 et 2017, les coûts de production d'électricité éolienne ont chuté d'environ 23 %, tandis que ceux de l'électricité solaire ont baissé d'environ 73 %<sup>70</sup>.

---

<sup>70</sup> <https://www.lenergiesoutcompris.fr>

Le progrès des énergies renouvelables est freiné par des contraintes de plusieurs ordres ; le coût de production très élevé est lié au maintien d'un seul critère économique d'évaluation du coût de production d'où l'impression que les énergies renouvelables sont relativement coûteuses. Alors que la prise en compte des externalités environnementales et sociales peut renverser les rôles dans la comparaison des solutions énergétiques. Dans ce nouveau cadre comptable à multicritères (économie, environnement et social) les énergies fossiles très polluantes deviendront plus coûteuses que les renouvelables respectueuses de l'environnement.

### **2.4.3- Progrès technique**

Comme dans les autres secteurs, le progrès technique constituait un moyen indispensable pour évoluer les choses. Il jouera un rôle fondamental pour amorcer la voie vers la durabilité énergétique. Le progrès technique est indispensable pour la concrétisation des deux solutions précédentes, les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Pour mettre de nouvelles technologies de production et de consommation d'énergie sur le marché, le progrès technique s'impose. Dans ce sens, il est attendu, à long terme, une forte augmentation des budgets de R&D dans le domaine de l'énergie. Les nouvelles technologies qui permettent d'améliorer l'efficacité de la production et le rendement des équipements se répercutent aussi sur l'utilisation des sources d'énergie.

Au sein des combustibles fossiles, qui devraient à long terme continuer à occuper une large place dans le mix énergétique, voir la section précédente, les progrès techniques interviendront à plusieurs niveaux. Premièrement, dans le prolongement de la durée de vie des stocks en énergies fossiles par l'amélioration des techniques d'exploitation de l'énergie primaire par l'augmentation de taux de récupération et de rendre possible l'exploitation de nouveaux gisements d'énergie non conventionnelle, tel que le gaz de schiste. Actuellement, ce taux de récupération est entre 5-30% d'OOIP (Original oil in place), un taux dépend des caractéristiques de chaque réservoir<sup>71</sup>. Deuxièmement, ils vont rendre l'utilisation des fossiles plus efficace ce qui va se traduire par une baisse de la demande grâce aux gains en efficacité énergétique et par des activités moins polluantes. Les centrales électriques à cycle combiné, les techniques de combustion plus propre du charbon et les piles à combustible sont autant d'exemples de technologies nouvelles de ce type.

En termes de rendement global, si la production d'électricité en simple génération offre un rendement d'environ 25% à 50%, la cogénération offre de rendement supérieur à 80% ce qui représente 10% à 40% d'économie en énergie<sup>72</sup>. Les pompes à chaleur permettent d'économiser entre 15% et 25% de l'énergie par rapport à l'équipement traditionnel.

---

<sup>71</sup> Morejon J. L. J., 2017. P.19.

<sup>72</sup> Rosen M. A., 2009.

Le progrès technique peut en partie pallier le problème du frein physique à la croissance en économisant l'utilisation des ressources naturelles non renouvelables, en permettant de développer et/ou de rendre moins coûteuses des ressources alternatives renouvelables et en permettant de mettre au point des processus de production plus propres, utilisant moins de services fournis par l'environnement. Le développement et la diffusion de techniques de capture et de séquestration sous terrain de carbone peuvent constituer une solution prometteuse, rendront les énergies fossiles presque propres puisque les émissions de GES dans l'atmosphère seront réduites.

Il est clair que les technologies de pointe peuvent aider les pays industrialisés à s'efforcer davantage de parvenir à un DD, mais ce n'est pas toujours le cas<sup>73</sup>. Le transfert et la diffusion de technologies vers les pays en développement (PED) sont en face d'importants obstacles. Le secteur énergétique n'échappe pas à ce constat, ce qui détermine bien les problèmes fondamentaux qui empêchent de suivre une trajectoire énergétique durable. Ces obstacles ne sont pas exclusivement externes aux PED, il existe d'obstacles internes (d'ordre national). Parmi les obstacles externes (d'ordre international), les coûts élevés de transaction de ces technologies constituent l'obstacle majeur devant la fragilité économique de ces pays. Devant la carence en moyens humains et institutionnels un autre obstacle s'ajoute, l'ingérence politique et influence des groupes de pression. Parmi les nombreux obstacles internes aux PED, nous citons, le faible engagement dans la recherche scientifique, le manque de cadres juridiques, associés avec l'inexistence des droits de propriété intellectuelle, prix peu élevés des énergies classiques, souvent assortis de subventions, ce qui va constituer des obstacles tarifaires aux nouvelles technologies. Le progrès technique essentiellement réalisé au sein des pays développés ne prend pas en considération les besoins spécifiques des PED.

L'utilisation d'énergie constitue un moyen et non une fin. Des approvisionnements sûrs et abondants en énergie ne sont pas en soi créateurs de bien-être ; ils le deviennent par la disponibilité de services énergétiques, transports, force motrice, d'éclairage... Il est donc possible de répondre à une même finalité par différents moyens, c'est-à-dire différents combustibles et différentes technologies de transformation et d'utilisation finale. Sachant que les incidences économiques, environnementales et sociales varient d'un combustible et d'une technologie à l'autre, le choix et le dosage des différents éléments constitutifs des services énergétiques confèrent une importante marge de manœuvre dans l'élaboration des politiques énergétique pour un DD.

---

<sup>73</sup> Rosen M. A., 2009.

### **Section 3- Dimensions et indicateurs énergétiques**

L'étude des dimensions de l'énergie est une façon de décrire les multiples avantages et aussi inconvénients liés à l'énergie pour chacune des dimensions du DD. C'est à partir de là que le concept théorique de durabilité énergétique commencera à être interprété sous format statistique plus pragmatique. Cette étude deviendra pertinente lors de l'élaboration de solutions pour renforcer la durabilité énergétique (DE) et surtout lors de la construction d'indice composite pour la mesurer. Puisqu'à partir de là, nous commencerons à discuter sur le contenu et la logique (points essentiels, le mécanisme) de chaque dimension de l'énergie et surtout, nous présenterons les différents indicateurs qui composent (ou forment) chaque dimension. Déjà en 2002, Munasinghe a montré comment les dimensions énergétiques s'adaptent à chacune des dimensions du DD. Depuis, l'élément clé des évaluations de la durabilité énergétique est l'analyse des différentes dimensions de l'énergie dans le cadre de DD. Sachant qu'il existe des liens profonds et complexes entre l'énergie et le DD.

L'énergie est liée au DD de trois manières importantes<sup>74</sup>: a) l'énergie en tant que principal moteur de croissance, b) l'énergie en tant que source de stress environnemental et c) l'énergie en tant que condition préalable aux besoins humains. Ces trois dimensions correspondent aux trois dimensions du DD. Il existe ainsi des interactions positives et négatives entre l'énergie et ces trois dimensions du DD.

S'il a été difficile de tracer une ligne frontière claire et précise entre les trois dimensions de la durabilité globale dans le chapitre précédent, notamment entre les dimensions économique et sociale, la tâche devient encore plus difficile entre les dimensions de la DE. Certains indicateurs peuvent être classés dans plus d'une dimension.

Précédemment, la durabilité globale est abordée sous trois grandes dimensions. À présent dans ce qui suit, pour des raisons de clarté et de simplification, nous présenterons la DE sous cinq dimensions<sup>75</sup>, à savoir ; technique, économique, environnementale, sociale et institutionnelle. Ces dimensions mettront en valeur la multidimensionnalité de la DE. Si elles sont bien capturées, elles offriront un très bon point de départ pour évaluer la DE. Chaque dimension sera reliée, d'une manière non exhaustive à ses indicateurs sous-jacents<sup>76</sup>. Les indicateurs sont abordés dans cette section selon les dimensions, les thèmes et sous-thèmes suivant le même cadre utilisé par la commission du DD (CDD).

Les indicateurs ci-dessous sont élaborés dans un cadre de partenariat international qui a débuté en 1995 lors de l'adoption de l'Action 21 par la CDD. De nombreuses institutions

---

<sup>74</sup> Pour plus d'approfondissement sur les liens entre énergie et DD, consultez ; Wayan G.S., et al. 2019.

<sup>75</sup> Dans certaines études d'autres dimensions de l'énergie sont définies par ex. territoriale et culturelle, voir, Bhattacharyya S. C., 2012 et Cavalcanti R., Cândido G., 2017.

<sup>76</sup> La répartition des indicateurs entre les dimensions n'est pas standard et elle est loin d'être commune, notamment entre les indicateurs sociaux et économiques. Le même indicateur classé dans une dimension donnée, dans une étude, peut se trouver dans une autre dimension, dans une autre étude. Pour plus d'informations consulter; Cavalcanti R., Cândido G., 2017 et Vera I., Langlois L., 2007.

internationales participent<sup>77</sup> dans l'élaboration de ces Indicateurs Énergétiques pour un Développement Durable (IEDD).

### **3.1- Dimension technique**

Habituellement, la dimension technique faisait partie de la dimension économique, puisqu'elle représente le capital technique. Techniquement, le système énergétique est constitué de l'infrastructure physique qui définit la configuration du système lui-même, donc le rendement attendu et les entrées et les sorties de ressources. L'infrastructure comprend les installations de ; production, transport, raffineries et utilisation finale. La dimension technique de l'énergie représente généralement le côté offre du système qui rend compte de la capacité du système d'approvisionnement en énergie à répondre aux besoins actuels et futurs de la société de manière fiable, efficace et propre<sup>78</sup>.

La combinaison des ressources primaires et de l'infrastructure définit la capacité de production du système énergétique et donc sa capacité à répondre aux besoins de la société à tout moment. Techniquement, le système énergétique est imaginé comme une machine qui transforme l'énergie primaire en énergie finale utile. Cela dépend de la quantité et de la qualité des intrants, ainsi que de la configuration et de l'efficacité de cette machine. Dans la dimension technique, il faut alors s'intéresser de près aux pertes techniques et aux pertes d'efficacité<sup>79</sup> en se focalisant sur les niveaux des rendements. L'équipement d'utilisation finale de l'énergie afin de la transformer en énergie utile est aussi pris en compte notamment chez les ménages. Là nous nous intéressons aux pertes d'isolation des maisons, de type de véhicule, d'électroménager, de chauffage...

L'infrastructure de secteur énergétique exprime la rigidité du système énergétique ; la grande taille et la longue durée vie des installations énergétiques, le coût pharaonique des investissements, de même que le lien indéniable entre l'énergie et certains biens publics. Et aussi par le fait que la planification et l'exploitation constituent des opérations de très longue période. Cette rigidité rend le système énergétique, et le pays dans son ensemble, vulnérable aux perturbations en limitant la marge d'action pour le changement et d'adaptation. Ainsi, la transition énergétique durable ne sera pas facile et rapide. Puisque cette transition résulte de la nécessité de remplacer, dans les décennies qui viennent, les équipements de production et de consommation nécessiteront un effort massif d'investissement en réaction à cette problématique énergétique. Le système énergétique dans les deux prochaines décennies ne sera pas différent, notamment avec les rendements d'échelle croissants résultants de

---

<sup>77</sup> AIEA, et al, 2008.

<sup>78</sup> Iddrisu I., Subhes C. Bhatta charyya, 2015.

<sup>79</sup> Pertes techniques lors de l'extraction et pertes d'efficacité lors de la conversion. Par ex. le taux de récupération est 20 à 40% pour le gisement du pétrole et 60% pour le gaz. Rendement d'un moteur à explosion est de 36 % pour un moteur à essence et 42 % pour un moteur diesel.

l'importance des coûts fixes. Ainsi, nous nous attendons à ce que les indicateurs techniques jouent le rôle de la pierre angulaire dans la transition énergétique.

L'infrastructure est la pierre angulaire de tout système énergétique. Les pays doivent surveiller l'état de leurs principales infrastructures énergétiques pour assurer un avenir énergétique durable. De nombreux pays dépendent aujourd'hui de grandes infrastructures énergétiques obsolètes, inefficaces, insuffisantes ou écologiquement inacceptables.

Dans cette dimension, nous mesurerons comment sont développées les technologies qui favorisent les énergies renouvelables, ainsi que la réduction des pertes... pour une plus grande efficacité et moins d'impacts négatifs. Le développement de la technologie de production accroît l'indépendance énergétique ainsi que des intrants locaux, améliorant ainsi la création d'emplois et de revenus, tout en réduisant les coûts de transport.

Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour évaluer le degré d'implication et de participation dans la promotion de progrès technique. Les indicateurs de cette dimension sont étroitement liés à certains indicateurs des autres dimensions, notamment économique, d'ailleurs l'AIEA ne présente pas des indicateurs spécifiques à cette dimension puisqu'ils sont dissous dans les indicateurs des autres dimensions ex. ECO1, ECO3, ECO16, ENV9... voir tableau 3.3 ci-après. La politique technologique comprend plusieurs mécanismes tels que : subvention des nouvelles technologies, financement direct de projets de recherche, incitations en faveur de l'utilisation de nouvelles technologies.

Parmi ces nombreux indicateurs, nous citons ces exemples ; efficacité d'extraction et de conversion des énergies fossiles, efficacité de production d'énergies renouvelables, délais de construction, capacités technologiques des industries, promotion de progrès technique et de nouvelles technologies, subventionner la R&D notamment des technologies de dépollution...

### **3.2- Dimension économique de l'énergie**

Nous avons déjà abordé quelques éléments de la dimension économique, précédemment dans la première section du présent chapitre liée à la problématique énergétique. Nous avons vu que l'énergie joue un rôle tout aussi central dans la dimension économique du DD en tant que moteur essentiel de la croissance. Au fond, selon la thermodynamique, la croissance économique n'est qu'un processus physique: l'énergie est utilisée pour transformer des matériaux en biens et services utiles. Globalement la dimension économique de l'énergie estime si l'approvisionnement en énergie est rentable et abordable.

La rentabilité est nécessaire, pour vérifier deux critères complémentaires, pour assurer la durabilité du système énergétique. 1) Garantir la viabilité économique des investissements énergétiques pour encourager le réinvestissement. 2) Garantir l'abordabilité de l'énergie qui ne doit pas être seulement physiquement disponible, mais réellement accessible à la consommation. C'est évident qu'une énergie trop coûteuse ne peut pas être vendue et

consommée et, par conséquent, aucun retour sur l'investissement, ce qui entraîne un rétrécissement ou une cession finale du système, donc la non-durabilité. La durabilité économique de l'énergie peut être évaluée en observant la part d'énergie utilisée à des fins de production et l'efficacité avec laquelle la productivité est réalisée. Habituellement, comme chez les partisans de durabilité faible, un cadre optimal d'allocation de ressources essaiera de déterminer l'utilisation optimale de l'énergie pour assurer la DE.

La dimension économique de l'énergie est représentée par deux éléments liés comme le montre le tableau 3.3 aux 1) Modes d'utilisation et de production et à 2) la sécurité d'approvisionnement : la dépendance à importations et stocks de carburant stratégiques.

Le manque d'approvisionnement ou la raréfaction des réserves en énergie provoquera un resserrement de l'offre mondiale et une envolée des prix de l'énergie ce qui va stimuler l'inflation et de ralentir la croissance économique, notamment dans les pays en développement. Ce qui peut même encourager le recours aux énergies traditionnelles.

**Tableau 3.3 : Indicateurs de la dimension économique de l'énergie**

Thème	Sous-thème	Indicateur	Code
<b>Modes d'utilisation et de production</b>	Utilisation globale	Utilisation d'énergie par habitant	ECO1
	Productivité globale	Utilisation d'énergie par unité de PIB	ECO2
	Efficacité d'approvisionnement	Efficacité de transformation et de distribution	ECO3
	Production	Rapport réserves/production	ECO4
		Rapport ressources/production	ECO5
	Utilisation finale	Intensité énergétique par secteur	ECO6-10
	Diversité	Part de combustibles dans l'énergie et l'électricité	ECO11
		Part des énergies non carbonées	ECO12
		Part des énergies renouvelables	ECO13
	Prix	Prix de l'énergie finale par combustible	ECO14
<b>Sécurité d'approvisionnement</b>	Importation	Dépendance nette aux importations	ECO15
	Stocks stratégiques	Stocks de combustibles critiques par consommation correspondante	ECO16

Source : AIEA et al, 2008, P.14

Les services énergétiques favorisent à leur tour le développement économique et social au niveau local en augmentant la productivité et en facilitant la génération de revenus locaux. La disponibilité de l'énergie affecte les emplois, la productivité et le développement. Par conséquent, les principaux indicateurs de la dimension économique interprètent<sup>80</sup> : l'utilisation de l'énergie ; production et approvisionnement; réserve d'énergie, efficacité énergétique, intensité énergétique finale; tarification de l'énergie, fiscalité et subventions; la sécurité énergétique; et diversité énergétique.

<sup>80</sup> [http://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy\\_indicators/chapter2.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy_indicators/chapter2.pdf)

### **3.3- Dimension environnementale de l'énergie**

Cette dimension évalue l'impact négatif de l'utilisation de l'énergie sur l'environnement et à encourager le développement et l'utilisation de nouvelles formes d'énergie à impact positif. En termes de dimension environnementale, comme déjà abordé au début de ce chapitre, les sources d'énergie conventionnelles sont les principales sources de stress environnemental aux niveaux mondial et local.

Écologiquement, le système énergétique est imaginé comme un processus qui épuise et dégrade les ressources naturelles en provoquant au passage le bouleversement de l'équilibre écologique. Un lien important entre l'énergie et le DD concerne cette dimension en termes de relations entre énergie (extraction, traitement et utilisation) et qualité environnementale. Depuis 1972, plusieurs études ont été réalisées pour établir ce lien, aujourd'hui, il est devenu une évidence pour tout le monde.

La gestion des interactions entre énergie et environnement demeure aujourd'hui l'un des principaux défis de la viabilité écologique<sup>81</sup>. Dans la pratique, la difficulté réside dans la conception de l'équilibre (ou arbitrage) entre sécurité des approvisionnements et considérations environnementales.

Nous nous attendons à ce que les ressources épuisables soient bientôt totalement utilisées et les déchets libérés commencent à agir comme ralentisseurs pour la réaction ultérieure; en le ralentissant jusqu'à son arrêt définitif, si aucune ingérence extérieure n'est autorisée à le perpétuer. La liste des dommages environnementaux causés par les systèmes énergétiques est presque illimitée. La gravité de ces dommages diffère considérablement d'une ressource à une autre et d'une région à une autre<sup>82</sup>.

Les indicateurs de la dimension environnementale visent à couvrir une gamme maximale d'impacts sur l'environnement liés à différentes sources d'énergie en particulier la détermination des tendances négatives dans la faune, la flore, les terres, l'eau et l'air. Ces indicateurs prennent en compte ; qualité de l'air local, acidification, occupation des terres, radiations, déforestation et désertification. Les stations énergétiques entrent en concurrence avec l'agriculture ou la construction de logements, ou bien risquent de provoquer la perte d'écosystèmes naturels, exemple les sites miniers et les réservoirs hydroélectriques, centrales d'énergie solaire...<sup>83</sup>

---

<sup>81</sup> OCDE (3), 2001, P. 387.

<sup>82</sup> Selon le degré de prise en compte des risques environnementaux par l'action réglementaire et les structures tarifaires.

<sup>83</sup> Les problèmes que rencontre l'implantation à grande échelle des systèmes solaires photovoltaïques ou des parcs d'éoliennes en Europe, et le conflit que rencontre la mine d'extraction des charbon à ciel ouvert avec les riverains en Allemagne.

Les indicateurs environnementaux de développement énergétique durable (DED) prennent globalement en compte les émissions de GES, l'analyse du bilan énergétique et l'efficacité énergétique.

**Tableau 3.4 : Indicateurs de la dimension environnementale de l'énergie**

Thème	Sous-thème	Indicateur	Code
Atmosphère	Changement climatique	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant et par unité de PIB	ENV1
	Qualité de l'air	Concentration ambiante des polluants dans les zones urbaines	ENV2
		Émission de polluants atmosphériques	ENV3
Eau	Qualité de l'eau	Rejets de contaminants dans les effluents liquides	ENV4
Sol	Qualité des sols	Surface des sols dont l'acidification dépasse la charge critique	ENV5
	Forets	Taux de déforestation due à l'énergie	ENV6
	Production et gestion de déchets solides	Rapport déchets solides produits/d'énergie produite	ENV7
		Rapport déchets solides convenablement évacués/total des déchets solides produits	ENV8
		Rapport des déchets radioactifs/énergie produite	ENV9
		Rapport de déchets radioactifs en attente d'un stockage définitif/ déchets radioactifs produits	ENV10

Source : AIEA et al, 2008, P.17

### 3.4-Dimension sociale de l'énergie

Alors que le débat sur l'énergie, au sein du DD, s'est longtemps concentré sur les interactions économiques et environnementales, il existe de toute évidence une dimension sociale non négligeable qui doit être prise en compte. À travers l'histoire humaine, une corrélation directe existe entre la consommation de l'énergie et les progrès en matière de bien-être. L'énergie est essentielle pour satisfaire un nombre important des besoins humains. Le plus délicat dans l'étude de cette dimension de l'énergie est les multiples interactions existantes entre chaque élément qui la compose et les composants des deux premières dimensions. Aucun de ses facteurs ne saurait être appréhendé isolément chacun d'eux possède des conséquences économiques et environnementales.

Nous devons rappeler que ses problèmes d'ordre social liés à l'énergie s'ajoutent comme le cinquième problème à la problématique énergétique présentée au début de ce chapitre. En effet, en termes d'équité, le domaine énergétique exige de relever quelques défis : environ 3 milliards de personnes dépendent encore de l'utilisation de l'énergie non commerciale (bois de forêt, détritiques d'animaux, déchets agricoles), quelque 1,7 milliard de personnes n'ont pas accès à l'électricité et de nombreuses régions du monde n'ont pas d'approvisionnement énergétique fiable et sûr<sup>84</sup>. Dans les pays riches, les services énergétiques modernes sont presque universellement disponibles avec une énergie sûre, fiable et abordable. Dans les pays pauvres, jusqu'à six heures par jour peuvent être nécessaires pour

<sup>84</sup> <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/energy/>, consulté le 05/02/2019

ramasser du bois et du fumier pour cuisiner et se chauffer, et cette tâche est généralement accomplie par des femmes. Et lorsque l'énergie est disponible dans le commerce, elle accapare une grande portion du revenu mensuel du ménage. Sachant que, les niveaux de vie atteints dans les pays sont souvent fonction de facteurs liés à l'énergie<sup>85</sup>.

Pour ces raisons de disparités énergétiques, la durabilité énergétique est considérée lors de CDD 9 (la neuvième session de la Commission du Développement Durable, 2001) comme urgence à « *Améliorer l'abordabilité et l'accessibilité aux services énergétiques modernes pour les pauvres des zones rurales et urbaines ainsi que la promotion d'un usage moins de ressources énergétiques par les riches* »<sup>86</sup>. À l'échelle mondiale, la pauvreté énergétique persiste et fait obstacle à une voie vers le DD. Le manque d'accès aux services énergétiques modernes limite considérablement le développement socio-économique, partie intégrante du DD<sup>87</sup>. Sachant que la consommation d'énergie par habitant est elle-même un indicateur du statut de développement d'une nation.

Nous nous intéressons principalement à mesurer l'acceptabilité et l'accessibilité de l'approvisionnement (qualitatif et quantitatif) en énergie par tous les membres de la société. Cette question s'inscrit dans les fondements sociaux de la durabilité énergétique qui stipule que chaque citoyen doit avoir accès à une quantité d'énergie à prix équitable.

La société acceptera ce qu'elle considère comme juste<sup>88</sup> et donne des chances égales à tous ; l'accès physique et financier aux énergies modernes c.-à-d. diffusion et inclusion financière. La diffusion (contraire de l'exclusion physique) est relative à la partie de la société couverte physiquement par les services énergétiques (disponibilité) notamment électriques. L'inclusion financière (contraire de l'exclusion financière) est relative à la partie de la société ayant des moyens financiers pour consommer les services énergétiques (accessibilité). Ce dernier type d'exclusion provient d'une répartition inégale de la richesse d'un pays.

La dimension sociale de l'énergie évalue aussi l'effet de distribution de l'énergie sur la société. Les indicateurs de la dimension sociale doivent aussi évaluer la contribution des entreprises du secteur au développement local<sup>89</sup> : indicateurs d'emploi et de revenu; formation des ressources humaines; niveau moyen de rémunération; saisonnalité des emplois. Mesurer de manière intrinsèque la création d'emplois et de revenus par le secteur énergétique, car la production d'énergie fossile est à forte intensité de capital et ne possède pas la caractéristique intrinsèque de générer des emplois contrairement aux renouvelables. Ainsi, toutes les possibilités de création d'emplois et de répartition des revenus doivent être renforcées.

---

<sup>85</sup> Rosen M. A., 2009.

<sup>86</sup> AIEA, et al, 2008.

<sup>87</sup> Terracon-Pfaff J. et al., 2014.

<sup>88</sup> En effet les inégalités en matière d'approvisionnement et de qualité énergétiques se manifestent comme des questions de justice sociale.

<sup>89</sup> AIEA, et al, 2008.

Problème ; les définitions normatives des besoins énergétiques de base suscitent de nombreuses controverses suite à la difficulté d'obtenir des données fiables sur la couverture physique de chaque pays et des controverses liées à la définition du prix abordable pour la société. Solution : pour capturer la durabilité sociale des systèmes énergétiques, nous nous intéressons à l'utilisation de la consommation par habitant d'énergies propres (l'accès physique et financier) et l'inégalité des revenus (équité en pouvoir d'achat).

Puisque l'énergie est vitale pour éradiquer la pauvreté, améliorer le bien-être humain et l'élévation du niveau de vie<sup>90</sup>, globalement, les objectifs sociaux en termes d'énergie sont l'équité et la justice menant à l'acceptabilité du système énergétique. Si l'énergie est physiquement disponible et financièrement accessible à tous avec moins de disparités, la durabilité énergétique sociale est atteinte. La mise en place de services énergétiques accessibles et abordables pourrait y entraîner une progression spectaculaire du niveau de vie et ouvrir des possibilités nouvelles à la population<sup>91</sup>.

Les indicateurs énergétiques du DD (IEDD) dans la dimension sociale (SOC) mesurent l'impact que les services énergétiques disponibles peuvent avoir sur le bien-être. La disponibilité de ces services aura des implications en termes de pauvreté, d'emploi, d'opportunités, éducation, développement communautaire et culture, transition démographique, la pollution intérieure et la santé, ainsi que les implications liées au genre et à l'âge<sup>92</sup>. Ex. l'énergie traditionnelle combinée avec un équipement inadéquat aura un impact négatif sur la santé humaine par la pollution de l'air et les incendies.

L'une des difficultés majeures dans le développement des IEDD sociaux est le manque de données pertinentes et adéquates (en particulier des séries chronologiques) dans les pays en développement.

**Tableau 3.5 : Indicateurs de la dimension sociale de l'énergie :**

Thème	Sous-thème	Indicateur	Code
Équité	Accessibilité physique	Part des ménages sans électricité ou énergie commerciale	SOC1
	Accessibilité économique	Part du revenu des ménages consacrée aux combustibles et à l'électricité	SOC2
	Disparités	Utilisation d'énergie des ménages pour chaque groupe de revenus et proportion correspondante des différents combustibles	SOC3
Santé	Sécurité	Accidents mortels par énergie	SOC4

Source : AIEA et al. 2008, P. 13.

D'autres indicateurs peuvent être ajoutés à ceux du tableau précédent tels que, création d'emplois et de revenus, saisonnalité des emplois, formation des ressources humaines, revenus

<sup>90</sup> PNUD, DESANU, CME. 2000.

<sup>91</sup> OCDE, 2001.

<sup>92</sup> [http://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy\\_indicators/chapter2.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy_indicators/chapter2.pdf)

consacrés à l'énergie, niveau de rémunération moyen dans le secteur d'énergie...pour plus de détails, voir Cavalcanti R., Cândido G., 2017.

### **3.5-Dimension institutionnelle**

C'est cette dimension institutionnelle qui définit la structure du système énergétique et le cadre des processus et où sont introduites les décisions de politique sur la future structure. Elle évalue le niveau de participation locale à la gestion et au contrôle du système énergétique et englobe l'appropriation et la participation locales, la réglementation et la protection des investisseurs et des consommateurs. Des conditions définies par les institutions qui définissent la structure de l'industrie et la stabilité politique et de politique étrangère.

La dimension institutionnelle définit fondamentalement la structure du système et détermine la manière dont chacune des quatre précédentes dimensions sont gérées et contrôlées pour assurer la meilleure combinaison d'avantages et de coûts. La durabilité institutionnelle est atteinte dans la mesure où la gestion et le contrôle garantissent que la quantité et la qualité des services énergétiques requises par la société sont respectées à tout moment.

Les indicateurs institutionnels évaluent la disponibilité et l'adéquation du cadre institutionnel nécessaire pour soutenir un système énergétique efficace et efficient. Les indicateurs institutionnels sont utiles pour lier et aborder les actions de réaction et les mesures politiques destinées à influencer les tendances dans les quatre dimensions précédentes. Par exemple, les indicateurs institutionnels pourraient aider à mesurer non seulement l'existence, mais aussi l'efficacité d'une stratégie nationale de DED, la capacité statistique en matière d'énergie et les capacités d'analyse, et l'adéquation et l'efficacité d'investissements dans le renforcement des capacités, l'éducation ou la R&D. Les indicateurs institutionnels pourraient aider à suivre les progrès vers des mesures législatives, réglementaires et mesures d'application pour favoriser des systèmes énergétiques durables (SED).

Malgré la conscience que la question institutionnelle est au cœur de la problématique énergétique, les différentes études d'élaboration des indicateurs énergétique de DD ne proposent pas des indicateurs spécifiques à cette dimension. Les projets d'élaboration des indicateurs se concentrent plus sur trois dimensions de DD. Les indicateurs de cette dimension sont les plus difficiles à définir pour deux raisons. D'abord, ils ont tendance à aborder des problèmes qui sont, par nature, difficiles à mesurer en termes quantitatifs. Beaucoup de ces problèmes ont trait à l'avenir, et nécessitent une analyse dynamique basée sur des projections de production, d'utilisation et d'investissement énergétiques. Deuxièmement, les variables mesurées par les indicateurs institutionnels tendent à être des réponses structurelles ou politiques aux besoins de DD.

Parmi ces indicateurs institutionnels de l'énergie, nous pouvons citer des indicateurs qui peuvent représenter par exemple ; la fréquence des pannes et durée des interruptions,

stabilité politique, politiques visant à accroître la maîtrise de l'énergie, participation de la société à la prise de décision, transparence accrue de la réglementation, taxes et subventions ...afin de mesurer l'existence de politiques qui soutiennent, encouragent et permettent le développement d'énergies durables.

Sachant que, par exemple pour le développement des énergies renouvelables, les obstacles les plus courants sont économiques et politiques, des problèmes tels que les coûts frontaliers élevés, les longues périodes de remboursement et les subventions importantes accordées aux secteurs du pétrole et du gaz, taxation de l'industrie. Des obstacles qui ne peuvent être affaiblis que par les institutions publiques.

#### **Section 4 : Évaluation de la durabilité énergétique (EDE)**

La durabilité énergétique (DE) est le défi le plus urgent pour l'humanité au XXI<sup>e</sup> siècle. Le problème est que chaque pays ou expert a sa propre vision de cette notion de durabilité énergétique et en conséquence sa propre approche d'évaluation de celle-ci. Une façon de se préparer à ce que l'évaluation et la mesure de la DE sera loin d'être une science exacte, dans le sens qu'elle n'est pas commune ou universelle.

##### **4.1-Approches d'évaluation de durabilité énergétique**

Dans la littérature, il existe plusieurs approches pour évaluer la durabilité des systèmes énergétiques. Les approches thermodynamiques<sup>93</sup> et environnementales restent les plus utilisées. Ces approches abordent la durabilité d'un système énergétique à partir d'un système thermodynamique ou de point de vue environnemental. D'autres études relèvent d'approche systémique, évaluent la durabilité d'un point de vue global, s'intéressent aux exigences techniques, économiques, sociales, environnementales et institutionnelles de la durabilité énergétique, c'est l'analyse de triple résultat final. Ces dernières études, plus récentes, utilisent des méthodologies plus approfondies qui prennent en compte d'autres caractéristiques de la durabilité. Ces études utilisent des indicateurs, avec ou sans normalisation, en prenant en compte les objectifs quantitatifs et qualitatifs de la durabilité. La majorité des experts considèrent que cette troisième approche systémique s'avère, relativement, plus complète et plus élargie pour mesurer et évaluer la durabilité en général et de la durabilité énergétique en particulier. D'ailleurs, nous optons pour cette approche lors de la construction de l'IDSE.

##### **4.1.1- Approches thermodynamiques**

Une approche dans laquelle l'analyse des flux de matières et d'énergie permet l'identification des inefficacités au sein d'un système basé sur le développement des Indicateurs de flux régionaux. De point de vue thermodynamique, l'analyse énergétique peut se faire de plusieurs manières :

---

<sup>93</sup> Dincer I, 2016.

L'analyse énergétique se concentre sur tous les flux d'énergie dans une économie. Elle est basée sur la première loi de la thermodynamique, selon laquelle l'énergie est constante et ne peut être ni créée ni détruite, mais elle ne peut être convertie qu'en différents types d'énergie. Une analyse énergétique nationale ou régionale est souvent effectuée à l'aide d'une analyse d'énergie entrée-sortie basée sur la matrice d'entrées-sorties économiques de Leontief, qui analyse le commerce entre différentes industries de l'économie. Dans le cas de l'analyse énergétique, les volumes d'échanges sont remplacés par des flux d'énergie entre industries.

L'analyse énergétique peut également être réalisée en utilisant différents types de mesures énergétiques, telles que l'exergie et l'émergie. Ces deux formes d'analyse sont plus avancées, car elles prennent en compte à la fois la qualité et la quantité d'énergie. L'exergie d'un système est la quantité maximale de travail mécanique pouvant être extraite. Une analyse exergie donne un aperçu de l'efficacité de l'utilisation des ressources énergétiques et montre où se produisent les pertes et où des améliorations technologiques peuvent être apportées pour accroître l'efficacité énergétique. Odum, 1996, a créé une méthodologie pour l'analyse d'émergence régionale dans laquelle toutes les ressources et tous les biens sont exprimés en unités communes (joules solaires) mesurant l'énergie solaire nécessaire à leur production<sup>94</sup>.

#### **4.1.3- Approche systémique**

Au-delà des divergences sur la notion de durabilité énergétique et de sa mesure, il existe une certaine acceptation. Dans toute la littérature consultée, les auteurs concordent à aborder le sujet en tant que système et s'arrangent à ce que les critères d'évaluation de la durabilité énergétique (EDE) sont : l'efficacité économique, la performance environnementale et l'accès aux sources d'énergie. Pour l'OCDE, la durabilité énergétique (DE) dépend de la manière dont nous répondons aux exigences de la demande, selon des critères de durabilité environnementale, équité sociale, viabilité économique<sup>95</sup>. Globalement, l'EDE interprète trois aspects fondamentaux: 1) changement de paradigme par rapport aux modes de consommation actuels; 2) rechercher une plus grande efficacité énergétique des processus de production actuels; 3) développer et intégrer des technologies d'énergie propre. Le système énergétique durable (SED) est obtenu en élaborant des politiques concernant les trois aspects de durabilité. Si la durabilité est un objectif systématique, il faudra fournir un outil permettant de déterminer si une décision ou une politique évolue vers la durabilité, c'est l'objectif des projets de durabilité<sup>96</sup>. Cependant, fournir des outils efficaces et fiables pose de sérieux problèmes pour la communauté scientifique<sup>97</sup>.

---

<sup>94</sup> Tilley D. R., 2004.

<sup>95</sup> OECD, 1997.

<sup>96</sup> Hiremath et al., 2013.

<sup>97</sup> Aref Sahabmanesh, Yadollah Saboohi, 2017.

#### 4.1.4- Catégories d'outils d'évaluation de la durabilité énergétique

L'évaluation de la durabilité des systèmes énergétiques est un outil qui donne des informations sur les options disponibles ou possibles. Les indicateurs de durabilité peuvent jouer un rôle majeur dans l'évaluation des différentes options. Comme déjà mentionnée dans la section précédente, la définition d'un ensemble d'indicateurs de durabilité est une étape cruciale de l'évaluation de la durabilité. En plus d'être de simples statistiques sur les systèmes énergétiques, l'utilisation des indicateurs énergétiques permet une compréhension plus profonde des interactions entre les secteurs de l'énergie et les trois piliers de durabilité. L'étude des relations entre les systèmes énergétiques, socio-économiques et environnementaux au moyen d'indicateurs permet une analyse plus approfondie du système, puisqu'ils sont imbriqués dans un système complexe. Ainsi, les activités de tout système auraient des impacts inévitables directs et indirects sur les autres. Les modifications des indicateurs énergétiques au fil du temps peuvent être interprétées comme une proximité avec la durabilité énergétique.

Il n'existe pas d'outil commun permettant d'évaluer tous les aspects de la durabilité énergétique<sup>98</sup>. Trois catégories d'outils d'évaluation de la durabilité énergétique sont possibles : 1) indicateurs et indices, 2) évaluation liée au produit et 3) évaluation intégrée<sup>99</sup>.

Les outils d'indicateurs et d'indices sont les outils les plus simples et les plus courants permettant de surveiller quantitativement la durabilité d'un système énergétique. Afin d'évaluer de manière globale la DSE, l'utilisation d'indicateurs de durabilité est généralement nécessaire<sup>100</sup>. Dans la présente thèse, nous avons opté pour cet outil pour développer un indice composite de la durabilité des systèmes énergétiques (IDSE), voir le quatrième chapitre. Ces outils peuvent en outre être décomposés en intégrés et non intégrés. L'empreinte écologique est l'exemple le plus cité des indices composites intégrés utilisés par les outils intégrés de la première catégorie. Bien que la plupart des études d'EDE utilisent les outils de la première catégorie, en particulier les indicateurs non intégrés, ces outils ne sont pas en mesure d'examiner simultanément les interactions entre les aspects de durabilité. Ils ont également un point de vue rétrospectif et ne conviennent que pour les prévisions à court terme<sup>101</sup>.

Les outils d'évaluation liée au produit se concentrent sur les processus de production. Ils consistent à évaluer différents flux d'énergie et de matière en relation avec les produits. Ils visent à identifier les risques particuliers et les inefficacités à l'appui du processus de prise de décision. Ces outils sont plus appréciés pour l'évaluation du cycle de vie d'un produit que pour l'analyse d'un système complexe comme celui du système énergétique. En outre, ils se

---

<sup>98</sup> Gang L., 2014.

<sup>99</sup> Ness et al., 2007.

<sup>100</sup> Gang L., 2014.

<sup>101</sup> Ness et al., 2007.

concentrent sur l'aspect environnemental de la durabilité<sup>102</sup>. Ces outils sont utilisés, par exemple, pour évaluer la durabilité d'une technologie énergétique notamment celle des énergies renouvelables tels que le photovoltaïque.

Les outils de la troisième catégorie dite intégrée abordent un grand nombre de sujets importants dans le domaine de la durabilité et ont un point de vue ex-ante par rapport aux indicateurs et indices. Ces outils sont souvent basés sur l'approche d'analyse de système et la prise en compte des impacts sociaux et environnementaux. Ils incluent la modélisation conceptuelle, la dynamique du système, la prise de décision multicritères et l'analyse du risque, de l'incertitude, de la vulnérabilité et du rapport coût-bénéfice. L'analyse multicritères de prise de décision est l'une des méthodes les plus efficaces, capable de prendre en compte simultanément toutes les facettes de la durabilité. De plus, il peut utiliser des indicateurs qualitatifs et quantitatifs<sup>103</sup>.

Bien que l'utilisation d'outils de troisième catégorie permette de comparer et d'évaluer différents choix, ces outils ne peuvent expliquer comment un système évolue et comment l'optimiser au fil du temps. Par conséquent, l'incorporation d'un cadre d'optimisation pour l'évaluation de la durabilité améliore la qualité des évaluations. De cette manière, il est possible d'évaluer la durabilité des points optimaux du système énergétique dans diverses politiques et conditions. Cependant, la plupart des études prospectives évaluent souvent la durabilité des systèmes énergétiques en fonction d'un ensemble de décisions prédéterminées au cours de l'année cible. Ainsi, ni la chaîne d'approvisionnement en énergie n'est optimisée ni les changements variables des années intermédiaires ne sont spécifiés. Par conséquent, il est impossible de suivre l'évolution du système énergétique et de gérer le système d'aide à la décision au cours de ces années<sup>104</sup>.

Il a été constaté que, même si des progrès avaient été accomplis dans la mise en point d'outils d'évaluation de durabilité énergétique, l'ambiguïté de définition reste évidente, c'est-à-dire, des indicateurs et des critères<sup>105</sup>. Les publications les plus récentes sur le sujet ont toutes un point commun, celui d'opter pour la théorie du triple résultat final, à savoir les objectifs économiques, sociaux et environnementaux et les conditions de base, tout en optant également à l'outil d'indice composite (IC), un outil devenu emblématique.

#### **4.1.5-Catégories d'indicateurs**

La littérature contient trois grandes catégories d'indicateurs: un indicateur simple, tableau de bord d'indicateurs désagrégés et indices composites. Dans la pratique, ces trois catégories sont davantage complémentaires que concurrentes. Elles forment des étapes successives de processus de structuration de l'information et de construction d'indice

---

<sup>102</sup> Ness et al., 2007.

<sup>103</sup> Idem

<sup>104</sup> Sahabmanesh Aref, Yadollah Saboohi, 2017.

<sup>105</sup> Abdallah M. Hasna, 2009.

composite<sup>106</sup> comme l'explique la pyramide d'information. Pour construire un indice composite, de moins dans l'approche ascendante, il faut en premiers formuler des indicateurs simples puis faire une sélection de quelques indices pertinents pour former un tableau de bord et enfin, grâce aux outils statistiques, tels que la pondération et l'agrégation, un indice composite sera construit.

#### 4.1.5.1-Indicateur simple

L'indicateur simple désigne la traduction de concepts théoriques (abstraites) en variables observables essentielle à la vérification empirique. Un indicateur peut être une variable, une représentation opérationnelle d'un attribut (*quantité, qualité, caractéristique, propriété*) d'un système<sup>107</sup>. Tout simplement, un indicateur fait référence à une variable (ou un agrégat de plusieurs variables) dont la valeur fournit une information sur les conditions (ou les trajectoires) d'un système. La valeur de ces variables correspond aux mesures ou observations réelles effectuées à différents moments, lieux, populations, etc.

Les indicateurs ont été utilisés dans de nombreux domaines pour mesurer, évaluer et planifier différentes actions et phénomènes. Il n'est donc pas surprenant qu'ils soient également au centre du débat sur la durabilité avec un grand nombre d'organisations nationales et internationales et d'institutions scientifiques menant des recherches importantes dans le domaine. Nous nous attendons à ce que les indicateurs sélectionnés pour construire l'IDSE rendront explicite les exigences en matière de durabilité énergétique. Comme il sera abordé dans le chapitre 4, la littérature sur la durabilité propose plusieurs stratégies alternatives dans le choix d'indicateurs et critères d'évaluation.

Les indicateurs, comme simple information, sont largement utilisés puisqu'ils peuvent :

- Fournir des orientations cruciales pour la prise de décision.
- Faciliter le processus de prise de décision en traduisant les connaissances en unités d'information gérables.
- Aider à mesurer et à calibrer les progrès accomplis en termes de durabilité.
- Donner un avertissement précoce pour prévenir les préjudices.
- Constituer des outils importants pour communiquer des idées et des valeurs. Comme l'a déclaré l'ONU, 2001, « nous mesurons ce que nous valorisons et nous valorisant ce que nous mesurons. ».

---

<sup>106</sup> Thia, D., Mbaye A. 2012. P.16

<sup>107</sup> Gallopin Gilberto C., 1996. P. 103.

Selon les valeurs ou les variables de l'indicateur, nous distinguons quatre types :

- **Indicateur à seuil** : indicateur utilisé pour évaluer une « norme ». C'est par exemple le cas lorsqu'un seuil d'alerte est fixé (ex. +2°C de réchauffement). Ce type d'indicateur présente cependant un défaut : il montre peu les variations.
- **Indicateur dichotome** : indicateur dont la valeur prend la forme d'une réponse « oui/non, succès/échec, terminé/en cours ». Il souffre des mêmes défauts que les indicateurs à seuil en montrant peu de variation, et ont l'inconvénient majeur d'être peu sensibles à la détection d'un différentiel de performance.
- **Indicateurs continus** : indicateur structuré à partir de variables continues montrent plus que d'autres, la variabilité de la performance.
- **Indicateurs de changement** : indicateur approprié lorsque des valeurs longitudinales sont disponibles sur une longue période, ce qui permet d'ailleurs d'ajuster dans le temps, l'indicateur avec un intervalle de confiance.

Les indicateurs de durabilité énergétique peuvent être divers que les composants du système énergétique, et varient en ce qui concerne les visions du monde, les objectifs et les échelles de temps et d'espace. Patlitzianas et al, avec plusieurs publications en actif autour des indicateurs et des politiques énergétiques durables, distinguent plusieurs catégories d'indicateurs énergétiques<sup>108</sup>:

- **Indicateur descriptif**, par exemple les pourcentages d'énergie par carburant.
- **Indicateur normalisé de base**, qui indique l'utilisation d'énergie de chaque domaine, divisé par la population ou le produit intérieur brut (PIB).
- **Indicateur comparatif**, qui d'indique la similitude des caractéristiques entre différents secteurs ou pays, en utilisant les normalisations nécessaires.
- **Indicateur structurel**, qui répartit les activités économiques ou humaines à plusieurs échelles ou formes de performance.
- **indicateur d'intensité** associe l'utilisation d'énergie à une activité spécifique, principalement lié à la performance énergétique.
- **Indicateur de décomposition** indique comment différentes sections de l'utilisation totale de l'énergie influencent les rejets totaux.
- **Indicateur de causalité** indiquent quel type de paramètres économiques, démographiques ou géographiques fondamentaux influencent le plus l'utilisation de l'énergie.
- **Indicateur de conséquence** mesure le lien entre les activités humaines et l'utilisation de l'énergie, en termes de perturbations de l'environnement.
- **Indicateur physique** indiquent l'évolution de la performance énergétique et de la productivité.

---

<sup>108</sup> Konstantinos D. et al., 2008.

Les indicateurs de durabilité énergétique sont des indicateurs qui fournissent des informations sur l'état, la dynamique et les facteurs sous-jacents de système énergétique. Généralement, les indicateurs deviennent des indicateurs de durabilité lorsque leur dimension temporelle, leurs limites ou leurs objectifs leur sont associés<sup>109</sup>. Pour qu'un indicateur soit utile, il doit exister une référence établie, un repère, ou un seuil qui représente un état normal, un comportement souhaité ou un objectif à atteindre<sup>110</sup>. Les niveaux de référence ou les valeurs cibles des indicateurs doivent être déterminés sur la base de la connaissance pertinente du système en cause ou de la connaissance partagée compréhension de la communauté que le système implique. Malheureusement, à défaut de consensus sur la définition et l'opérationnalisation de durabilité, il est difficile d'associer à chacun des nombreux indicateurs énergétiques des seuils de référence pour un état durable.

L'indicateur simple ne reflète que certains aspects de système énergétique durable. Cette anomalie nous pousse à sélectionner plus qu'un seul indicateur pour constituer une image complète de phénomène complexe. Il existe certains indicateurs plus intégratifs que d'autres, et aucun ne permet d'évaluer intégralement les multiples dimensions de la durabilité énergétique.

#### **4.1.5.2-Tableau de bord**

Les systèmes énergétiques sont complexes et ne peuvent être captés par un seul indicateur ce qui nécessite l'utilisation de plusieurs variables pour capturer diverses composantes de dimensions distinctes. Dans ce cas, la métrique appropriée est le tableau de bord qui offre la possibilité de capturer et de présenter simultanément les différentes composantes du problème pour faciliter la compréhension.

En effet, les problèmes complexes tels que la durabilité énergétique comportent des dimensions qui ne sont pas assez tangibles pour être capturées par de simples indicateurs. Présenter trop d'indicateurs peut également être un problème en créant plus de confusion que de compréhension, en particulier lorsque les indicateurs diffèrent par l'ampleur et la direction du changement. Par conséquent, un compromis est nécessaire entre la complexité et la facilité d'utilisation de l'indicateur afin que des mises à jour régulières puissent être facilement effectuées et que des informations significatives puissent être obtenues<sup>111</sup>. De même, en tant que le sujet de durabilité est en évolution, les aspects théoriques tels que les dimensions ne sont pas fixes et il est possible qu'un autre ensemble de dimensions, donc d'indicateurs, soit utilisé pour capturer la durabilité des systèmes énergétiques.

Dans la littérature, de nombreux indicateurs de tableau de bord ont été proposés. Selon certaines publications, le tableau de bord proposé par Olade, Cepal et Gtz, 1997 pourrait être

---

<sup>109</sup> Meadows, 1998.

<sup>110</sup> Jianguo Wu, Tong Wu, 2012.

<sup>111</sup> Iddrisu I, BhattacharyyaSubhes C, 2015.

l'un des premiers indicateurs de tableau de bord en matière de durabilité énergétique. Huit indicateurs de durabilité énergétique ont été sélectionnés : autarcie énergétique, solidité face aux changements externes, productivité énergétique, couverture électrique, couverture des besoins énergétiques de base, pureté relative de l'utilisation d'énergie, utilisation d'énergies renouvelables et portée des ressources fossiles et du bois de chauffage.

Aujourd'hui, des exemples plus récents existent, deux tableaux de bord d'indicateurs de l'énergie pour le DD développés par AIEA et AIE sont les plus avancés et les plus utilisés. Ces tableaux de bord, souvent appelés système d'indicateurs, ont permis de définir de nombreux indicateurs couvrant les différentes dimensions de durabilité énergétique. Dans notre travail, nous envisageons d'utiliser ces tableaux de bord précédents comme des bases de données pour construire et calculer notre indice (IDSE).

La seule différence entre un tableau de bord et un indice synthétique tient dans l'ultime étape du processus de construction et de mesure des indicateurs : la production d'une valeur synthétique unique destinée à condenser l'information contenue dans le tableau de bord. En d'autres mots, un indice synthétique n'est pas autre chose qu'un tableau de bord auquel a été ajouté un indicateur supplémentaire constitué par l'agrégation des données qui y figurent. Il semble qu'une critique sérieuse est liée à cette dernière étape fait toute la différence entre une démarche scientifique, rigoureuse, sérieuse et un exercice subjectif, idéologique et fantaisiste.

#### **4.1.5.3-Indice composite**

Les indicateurs énergétiques sont produits par des chercheurs et spécialistes de la durabilité<sup>112</sup> pour être utilisés par les décideurs et le public. L'information existante, dans l'état, est inutilisable pour la prise de décision et doit être transformée<sup>113</sup>. Pour les utilisateurs de l'information, les mesures de durabilité les plus efficaces sont souvent des indices très agrégés, faciles à comprendre et directement liés à la réalité.

Un indice composite (IC)<sup>114</sup>, peut être simplement défini comme une agrégation de différents indicateurs selon une méthodologie bien développée et prédéterminée. Techniquement, l'IC est une combinaison mathématique de plusieurs indicateurs représentant différentes dimensions d'un même concept, moyenne pondérée des indicateurs<sup>115</sup>. Les IC sont des modèles similaires en nature et en codage aux modèles mathématiques ou informatiques.

---

<sup>112</sup> Les organisations internationales contribuant de manière significative au développement d'indicateurs de durabilité : Groupe Balaton, Institut international du DD (IIDD), OCDE, Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement, Commission du DD des Nations Unies, PNUD, PNUE, Division de statistique des Nations Unies (DSNU), Banque mondiale, AIE, AIEA...

<sup>113</sup> Boulanger P-M, 2004. P. 5.

<sup>114</sup> D'autres terminologies existent : indice synthétique, index, score, indice agrégé, et parfois, macro-indicateur.

<sup>115</sup> Berthault Moreira S., Crespo N., 2017. P.2.

L'indice composite (IC), sous sa forme la plus simple (produit scalaire), suit la représentation linéaire ci-dessous :

$$IC_p = W_1I_{1p} + W_2I_{2p} + \dots + W_iI_{ip} = \sum_i W_iI_{ip}$$

$IC_p$ , Score de l'indice composite dans le pays  $P$ .  $I_{ip}$ , Indicateur simple  $i$  dans le pays  $P$  et  $W_i$ , Poids de l'indicateur simple  $i$ .

Dans certains cas, une confusion existe dans l'utilisation des deux termes, indicateur et indice. Pour un indicateur agrégé sans unité de mesure, nous parlons d'indice. De tels indices très agrégés auront l'avantage de fournir une image globale de l'état ou des performances d'un système énergétique de manière simple et explicite. Ainsi, selon Hammond et al., 1995, l'IC se situe au sommet de la pyramide d'information. L'agrégation des divers indicateurs dans un seul IC diffère conceptuellement des autres techniques basées sur des indicateurs telles que les évaluations multicritères dans lesquelles les indicateurs constitutifs ne sont pas agrégés en un seul chiffre.

Les IC sont de plus en plus populaires pour les évaluations de durabilité à différentes échelles, voir par exemple (van Dijk et Mingshun, 2006 ; Krajnc et Glavic, 2005 ; Prescott-Allen, 2001). Les indices composites représentent sans doute l'approche la plus populaire pour évaluer le DD<sup>116</sup>. L'inconvénient est que les indices ne sont pas toujours objectifs, précis ou certains. En réalité, l'ensemble du processus de construction d'indices de durabilité est, dans une certaine mesure, subjectif en raison de la nature des indicateurs eux-mêmes et de choix d'indicateurs. De plus, certains indicateurs sont des variables qualitatives dont les valeurs sont étroitement liées aux valeurs et aux perceptions humaines. Tous les indices composites présentent un degré d'incertitude lié à la collecte et à l'analyse de données, à la formulation de mesures de durabilité et à la nature imprévisible des systèmes homme-environnement. D'ailleurs, la dernière étape de la construction des IC consiste à estimer ce degré d'incertitude (voir chapitre 4). Ainsi, les indices ne sont pas un remède universel, mais un outil indispensable pour la science et la pratique du DD. Bien que les indices composites se révèlent très utiles, leur utilisation reste un processus comportant de nombreux pièges.

Toute mesure de la durabilité énergétique est susceptible d'être limitée par le manque et/ou la fiabilité de données. Nous comprenons pourquoi la commission Stiglitz, dans sa 9<sup>e</sup> recommandation, « recommande aux instituts de statistiques de fournir les informations nécessaires pour agréger les différentes dimensions de la qualité de la vie, et permettre ainsi la construction de différents indices ». Il est donc nécessaire de cartographier et d'examiner les données pouvant servir de base à une mesure de la durabilité énergétique. Selon les choix méthodologiques lors de la construction d'IC, plusieurs catégories d'approches de données existent, la plus pertinente, selon Niemeijer, 2002, est celle des IC basés sur les données.

---

<sup>116</sup> Jianguo Wu, Tong Wu, 2012.

Les approches basées sur les données (bottom-up ou ascendantes) sont préférées lorsque la disponibilité des données est l'épreuve centrale de la construction de l'IC et que des données de haute qualité ne sont pas fournies pour tous les indicateurs pertinents. Les approches ascendantes intègrent les points de vue d'un plus grand nombre de parties prenantes ou du grand public puisqu'elle passe de la pratique à la théorie sur la base de considérations de disponibilité des données.

D'autre part, des approches théoriques (top-down ou descendante) sont utilisées lors de la sélection des meilleurs indicateurs possibles pour prendre en charge un IC d'un point de vue théorique, alors que la disponibilité des données n'est qu'un des nombreux aspects considérés. Des méthodes généralement conduites par des experts, sur la base de concepts scientifiques.

Nous pouvons soutenir qu'il peut exister une troisième catégorie d'IC; les IC axés sur les politiques ou, en d'autres termes, les indices construits spécialement pour le suivi d'une politique donnée. Qu'ils soient basés sur les données, sur la théorie ou sur les politiques, les IC sont des outils puissants et communicatifs qui peuvent aider considérablement les planificateurs et les décideurs, à condition que tous les choix méthodologiques soient transparents.

Les forces et les faiblesses<sup>117</sup> des indices composites proviennent en grande partie de la qualité des variables sous-jacentes. Alors que le choix des indicateurs doit être guidé par le cadre théorique du composite, le processus de sélection des données peut être assez subjectif dans la mesure où il peut ne pas y avoir un ensemble d'indicateurs définitif.

**Tableau 3.6 : Avantages et inconvénients des IC**

Avantages	Inconvénients
Peut résumer des problèmes complexes ou multidimensionnels.	Peut envoyer des messages trompeurs s'ils sont mal construits.
Plus facile à interpréter.	Peut inviter des conclusions simplistes.
Facilite la tâche de classement des alternatives dans le temps sur des questions complexes.	Peut être utilisé à mauvais escient, par exemple pour soutenir une politique souhaitée, si la construction n'est pas transparente et manque de principes statistiques ou conceptuels fiables.
Réduit la taille d'un ensemble d'indicateurs ou incluez plus d'informations dans les limites de taille existantes.	La sélection d'indicateurs et de pondérations pourrait être la cible d'un défi politique.
Place les questions de performance et de progrès au centre de la scène politique.	Peut dissimuler de graves défauts dans certaines dimensions et augmenter la difficulté d'identifier des mesures correctives appropriées.
Facilite la communication avec le grand public et promouvoir la responsabilité.	Peut conduire à des politiques inappropriées si les dimensions de la performance difficiles à mesurer sont ignorées.

Source : Nardo et al., 2005, P.6.

<sup>117</sup> Des articles ont été publiés sur les forces et les faiblesses des indices de durabilité (Böhringer, Jochem, 2007, Mayer, 2008, Singh et al., 2009, Mori et Christodoulou, 2012).

Pour plus de détail sur les avantages et les inconvénients des IC, voir (Saisana M. et Saltelli A., 2010 ; Klugman J. et al. 2011 ; Chiappini R., 2012, Sharpe 2004). Selon ce dernier, Sharpe 2004, l'existence de cet ensemble d'avantages et d'inconvénient aurait été à l'origine de la création de deux camps dans la littérature : les agrégateurs et les non-agrégateurs.

Malgré ces nombreux inconvénients, les IC sont néanmoins utiles pour fournir aux experts, acteurs et décideurs<sup>118</sup> :

- La direction de progrès ;
- Comparaison entre régions, situations et pays ;
- Évaluation de l'état et tendance par rapport aux objectifs ou aux cibles ;
- Alerte rapide ;
- Identification de la zone pour l'action (à promouvoir) ;
- Anticipation des conditions et des tendances futures; et
- Canal de communication pour le grand public et les décideurs.

Le jugement qui prévaut aujourd'hui est que la politique fondée sur des preuves chiffrées devrait remplacer la politique basée sur l'opinion. Comme dit le proverbe, « *sans données, vous n'êtes qu'une personne avec un avis* », mesurer ce qui peut être mesuré et parfois même le non mesurable est l'orientation actuelle.

À cause de cette multiplication d'avantages et d'inconvénients, l'élément essentiel pour un IC (et même pour les approches utilisées pour sa construction) est que tous les choix méthodologiques soient transparents et argumentés. Des problèmes de méthodologie soulèvent souvent des doutes quant à la robustesse et l'acceptation<sup>119</sup> de l'IC et l'importance des conclusions associées<sup>120</sup>. Ces inconvénients peuvent endommager la crédibilité de l'IC. Ainsi, la création d'un indicateur composite nécessite un équilibre entre différents aspects, tous également importants pour définir la qualité et, enfin, l'utilité de l'IC. Ainsi comme conclusion, dans le projet de mesurer la durabilité énergétique par un IC, plusieurs anomalies sont identifiées ; d'une part dans la mesure de la durabilité qui exige des choix variés, complexes et souvent subjectifs, d'autre part dans la construction d'indice qui exige des choix entre des méthodologiques multiples et variés. Ainsi, dans le même objectif de mesurer la durabilité énergétique par un IC pour un pays donné, deux projets (ou tentatives) de mesure distincts ne peuvent avoir le même résultat final c.-à-d. le même score d'IC. Une probabilité presque nulle d'aboutir à un résultat identique dans les deux projets. Ce qui explique le nombre singulier d'indices pour mesurer et évaluer la durabilité énergétique. Divers indices

---

<sup>118</sup> Saisana M., Tarantola S. 2002. P. 6.

<sup>119</sup> Dans la littérature (nos lectures) nous avons rencontré une certaine opposition aux IC, notamment à l'indice de développement humain, qui a déclenché des réactions telles que celle de Baneth J., 1998, P. 23 qui déclare qu' « Il était vain, prétentieux et légèrement ridicule de vouloir résumer en un seul chiffre le développement humain dans toute la complexité de ses multiples dimensions... ».

<sup>120</sup> Florence J.-C., 2009.

ont été conçus et chacun fournit une mesure quelque peu différente du DD et de durabilité énergétique. La précision et l'incertitude sont ainsi des problèmes majeurs qui doivent être pris en compte à la fois par le concepteur de l'IC et par les utilisateurs.

#### 4.2- État de l'art des indices de durabilité énergétique

Des indicateurs liés à la durabilité ont été développés depuis la publication du rapport Brundtland en 1987 et divers efforts ont été déployés pour saisir différents aspects, notamment de la durabilité énergétique. L'effort de collaboration internationale à cet égard est documenté dans de nombreuses publications<sup>121</sup> de manière très détaillée.

Dans cette sous-section, une analyse de la littérature sur la méthodologie et la composition des indices de durabilité énergétique (IDE) est réalisée. Comme évidence, devant la prolifération des indices dans la littérature, seuls ceux qui ont constaté une utilisation et une reconnaissance généralisées seront abordés. Pour cela, nous avons sélectionné 5 indices déjà existants, parmi les plus communs liés à la mesure de DSE. Afin de renforcer nos propositions, cette analyse aura comme objectif de déterminer les caractéristiques de chaque indice et les sous indicateurs pris en compte pour déterminer la durabilité énergétique (DE) et d'essayer de déceler les forces et les faiblesses de chaque indice.

Les indices, appliqués dans le domaine de l'énergie, comme déjà signalé précédemment, abordent la durabilité en utilisant des approches et des méthodes différentes. Même les indices multidimensionnels existants ne rendent pas compte des dimensions de la durabilité de manière adéquate<sup>122</sup>. Les indices que nous avons sélectionnés sont très récents, le plus ancien remonte à 2012. Des indices qui ne couvrent pas, évidemment, de la même façon les cinq dimensions de DE. Ces indices font objet de publications périodiques et faciles d'accès. Ils constituent donc une source d'information pertinente sur les types d'indices et les méthodologies utilisées dans le domaine de l'énergie<sup>123</sup>. Les indices ont une portée globale et peuvent être appliqués à tous les systèmes énergétiques de n'importe quel pays<sup>124</sup>. Le plus intéressant est qu'ils sont souvent cités comme un standard d'évaluation ou de comparaison de niveaux de durabilité énergétique à l'échelle mondiale. Ils font partie des indices les plus développés en matière de durabilité énergétique<sup>125</sup>.

Un bon indice composite (IC) est une métrique qui combine un mélange ; de robustesse statistique, de simplicité, de transparence, de viabilité politique, d'utilité pour la conception et l'analyse de politiques et s'appuie surtout sur la disponibilité des données. En

---

<sup>121</sup> IAEA, 2005.; Patlitzianas KD et al., 2008; Singh RK et al., 2012; Pinter L. et al., 2015 ;UNECE, Eurostat, OECD. 2013.

<sup>122</sup> Iddrisu I, Bhattacharyya, Subhes C., 2015.

<sup>123</sup> La seule difficulté rencontrée est liée à l'accès complet aux méthodes de pondération et surtout celles liées à l'agrégation.

<sup>124</sup> Puisqu'il existe des indices spécifiques à un région donnée ou pour un type de source ou équipement énergétiques.

<sup>125</sup> Marquez-Ballesteros M.-J. et al. 2018.

plus de cela, un bon IC de durabilité énergétique doit résulter d'une analyse systémique de système énergétique basée sur des critères multidimensionnels tout en suivant une approche intégrée<sup>126</sup>, et comme évidence tout cela doit être fondé sur les fondements de la science de durabilité.

#### 4.2.1-Indice de trilemme énergétique (ITE)

L'Indice de Trilemme énergétique (ITE) est un indice composite développé par le Conseil Mondial de l'Énergie (CME). Cet indice se penche sur les défis à relever pour résoudre le Trilemme énergétique dans l'objectif d'assurer et de renforcer la durabilité énergétique ; accès de tous à une énergie sûre, durable et abordable. L'indice est de plus en plus considéré comme une valeur de référence pour évaluer l'efficacité de la politique énergétique et comme une discussion sur les conditions favorables à l'émergence de systèmes énergétiques durables. Il veille à trouver un équilibre entre les trois dimensions du Trilemme énergétique (voir la section 1 de présent chapitre).

Depuis 2010, l'ITE mesure la durabilité des systèmes énergétiques. Le rapport de 2018<sup>127</sup> concerne 129 pays, dont l'Algérie. L'indice évalue la capacité des pays à mettre en place un SED : stable, abordable et respectueux de l'environnement<sup>128</sup>.

L'ITE est basé, initialement, sur trois dimensions représentatives des performances énergétiques. Depuis 2014, une quatrième dimension liée à la gouvernance est ajoutée nommée « performances contextuelles ». L'ITE de 2018, comme le montre le tableau ci-dessous, retient 35 indicateurs regroupés dans 13 catégories. Les indicateurs se voient attribuer des pondérations égales selon l'arborescence respective dans l'indice pour indiquer leur importance relative.

**Tableau 3.7: Indice de Trilemme énergétique, structure et pondération**

Dimension	%	Catégorie d'indicateurs	%	Indicateurs	%
Sécurité énergétique	30	Sécurité d'approvisionnement et livraison d'énergie	15	Diversité d'approvisionnement en énergie primaire	5
				Consommation d'énergie par rapport à la croissance du PIB	5
				Dépendance à l'importation	5
		Résilience	15	Diversité de la production d'électricité	5
				Stockage d'énergie	5
				Préparation (facteur humain)	5
Équité énergétique	30	Accès	10	Accès à l'électricité	5
				Accès à la cuisine propre	5
		Qualité de fourniture	10	Accès à l'électricité	5
				Qualité de l'offre en milieu urbain vs rural	5
		Abordabilité et compétitivité	10	Prix d'électricité	3,3
				Prix des carburants	3,3

<sup>126</sup>Organiser les indicateurs au sein d'un ensemble plus large qui va tenter de recouvrir l'intégralité des dimensions du DD.

<sup>127</sup>WEC, 2018.

<sup>128</sup>CMÉ, 2014.

				Prix du gaz naturel	3,3
environnement	30	Productivité des ressources énergétiques	10	Intensité en énergie finale	5
				Efficacité de la production, transport et distribution d'énergie	5
		Émission des GES	10	Tendance des émissions de GES	5
				Changement de superficie forestière	5
		Émission de CO2	10	Intensité de CO2	3,3
				Émission par habitant de CO2	3,3
Émission de CO2 par la production d'électricité	3,3				
Contexte national	10	Cadre politique cohérent et prévisible	2	Environnement macroéconomique	0,5
				Efficacité du gouvernement	0,5
				Stabilité politique	0,5
				Perception de la corruption	0,5
		Environnement réglementaire stable	2	Transparence de l'élaboration des politiques	0,7
				Règle de loi	0,7
				Qualité de régulation	0,7
		Initiatives qui permettent R&D et l'innovation	2	Protection de propriété intellectuelle	0,5
				IDE et Transfert de technologie	0,5
				Capacité d'innovation	0,5
				Nombre de brevets délivrés par les résidents	0,5
		Investissabilité	2	Entrées netIDE	1
				Facilité de faire des affaires	1
		Impact de pollution sur air, sol, eau	2	Traitement des eaux usées	1
Pollution de l'air	1				

Source: World Energy Council, 2018, p. 152.

À partir de ce tableau, nous comprenons que l'ITE provient d'une analyse systémique du système énergétique. Il est également basé sur des critères multidimensionnels. Le seul inconvénient est qu'il ne suit pas une approche intégrée puisque les quatre dimensions ne reflètent qu'une partie des dimensions de la durabilité énergétique. Les dimensions technique et institutionnelle ne sont abordées que d'une manière implicite. Une proposition majeure et globale de l'Indice est que les trois premières dimensions énergétiques reçoivent un poids égal dans l'indice (30% en 2018) et la quatrième dimension de contexte national un poids de 10%.

La formule de calcul de l'ITE évolue avec le temps, chaque rapport propose une nouvelle méthodologie substantielle de pondération des dimensions et des indicateurs. La méthodologie reflète l'évolution du contexte mondial. Chaque année, le modèle de l'ITE quantifie la performance du système énergétique national à travers les trois dimensions et leurs sous-indicateurs composites. Chaque pays ne se voit pas attribuer un score chiffré, mais un solde de trois lettres (ex. AAA, BDC...<sup>129</sup>), les lettres représentent uniquement le score de chacune des dimensions énergétiques. Les notes sont calculées en répartissant les résultats normalisés de 0 à 10 des dimensions de performances énergétiques en quatre groupes. Les

<sup>129</sup> La meilleure note, A, est donnée pour les résultats supérieurs à 8. Les pays affichant des résultats normalisés supérieurs à 5 ont reçu la note B. Les performances moyennes comprises entre 2,51 et 5 ont obtenu un C. Enfin, la note D est attribuée en cas de sous-performances.

scores et les classements sont basés sur une série d'ensembles de données globales qui capturent à la fois la performance énergétique et le contexte national dans lequel l'énergie est gérée.

Les résultats de l'Indice du Trilemme Énergétique de 2014 montrent que les pays du Top 10 sont des pays développés dont une plus large part de l'énergie provient de sources peu ou pas carbonées et qui disposent de programmes bien établis d'efficacité énergétique. Ce qui confirme notre précédente conclusion, selon laquelle, il n'y a pas de solution miracle pour renforcer la durabilité, mais que les pays doivent tirer avantage de toutes les ressources intérieures disponibles et développer un cadre politique favorisant l'efficacité à toutes les étapes de la création de valeur jusqu'à l'utilisateur final de l'énergie.

#### 4.2.2-Indice de développement énergétique durable (IDED)

L'Indice de Développement Énergétique Durable (IDED), en anglais "Sustainable Energy Development Index (SEDI)" est un indice composite multidimensionnel pour la durabilité énergétique. Un indice développé par Iddrisu et Bhattacharyya en 2015<sup>130</sup>. Un indice largement cité dans la littérature, devenu, depuis, une référence mondiale pour mesurer les performances en matière de durabilité énergétique. Les deux auteurs ont eu l'objectif de proposer un indice qui va remédier aux problèmes susmentionnés liés à la mesure de durabilité énergétique et de combler les lacunes des indices de durabilité déjà existants.

L'IDED est basé sur cinq dimensions qui sont utilisées afin de capturer la durabilité de l'énergie. Puisque l'objectif de départ est de construire un indice composite intégré et multidimensionnel, la méthode de normalisation utilisée est la transformation min-max. Un indice composite, exprimé sous la forme d'un rapport compris entre zéro (0) et un (1)<sup>131</sup>, est calculé pour mesurer la durabilité pour chacune des cinq dimensions. Le résultat final de l'indice est simplement considéré comme une moyenne arithmétique de ces cinq dimensions.

**Tableau 3.8 : Indice de développement énergétique durable, structure et normalisation**

Dimension	Code	Indicateur	Indice par dimension
Technique	TEC1	Part des énergies épuisables dans les PTE	Durabilité technique = (1 – TEC1xTEC2) xTEC3.
	TEC2	Coefficient d'épuisement des ressources énergétiques locales	
	TEC3	Efficacité de conversion globale du système	
Économique	ECO1	Consommation d'énergie commerciale par habitant	Durabilité économique = (ECO1 × ECO3)/ECO2.
	ECO2	Intensité énergétique finale	
	ECO3	Part d'utilisation productive de l'énergie	
Social	SOC1	Consommation d'énergies propres par habitant dans le secteur résidentiel	Durabilité sociale= SOC1x (1- SOC2).
	SOC2	L'inégalité des revenus par le coefficient de Gini	

<sup>130</sup> Voir: Iddrisu T., Bhattacharyya S. C., 2015.

<sup>131</sup> Une valeur inférieure à zéro peut signifier un statut non durable pour une dimension donnée.

<b>Environnement</b>	<b>ENV1</b>	Part des «combustibles sales» dans la consommation d'énergie résidentielle	Durabilité environnementale= ENV1 × ENV2.
	<b>ENV2</b>	Intensité de carbone	
<b>Institutionnel</b>	<b>INS1</b>	Autosuffisance globale	Durabilité institutionnelle= INS1

Source : Iddrisu T., Bhattacharyya S. C., 2015.

L'IDED est calculé pour un nombre important de pays, dont l'Algérie. Il utilise des méthodes exceptionnelles. Il fait recours à double normalisation et pondération, premièrement pour les indicateurs puis pour les dimensions.

#### 4.2.3- Indice de Développement Énergétique (IDE)

L'indice de développement énergétique (IDE) avancé par l'AIE<sup>132</sup> mesure la transition des systèmes énergétiques vers les carburants modernes sans se soucier de savoir si la transition est durable. Il est basé sur des conditions économiques et sociales. Cet indice est destiné à être utilisé comme une simple mesure composite des progrès d'un pays ou d'une région en développement dans sa transition vers l'utilisation de combustibles modernes et du degré de maturité de son utilisation finale d'énergie<sup>133</sup>.

**Tableau 3.9: Indice du développement énergétique, structure**

<b>Dimension</b>	<b>Indicateur</b>
<b>Économique</b>	Consommation d'énergie commerciale par habitant
<b>Sociale</b>	Consommation d'électricité par habitant dans le résidentiel
	Part des combustibles modernes dans la consommation totale résidentielle
	Part de la population ayant accès à l'électricité

Source : AIE, 2011.

Comme le montre le tableau précédent, la méthodologie utilisée est trop simple et s'appuie uniquement sur quatre indicateurs. Comme dans l'indice IDED, le processus de normalisation utilisé est la méthode Min-Max. Il est exprimé en moyenne arithmétique des quatre indicateurs.

L'IDE est loin d'être considéré comme métrique de durabilité énergétique. Les indicateurs sont des variables de sortie mesurées uniquement au stade de consommation sans inclusion des trois autres dimensions ; environnementale, technique et institutionnelle. Surtout que la durabilité nécessite synergie entre le côté offre et le côté demande du système énergétique, car l'offre limitée peut contraindre la consommation à des valeurs inférieures à la demande. En effet, c'est le problème principal pour la plupart des pays en développement. Un pays peut monter rapidement sa production ou son importation de ressources pour atteindre un rang élevé dans l'IDE, mais reculera rapidement, soit de l'épuisement des ressources locales ou de l'affaiblissement de l'économie par l'augmentation des importations énergétiques.

Ce type d'indicateur ne fournit donc pas une évaluation intégrée de la durabilité énergétique. Ce qui manque essentiellement, c'est qu'il rend compte d'une manière

<sup>132</sup> AIE, 2011.

<sup>133</sup> AIEA et al., 2008. P. 9.

superficielle des dimensions économie et sociale et il ne tient guère des autres dimensions de durabilité.

#### 4.2.4- L'Indice Multidimensionnel de la Pauvreté Énergétique (IMPE)

Les indices composites pour mesurer la pauvreté énergétique sont nombreux. Dans notre cas, nous avons choisi l'Indice Multidimensionnel de Pauvreté Énergétique (IMPE) développé par Nussbaumer et al (2012). Contrairement aux autres indices, l'IMPE est une métrique qui mesure la pauvreté énergétique en se concentrant sur la privation aux services énergétiques modernes du ménage au lieu de se concentrer sur la mesure de l'accès à l'énergie. Les auteurs partent de l'idée que la pauvreté énergétique nuit à la réalisation des objectifs du DD.

De cela, nous pouvons comprendre qu'il s'agit d'un IC qui n'offre pas une mesure complète de la durabilité énergétique, mais que d'une partie seulement. L'IMPE est un IC non intégré et unidimensionnel (social), axé uniquement sur la dimension d'accès à l'énergie.

L'IMPE saisit à la fois l'incidence et l'intensité de la pauvreté énergétique. Comme le montre le tableau ci-dessous, il est basé sur cinq dimensions liées aux services énergétiques de base. Des dimensions complètement différentes de celles de la durabilité.

**Tableau 3.10 : Indice multidimensionnel de pauvreté énergétique, structure et pondération**

Dimension	Indicateur	Poids	Variable
Cuisine	Combustible de cuisine moderne	0.2	Type de combustible de cuisson
	Pollution intérieure	0.2	Aliments cuits sur une cuisinière ou une cheminée (sans hotte) si vous utilisez un combustible en plus de l'électricité, du GPL, du gaz naturel ou du biogaz
Éclairage	Accès à l'électricité	0.2	Accès à l'électricité
appareils ménagers	Possession d'appareils ménagers	0.13	Un frigo
Divertissement et éducation	Propriétaire d'appareils de divertissement et d'éducation	0.13	Une radio ou une télévision
communication	Moyens de télécommunication	0.13	Une ligne téléphonique terrestre ou un téléphone portable

Source: Nussbaumer et al., 2012.

Six indicateurs basés sur des données relatives aux privations d'énergie qui affectent un ménage. La méthodologie utilisée est complètement différente des méthodologies des indices précédents. En fait, la méthodologie utilisée est tirée de la littérature sur les mesures de la pauvreté multidimensionnelle inspirée de la contribution d'Amartya Sen à la discussion sur les privations et les capacités. Une personne est considérée comme pauvre énergétiquement si la somme des privations subies dépasse un seuil prédéfini. L'IMPE est calculé comme un produit du rapport entre le nombre de personnes classées comme pauvres en énergie et de l'intensité moyenne de privation des pauvres en énergie. L'IMPE mesure la

pauvreté énergétique à l'aide d'une matrice des réalisations au niveau de chaque indicateur et pour chaque personne. Si la réalisation est positive signifie que la réalisation individuelle dans un indicateur donnée. La pondération des indicateurs est inégale selon l'analyse de sensibilité et de l'incertitude en optant pour la technique de synthèse des poids, par opposition à un score pondéré, comme mentionnée dans le tableau précédent.

Une valeur de seuil de privation est définie pour identifier les personnes pauvres en énergie de manière multidimensionnelle. Une personne est considérée comme étant pauvre en énergie si son nombre de privations pondéré dépasse ce seuil de privations. Enfin, le ratio de personnes considérées comme pauvres en énergie est calculé, ce qui représente l'incidence de la pauvreté énergétique multidimensionnelle. La moyenne pondérée de la privation représente l'intensité de la pauvreté énergétique multidimensionnelle.

Deux degrés de pauvreté énergétique sont définis, pauvreté aiguë ( $IMPE > 0,9$ ), pauvreté modérée ( $IMPE < 0,6$ ). L'IMPE est calculé pour un nombre important de pays africains, dont l'Algérie.

Bien que l'IMPE saisisse la fiabilité de l'approvisionnement en énergie dans le cadre de privations, il ne traite pas la question de la durabilité énergétique. Une métrique non intégrée qui ne tient pas compte des niveaux de performance, sans examiner la disponibilité de l'offre future puisqu'il n'est pas spécialement conçu pour saisir les dimensions de la durabilité, un IMPE faible ne signifie pas nécessairement un avenir énergétique durable.

### **Conclusion du chapitre**

Le maintien de la croissance économique et l'amélioration du bien-être social dépendent de l'offre suffisante de ressources énergétiques, alors que leur utilisation est l'un des principaux facteurs de dégradation de l'environnement. Il reste que notre forte dépendance aux sources d'énergie épuisables ne peut être maintenue à très long terme (plus en moins 20 ans) et la poursuite sur une telle voie, devant l'immaturation des sources nouvelles alternatives, risque de compromettre [...*la capacité des générations futures à satisfaire leurs besoins*]. La durabilité énergétique devient alors une nécessité mondiale urgente.

Contre toute attente, il existe un relatif consensus sur la notion de durabilité énergétique, contrairement aux notions du DD et de durabilité. Ce consensus se prolonge plus en moins aux méthodes d'évaluations. Cela peut être expliqué par l'ancienneté de la problématique énergétique et de nombre important de travaux scientifiques et politiques sur le sujet. En effet, la définition de la durabilité énergétique est beaucoup plus opérationnalisable, car elle nous donne des cibles facilement mesurables et spécifiques à rechercher pour quantifier la durabilité des systèmes énergétiques. Ces cibles peuvent être résumées par la recherche d': efficacité et rentabilité accrue, utilisation plus rationnelle des ressources, conception et analyse améliorées, meilleure sécurité énergétique et meilleur environnement.

Ces cibles indiqueront les domaines dans lesquels des modifications et améliorations sont nécessaires et leur contribution à ces améliorations.

Les difficultés qui restent sont liées à la prise en compte des critères d'évaluation de la durabilité (intégrée,...). De nombreux facteurs à prendre en compte pour progresser vers la durabilité énergétique. Il est difficile d'évaluer en totalité (exhaustivité) la qualité du système énergétique. Il est aussi difficile d'évaluer d'autres critères de durabilité tels que les considérations environnementales et sociales. Ce qui rend la mesure et l'évaluation de la durabilité de système énergétique moins facile. Afin d'évaluer de manière globale la durabilité des systèmes d'énergie, l'utilisation d'indices composites de durabilité est incontournable. Pour refléter les divers aspects de la durabilité, les indices composites de durabilité (ICD) sont déterminants, puisqu'ils appréhendent de nombreux indicateurs de la durabilité énergétique.

Un nombre important d'IC de DSE sont construits. Le hic est que la grande majorité d'entre eux ne sont pas conçus spécifiquement pour évaluer tous les aspects de la durabilité énergétique. Ils ne sont pas complets et présentent certaines limites. Ainsi, il devrait être amélioré et complété.

La mise au point d'outils permettant de surveiller et de rendre compte des progrès accomplis en vue d'un système énergétique durable est donc essentielle. Le prochain chapitre passera en revue les étapes et les contraintes spécifiques à la construction d'un indice de durabilité des systèmes énergétique (IDSE). Il analysera également les forces et les faiblesses méthodologiques de tel projet en se référant aux exigences théoriques d'ED et en s'appuyant sur les contraintes pratique du terrain.

## **Chapitre 4 : Construction de l'indice de durabilité du système énergétique**

Les activités humaines, notamment celles liées à l'énergie, ont profondément bouleversé les conditions de vie, ce qui indique que notre monde est sur une trajectoire insoutenable. Assurer le développement énergétique durable (DED) est devenue le défi le plus marquant du XXI<sup>e</sup> siècle. Ainsi, il n'est pas surprenant que la durabilité énergétique soit devenue un mot à la mode dans les milieux publics et un défi (ou sujet) dans les milieux académiques. Pour relever ce défi, des métriques de durabilité énergétique sont indispensables. Elles nous permettront de localiser la situation d'un pays par rapport aux autres et aussi par rapport aux conditions qui prévalaient dans le passé, et pourquoi pas pour encadrer des actions pour l'avenir. Pour cela, les indices composites (IC) peuvent se révéler judicieux, à condition toutefois d'en maîtriser la construction, tel est l'objet de ce chapitre.

La mesure de la durabilité des systèmes énergétiques (DSE) à l'aide d'IC est au centre de la plupart des projets sur la durabilité, puisque le système énergétique (SE) d'un pays reste et restera un enjeu important. Ces indices synthétisent numériquement les conditions environnementales, sociales et économiques d'un pays. Ce sont des outils pratiques pour l'évaluation des stratégies énergétiques nationales. Pour cette évaluation, il est nécessaire de définir et de recenser des indicateurs énergétiques spécifiques. Pour regrouper ces indicateurs multidimensionnels en un indice unique représentant le niveau de durabilité de systèmes énergétiques, il faut suivre un processus en plusieurs étapes dans lesquelles plusieurs choix de méthodes et de démarches sont possibles. Ces étapes de construction ne sont pas séparées et doivent défendre une certaine cohérence liée à l'objectivité, échelle et approches de durabilité.

L'objectif de ce chapitre est de construire un indice composite de durabilité énergétique dénommée « Indice de Durabilité du Système Énergétique » (IDSE). Ainsi, tant qu'il n'existe pas de règle standard pour la construction d'IC, l'objectif est de distinguer des méthodes significatives et adéquates aux principes d'évaluation de durabilité énergétique en justifiant explicitement à chaque étape nos choix par rapport à la littérature.

Dans ce chapitre, la littérature sur la construction d'indice composite sera présentée et une méthode de mesure de la durabilité du système énergétique sera proposée pour 13 pays méditerranéens choisis par proximité géographique à l'Algérie à qui nous ajoutons deux pays énergivores, les États-Unis et la Chine. La première section réunira les aspects théoriques de l'IDSE en édifiant un cadre conceptuel opérationnel et mesurable de la durabilité du système énergétique. La deuxième section réunira un ensemble d'indicateurs de base de l'IDSE. La troisième section abordera les aspects les plus problématiques des IC. Nous passerons en revue les méthodes de normalisation, de pondération ainsi que d'agrégation des indicateurs de

base. Les avantages et les inconvénients de chaque méthode sont brièvement discutés. Dans la quatrième section, nous discuterons les résultats (scores et rangs des pays) obtenus suivant les combinaisons des méthodes retenues. Nous analyserons également la robustesse de l'IDSE par rapport aux choix de méthodes de pondération et d'agrégation dans cette quatrième section.

### **Section 1- Cadre conceptuel**

Avant d'entamer le chantier de construction de l'indice composite de durabilité du système énergétique (IDSE), une étape préalable s'impose. Cette étape est liée au développement d'un cadre conceptuel définissant les problèmes à mesurer et les priorités, ce cadre représente une interprétation du DD<sup>1</sup>. Il constituera le socle de l'analyse théorique et même pratique pour les étapes qui suivront. Un indice composite est formé sur la base d'un modèle sous-jacent du concept multidimensionnel à mesurer<sup>2</sup>. Nous devons savoir que l'indice n'est que la traduction d'un concept ou d'un phénomène sous la forme numérique, ce qui permettra de rendre l'information plus assimilable<sup>3</sup>. L'établissement de ce cadre conceptuel est une partie importante et difficile du traitement des controverses de politique publique tel que le DD<sup>4</sup>. La présente section récapitulera les lignes directrices de ce cadre conceptuel.

Aujourd'hui, Il est communément accepté, après la conceptualisation, que les étapes de construction des IC comprennent ; la définition des objectifs, la sélection des indicateurs, la sélection des techniques de pondération et d'agrégation appropriées et, en fin, la vérification de la robustesse. Des étapes presque identiques à celles de l'analyse multicritères. Bien sûr, ces étapes ne sont pas isolées et sont en fait étroitement liées les unes aux autres et forment un enchaînement d'idées et du choix cohérents. Dans cet enchaînement, il est extrêmement important de prendre en compte l'objectif recherché, les échelles (spatiales et temporelles) et l'approche de durabilité (faible ou forte). Il est aussi important de faire distinction entre les aspects théoriques et pratiques qui, dans certains cas, se contredisent, notamment, lors de la pondération et de l'agrégation.

L'étape du cadre conceptuel est très cruciale, car l'IC peut laisser la marge à certaines ambiguïtés et provoquer des interprétations ambiguës ou erronées. Une mauvaise définition de l'IC au départ aura de toute évidence des répercussions sur les autres étapes de la construction de l'IC notamment dans les étapes de l'analyse de la pondération, de l'agrégation et de l'interprétation de l'IC.

En somme, sans négliger pour autant les autres étapes, l'étape de définition de l'IC conditionne son succès, car un cadre théorique mal construit conduit nécessairement à des

---

<sup>1</sup> Yung-Jaan L., Ching-Ming H., 2007.

<sup>2</sup> Nardo et al. Op. cit., P. 8.

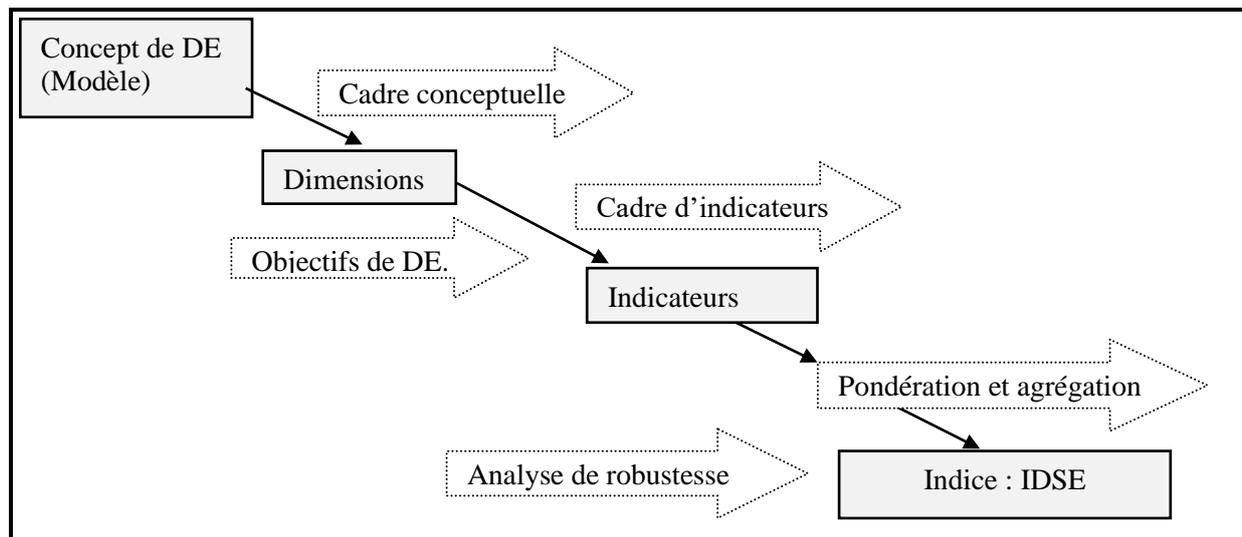
<sup>3</sup> Boutaud A., 2010.

<sup>4</sup> László P. et al., op. cit., P.21.

résultats biaisés et difficilement interprétables, et par conséquent, à des recommandations inadéquates.

La figure 4.1, ci-dessous, nous montre les différentes étapes successives de réalisation d'un indice composite dont la première étape liée à la conceptualisation constitue le point de départ de ce projet de mesure.

**Figure 4.1 : Du concept de durabilité énergétique à l'IDSE**



Source : Élaborée par nos soins à partir de Boulanger, 2004, P.08.

### 1.1- Conceptualisation de la durabilité énergétique

Le DD est un concept dont la définition s'avère très variable selon le contexte. Il reste interprétable de diverses façons et évolue dans le temps. Lors d'un projet d'évaluation, nous faisons appel à une référence à un modèle conceptuel. Dans le cas des outils d'évaluation de durabilité, la question du référentiel est très essentielle, car elle influence l'évaluation et l'interprétation qui pourront être faites des résultats. Cette référence ne doit pas laisser la marge à certaines ambiguïtés ou provoquer des interprétations floues ou erronées.

Les indices de durabilité (ID) étant conçus pour mesurer la durabilité. Toute discussion significative sur les ID nécessite une compréhension de base de ce que le concept de durabilité englobe. Au sens mathématique du terme, les ID sont des modèles inspirés de systèmes complexes (naturels, biologiques, sociaux) que nous souhaitons comprendre et évaluer. Comme déjà mentionné, compte tenu de la complexité découlant de la multiplicité des composants et leurs interactions complexes, il est difficile de définir la durabilité en termes spécifiques sans controverse, alors là, proposer un ID comme mesure (un modèle) à la durabilité. Cependant, si la durabilité doit être plus qu'un exercice purement académique ou un slogan politique, elle doit être opérationnelle et mesurable.

La mise au point de mesures quantitatives peut aider à clarifier et à affiner les concepts liés à la durabilité, à améliorer notre compréhension des relations complexes entre les

composantes de la durabilité de manière pratique et à promouvoir ainsi la science et la pratique du DD. Lorsque nous construisons des mesures quantitatives de la durabilité, nous devons spécifier explicitement les aspects de la durabilité que nous voulons mesurer, ceux que nous voulons conserver, et comment ces différents aspects doivent être intégrés ou mis en relation. Ainsi, l'élaboration d'indice peut ajouter de la rigueur et de la précision à la notion de durabilité. Bien que quantitatifs et précis, les indicateurs ne se traduisent pas toujours par une rigueur et une précision. Les comparaisons des niveaux de durabilité vont être très sensibles au choix du modèle conceptuel. La démarche consiste à expliciter au préalable les fondements normatifs qui déterminent les choix des indicateurs, de modes de pondération et d'agrégation... Une mauvaise conceptualisation de l'IC au départ aura de toute évidence des répercussions sur les autres étapes de la construction de l'IC.

Présenter un cadre conceptuel de l'indice de durabilité du système énergétique (IDSE) revient à donner une présentation imagée du cadre théorique formalisé du système énergétique durable. Cette représentation imagée doit correspondre aux objectifs et aux intentions de l'utilisateur et surtout au phénomène que celle-ci désire représenter. Le travail devient alors de réduire la complexité sous une forme mesurable. En d'autres termes, des problèmes non ou difficilement mesurables comme la durabilité énergétique doivent être remplacés par des objectifs intermédiaires dont la réalisation peut être observée et mesurée sur le terrain.

Pourquoi présenter ou formuler une conceptualisation de durabilité énergétique ? Afin de s'assurer que tous les choix qui seront pris (faits) dans chaque étape de processus de construction d'IC (sélection, cadre, indicateurs, normalisation, pondération, agrégation...) correspondent à la définition de la durabilité énergétique déjà formulée au départ.

Rappelons nous que l'objectif et le sens du concept de durabilité sont de faire en sorte que les choix souhaitables (capacité, progrès...) de la société, au moins, ne diminueront pas avec le temps, et qu'un niveau minimum donné de sortie désirable (satisfaction, consommation, bien-être...) est toujours obtenu. Dans le domaine de l'énergie, la durabilité consiste à garantir une capacité de production d'énergie inaltérable tout en assurant un certain niveau du progrès permanent. Dans la chaîne énergétique, des substitutions et des modifications peuvent se produire et le système énergétique peut changer avec le temps pour refléter les progrès des besoins des générations. La condition est que, à la fin, les générations futures ne devraient pas avoir moins d'options (énergétiques ou non) que les présentes.

Globalement, pour évaluer la durabilité énergétique (DE), il faut d'abord évaluer le système énergétique (SE) pour identifier les points clés indispensables à sa durabilité. Ces points clés assureront son redémarrage une fois le cycle terminé et pour s'assurer que le processus ne fournit pas moins de valeur que nécessaire<sup>5</sup>. La durabilité du système

---

<sup>5</sup> Iddrisu I, Subhes C B., 2015.

énergétique (DSE) peut être garantie une fois ces points clés sont identifiés et fournis perpétuellement. Dans le cas d'un système d'énergie, le cycle se compose de deux parties principales: l'approvisionnement (entrée) et énergie finale utile demandée (sortie).

L'élément d'entrée du système est l'approvisionnement total en énergie primaire soit la production locale (extraction) et/ou les importations. L'élément de sortie, qui représente l'objectif, est la consommation finale utile (ou service énergétique). Sachant que ce dernier dépend fortement (qualité et quantité) de premier élément et que le progrès technique et les habitudes de consommation modifieront cette dépendance. Parce que l'énergie provient de différentes sources nécessitant un traitement différent pour devenir une énergie utile.

Un autre point clé du système énergétique est, à cette étape, appelée transformation ou conversion de l'énergie primaire en énergie secondaire ou finale. Ainsi, nous nous intéresserons à l'efficacité de la conversion. Sachant encore que le système de conversion a également la capacité de déterminer le résultat final. Il est donc un troisième élément clé du cycle représentant la dimension technique de l'énergie.

Une fois l'énergie secondaire obtenue, la première moitié du cycle (côté offre) est terminée. Cependant, pour assurer la durabilité, il doit y avoir un autre déclencheur du système celui de la satisfaction des besoins humains. Parce que l'énergie n'est pas le besoin réel de la société, mais seulement un moyen d'y parvenir. L'énergie secondaire produite est pratiquement inutile si elle ne peut être utilisée pour satisfaire les besoins réels de la société (énergie utile). Deux distinctions de l'utilisation de l'énergie sont distinguées : non productive par les ménages (qualifiée d'impasse) et productive par l'industrie (qualifiée de régénératrice). L'utilisation non productive se produit dans le secteur résidentiel où l'énergie sert à satisfaire les besoins physiologiques et de plaisir. Les problèmes d'accès à l'énergie se situent dans le domaine résidentiel où les ménages pauvres luttent pour les besoins énergétiques hiérarchiques inférieurs de la physiologie. Il constitue donc un quatrième élément clé du cycle représentant la dimension sociale de l'énergie.

L'utilisation productive est une utilisation économique rationnelle de l'énergie effectuée uniquement si l'avantage de la consommation (le produit) est plus que les coûts : étant donné que des échanges financiers sont nécessaires pour démarrer le processus d'approvisionnement énergétique, la capacité de redémarrer le cycle de production d'énergie dépend en grande partie de la productivité de l'énergie secondaire, donc de sa rentabilité. Cela comporte deux composantes: la part de l'énergie secondaire utilisée à des fins productives, qui élimine la charge en énergie ou l'utilisation non productive, et l'intensité énergétique qui définit l'efficacité d'utilisation productive de l'énergie. La combinaison de ces deux paramètres peut définir la capacité de production de chaque pays par unité d'énergie consommée<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup>. Iddrisu I, Subhes C B., op. cit.

Cette capacité de production est très importante, car c'est le paramètre qui détermine la création de richesses (potentiel de développement) de chaque pays à partir d'une unité d'énergie. C'est aussi important, car chacun des processus de départ (production et importation) nécessite une certaine forme d'investissement financier, ce qui ne peut se produire que si le potentiel produit a permis la création de la richesse dans l'économie dont une partie est recyclée pour déclencher le cycle. Les secteurs productifs sont donc également un point clé du système énergétique.

Étant donné que le système énergétique est un système ouvert, d'autres points clés existants liés à ses différentes externalités. Ses éléments clés représentent la dimension écologique de l'énergie. Étant donné que le système énergétique est largement réglementé, d'autres points clés constituent donc un autre élément clé du cycle représentant la dimension institutionnelle de l'énergie.

### **1.2-Choix des dimensions**

Cette étape clarifie le passage du concept théorique aux dimensions plus en moins pratiques. Elle consiste à identifier les différentes dimensions qui constituent le concept, sachant que celles-ci sont toujours multidimensionnelles. Elle est la première étape de la mise en forme de l'indice lui-même. Il consiste à choisir les dimensions sur lesquelles l'indice est basé. Les dimensions de l'indice doivent former, évidemment, une image intégrale du système énergétique, approche intégrée. Comme évidence, un indice de durabilité énergétique doit être régi par les principes du DD. Dans la construction d'indice, les dimensions correspondent au niveau d'analyse hiérarchique le plus élevé et indique la portée des objectifs, des indicateurs individuels et des variables.

Le concept de la triple ligne de fonds, ou les trois piliers, de la durabilité définit les principaux domaines constitutifs du DD. Cette perspective voit la durabilité comme composée de trois dimensions fondamentales: environnementale, sociale et économique (également appelé "planète, humain et profit"). Parfois les conditions institutionnelles<sup>7</sup> et techniques sont répertoriées comme la quatrième et la cinquième dimension. Dans chaque domaine, si nous voulons atteindre la durabilité, certains éléments, qui seront représentés par des indicateurs, nécessitent d'être durables et d'autres mis en valeur. En tant que la durabilité est un sujet, notion et concept en évolution, les dimensions ne sont pas invariables. Il est possible d'utiliser un ensemble variable de dimensions pour rendre compte de la durabilité de l'énergie. Comme logique évidente, seules les IC qui couvrent les cinq dimensions simultanément (multidimensionnels) peuvent mesurer la durabilité dans son intégralité, puisque, une

---

<sup>7</sup> Les IEDD représentent un outil quantitatif permettant de suivre les progrès et de définir des stratégies en vue d'un avenir énergétique plus durable. Un certain nombre de questions sont difficiles à quantifier ou sont plus qualitatives par nature, mais elles doivent être prises en considération dans les processus décisionnels et dans l'élaboration des grandes politiques énergétiques. Un nombre de ces aspects non quantifiables relèvent de la dimension institutionnelle du développement durable. Par conséquent, les résultats d'une analyse avec l'outil IEDD doivent être situés dans une perspective plus vaste pour une prise de décision efficace.

évaluation unidimensionnelle (ultralibérale), et même bidimensionnelle (néoclassique), va à l'encontre de l'objectif de donner une image globale de la durabilité.

Bien que les trois dimensions soient largement reconnues dans la littérature, les relations entre elles restent controversées entre les partisans de durabilité forte et de durabilité faible. Comme déjà mentionnées, ces questions conceptuelles ont des implications importantes pour la construction et l'application de mesures de durabilité. Que ce soit forte ou faible, la durabilité est utilisée comme principe opérationnel qui déterminera à son tour la manière dont la durabilité est mesurée<sup>8</sup>. Une autre controverse est que les différentes dimensions sont prises à part, sans la prise en compte des interactions, et cela malgré que la théorie les aborde de plus en plus. En réalité, les dimensions interagiront dans un système complexe qu'il sera difficile de démêler discrètement<sup>9</sup>. Ainsi, une autre limite technique s'ajoute à la mesure de la durabilité et à la construction des IC. Sans oublier que, chacune de ces dimensions est elle-même plus ou moins composite.

#### **4.1.3-Sélection des critères et des objectifs de durabilité énergétique**

L'indice composite, comme métrique et outil d'aide à la décision, doit être un outil opérationnel pour améliorer la durabilité des systèmes énergétiques. Ainsi, pour des raisons de légitimité, de fiabilité et d'objectivité, Il est essentiel de l'attacher à des objectifs spécifiques pouvant être mesurés par des critères non biaisés. L'objectif indique la direction des changements nécessaires ou souhaités pour renforcer la durabilité énergétique. Par ailleurs, dans l'objectif de faciliter la comparaison internationale du progrès réalisés en matière du DD, l'indice doit soutenir un caractère international et doit donc être étroitement lié aux objectifs de durabilité globaux définis par des organisations reconnues internationalement, par exemple, l'objectif 7 de DD relatif à l'énergie durable, ONU,2015.

L'objectif de l'indice de durabilité du système énergétique (IDSE) est de mesurer la durabilité énergétique dans un pays donné. Il est censé mesurer les performances d'un pays en matière de durabilité énergétique et surtout d'en faciliter la comparaison internationale et, si possible, d'anticiper les conditions et les tendances futures.

Ainsi, la deuxième étape de construction d'IDSE consiste à définir l'ensemble d'objectifs et de stratégies en matière de durabilité énergétique.

Comme déjà mentionné, pour renforcer la durabilité trois objectifs globaux<sup>10</sup> sont indissociables : (1) maintenir l'intégrité de l'environnement, (2) assurer l'équité sociale, (3) convoiter l'efficacité économique.

Il est évident que les objectifs du développement énergétique durable trouvent leurs origines de différents documents internationaux clés liés à l'énergie. Ces documents sont

---

<sup>8</sup> Jianguo Wu, Tong Wu, op. cit.

<sup>9</sup> Iddrisu I., Subhes C B., op. cit.

<sup>10</sup> Ces objectifs globaux peuvent être considérés comme des objectifs normatifs (approche normative de DD)

généralement rédigés au sein des Nations Unies (NU): les objectifs du développement durable des Nations Unies (2015), Protocole de Kyoto (ONU, 1998<sup>11</sup>)...

Selon les NU, ces objectifs pour un développement énergétique durable peuvent être résumés et regroupés en 5 objectifs génériques<sup>12</sup>:

1. Réduire l'impact sur l'environnement,
2. Accroître l'utilisation de sources d'énergie propre,
3. Accroître l'efficacité énergétique,
4. Garantir l'accès à l'énergie,
5. Encourager la planification de la durabilité énergétique.

Ces cinq objectifs spécifiques seront utilisés pour développer et quantifier des sous objectifs spécifiques dans chacune des dimensions de durabilité. Cela permettra de regrouper les concepts et de mieux structurer la conception des indicateurs proposés pour mesurer la durabilité énergétique. Pour faciliter la définition initiale des objectifs en matière de durabilité énergétique, des objectifs plus détaillés sont ensuite définis ainsi que des sous objectifs (sous indicateurs) permettant de mesurer correctement ces objectifs initiaux. Ces objectifs seront la base de l'évaluation, puisque chaque objectif implique un certain ensemble d'indicateurs simples différents eux-mêmes représentés par des variables. Puisque l'indicateur composite ne sera qu'un agrégat de toutes les dimensions, objectifs, indicateurs individuels et variables utilisées.

La sélection des critères et des objectifs de durabilité énergétique peut être représentée sous forme d'une arborescence. Le concept de durabilité énergétique constituant le tronc de l'arbre et chacune de ses dimensions est représentée par une branche, elle-même pouvant se décomposer en sous-branches représentatives d'objectifs spécifiques à atteindre pour renforcer cette durabilité énergétique. Ces objectifs spécifiques finiront par les feuilles représentant les sous objectifs directement représentés par les indicateurs (les variables) proprement dits.

Cette représentation en arbre hiérarchique évoque certaines méthodes PAH (processus d'analyse hiérarchique) d'aide à la décision multicritères qui passent par la construction d'un arbre décisionnel. Comme l'ont remarqué à juste titre Bouyssou et al. (2000), le processus de construction d'indices est, en fait, un problème de décision multicritères. Celui-ci se compose essentiellement de deux ensembles. Un ensemble d'objectifs à atteindre ou de critères à prendre en compte (par exemple, la sobriété énergétique, limiter le réchauffement climatique, équité énergétique, etc.); et un ensemble fini de moyens alternatifs pour atteindre ces objectifs ou respecter ces critères (les différents modèles de systèmes énergétiques).

---

<sup>11</sup> ONU, 1998.

<sup>12</sup> ONU, 2015.

La décision consiste à ordonner les différents systèmes énergétiques sur la base, soit d'un critère unique constitué de l'agrégation des différents objectifs (ou critères), soit des différents critères appréhendés dans leur pluralité (approche multicritères), le tout en vue de faire ressortir l'alternative qui s'approche le plus de l'objectif de durabilité recherché.

La démarche consiste à remplir une matrice (systèmes énergétiques/critères de durabilité) constituée des valeurs attribuées à chaque système énergétique par rapport à chacun des critères de durabilité (voir l'annexe B). Ensuite, cette matrice sera interprétée en vue d'obtenir un classement international ou régional des différents systèmes énergétiques existants et d'identifier ceux qui satisfont au mieux les exigences requises en termes du DD (annexe E). Dans le cas d'une approche monocritère (ou agrégative), la matrice entière sera synthétisée en un vecteur comprenant une seule valeur par système énergétique (annexe D). Dans le cadre d'une approche multicritères, nous prendrons en considération la matrice (annexe E) tout entière.

Dans l'objectif de construire un indice de durabilité du système énergétique (IDSE) pour mesurer les performances d'un pays en termes du développement énergétique durable, nous devons sélectionner une série d'indicateurs simples (économiques, sociaux et environnementaux...), collecter les données relatives à ceux-ci pour un certain nombre d'années et examiner les performances des différents pays en termes de durabilité énergétique. En fonction de ces performances, elle pourra déterminer le système énergétique relativement plus durable. Il s'agit bien d'un problème de décision où les critères à prendre en compte sont les indicateurs qui seront éventuellement pondérés puis agrégés ou, à tout le moins, synthétisés en vue de classer les systèmes énergétiques (les pays).

#### **1.4-Choix du cadre d'indicateurs**

Cette étape consiste à passer des dimensions aux catégories d'indicateurs puis aux indicateurs, décomposer les différentes dimensions en indicateurs (annexe A). Le cadre d'indicateurs est une structure conceptuelle basée sur les principes de durabilité. Il est utilisé pour faciliter la sélection, le développement et l'interprétation des indicateurs. Ce cadre d'indicateur sera utile pour identifier : les lacunes dans les données disponibles, les catégories d'indicateurs et la compréhension globale du système. Dans notre cas, le cadre d'indicateurs est essentiellement une méthode permettant d'identifier les éléments clés du système énergétique et de définir des indicateurs associés à la durabilité (annexe A). À partir de ce cadre que les catégories (ou thèmes) d'indicateurs seront distinguées et identifiées pour chacun des cinq objectifs génériques de durabilité mentionnés précédemment. L'indice composite de durabilité est généralement obtenu en agrégeant un certain nombre d'indicateurs sélectionnés parmi un cadre donné.

À ce niveau aussi, il existe une abondance de propositions de cadres. Une multitude de cadres d'indicateurs sont identifiés pour structurer la sélection et la conceptualisation des

métriques de la durabilité. Des propositions de cadres développés et proposés par des organisations internationales (comme CNUDD, OCDE...) et d'autres propositions d'experts basées sur diverses valeurs fondamentales et théories du DD. Les différences entre ces propositions proviennent des différences des conceptualisations du DD et de ses dimensions (voir la section 1.3 ci-dessus). Chaque type de cadre, dans le côté théorique ou pratique, possède ses propres avantages et inconvénients. Un grand nombre de cadres existent, cinq types de cadres sont les plus couramment utilisés et évoqués dans la littérature :

- Cadre Pression-État-Réponse (PER) et ses variantes (cadre le plus ancien<sup>13</sup>, axé sur les objectifs et les causalités).
- Cadre thématique basé sur les domaines ; social, économique, environnemental (notre choix)<sup>14</sup>.
- Cadre fondé sur le capital (voir le chapitre 2).
- Cadre comptable intégré<sup>15</sup> (depuis 2003).
- Cadre axé sur le bien-être de l'homme ou des écosystèmes<sup>16</sup>.
- Cadre d'orientation de Bossel (cadre théorique, Bossel, 1977, 1999, 2001).

Aucun de ces cadres n'est juste ou faux, mais simplement plus ou moins adapté au cadre conceptuel et à l'outil d'évaluation en question.

Ces trois derniers cadres sont formés de la combinaison des cadres précédents en faisant recours à des méthodes comme la méthode intégrée d'évaluation, étude d'impacts, perspective systémique (comprendre l'adaptabilité, la résilience et la robustesse d'un système).

### **Sélection du cadre d'indicateurs approprié**

Notre choix pour la sélection d'indicateurs pour la construction d'indice de durabilité énergétique s'est porté évidemment sur le cadre thématique. Ce choix n'est pas un choix arbitraire. C'est le cadre le plus couramment utilisé à ce jour, car il est relativement simple à comprendre et à appliquer<sup>17</sup>. En fait, ce cadre présente des avantages considérables contrairement aux autres cadres qui présentent des inconvénients incommodes. En plus, ce cadre thématique est déjà largement utilisé pour évaluer la durabilité des systèmes,

---

<sup>13</sup> Ce cadre a été abandonné dans l'analyse de la durabilité en raison de sa nature inhérente, ambiguïtés et difficultés pour lier les indicateurs au cadre.

<sup>14</sup> L'approche par piliers (ou par dimension) est fondée sur une certaine exhaustivité, elle s'appuie sur une logique d'inventaire de ce qui doit être préservé dans chaque dimension du développement durable. Elle présente l'avantage d'être facile à mettre en œuvre car elle est conforme aux découpages disciplinaires et institutionnels traditionnels. De nombreux systèmes d'indicateurs ont été élaborés sur ce modèle. Decamps M, Vicard F., 2010.

<sup>15</sup> Sur la base de lesquels ; le PIB vert, l'épargne véritable et la richesse inclusive sont développés et calculés. Des indices considérés, par certains auteurs, comme des indicateurs de durabilité.

<sup>16</sup> Cadres axés sur le bien-être de l'homme ou des écosystèmes - Le bien-être a des aspects différents connotations et selon la perspective prise, le cadre peut se concentrer sur l'approche de bien-être économique (basée sur l'utilité dérivée de la consommation) ou une approche plus large, Perspective capturant les sentiments, le fonctionnement et les capacités des personnes. UNECE, Eurostat, OECD, 2013.

<sup>17</sup> Office fédéral du développement territorial, op. cit., P.82.

notamment par les organisations onusiennes en l'occurrence la CDDNU. La CDDNU qui utilisait depuis 1996 le cadre pression-état-réponse l'abandonne en 2001 en faveur du cadre thématique plus flexible qui se concentre plus explicitement sur les questions liées à la durabilité.

La CDDNU a développé un cadre thématique d'indicateurs, sans base de données, basé sur une structure hiérarchique : selon les quatre dimensions du DD (social, environnemental, économique et institutionnel). Un cadre régulièrement révisé. En 2007, il a identifié 14 thèmes, eux-mêmes divisés en 44 sous-thèmes, pour lesquels 96 indicateurs sont identifiés au final. L'AIEA a aussi développé un cadre thématique d'indicateurs, aussi sans base de données, qui ressemble fortement à celui de la CDDNU<sup>18</sup>.

De plus, les cadres d'indicateurs, par l'occurrence pour les indices composites, peuvent être descendants ou ascendants, mais une domination significative de l'approche descendante peut être remarquée dans les efforts de définir et de mesurer les indicateurs d'organismes internationaux ou nationaux. L'approche ascendante «Botton-up», dirigée par les parties prenantes (locales) qui part de détails pratiques sur le terrain représenté par des indicateurs (ex. données disponibles, fiables et facilement accessibles) vers la formulation théorique de cadre d'indice de durabilité, alors que l'approche descendante « top-down », contrairement à la précédente, dirigée par les experts, part d'une analyse conceptuelle purement théorique de l'indice de durabilité vers l'ensemble des indicateurs représentatifs de ce cadre conceptuel de l'indice de durabilité. Ainsi, la différence entre l'approche ascendante et descendante ressemble à celle de l'approche positive et normative en économie. L'approche ascendante décrit ce qui peut être mesuré en pratique, donc descriptive, et l'approche descendante décrit ce qui doit être mesuré pour une représentation fidèle de concept de départ, donc normative. Le descriptif donne une description d'une situation réelle, tandis que le normatif compare une situation réelle avec celle désirée<sup>19</sup>. Bien sûr, chaque approche a ses forces et ses faiblesses. Par conséquent, toute combinaison (intégration) des deux méthodes est possible et même fortement recommandée compte tenu de la disponibilité des données et de cadre théorique.

L'élaboration de systèmes d'indicateurs simples suit diverses approches<sup>20</sup> selon les finalités poursuivies. Quatre types d'approches plus ou moins structurées sont dégagés.

- L'approche procédurale; procédure préalable qui permet de retenir plusieurs choix d'indicateurs sans se soucier de la disponibilité et de la difficulté d'obtention des données.

---

<sup>18</sup> AIEA et al. 2008. P. 13.

<sup>19</sup> Waas T. et al.2014. P.5524

<sup>20</sup> Sur les critères de classification des indicateurs, dans de nombreux cas, les systèmes proposés s'appuient soit sur une classification par piliers soit sur une classification par enjeux (selon les objectifs stratégiques ou opérationnels des acteurs). Decamps M., Vicard F., 2010, p. 749-771.

- L'approche modèle théorique; tente d'exprimer l'état et la direction de changement en rendant explicites et mesurables des liens de causalité ou des flux. Approche moins pertinente, formulée au terme d'une période d'apprentissage.
- L'approche par capitaux permet de mesurer les progrès de la société.
- L'approche par objectifs permet d'évaluer et de mesurer l'atteinte des objectifs.
- L'approche par indices synthétiques ou composites ; cherche à agréger le maximum d'informations disponibles sous une seule métrique ou échelle de mesure.

Cette dernière approche permet de faire des comparaisons ou d'établir des classements entre pays et régions. Les indicateurs composites tentent de rendre compte par un chiffre unique des performances économiques, sociales et environnementales d'un territoire en agrégeant des éléments hétérogènes.

Les deux approches par capitaux et par objectifs se distinguent dans la littérature sur la durabilité<sup>21</sup>, mais pas autant que l'approche par indice qui reste la plus utilisée ces derniers temps notamment dans le domaine énergétique. L'approche par objectifs se révèle plus judicieuse pour mesurer et évaluer la durabilité énergétique<sup>22</sup>, puisqu'avant d'être un processus (démarche), la durabilité énergétique reste un objectif à atteindre par la société. Selon cette approche, les indicateurs visent à évaluer le niveau d'atteinte des cibles à court ou moyen terme qui sont précisées par ces stratégies, et à informer sur les tendances structurantes qui prévalent<sup>23</sup>. Ainsi, dans chaque dimension ou domaine, des objectifs chiffrés doivent être clairement visés pour indiquer la direction du changement souhaité. La majeure difficulté liée à cette approche est comment fixer des objectifs chiffrés clairs sous forme de seuils ou de normes<sup>24</sup> pour chacun des indicateurs de durabilité énergétique et dans chaque pays. En réalité, chaque pays exprime unilatéralement ses objectifs selon ses priorités propres. Aujourd'hui, même s'ils existent certains objectifs chiffrés à l'échelle mondiale, tels que la concentration des GES dans l'atmosphère, l'augmentation de réchauffement climatique de 2°C pour 2050..., ce n'est pas toujours évident, quelques anomalies s'imposent ; difficulté et absence totale d'objectifs chiffrés pour le reste des indicateurs notamment pour ceux de la dimension sociale. Il n'est guère facile de traduire une perspective normative en indicateurs mesurables et observables. Cela explique sans doute que l'approche par objectif soit rarement utilisée pour élaborer des listes d'indicateurs<sup>25</sup>.

---

<sup>21</sup> Gouvernement de Québec, 2009. P. 17.

<sup>22</sup> László P. et al., op. cit., P.21.

<sup>23</sup> Gouvernement de Québec, op cit, 2009. P. 20.

<sup>24</sup> Sachant que, par définition, les indicateurs sont normatifs et ce depuis les premières publications sur les indicateurs tel que Bauer et al., 1966. p. 1. «Des statistiques, des séries statistiques et toutes autres formes de preuves nous permettant d'évaluer où nous en sommes et vis-à-vis de nos valeurs et de nos objectifs ». par exemple la mesure multidimensionnelle de la pauvreté est réalisée en fixant d'abord les seuils de pauvreté pour chaque sous indicateur. Pour plus de détail, voir : Bibi S., El Lahga A. R., 2008.

<sup>25</sup> Boulanger P. M., 2004. P. 21.

## Section 2-Choix d'indicateurs

Une fois les dimensions sont décomposées en plusieurs variables, certaines seront retenues au titre d'indicateurs, soit parce qu'elles paraissent particulièrement pertinentes soit parce qu'elles se donnent plus aisément à la mesure. Si la sélection des indicateurs s'appuie souvent sur une appréciation des contraintes d'observation et de mesure, elle comporte néanmoins toujours des éléments théoriques.

Cette étape consiste à identifier une méthode permettant d'identifier les indicateurs et leurs objectifs. Les indicateurs choisis représentent le point de départ qui doivent assurer la représentativité aussi que possible des dimensions en particulier et de la durabilité en général afin d'avoir une vision intégrée de durabilité. Proposer une liste d'indicateur de durabilité énergétique revient à donner un portrait objectif et global de concept de DD dans le domaine énergétique.

Également au sein de cette étape, un autre dilemme se manifeste. Pour mesurer effectivement la durabilité, il faut le faire à partir de données et d'informations fiables déjà existantes. Pour rester dans l'objectivité, il faut construire un système d'indicateur qui s'appuie sur ce qui devrait être mesuré (approche descendante). Alors, l'indice composite sera construit selon ce qu'il peut déjà mesurer ou sur ce qu'il faut mesurer ? Sachant que cela met à risque le système d'indicateurs, de mesure et de suivi. Ainsi, en plus des difficultés précédentes liées à conceptualiser la durabilité, il sera difficile, s'il n'est pas impossible, de circonscrire de façon très concrète le concept et la démarche de DD par un système d'indicateur. C'est pour cette raison “ [*...le développement et l'interprétation des indicateurs sont davantage de l'art que de la science et font appel à la subjectivité à tous les stades de leur application est grande*]<sup>26</sup>.

### 2.1- Sélection d'indicateurs

Il est clair que cette étape est sûrement l'une des plus importantes, car un jugement subjectif est imposé. Le score final de l'IDSE sera largement dépendant de ce jugement. Ces faiblesses peuvent endommager la crédibilité de l'IDSE. Sachant que les indicateurs individuels sont souvent opportunistes et inachevés, ou sont basés sur des sources de données plus en moins incertaines.

Les indicateurs, de manière générale, répondent à certaines règles quant à leur nature, leurs fonctions et leur structuration.

Dans leur nature, les indicateurs de durabilité relèvent d'un processus délicat, à la fois technique et sensible<sup>27</sup>. Technique puisqu'ils doivent être construits dans le cadre d'un processus rigoureux. Sensible, afin de représenter de façon imagée des réalités complexes

---

<sup>26</sup> Morse et al. 2011.

<sup>27</sup> Gouvernement de Québec. Op. cit. P. 13.

telles que la durabilité énergétique. Les indicateurs véhiculent des informations qui alimentent des débats souvent sensibles pleins de choix éthique et de jugement de valeur. Il sera donc important de comprendre ce que l'outil calcule vraiment et à partir de quelles données<sup>28</sup>.

Un des premiers défis consiste à intégrer les différents points de vue sur la notion de durabilité énergétique dans la conception d'un ensemble d'indicateurs appropriés et pertinents<sup>29</sup>. Cela peut être réalisé via deux méthodes: (1) l'approche participative où les parties prenantes participent, expriment et discutent de leurs points de vue sur la durabilité énergétique. (2) l'approche experts rigoureuse où les scientifiques identifient des indicateurs selon la complexité et les connaissances sur la durabilité énergétique.

Comme l'objectif de notre travail est de comprendre et de modéliser la durabilité énergétique dans un contexte universitaire, il est évident que nous optons pour l'approche experts. Dans la pratique, cette dernière méthode, une fois la sélection établie par les experts, ces indicateurs peuvent être commentés et discutés par les non-experts<sup>30</sup>.

Un indicateur (et même un indice composite) comme étant une représentation imagée et simplifiée de la réalité doit répondre à quatre grandes fonctions :

- Scientifique ; évaluer l'état d'un phénomène et d'en mesurer les progrès,
- Politique ; identifier les priorités et mesurer les performances de l'action publique,
- Sociétale ; faciliter la communication et inciter à l'action,
- Multiple ; faciliter la comparaison avec d'autres entités.

Un indicateur, en plus d'être une statistique chiffrée, il doit avoir une fonction démonstrative, des qualités expressives afin de représenter et d'évoquer la réalité. Comme mesure de la réalité, il doit varier de façon cohérente avec l'état de cette réalité. Il doit permettre d'apprécier davantage les causes ou les résultats, de comprendre les tendances et les variations.

Il sera de même pour notre indice de durabilité du système énergétique (IDSE). Il visera de répondre ; dans l'idéal, à toutes ces quatre fonctions même si la priorité est à faciliter la comparaison internationale des systèmes énergétiques et, dans la mesure de possible, évaluer l'état de la durabilité du système énergétique d'un pays, et cela en réponse aux exigences fixées par la science de durabilité.

La littérature précise que les approches et les systèmes d'indicateurs du DD se structurent sous différentes formes : sectorielle, globale et hiérarchique.

Une approche hiérarchique à deux ou trois niveaux (voir annexe A.2) assure une cohérence d'ensemble tout en répondant à différents besoins d'information. Elle facilite la prise en compte des priorités et la présentation cohérente des différents niveaux d'indicateurs.

---

<sup>28</sup> Office fédéral du développement territorial, op. cit., P. 75.

<sup>29</sup> Keirstead J., 2008.

<sup>30</sup> Le gouvernement Québécois a organisé des consultations publiques tenues en 2005 et en 2007 à l'occasion des consultations préalables à la Loi et à la stratégie gouvernementale de développement durable 2008-2013.

Les principales structures appliquées aux systèmes d'indicateurs répertoriés sont :

- structure par thèmes ou domaines (énergie, santé, éducation, etc.);
- structure par objectifs (transition énergétique, réduction de la pauvreté, etc.);
- structure à partir des dimensions du développement durable.

Puisque, dans notre travail, l'objectif est de mesurer la durabilité énergétique, la structure par les dimensions de durabilité sera privilégiée<sup>31</sup>. Sachant que, la totalité de la littérature consultée sur les indices composites fait recours à cette structure. Cette structure, plus explicite, facilitera aux lecteurs de saisir notre choix en ce qui concerne l'approche de durabilité, méthodologie et outils d'évaluation. Elle facilitera aussi la tâche à nous, plus tard, dans les étapes statistiques ; normalisation et pondération.

Trois niveaux d'indicateurs permettront d'alimenter le suivi de la durabilité.

- Indicateurs qui reproduisent les engagements, ils évaluent la progression des efforts entrepris au niveau de variables d'action (% des renouvelables, % d'électrification...),
- Indicateurs de suivi d'objectifs, exprimés le plus souvent en niveau d'activité,
- Indicateurs de performance, ils mettent en vue les résultats obtenus avec les moyens engagés exprimés sous forme de ratios du type moyens/produits (intensité énergétique...).

Ces trois niveaux d'indicateurs sont complémentaires et alimenteront notre système d'indicateur de durabilité énergétique. Comme déjà mentionné dans la section 1 de présent chapitre, l'objectif de la présente thèse est de construire un indice de durabilité énergétique récapitulatif et représentatif de la performance des pays dans le domaine de l'énergie afin de faciliter le classement et la comparaison de ces systèmes énergétiques à l'échelle internationale. Ainsi, les sous-indicateurs sur lesquels l'IDSE sera calculé seront par évidence davantage des indicateurs de performance que d'indicateurs d'objectif ou d'engagement.

Dans la base de données de l'IDSE, les indicateurs normalisés de base seront privilégiés par rapport aux autres catégories d'indicateurs. Statistiquement, l'indicateur normalisé n'est qu'un indicateur *structurel*, *d'intensité*, *de conséquence*... exprimé en proportion d'une autre grandeur représentative d'indicateur de causalité (indicateur de performance). Par conséquent, la majorité des indicateurs qui seront choisis pour calculer l'IDSE seront exprimés en proportion de PIB ou en proportion des habitants... (Voir annexe A.1). Ce privilège donné aux indicateurs normalisés peut être expliqué par la grande significativité de l'information véhiculée par ce type d'indicateur et surtout par la facilité de faire une comparaison directe entre deux régions sans tomber dans l'ambiguïté liée à la disparité entre les pays. En termes d'énergie, il est clairement insignifiant de comparer directement deux pays dont la taille de leurs économies et/ou de leurs populations sont différentes. Par exemple, comparer Malte et l'Algérie en termes d'ATEP sera bluffant. Alors

---

<sup>31</sup> Voir par exemple, Decamps M., Vicard F., 2010.

que, comme le montre le tableau ci-dessous, réaliser une comparaison en utilisant un indicateur normalisé de base selon la consommation d'énergie par habitant ou par unité de PIB sera plus intéressant.

**Tableau 4.1: ATEP, comparaison entre Algérie et Malte**

Pays	Population (million)	PIB (billion 2010 USD)	ATEP (Mtep)	ATEP/pop. (tep/capita)	ATEP/PIB (tep/000 2010 USD)
Algérie	41.3	199.2	55.5	1.34	0.28
Malte	0.5	12.6	3.0	1.46	0.05

Source: Élaborée par nos soins à partir, AIE, 2019. P. 60.

D'une manière coutumière, comme dans le cas de l'AIEA, les indicateurs énergétiques liés à l'utilisation de l'énergie, à la sécurité énergétique... sont représentés dans la dimension économique. Dans le cadre de la durabilité, ces indicateurs peuvent être représentés dans les différentes dimensions de la durabilité. Dans la littérature, toutes les catégories d'indicateurs d'énergie sont utilisées pour mesurer la durabilité, mais la préférence est pour les indicateurs normalisés. Les indicateurs énergétiques sont définis à partir d'une combinaison de données économiques de base, d'activités sociales, de caractéristiques technologiques et de mesures ou d'estimations de la production ou de la consommation d'énergie. Les indicateurs énergétiques représentent les outils de liaison de base entre les objectifs énergétiques et la durabilité dans l'élaboration d'une politique de DD.

Les indicateurs de durabilité énergétique sont des indicateurs qui fournissent des informations sur l'état, la dynamique et les facteurs sous-jacents du système énergétique. Généralement, les indicateurs deviennent des indicateurs de durabilité lorsque leur dimension temporelle, leurs limites ou leurs objectifs leur sont associés<sup>32</sup>. Pour qu'un indicateur soit utile, il doit exister une référence établie, un repère, ou un seuil qui représente un état normal, un comportement souhaité ou un objectif à atteindre<sup>33</sup>. Les niveaux de référence ou les valeurs cibles des indicateurs doivent être déterminés sur la base de la connaissance pertinente du système en cause ou de la connaissance partagée compréhension de la communauté que le système implique. Malheureusement, il est difficile d'associer à chacun des nombreux indicateurs énergétiques des seuils de référence pour un état durable.

L'indicateur simple ne reflète que certains aspects du système énergétique. Cette anomalie nous pousse à sélectionner plus qu'un seul indicateur, donc un tableau de bord, pour constituer une image complète de phénomène complexe. Il existe certains indicateurs plus intégratifs que d'autres, et aucun ne permet d'évaluer intégralement les multiples dimensions de la durabilité énergétique. D'autre part, afin de réduire le nombre d'indicateurs ou de refléter les caractéristiques d'intégration d'un système énergétique, les indicateurs sont souvent

<sup>32</sup> Meadows D., 1998.

<sup>33</sup> Jianguo Wu, Tong Wu, op. cit.

combinés via des manipulations mathématiques pour produire des indices. Par définition, un indice est un agrégat de plusieurs indicateurs<sup>34</sup>.

## 2.2-Critères de sélection d'indicateurs

Il devient immédiatement évident qu'aucun indicateur tout seul ne parvient à saisir tous les aspects de concepts complexes tels que la durabilité ou d'un système complexe tel que le système énergétique. Cependant, un ensemble d'indicateurs choisis et analysés selon certains critères décrira mieux les concepts et les systèmes complexes. La détermination des aspects d'un système à inspecter et des variables à utiliser pour évaluer la qualité de ces aspects est liée à notre compréhension de la durabilité. Quoi mesurer ? Et quoi valoriser ?<sup>35</sup>.

Un élément important du choix des indicateurs consiste à définir les critères en fonction desquels les indicateurs potentiels seront appréciés<sup>36</sup>. La sélection de critères dépend des objectifs de l'évaluateur, mais pas uniquement. Les principes et les normes utilisés dans ce processus de sélection des indicateurs reflètent nos visions du monde sur ce qui devrait être soutenu et valorisé.

La portée de l'indice est liée à la prise en compte du champ de l'enquête selon le critère de choix du nombre d'indicateurs requis. Le nombre d'indicateurs essentiels pour un projet dépend du cadre dans lequel l'évaluation est réalisée ; la connaissance experte, les parties prenantes et la capacité à comprendre différents types de données. Dans notre travail, l'un des principaux objectifs est de sélectionner des indicateurs qui récapitulent le système énergétique et éclairent la complexité de la durabilité de celui-ci, tout en simplifiant les choses. Pour une approche holistique, un grand nombre d'indicateurs peut être nécessaire. Mais, pour des raisons de simplification, un ensemble réduit d'indicateurs de base serait utile<sup>37</sup>.

Les indices ont des soucis de fiabilité. Plus l'indice vise large, plus il est probable que les données seront indisponibles. De même, plus les unités de mesure sont diverses, plus la disponibilité des données changera également.

---

<sup>34</sup> En réalité, la distinction entre un indicateur et un indice peut être difficile car ils regroupent souvent les mêmes variables, la différence est tout simplement une question de degré d'agrégation. Ainsi, dans la littérature, l'expression «indicateurs de durabilité» inclut souvent à la fois des indicateurs et des indices de DD.

<sup>35</sup> Meadows D., op. cit. le dit bien: «Non seulement nous mesurons ce que nous valorisons, nous en venons aussi à valoriser ce que nous mesurons ». Il affirme que «Les indicateurs proviennent de valeurs (nous mesurons ce qui nous tient à cœur), et elles créent des valeurs (nous nous soucions de ce que nous mesurons) ».

<sup>36</sup> Keirstead J., op. cit.

<sup>37</sup> Le problème principal pour un IC provient de l'atomisation des indicateurs censés faire varier le score. Ainsi, la production de 200 indicateurs comptant pour 0,5% chacun, produit une illusion d'exhaustivité. Or, ce n'est pas en additionnant une multitude d'apports négligeables que nous construisons un apport pourvu de sens. L'effet d'atomisation est encore amplifié par le fait que les indicateurs peuvent être disparates ce qui augmente par ailleurs le risque de « neutraliser » le score en lui faisant perdre toute pertinence, « trop d'informations tue l'information ».

Les indicateurs qui sont mesurés et calculés en permanence permettent de suivre les tendances de la durabilité à long terme d'un point de vue rétrospectif<sup>38</sup>. Comprendre ces tendances permet de faire des projections à court terme et de prendre des décisions pertinentes pour l'avenir.

La réalisation de cet objectif nécessite un nombre limité d'indicateurs simples et faciles à comprendre. Dans l'intention de prendre pleinement en compte le développement national et les politiques locales dans le domaine énergétique pour construire un indice de durabilité énergétique fiable, les indicateurs doivent posséder les caractéristiques suivantes<sup>39</sup> :

- Pertinence pour les politiques: directement liés aux politiques actuelles ou futures.
- Intégralité: les indicateurs devraient permettre une compréhension immédiate et complète de domaine énergétique.
- Facilité la collecte des informations: accès facile aux informations pertinentes.
- Facilité la distinction et la simplification: facilement compréhensibles pour les citoyens sans connaissances professionnelles et faciles à appliquer.
- Quantifiabilité: doivent être basés sur des données pour lesquelles des informations abondantes et de haute qualité sont disponibles.
- Scientificité et efficacité: doivent permettre de déterminer facilement si un objectif est atteint, sur la base d'une observation raisonnable et sans confusion due à une interférence statistique ou bien modifiée en raison de variations mineures.
- Capacité à refléter avec sensibilité le changement: doivent rester sensibles aux changements temporels et spatiaux.

Dans notre travail, un nouveau système d'indicateurs de durabilité composé de 13 indicateurs simples est proposé. Un système basé sur le cadre thématique structuré en trois dimensions selon les critères de durabilité établis par les Nations Unies (voir les annexes A et B).

La perception de la durabilité d'un système est largement influencée par le choix des indicateurs et vis versa. Sans oublier, comme déjà mentionné (fin chapitre 2) que la subjectivité ne peut être éliminée de la mesure de la durabilité. En étudiant les critères de sélection d'indicateurs, nous abordons le cœur du projet d'évaluation, parce que c'est dans cette étape que se jouent à la fois la difficulté et l'efficacité de l'IC comme métrique de durabilité. Les forces et les faiblesses des IC proviennent en grande partie de la qualité des sous-indicateurs choisis. Théoriquement, ces indicateurs devraient être sélectionnés sur la base de leur pertinence : solidité analytique, opportunité, accessibilité, etc. Bien que le choix des indicateurs doive être guidé par l'objectivité de cadre théorique, le processus de sélection peut être assez subjectif, car il peut ne pas y avoir un seul ensemble définitif d'indicateurs.

---

<sup>38</sup> Ce type d'indicateurs peut être utilisé à la fois pour reconstituer les actions historiques et pour les prévisions et l'aide à la décision.

<sup>39</sup> Yung-Jaan L., Ching-Ming H., op. cit.

Dans la pratique, il existe énormément de contraintes qui limitent la capacité du constructeur à choisir les indicateurs, parmi celles-ci, nous citerons celles qui ont restreint nos choix : le manque de données pertinentes, la rareté (difficulté) d'instruments quantitatifs comparables au niveau international et discontinuité de série chronologique de données<sup>40</sup>.

Dans la pratique, plus l'IC vise large, plus il est probable que les données seront indisponibles. De même, plus les unités d'évaluation sont diverses, plus la disponibilité des données changera également. C'est ainsi que dans la plupart des projets d'évaluation d'un phénomène à l'échelle mondiale, plus d'une cinquantaine de pays seront systématiquement exclus de l'analyse, notamment des PED. Il y aura de moins en moins de pays avec des données disponibles en augmentant le nombre d'indicateurs, comme le cas de la Mauritanie dans ce présent travail.

Dans la littérature, il existe une abondance et une diversité de proposition de critères de sélection d'indicateurs. Certains de ces critères sont déjà mentionnés ci-dessus. Pour plus d'approfondissement, ces références bibliographiques peuvent être très utiles : Meadows, 1998 ; Bell et Morse, 2003; Hak et al. 2007; ONU, 2007. Il existe des directives générales et des critères spécifiques pour les indicateurs. Un bon indicateur doit présenter certaines qualités, telles que : objectif, quantifiable, exhaustif, fiable, sensible, etc. Sachant qu'il est même difficile de rassembler les trois premières qualités dans un seul indicateur.

Les principes de Bellagio<sup>41</sup>, plus connus sous le nom de Bellagio STAMP<sup>42</sup>, figurent parmi les plus recommandés. Un nouvel ensemble de principes directeurs pour mesurer et évaluer le progrès vers la durabilité. Il est développé par un groupe international d'experts réunis à Bellagio, en Italie en 1996 et il est révisé plusieurs fois depuis. Comme déjà mentionnés à la fin de deuxième chapitre, ces principes peuvent servir d'instructions pour l'évaluation de la durabilité, y compris pour la sélection et la conception des indices composites. Les principes de Bellagio de 2012 sont axés sur ces huit aspects de l'évaluation de la durabilité:

- 1- Vision directrice, vision et objectifs clairs,
- 2- Considérations essentielles; vision intégrée puisqu'il y a interdépendance,
- 3- Portée adéquate; cadre spatial étendu et temporel long,
- 4- Cadre et indicateurs; méthode de mesures standards,
- 5- Transparence; dans les choix, les hypothèses, les méthodes et les incertitudes,
- 6- Communications efficaces; données disponibles, détaillées et fiables que pratiques,

---

<sup>40</sup> En cas de rupture de données (valeurs absentes), des méthodes formalisent leur imputation, telles que la substitution moyenne, la méthode de corrélation, la projection de série de temps ou technique de régression en fonction de la nature des indicateurs non renseignés. Des méthodes qui ne sont pas efficaces dans tous les cas puisque nous avons trouvé de grandes difficultés à les appliquer au cas de la Mauritanie.

<sup>41</sup> László P. et al. op. cit.

<sup>42</sup> Sustainability Assessment and Measurement Principles

- 7- Large participation; refléter les opinions du public,
- 8- Continuité et capacité ; réactivité au changement et amélioration des capacités.

L'OCDE (2003<sup>43</sup>, 2008<sup>44</sup>) a aussi identifié les critères suivants : 1) pertinence politique et utilité pour les utilisateurs (représentatif, facile à comprendre, comparable aux données d'études précédentes et à d'autres régions); 2) solidité analytique, fondée sur des principes scientifiques et théoriques établis, capable de se lier aux efforts de modélisation; et 3) mesurabilité, les données sont facilement disponibles même dans les pays en développement, fréquemment mises à jour et abordables.

Selon la littérature consultée, les critères et la méthodologie réalisés par l'OCDE sont largement admis et utilisés. Ils représentent une sorte de référence pour un nombre non négligeable d'indices, tel que l'Indice arabe de l'Énergie future (AFEX) Efficacité énergétique<sup>45</sup>.

En plus des critères précédents, deux orientations (critères) supplémentaires sont ajoutées par le gouvernement québécois<sup>46</sup> : 1) bien que l'atteinte de résultats soit essentielle, l'ensemble des mécanismes et d'indicateurs doit d'abord permettre de mesurer la cohérence accrue de la démarche gouvernementale; 2) de façon à consacrer la majorité des efforts aux actions plutôt qu'à la reddition de comptes, les mécanismes doivent être simples et légers.

De ces diverses propositions de critères, nous comprenons que la tâche de sélection d'indicateurs se révèle très complexe et très laborieuse. Le respect des différents critères n'est pas chose facile. La qualité et la pertinence de l'IC sont intimement liées au respect d'un nombre important de ces critères. Parmi ces critères essentiels, nous retiendrons ; la simplicité, méthode de mesures standards, déjà existant, régulièrement publiés, la transparence, l'objectivité et surtout la disponibilité de données fréquemment mises à jour et abordables pour un nombre important de pays. Ce dernier critère s'est révélé un facteur très limitant de choix d'indicateurs simples, notamment dans la dimension sociale. En effet, il est très difficile de retrouver un indicateur de durabilité énergétique qui peut satisfaire les nombreux critères liés aux données à savoir : disponibilité, facilité d'accès, mise à jour périodique.

La sélection des indicateurs à utiliser comme éléments constitutifs de l'IDSE doit répondre à des critères de pertinence et d'opérationnalité. Sans viser l'exhaustivité, ces indicateurs doivent fournir une description aussi compréhensive que possible du champ couvert par l'indice en mettant l'accent sur les aspects qui influencent le plus l'évolution de la durabilité du système énergétique. Le choix des composants doit aussi répondre à un souci

---

<sup>43</sup> OECD, 2003.

<sup>44</sup> OCDE, 2008.

<sup>45</sup> Myrsaliev N., Brit S., 2013.

<sup>46</sup> Gouvernement de Québec, 2009. Op. cit.

d'esprit de la part des utilisateurs de l'IDSE. Dans ce sens, il faut éviter d'utiliser des indicateurs dont l'interprétation exige des connaissances scientifiques poussées, si l'IDSE est destiné aux non-spécialistes. Finalement, le choix des indicateurs doit également être dicté par des considérations d'ordre pratique, à savoir : la disponibilité de bases de données accessibles permettant leur calcul à un coût raisonnable en vue des comparaisons dans le temps et/ou dans l'espace auxquelles est destiné l'indice.

Conventionnellement, nous distinguons deux types de données nécessaires à la construction d'IC. Premièrement, les données primaires récoltées directement par les experts via des enquêtes, des observations ou des expériences. Ce type de données ne peut être utilisé dans le cas de l'IDSE puisque les données que nous recherchons doivent être recensées à l'échelle mondiale et surtout durant une série temporelle assez longue afin de pouvoir évaluer les performances en matière de durabilité énergétique à l'échelle mondiale et, dans la mesure de possible, rendre explicites les tendances durant une période temporelle longue. Deuxièmement, les données secondaires, disponibles avant et surtout après l'étude, proviennent des institutions de statistiques ou des organisations internationales. Ce deuxième type, à qui nous nous intéressons, a l'avantage de procurer facilement, périodiquement des données fiables et homogènes avec un coût presque nul pour l'évaluateur. Il a l'inconvénient que les données, selon les préférences de ces institutions, n'existent que de manière intermittente pour un nombre restreint d'indicateurs. Dans certains cas, comme le nôtre, elles ne permettent pas de répondre à nos besoins spécifiques.

Dans ce présent projet, l'intérêt est orienté vers l'utilisation des rapports annuels publiés par des organisations internationales telles que: AIE, AIEA, Banque Mondiale, BP. Des sources jugées plus fiables. Ces rapports annuels sont excellents pour un indice temporel, comme dans notre cas, suivi de l'IDSE dans le temps. Ainsi, les scores et les rangs des pays seront mesurés annuellement afin d'apprécier les évolutions des performances dans l'avenir.

Dans la pratique, comme le mentionne Booyesen, 2002<sup>47</sup>, le processus de sélection des indicateurs et des variables peut être ad hoc, motivé par des considérations politiques ou idéologiques, ou simplement déterminé par la disponibilité et l'exactitude des données. Évidemment, dans notre travail, nous n'allons pas faire exception aux précédentes déclarations de Booyesen. Tout en restant fidèles à la conception théorique et aux objectifs de la durabilité énergétique, nous sélectionnerons les indicateurs dont les données sont publiées dans les rapports annuels des organisations internationales citées précédemment. Ainsi, la disponibilité et la fiabilité des données limiteront et détermineront nos choix d'indicateurs (voir annexe A.1).

Dans notre travail, nous préférons calculer l'IDSE pour un échantillon de pays qui représente certaines disparités en matière énergétique, économique, démographique,

---

<sup>47</sup> Booyesen F., 2002.

climatique... Ces divergences sont essentielles ; premièrement, afin de représenter les différences entre les systèmes énergétiques distincts, deuxièmement, afin que l'IDSE soit appliqué aux configurations différentes des systèmes énergétiques déjà existants, une façon d'avoir une idée sur la sensibilité de l'IDSE. Puisque parmi les qualités d'indice, nous retrouvons la capacité à refléter avec sensibilité le changement et les différences: un indice doit rester sensible aux changements temporels et spatiaux et aux dimensions de durabilité.

L'IDSE comme mesure de durabilité sera calculé et interprété pour un échantillon de systèmes énergétiques. Notre échantillon regroupe certains pays du bassin méditerranéen, groupe de dialogue 6+6 (5+5 +Égypte+Grèce). Des pays à qui nous rajoutons les USA et la Chine, deux pays les plus pollués et énergivores de notre époque (voir l'annexe B). Dialogue 5+5 est un groupe non officiel qui a comme objectif d'engager un processus de coopération régionale (notamment en matière d'environnement, d'énergie et du DD) entre cinq pays de l'Europe occidentale et les cinq pays de l'union maghrébine<sup>48</sup>. Suite au manque flagrant de données statistiques fiables sur la Mauritanie, nous l'avons écartée de l'échantillon de pays. Le choix de cet échantillon est motivé par la diversité existante entre ces différents pays<sup>49</sup>, des pays dont les niveaux de progrès sont très hétérogènes. Les échanges énergétiques sont intenses. Les pays de la rive sud de la méditerranée sont principalement des pays producteurs et exportateurs d'énergie fossile avec des niveaux de développement très variés. Les pays de la rive nord sont parmi les pays les plus consommateurs et importateurs d'énergie fossile avec un progrès technique non négligeable. Un échantillon de pays dont les niveaux de progrès sont très hétérogènes. La plupart des entreprises d'exploitation des hydrocarbures dans la rive sud viennent de l'Europe. La rive nord se distingue aussi par son engagement sérieux pour une transition énergétique durable, des investissements énormes dans la maîtrise énergétique et dans la promotion des énergies renouvelables. Sans oublier que certains pays font recours à l'énergie nucléaire. Ainsi, nous pouvons dire que cet échantillon peut être considéré comme représentatif de dissemblances des systèmes énergétiques à l'échelle mondiale, des hétérogénéités dans : le mix énergétique, le progrès technique, les réserves d'énergies primaires, niveaux et modes de vie... Les pays de l'échantillon appartiennent à trois groupes de niveaux de revenus différents : 2 pays à revenu élevé (USA, France) ; 5 à revenu intermédiaire ou les émergents (Chine) et 5 à revenu faible (Algérie, Maroc, Tunisie, Libye Égypte).

Les sources de données statistiques, comme déjà mentionnées, proviennent de la base de données et des rapports annuels de ; AIE, AIEA, Banque Mondiale, BP<sup>50</sup>. Pour les données

---

<sup>48</sup> [www.fiveplusfiveihe.org](http://www.fiveplusfiveihe.org), consulté le 21/11/2019

<sup>49</sup> Chacun des pays de l'échantillon est confronté, à différents degrés, à une situation différente.

<sup>50</sup> Il est préférable pour un indicateur donné de prendre des données fournies par un seul organisme, il peut y avoir des chevauchements dans la collecte, ou bien les données peuvent être recueillies dans des unités différentes et sur des bases différentes. Les pays et les organismes étant tous différents, chacun aura sa propre approche au sein d'un indicateur et il l'utilisera en fonction de ses priorités et ses besoins, et pourra même en élaborer d'autres selon les spécificités de l'offre et de la demande d'énergie.

brutes, nous retenons pour l'année la plus récente pour laquelle les données sont disponibles pour tous les sous-indicateurs choisis et dans tous les pays de l'échantillon. Certaines données pertinentes peuvent ne pas exister du tout et certaines peuvent être difficiles à trouver. En conséquence, certains indicateurs pertinents de la durabilité énergétiques, notamment sociaux, sont écartés à défaut de disponibilité de données. À l'exception de la Banque Mondiale, toutes les bases de données publiées en 2019 proposent des données récentes jusqu'à 2018. En effet, les Indicateurs de développement dans le monde les plus récents, publiés par la Banque Mondiale, sont publiés en octobre 2019. Le problème est que ces indicateurs fournissent les données de 2014 comme les plus récentes données. Pour cette raison, nous sommes contraints de nous intéresser à la période entre 2010 et 2014, soit une série chronologique de cinq ans. Cette période relève certains désagréments. Premièrement, nous devons rappeler que l'analyse ou l'évaluation de l'efficacité des politiques, en l'occurrence la transition énergétique, se fait à très long terme afin de retracer l'évolution, tendances et si les objectifs sont atteints... cette période vient juste au début d'une crise économique mondiale. Une crise qui a touché lourdement les économies mondiales et par conséquent les systèmes énergétiques à l'échelle mondiale. Nous attendons à ce que les résultats seront, d'une manière ou d'une autre, différents (exceptionnels) par rapport à la tendance (historique) générale globale.

Afin d'éviter un certain déséquilibre entre les chapitres et que le texte principal soit excessivement long, la structure, les indicateurs et les données correspondantes sont regroupés dans les annexes A et B.

Les IC sont souvent un compromis entre l'exactitude scientifique et les informations disponibles à un coût raisonnable<sup>51</sup>. Des indicateurs très pertinents sont laissés de côté faute de disponibilité de données. Certainement, ces indicateurs non incorporés dans l'IDSE fragilisent la crédibilité et la conformité de l'indice en tant que mesure de durabilité. Parmi ces indicateurs, nous pouvons citer les données liées à:

- Emploi dans : le secteur énergétique, les ENR et les énergies conventionnelles...
- Tarification énergétique : Prix, part des subventions<sup>52</sup>, stabilité des prix...
- Investissements dans : le domaine énergétique, les ENR, la R&D dans la dépollution et l'efficacité énergétique...
- Coûts d'approvisionnement en énergie : transport, coût d'exploitation de ressources primaire, coût de traitement des déchets surtout nucléaires...
- Subventions aux ENR, mesures d'efficacité et d'économie d'énergie...
- Part réelle de revenu consacré à l'énergie par les ménages,
- Déforestation liée à l'approvisionnement en énergie non commerciale,

---

<sup>51</sup> Saisana M., Tarantola S., 2002. P. 5.

<sup>52</sup> La subvention lourde des prix de l'énergie devrait attirer l'attention des décideurs politiques. A l'inverse des autres barrières, les subventions énergétiques constituent un obstacle à l'efficacité énergétique, et leur présence entraveront toujours l'efficacité des efforts menés pour améliorer l'efficacité énergétique. En effet, quand les prix de l'énergie sont subventionnés, les gouvernements doivent fournir plus d'efforts pour promouvoir l'efficacité énergétique.

- Gouvernance (cadre politique et législatif), planification (Stratégie énergétique), capacités institutionnelles, incitations financières...

Comme il est facile de constater que ces indicateurs précédents sont liés à l'efficacité, à l'impact environnemental et surtout à l'acceptabilité socio-économique, des éléments très précieux pour la durabilité énergétique. Ainsi, nous pouvons affirmer, sans nous tromper, que la disponibilité et l'accès aux données limitent, s'ils n'handicapent pas, la capacité d'évaluer la durabilité. Des lacunes qui amenuiseront la qualité de l'IDSE en tant que métrique de DE. D'ailleurs c'est pour ces raisons-là que l'Agenda 21 insiste à ce que le développement de systèmes statistiques soit une étape non négligeable de mise en œuvre du DD.

### **Section3- Partie méthodologique**

Mesurer et évaluer la durabilité énergétique d'un pays est un processus long et très complexe. Il commence par la détermination des indicateurs simples et des calculs qui agrègent ces indicateurs à tous les niveaux avant que le dernier niveau, le score, ne soit atteint. Ainsi, le niveau final montre le niveau de l'indice de durabilité du système énergétique (IDSE). Le calcul de l'IDSE est un processus continu en plusieurs étapes. Chaque étape impose de faire des choix non faciles. Ces différents choix, notamment dans cette partie méthodologique, peuvent influencer sérieusement les résultats des évaluations et peuvent même limiter la portée et l'étendue des données collectées pour une évaluation des systèmes énergétiques. En fait, les étapes statistiques (normalisation, pondération et agrégation) font souvent intervenir la subjectivité. En effet, dans ces étapes qui suivront, il n'y a pas d'évidence évidente<sup>53</sup>. Si ces choix ne sont pas soigneusement réfléchis, les résultats de l'évaluation peuvent être trompeurs ou, dans les cas extrêmes, tout simplement faux.

#### **3.1-Normalisation**

Les méthodes de normalisation ont pour objectif de transformer individuellement chacune des valeurs des indicateurs exprimées par des valeurs hétérogènes en une unité de mesure commune, ce qui rend ensuite possibles la pondération et l'agrégation des indicateurs.

L'étape de normalisation consiste à transformer les valeurs des indicateurs afin d'unifier les unités de mesure et pour les rendre homogènes avant de les agréger. Les données de l'ensemble des variables peuvent être ramenées à une mesure commune ou équivalente ou de présenter un IC neutre c.-à-d. exempt de toute unité de mesure. Ce dernier cas est le plus courant puisqu'il fournit des IC dont les classements sous-jacents sont stables.

Lors de la construction d'IC à partir d'un ensemble d'indicateurs, il est vraisemblable que des problèmes d'hétérogénéité d'unités de mesure et de valeurs extrêmes apparaissent. Les valeurs d'indicateurs ne peuvent être ni agrégées ni comparées. Dans ce cas, les indicateurs devront être normalisés, transformés. Les transformations qui seront appliquées

---

<sup>53</sup> Saisana, M., Tarantola, S., op. cit. P. 5.

auront donc un effet sur l'interprétation des poids dans la construction du composite. Premièrement, la normalisation peut exprimer la durabilité d'indicateurs individuels en utilisant des chiffres clairs et simples, tout en facilitant les comparaisons entre les indicateurs et les régions. Deuxièmement, comme les indicateurs sont des données numériques correspondant à différentes caractéristiques et unités, l'unification des valeurs d'indicateurs est la première tâche méthodologique à accomplir pour effectuer des comparaisons.

Deux approches sont disponibles pour ramener les indicateurs choisis à un dénominateur commun : une approche monétaire, d'une part, et une approche physique, d'autre part. L'approche monétaire, néoclassique, consiste à convertir tous les indicateurs exprimés en quantités physiques en valeurs monétaires à l'aide de prix de référence. Cette approche relève donc des domaines d'application de l'analyse coûts-bénéfices, c'est-à-dire de l'agrégation de biens et dommages relevant de la sphère marchande où l'évaluation monétaire peut être réalisée par le biais de méthodes fiables d'évaluation économique des biens et services non marchands. L'approche physique, d'économie écologique, peut s'appuyer sur la réduction, la conversion ou la combinaison des indicateurs, en fonction de la complexité du phénomène à décrire et de l'homogénéité des composantes à transformer.

Nous optons pour la normalisation physique qui s'applique lorsque le phénomène à décrire est trop complexe et les indicateurs sélectionnés sont trop hétérogènes pour pouvoir faire l'objet d'une réduction ou d'une conversion. Nous transformons alors les composantes de l'indice en grandeurs sans unités de mesure. Ci-dessous, les méthodes les plus utilisées pour effectuer une telle transformation.

Dans la littérature, de nombreuses méthodes de transformation physique existent et permettent d'obtenir des échelles de référence. Parmi ces méthodes, nous citons : Ranking (classement), méthode centrée réduite ou la normalisation à des z-scores, ratio/pourcentage du moyen, pourcentage du leader, au-dessus & au-dessous du moyen, différences annuelles, transformation logarithmique, méthode par la distance à une référence ou le Denominator-Based Weight (DBW), etc. Évidemment, cette liste, déjà longue, n'est pas exhaustive. Notre objectif ici n'est pas d'étudier et d'analyser ces différentes méthodes. Chaque méthode a ses propres avantages et inconvénients, liés généralement aux pertes d'information. Le choix de la méthode la plus appropriée sera basé sur les propriétés des données et l'objectif de construction de l'IC<sup>54</sup>.

### **Sélection de la méthode de normalisation appropriée**

Évidemment, chacune des méthodes précédentes est complètement différente d'une autre et par évidence les résultats sur les valeurs des indicateurs après normalisation sont complètement différents<sup>55</sup>. Comparer deux pays selon les scores de deux IC réalisés par

---

<sup>54</sup> Nardo et al., op. cit.

<sup>55</sup> OCDE, 2008. Op. Cit. P.87

l'utilisation de deux méthodes de normalisation différentes n'aura aucune utilité puisque l'échelle des références n'est pas la même. C'est pour cette raison, dans l'objectif de comparer notre IDSE aux autres indices composites de durabilité énergétique déjà existants, nous préférons opter pour une méthode plus courante et plus utilisée : la normalisation par la méthode Min-Max, également appelée redimensionnement continu<sup>56</sup>.

Dans la pratique, la normalisation par la méthode Min-Max, souvent appelée la mise à l'échelle d'entités, est de loin la méthode la plus utilisée, notamment dans la normalisation des indicateurs à vocation internationale comme l'IDH et l'IPH... La normalisation Min-Max conserve la distribution de score original à un facteur d'échelle près, donc efficace pour un IC qui s'intéresse davantage à classer les pays selon leurs performances. Cette méthode n'est pas robuste puisqu'elle est sensible aux valeurs aberrantes. C'est pour cette raison que les indicateurs sélectionnés sont, en premier, dans la mesure de possible, normalisés en proportion par rapport à un autre indicateur<sup>57</sup> plus représentatif de la performance en matière de durabilité (indicateur normalisé de base). Par exemple l'intensité énergétique est normalisée en fonction du PIB (ATEP/PIB). À des fins de normalisation et pour neutraliser l'effet de la taille des pays, la majorité des sous-indicateurs sont mesurés en proportion d'un autre indicateur, par exemple par habitant. Comme déjà expliqué dans le tableau 4.1, la comparaison entre deux pays selon les valeurs de deux indicateurs simples (ex. ATEP) peut facilement nous induire en erreur. Chaque indicateur doit être considéré en fonction de la situation particulière d'un pays donné, c'est-à-dire de la structure de l'économie, de l'évolution des technologies énergétiques et des nouvelles options énergétiques. Les transitions par exemple, le passage d'une agriculture de subsistance à une agriculture marchande, d'un approvisionnement en électricité par de petites centrales au diesel à de grandes centrales hydroélectriques, d'une industrie de transformation aux technologies de l'information, ou la découverte d'un grand gisement de gaz - peuvent modifier considérablement la valeur de l'IC<sup>58</sup>. Les évaluateurs à travers la normalisation des indicateurs doivent tenir compte de ces types de changements pour conclure si un indicateur témoigne d'un progrès sur la voie du DD ou non. Cela signifie peut-être qu'il faut donner aux indicateurs une importance relative différente selon les circonstances.

L'atout de normalisation max-mini est aussi dans la facilité de son utilisation dans la construction d'IC. En effet, comme dans notre cas, calculer le score de l'IDSE uniquement pour un certain échantillon de pays ciblés au lieu de le faire pour tous les pays du monde, n'est pas possible pour certaines méthodes de normalisation contrairement à la méthode min-max. par exemple l'utilisation des méthodes telles que ; Ratio/pourcentage du moyen, Pourcentage du leader, Au-dessus et au-dessous du moyen, exige de refaire des calculs pour

---

<sup>56</sup> Juwana I., Muttill N., Perera BJC., 2012.

<sup>57</sup> Comme dans les cas de IPH ; (pourcentage des individus ayant une espérance de vie inférieure à 40 ans, le pourcentage de la population adulte illettrée, ...).

<sup>58</sup> AIEA et al., op. cit., P. 30.

tous les pays et pour tous les indicateurs, sans exception, pour calculer la moyenne mondiale pour chaque indicateur. Puisque c'est cette moyenne mondiale qui sera le repère de la normalisation. Alors que pour la min-max, il suffit de s'intéresser uniquement aux pays de l'échantillon et aux deux pays à valeurs extrêmes (min, max).

Algébriquement la méthode min-max permet de centrer l'IDSE entre les valeurs extrêmes à l'échelle mondiale selon la nature de l'indicateur de direction. Pour certains indicateurs, plus la valeur est élevée, meilleure est la performance, alors que pour d'autres, l'inverse est vrai.

Si la définition d'un indicateur de direction est positive, indicateur de progrès (ex. ECO5), telle qu'une valeur plus élevée est meilleure pour la durabilité, l'équation de normalisation est définie comme suite:

$$\text{Indicateur} = (\text{valeur}_{\text{pays}} - \text{valeur}_{\text{Mini}}) / (\text{valeur}_{\text{Max}} - \text{valeur}_{\text{Mini}}) \quad (1)$$

où ( $\text{valeur}_{\text{pays}}$ ) est la valeur réelle du pays,  $\text{valeur}_{\text{Mini}}$  est la valeur minimale dans le monde, ( $\text{valeur}_{\text{Max}}$ ) est la valeur maximale dans le monde.

D'autre part, l'indicateur inversé ou d'alertes (ex. ENV1), si la définition de l'indicateur est négative telle que le plus petit est le mieux pour la durabilité, c.-à-d. que le score final de l'IDSE s'améliore en baissant les valeurs des variables, l'équation de normalisation est modifiée comme suit:

$$\text{Indicateur} = (\text{valeur}_{\text{Max}} - \text{valeur}_{\text{pays}}) / (\text{valeur}_{\text{Max}} - \text{valeur}_{\text{Mini}}) \quad (2)$$

(2) est équivalente de  $1 - (1)$ , de sorte que les valeurs normalisées approchant de un (1) indiqueront des progrès vers la durabilité pour tous les indicateurs.

Par définition, à l'issue de cette étape, les indicateurs n'auront pas d'unité de mesure. Les indicateurs ainsi normalisés, voir l'annexe C, auront des valeurs standardisées se situent entre 0 et 1 : 0 = niveau inférieur et 1 = niveau supérieur de durabilité<sup>59</sup>. Les indicateurs de durabilité normalisés seront plus faciles à calculer, ce qui nous facilitera l'agrégation des indicateurs de durabilité dans les étapes futures. Les classements de toutes les entités sont faits en référence à des positions relatives de l'indicateur dans cette fourchette.

Cependant, cette transformation min-max n'est pas stable. Elle est très sensible aux valeurs extrêmes (maximum et minimum). Ainsi, les scores changeront avec les modifications des données de base : le changement de l'échantillon de pays et avec le temps, puisque les valeurs extrêmes changent. Ces valeurs extrêmes influencent fortement sur les scores. Pour maintenir la comparabilité entre les systèmes énergétiques mondiaux, nous avons préféré de normaliser les valeurs des indicateurs choisis par rapport aux valeurs maximales et minimales à l'échelle mondiale qu'à l'échelle de l'échantillon (voir annexe C). Sans oublier que ces

<sup>59</sup> Cependant, les résultats de calcul sont relatifs à l'échantillon uniquement. Concrètement, les scores qui tendent vers un (1) n'indiquent pas nécessairement un niveau fort en durabilité.

valeurs extrêmes peuvent être trompeuses, car elles peuvent ne pas représenter les valeurs souhaitables pour renforcer la durabilité. Les scores peuvent être faussés par des valeurs aberrantes sur l'échelle, ce qui en fait des repères inappropriés sur lesquels mesurer les performances individuelles; tel ne peut pas encourager l'amélioration.

### **3.2-Pondération**

Dans la pratique, la pondération et l'agrégation sont deux étapes intimement liées et difficilement dissociables. D'autant que la méthode de pondération choisie impose de façon implicite, le plus souvent, la méthode d'agrégation<sup>60</sup>. Même si toutes les étapes de construction d'IC sont importantes pour la fiabilité de score final, ces deux étapes spécifiques semblent avoir fait l'objet d'un vif débat<sup>61</sup>. Un moyen simple de comprendre l'importance de ces étapes consiste à réaliser qu'à la fin de ces deux étapes, un score unique pondéré est dérivé de différentes valeurs d'indicateurs. Puisque lors de l'agrégation des indicateurs pour constituer un indice composite, une question se pose inévitablement sur le poids de chaque indicateur de durabilité énergétique : les indicateurs auront-ils le même poids ou des poids différents ? et la différence se reposera sur quel critère de durabilité ?

Pour plus de clarté sur nos choix méthodologiques, nous avons préféré de distinguer explicitement ces deux étapes. Ces deux méthodes, comme nous allons le voir, nous renvoient au débat chaud entre les partisans de durabilité forte et faible, si les dimensions peuvent se compenser ou se remplacer. Les poids des indicateurs reflètent l'importance relative des différentes dimensions dans leurs contributions à la performance de durabilité d'un système, tandis que l'agrégation reflète essentiellement la substituabilité, compensation ou remplacement entre les indicateurs. Que ce soit substitution complète, partielle ou inexistante entre l'environnement et le capital économique est largement légitime souligne les deux perspectives de durabilité discutées précédemment: durabilité faible et forte.

L'agrégation est un mode particulier d'analyse multicritère (AMC), qui se caractérise par sa simplicité en comparaison des autres modes d'analyse multicritère comme méthode de hiérarchisation, programmation continue et celles basées sur les fonctions d'utilité<sup>62</sup>.

Les choix lors de la pondération, notamment dans le domaine de durabilité, relevaient de la pure subjectivité sans aucune évidence empirique ni aucun fondement théorique défendable<sup>63</sup>. Le choix des méthodes de pondération et d'agrégation appropriées pour un projet spécifique d'évaluation de la durabilité est une tâche extrêmement importante et difficile<sup>64</sup>.

---

<sup>60</sup> Dialga I., Thi-Hang-Giang L., 2014. P.14.

<sup>61</sup> Il semble que l'étape de pondération fait toute la différence entre une démarche scientifique, rigoureuse, sérieuse et un exercice subjectif, idéologique et fantaisiste. Boulanger P.-M., op. cit., P. 08.

<sup>62</sup> Joumard R., 2011. P. 179.

<sup>63</sup> Dialga I., Thi-Hang-Giang L., op. cit., P. 4.

<sup>64</sup> Gan X. et al., 2017.

La littérature manque d'informations qui guident spécifiquement les chercheurs et les praticiens sur les indices selon lesquels le choix entre les «quand utiliser quoi». Sur quoi les méthodes de pondération et d'agrégation se baseront ?<sup>65</sup> Comme déjà mentionné dans la section 4 du premier chapitre et dans la section 3 du deuxième chapitre, la pondération est essentiellement des jugements de valeur, donc des compromis, entre les indicateurs de durabilité, particulièrement délicate dans le cas de phénomènes complexes, interdépendants et multidimensionnels. Dans l'évaluation de la durabilité, toute pondération est l'expression d'un système de valeurs et n'a rien d'une vérité scientifique absolue. La durabilité est tellement complexe qu'aucun expert ne peut prétendre dire qu'en termes de DD, tel indicateur serait, par exemple, deux fois plus important que l'autre indicateur<sup>66</sup>.

Ainsi, la pondération et l'agrégation nous renvoient au débat controversé et à la question non encore résolue de substitution d'actif entre les partisans des deux approches de durabilité, forte et faible, si les actifs peuvent se compenser ou se remplacer. Les poids reflètent l'importance relative des différentes dimensions (et leurs indicateurs) dans leurs contributions à la performance de durabilité d'un système énergétique, alors que lors de l'agrégation ils reflètent essentiellement la substituabilité entre ces différentes dimensions. La substitution est-elle possible entre différentes formes d'actifs (dimensions ou indicateurs de durabilité énergétique) ? Si oui, de quel ordre ?

Enfin du compte, la pondération est une méthode fondée sur la subjectivité (implicite ou explicite). Le choix délicat de pondération influence fortement le score de l'IC et ainsi le classement des pays. C'est pour ces raisons que la pondération et l'agrégation constituent le talon d'Achille de la crédibilité des IC. Si les méthodes de pondération et d'agrégation ne sont pas correctement sélectionnées, les scores ne représenteront pas avec succès ce que l'indice cherche à mesurer en particulier<sup>67</sup>. Quelle que soit la méthode utilisée pour calculer les poids, probablement, il n'existera pas de consensus<sup>68</sup>. Par conséquent, les poids devraient être soigneusement choisis en fonction d'un cadre théorique sous-jacent et conformiste ou au moins clairement énoncés<sup>69</sup>. Les hypothèses et implications du système de pondération utilisé doivent toujours être clairement définies et testées pour en vérifier la robustesse. La solidité de raisonnement et la transparence doivent guider l'exercice tout entier. La question de la pondération est cruciale et éminemment délicate<sup>70</sup>. Elle consiste à attribuer un poids et donc une valeur spécifique aux différents sous-indicateurs du concept.

---

<sup>65</sup> Idem. P. 498.

<sup>66</sup> Office fédéral du développement territorial, op. cit., P.75.

<sup>67</sup> Gan X et al. Op. cit. P. 498.

<sup>68</sup> Dans notre propre expérience, à chaque fois que nous élargissons la taille de la littérature consultée, nous comprenons encore plus que le choix de type de pondération est extrêmement difficile, large et surtout complexe.

<sup>69</sup> Nardo M et al., op. cit. P.54.

<sup>70</sup> Il n'est donc pas surprenant que le choix inapproprié des méthodes de pondération (et d'agrégation) puisse amener les IDD à fournir des informations trompeuses.

À titre de comparaison réalisée par Rosen en 1991, les IC sont des modèles, similaires en nature et en codage, aux modèles mathématiques ou informatiques<sup>71</sup>.

La pondération est un mal nécessaire et inévitable<sup>72</sup>, dans toutes les décisions, l'humain procède sans cesse à des arbitrages, le plus souvent inconscients et implicites : entre présent et futur, égoïste et altruiste, économie ou environnement, emploi ou loisir, etc.<sup>73</sup>. Le DD prévoit d'évaluer et de renforcer ces arbitrages, dans le contexte d'une délibération démocratique, à la lumière de critères éthiques et scientifiques.

Encore plus, dans cette étape de construction de l'IDSE de multitudes de méthodes ou de techniques de pondération sont disponibles dans la littérature. Par évidence, ces différentes méthodes de pondération donnent des résultats différents. C'est pourquoi les modèles de pondération doivent être explicites et transparents. Chaque technique implique des hypothèses différentes et des conséquences spécifiques. Parmi ces méthodes, deux grandes familles se distinguent ; pondération égale et pondération inégale<sup>74</sup>. Comme conséquence, dans la pratique, la question de choix de type de pondération se ramène le plus souvent au dilemme entre une moyenne simple et une moyenne pondérée.

La pondération égale, poids (ou importance) égal pour toutes les dimensions et catégories de sous-indicateurs est de loin la méthode la plus utilisée<sup>75</sup>, figure 4.2. Cette méthode est privilégiée par diverses justifications. Lorsqu'il n'existe aucune base statistique ou empirique justifiant le choix d'un schéma différent de poids<sup>76</sup>. Cela peut aussi être dû à une connaissance insuffisante des relations de cause à effet ou à une ignorance du modèle à appliquer, voire à un manque de consensus sur des solutions alternatives<sup>77</sup>. Elle est également reconnue comme la stratégie la plus simple et peut être reproduite facilement<sup>78</sup>.

Dans tous les cas, le poids égal ne signifie pas aucune pondération, car il implique un jugement implicite sur des poids égaux. Cependant, il apparaît un problème de double comptage<sup>79</sup> ou de neutralité. Ce problème peut être relativement atténué en faisant la moyenne des indicateurs colinéaires avant leur agrégation en un composite. Au sein de pondération égale un schéma de pondération particulier se distingue, une pondération égale selon l'arborescence respective de l'IC, selon la manière dont les indicateurs sont divisés en catégories. Selon ce schéma de pondération également nommé pondération en cascade, une pondération égale des dimensions regroupant un nombre différent de sous-indicateurs pourrait

<sup>71</sup> Nardo M. et al., op. cit., P.54.

<sup>72</sup> La pondération et l'agrégation des composantes de l'indice sont étapes importantes critiques de toute évaluation de la durabilité. voir Gan X et al., op. cit.

<sup>73</sup> Boulanger P.-M., op. cit., P. 13.

<sup>74</sup> Gan X. et al., Op. cit.

<sup>75</sup> Pondération égale comme dans le cas de : Indice de durabilité environnementale, indice de synthèse de l'innovation, Indice Planète Vivante, l'Indice de développement humain et l'Indice d'épargne authentique.

<sup>76</sup> Greco S. et al., 2019.

<sup>77</sup> Nardo M et al., op. cit.

<sup>78</sup> Land K., 2006.

<sup>79</sup> OCDE, 2008.

masquer des pondérations différentes appliquées à chaque sous-indicateur, comme dans le cas de l'Indice de Trilemme Énergétique (ITE).

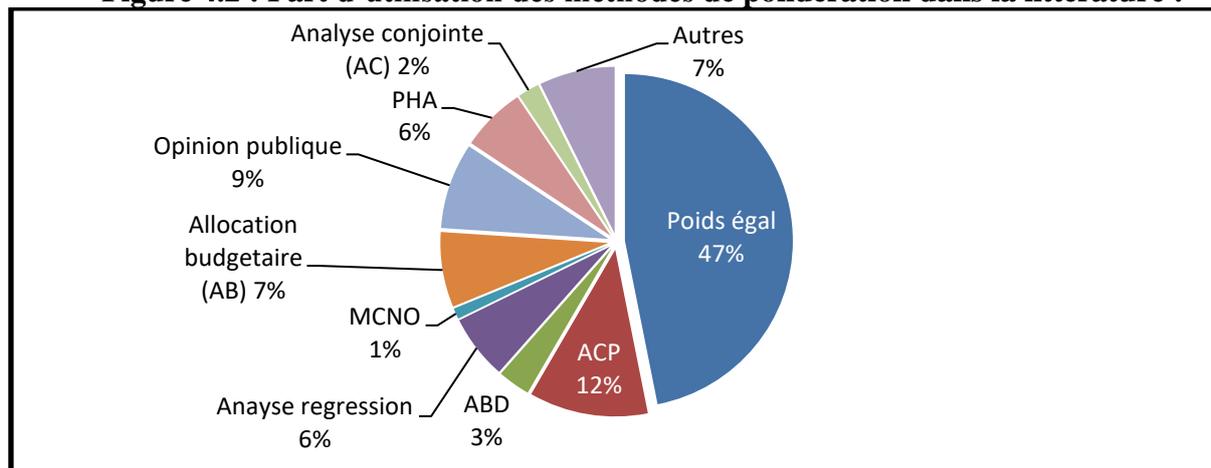
Schématiquement, les dimensions, les catégories d'indicateurs et les sous-indicateurs constituant un indice composite peuvent être représentés sous forme d'une arborescence (voir annexe A.2). L'IC constituant le tronc de l'arbre et à chaque branche figure une de ses dimensions, elles-mêmes peuvent se décomposer en sous-branches identifiées par catégorie pour finir par les feuilles représentant les indicateurs. À chaque embranchement, il est possible d'attacher une pondération aux branches qui y prennent naissance, en terminant par les feuilles auxquelles est attachée une pondération égale à la somme des coefficients des sous-branches et des branches dont elles sont issues. Ce qui formera à la fin du processus une pondération en cascade des indicateurs, voir l'annexe A. Ainsi, dans la littérature, il y a distinction entre trois niveaux de pondération. D'une part, la pondération des dimensions de l'IC de durabilité qui doivent être à poids égal<sup>80</sup>, selon le principe d'équilibre de DD<sup>81</sup>, la pondération égale d'indicateurs selon l'arborescence de l'IC, de l'autre part, la pondération inégale.

La pondération inégale, contrairement à la pondération égale, est subdivisée en plusieurs méthodes. Elle est privilégiée lorsque les poids différents en reflétant la qualité statistique des données. Par conséquent, une pondération plus élevée pourrait être attribuée à des indicateurs ou à des données statistiquement fiables (peu de valeurs manquantes, large couverture, valeurs saines, coûts de collecte faible...). Dans ce dernier cas, le souci est de ne récompenser que les indicateurs de base faciles à mesurer et facilement disponibles, en sanctionnant les informations plus difficiles à identifier et à mesurer. Les poids sont différenciés afin de refléter leur importance économique (coûts de collecte, couverture, fiabilité et raison économique), adéquation statistique, conformité cyclique, rapidité des données disponibles, etc.

---

<sup>80</sup> Cette méthode (pondération égale) repose sur une hypothèse implicite que les différentes dimensions sont d'importance égale. Ainsi nous pouvons conclure que construire un IC revient à adopter les principes de l'approche de la durabilité faible (substituabilité).

<sup>81</sup> Selon l'approche systémique, qui a inspiré le plus grand nombre de tentatives de définition d'indicateurs du DD, centrée sur la durabilité comprise comme une forme d'équilibre entre les évolutions des dimensions du DD, c'est l'équilibre entre les piliers qui importe.

**Figure 4.2 : Part d'utilisation des méthodes de pondération dans la littérature :**

Source : Élaborée par nos soins selon les données de Gan X. et al., 2017.

Parmi ces méthodes à poids inégal, deux grandes catégories se distinguent<sup>82</sup>. 1) les pondérations basées sur des modèles statistiques (tels que : Analyse Factorielle (AF), Analyse en Composantes Principales (ACP)<sup>83</sup>, Analyse de l'Enveloppement des Données (AED), Modèles de Composants Non Observés (MCNO)...). Dans ces premières méthodes, des pondérations sont attribuées en fonction de l'analyse des données des indicateurs. Et 2) les méthodes participatives des parties prenantes, dites aussi d'opinion, (par ex: Allocation Budgétaire (AB), Analyse Conjointe (AC), Opinion Publique (OP), Processus de Hiérarchie Analytique (PHA)...). Dans ces dernières méthodes, les pondérations sont attribuées en fonction d'opinions (jugement subjectif) d'experts, de dirigeants ou du grand public. Ainsi, les pondérations déterminées ici reflètent les jugements de valeur des participants concernant différents aspects de la durabilité (par exemple, importance relative, urgence relative ou taux de substitution).

Chacune des techniques précédentes implique différentes hypothèses et des conséquences spécifiques. Il existe plusieurs variantes pour chacune des méthodes, notamment pour celles basées sur les statistiques de l'analyse factorielle.

Évidemment, cette revue de littérature n'est pas exhaustive. Gan X. et al. 2017, P.492, ont identifié 96 variantes du système de pondération. Plusieurs publications (telles que : Nardo et al, 2005 ; OCDE, 2008 et Gan X. et al, 2017) abordent et analysent un nombre important de méthodes de pondérations les plus courantes en faisant une évaluation critique et comparative. Dans notre travail, nous n'allons pas refaire l'analyse ou la comparaison entre ces différentes méthodes, mais nous présenterons en détail la méthode de pondération à laquelle nous avons optée tout en justifiant notre choix et les conséquences liées à ce choix. En raison du nombre de méthodes et de leurs détails, les listes des méthodes contiennent une quantité substantielle d'information<sup>84</sup>. Sachant qu'*il est difficile de justifier rationnellement*

<sup>82</sup> Nardo M. et al., op. cit., P.54.

<sup>83</sup> Voir l'annexe A,3.

<sup>84</sup> Michiel C. Zijp et al. P.2492.

les choix de pondération<sup>85</sup>». Même si la normalisation et les méthodes d'agrégation posent des problèmes théoriques et pratiques sérieux, c'est surtout au niveau de la pondération que se situent les défis scientifiques et les enjeux démocratiques principaux<sup>86</sup>. Il convient de noter qu'aucun système de pondération n'est au-dessus de la critique, chaque approche à ses avantages et ses inconvénients<sup>87</sup>.

### **Sélection de la méthode de pondération appropriée**

Durant le choix de méthodes de pondération et d'agrégation, nous nous concentrons sur trois questions principales: Quelle est la méthode la plus couramment utilisée dans la littérature? Quels sont les points forts et les points faibles de cette méthode ? Et comment utiliser au mieux cette méthode dans le développement de l'IDSE?

A priori, nous savons bien que nous n'allons pas opter pour les méthodes participatives ou d'opinion, puisque ces dernières exigent des sondages et des enquêtes de terrain auprès des experts, des décideurs ou de grand public<sup>88</sup>. Une règle empirique, il est assez difficile à appliquer ces méthodes lorsque le nombre d'indicateurs sous-jacents est très important (supérieur à 10)<sup>89</sup> et conduiraient à des résultats biaisés<sup>90</sup>. Alors que dans notre cas, nous avons plus de 13 indicateurs. Les méthodes participatives exigent plus de temps et de moyens. Et puisque l'IDSE mesurera et comparera la durabilité des systèmes énergétiques des pays à l'échelle internationale, ce qui exigera, si nous optons pour les méthodes participatives, de réaliser des sondages et des enquêtes à l'échelle internationales, ce que nous estimons inabordable<sup>91</sup>. Ce type de méthode n'est plus puissant que dans une échelle locale, non seulement en raison du coût élevé, mais aussi parce que les opinions sont spatialement et temporellement spécifiques<sup>92</sup>.

La nécessité de choisir entre des pondérations non égales ou égales a fait objet de plusieurs études. Certaines études ont fait valoir que les différents indicateurs devraient avoir un poids égal (Esty et al., 2006 , Centre de droit et de politique de l'environnement de Yale, Centre de réseau international d'information sur la terre et la science, 2005 , Barrera-Roldán et Saldívar-Valdés, 2002 ). Par conséquent, ce travail utilisera la méthode du poids égal.

---

<sup>85</sup> Perret B., 2002.

<sup>86</sup> Boulanger P.-M., op. cit., P. 12.

<sup>87</sup> Greco S. et al., op. cit.

<sup>88</sup> Parmi ces méthodes participatives, le Processus d'hierarchie analytique (PHA) est considéré comme la technique la plus appropriée pour mettre en place un système de pondération permettant de hiérarchiser les facteurs pertinents dans un cadre d'évaluation. Le PHA a été utilisé dans de nombreux domaines. Ying, Zeng, Chen, Tang, Wang et Huang, 2007, ont démontré son efficacité dans la mise au point d'un système de pondération approprié pour l'évaluation de la durabilité. (Mikulić J., Kozic I., Krešić D., 2015).

<sup>89</sup> Saisana M., Tarantola S., op. cit.

<sup>90</sup> OCDE, 2008.

<sup>91</sup> Puisque les poids issus des méthodes participatives ne peuvent pas être transférables d'une région à l'autre car ils peuvent refléter des conditions locales spécifiques exprimées par les personnes locales consultées.

<sup>92</sup> Gan X. et al. Op. cit., P. 499.

Nous n'allons pas, également, opter pour les méthodes basées sur des modèles statiques, pour plusieurs raisons. Premièrement, il existe un nombre important de méthodes basées sur les statistiques, ce qui exige encore une énième fois de faire un choix entre ces différentes méthodes. Un choix qui exigera, d'une part, des connaissances approfondies, et la maîtrise des logiciels, en analyse statistique, et d'autre part, d'utiliser des séries statistiques assez larges (en nombre de pays) et profondes (long terme) pour chacun des indicateurs. La disponibilité des données et la variabilité entre pays rendent plus difficile à fixer les poids que les périodes d'études s'allongent<sup>93</sup>. Par conséquent, les méthodes basées sur des statistiques peuvent être plus appropriées pour des évaluations portant sur de courtes périodes. Deuxièmement, une conséquence de la première, ce type d'analyses statistiques vont exiger un nombre important de calculs et de tableaux statistiques, au point que ce projet de thèse ressemblera à un examen statistique, tout un chapitre devra être dédié aux calculs. Sachant que cela nous exposera d'une manière ou d'une autre, à plusieurs critiques<sup>94</sup>, car les objectifs de la durabilité sont tellement divers qu'aucune méthode unique ne peut répondre à toutes les exigences. Ces méthodes fournissent des pondérations insensées lorsque le phénomène traité comporte un grand nombre d'indicateurs<sup>95</sup>.

Par contre, nous allons faire recours à un minimum d'analyses statistiques utilisées dans ces méthodes. Lors de l'analyse de robustesse de l'IDSE, dans la dernière section de présent chapitre, nous aborderons la pondération en faisant recours à l'analyse en composantes principales (ACP).

Ainsi, nous allons opter pour la méthode de pondération égale basée sur un processus de pondération en cascade des indicateurs selon l'arborescence respective dans l'indice, décrite précédemment, pondération égale selon l'arborescence d'IC. Rappelons que la pondération égale dépend également de l'arborescence de l'IC (la disposition dont les indicateurs sont répartis entre les dimensions et les catégories). Une pondération égale des dimensions et des catégories regroupant un nombre différent d'indicateurs pourrait contenir des pondérations différentes appliquées à chacun des indicateurs<sup>96</sup>, comme dans le cas de l'Indice de Trilemme Énergétique (ITE). Puisque les catégories d'indicateurs ne contiendront pas forcément le même nombre d'indicateurs. Les poids des indicateurs de l'IDSE sont récapitulés dans l'annexe A (A.2 et A.3).

Entre autres, notre choix de pondération égale selon l'arborescence est motivé par les raisons suivantes :

1. L'hypothèse implicite que les différentes dimensions sont d'importance égale.

---

<sup>93</sup> Gan X. et al. 2017. Op. cit.

<sup>94</sup> Chacune des méthodes possède ses propres inconvénients.

<sup>95</sup> Nardo M. et al. 2005 Op. cit.

<sup>96</sup> Si nous pouvons prendre en compte les trois dimensions de façon équilibrée, nous pourrions normaliser le résultat pour chaque dimension en fonction du nombre de critères qu'elles contiennent. Office fédéral du développement territorial, op. cit., P.82.

2. C'est l'équilibre entre les piliers (dimensions) qui est importante pour un DD.
3. Absence de consensus sur les méthodes de pondération alternatives.
4. C'est la méthode la plus utilisée dans l'évaluation empirique de la durabilité.
5. La simplicité de la méthode<sup>97</sup> (qualité essentielle pour les IC)
6. Adéquate pour des échelles spatiales et temporelles plus larges.
7. Concilie à la fois les deux approches de durabilité, forte et faible.

Pour plus de détails sur les justificatifs du choix de la méthode de pondération égale, consulter Freudenberg 2003 ; OCDE 2008 ; Maggino et Ruvigliani 2009 et Decancq et Lugo 2013.

En effet, la pondération égale est la plus utilisée dans la pratique, probablement cela peut être expliqué par sa simplicité à être comprise par un plus grand public, par sa transparence et elle peut être reproduite sans soucis dans une autre région<sup>98</sup>.

Cependant, la pondération égale, bien qu'en apparence neutre (même importance aux différentes dimensions), peut être à l'origine de certaines discriminations. C'est une méthode très sensible aux valeurs extrêmes qui peut fournir des résultats biaisés lorsque les données comportent des valeurs aberrantes. Par ailleurs, cette méthode repose sur une hypothèse implicite qu'il existe une forte compensation (substituabilité parfaite<sup>99</sup>) entre les différentes dimensions du phénomène d'une part et que d'autre part, les différentes dimensions sont d'importance égale. Nous risquons ainsi de surestimer la situation ou les dimensions pour lesquelles les valeurs sont relativement faibles. De toute façon, la pondération peut présenter des faiblesses lorsque les dimensions du système traité sont complémentaires et ne sont pas substituables comme dans le cas de la durabilité<sup>100</sup>.

Pourquoi ne pas opter pour une pondération égale tout court sans arborescence ? L'égalité des poids est loin d'être incontestable, elle est vue comme une simplification excessive. Les poids égaux ne permettent pas de différencier les indicateurs essentiels des indicateurs moins importants en les traitant tous de la même manière. L'établissement de pondérations égales semble évidemment pratique, mais universellement considéré comme incorrect, car la pondération égale ne donne pas une image réaliste. Elle est aussi un jugement subjectif que les autres systèmes de pondération arbitraires existants. En cas de manque de données dans un domaine donné, la pondération égale se montre très contraignante.

---

<sup>97</sup> Afin d'être adopté par les décideurs et la communauté des non-experts, le processus de construction d'IC doit être transparent et que leurs résultats sont facilement communicables et interprétables.

<sup>98</sup> Dialga I., Thi-Hang-Giang L., op. cit., P. 19.

<sup>99</sup> Munda G., Nardo M., 2005, ont montré qu'en utilisant l'agrégation arithmétique comme technique d'agrégation, les poids attribués finissaient par obtenir un statut de compromis qui impliquait une compensation et une substituabilité complètes entre les composants.

<sup>100</sup> Nardo M. et al., Op. Cit.

### 3.3-Agrégation

L'agrégation est la dernière étape statistique de construction d'IC. Elle consiste à synthétiser l'information contenue dans chacun des indicateurs en une seule information condensée dans le score de l'IDSE. C'est à cette étape que nous essayerons de répondre aux questions sur le rapport entre l'indice composite et les indicateurs; S'agit-il d'une somme, d'une moyenne pondérée, de quelque chose de plus complexe ? En effet, selon le degré de permission de compensation, nous discuterons trois grandes familles de méthodes d'agrégations.

Dans cette étape, le choix entre trois options d'agrégations très distinctes s'impose. Issaka et Le, 2014, qui ont développé un indice de DD, affirment que les méthodes d'agrégation donnent des résultats complètement différents et des classements complètement bouleversés. « Quelle que soit la méthode utilisée, l'indicateur reste soumis à de fortes incertitudes et ils restent sensibles aux méthodes utilisées faisant en sorte que les classements sous-jacents des pays en soient également affectés »<sup>101</sup>. Le choix de type d'agrégation n'est pas chose facile puisque les trois options d'agrégation imposent de choisir entre des valeurs sous-jacentes contrastes. En effet, il s'agit d'un choix qui impose, encore une fois, de faire arbitrage entre les deux visions de durabilité, forte ou faible.

D'une part, la durabilité faible cautionne la substitution et, par conséquent, les méthodes de pondération et d'agrégation compensatoires peuvent être utilisées pour évaluer la durabilité par l'IDSE. D'autre part, la durabilité forte atteste que certains types de capital, social et environnemental, sont critiques et ne peuvent pas être remplacés par le capital économique. Néanmoins, la substituabilité entre les différents types de capital est toujours autorisée tant qu'un système existe dans les contraintes de ses structures environnementales et sociales. Par conséquent, les indices représentant une durabilité forte doivent prendre en compte la non-indemnisation ainsi que les valeurs seuils pour chaque indicateur, au-dessus ou au-dessous desquelles la substituabilité ne peut être permise. Sachant qu'il est difficile de présenter des seuils critiques pour les indicateurs. Ainsi, l'identité d'un IC est définie par la méthode de pondération et d'agrégation utilisée.

Différentes méthodes d'agrégation sont disponibles pour la conception d'un indice composite. Pour une description et un aperçu approfondi, voir, OCDE, 2008, P. 31 ; Saisana et Tarantola, 2002 ; Nardo et al 2005. En gros, la classification des méthodes d'agrégation dans la littérature consiste à distinguer deux grandes familles ; compensatoire et non compensatoire<sup>102</sup>. Ainsi, au total, selon le degré de permission de compensation, trois types de méthodes agrégatives sont identifiées : arithmétique (additive), géométrique (multiplicatrice) et non compensatoire<sup>103</sup>. Cependant, cette division est trop simpliste, puisque

<sup>101</sup> Dialga I., Thi-Hang-Giang L., op. cit., P. 25.

<sup>102</sup> Munda G., Nardo M., op. cit., P. 7.

<sup>103</sup> La littérature consultée parle rarement de la moyenne harmonique.

ces trois méthodes sont incluses dans le cadre d'analyse décisionnelle multicritères. Il existe aussi des méthodes mixtes, des méthodes hybrides qui combinent les différentes approches précédentes<sup>104</sup>. En tout, environ 90 variantes du système d'agrégation sont identifiées<sup>105</sup>.

Ainsi, l'agrégation symbolise différentes substituabilités pour différentes dimensions et indicateurs de durabilité. Les schémas d'agrégation arithmétique et géométrique relèvent du schéma d'agrégation «compensatoire». Comme déjà mentionnée, la pondération est doublement interprétable : compromis, donc de compensation ou coefficients d'importance. Pour que les pondérations restent uniquement une mesure d'importance, il convient d'utiliser des méthodes d'agrégation ne permettant pas l'indemnisation<sup>106</sup>.

En ce qui concerne le choix entre ces systèmes d'agrégation, il n'existe pas du système parfait<sup>107</sup>. Comme auparavant, le choix est généralement fait en fonction de l'objectif des acteurs et cela entraîne, en conséquence, certains avantages et inconvénients.

La méthode additive simple ou pondérée est couramment utilisée. Ce modèle a été largement appliqué pour sa transparence et sa facilité d'utilisation, y compris par des non-experts. Une alternative à la somme pondérée est l'agrégation de la moyenne géométrique pondérée. D'autres approches plus avancées découlant de l'analyse décisionnelle multicritères sont généralement plus compliquées à calculer et l'interprétation des résultats est moins intuitive.

### 3.3.1- Méthodes d'agrégation arithmétique

Les méthodes d'agrégation arithmétique sont les plus utilisées dans la construction des IC (Saisana et Tarantola, 2002 ; Freudenberg, 2003 ; OCDE, 2008 ; Bandura, 2011). Des agrégations compensatoires qui utilisent des fonctions qui résument les valeurs normalisées des sous-indicateurs pour former un indice composite de durabilité (ICD). La moyenne arithmétique pondérée est de loin la méthode additive la plus répandue<sup>108</sup>. La continuité caractéristique de la moyenne arithmétique pondérée implique que la limite de l'indice de durabilité peut être définie avec précision si l'erreur de mesure relative d'un ensemble d'indicateurs est déjà connue. Cette propriété, comme nous allons le montrer dans la prochaine section, peut être utilisée pour l'analyse de sensibilité et la quantification de l'incertitude, deux éléments importants dans l'évaluation de la durabilité par IC. Cependant, deux caractéristiques importantes de l'agrégation additive doivent être notées. L'une de ces caractéristiques est liée à l'indépendance préférentielle parmi les indicateurs<sup>109</sup>. Elle suppose une indépendance préférentielle parmi les indicateurs, ce qui est considéré comme une très

---

<sup>104</sup> Munda G., Nardo M., op. cit.

<sup>105</sup> Gan X. et al., op. cit., P. 492.

<sup>106</sup> OCDE, 2008. P. 33. op. cit.

<sup>107</sup> Lansdowne Z. F., 1997.

<sup>108</sup> Gan X. et al., op. cit., P. 497.

<sup>109</sup> OCDE, 2008. P. 103. Op. Cit

forte hypothèse à faire et aussi il existe un canal entre les deux perceptions des poids, qui se traduit par des mesures d'importance et de compromis, ce qui donne lieu à un paradoxe.

$$IC_p = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_{pi}}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad w_i \text{ poids pour indicateur } i \text{ du pays } p.$$

Dans cette approche d'utilité additive<sup>110</sup>, cela signifie que les contributions de tous les indicateurs peuvent être additionnées pour donner une valeur totale, ce qui implique qu'aucune synergie ou conflit n'existe entre différents indicateurs, une hypothèse qui semble irréaliste dans de nombreuses situations, surtout dans le cas de la durabilité. Encore, les poids utilisés dans les méthodes additives sont, évidemment, des coefficients d'importance, mais aussi des taux de substitution, car, la nature intrinsèque de l'additif implique une logique largement compensatoire. Ainsi, les méthodes additives ne devraient pas être utilisées lorsque les interactions entre indicateurs sont importantes.

En conséquence, deux problèmes sont liés à la méthode additive. Le premier est qu'elle suppose une très forte hypothèse ; une indépendance préférentielle parmi les indicateurs. Le deuxième est qu'il existe un paradoxe entre les deux perceptions des poids, qui se traduit par des mesures d'importance et de compromis de compensation. Plus précisément, si les pondérations sont considérées comme des mesures d'importance pour les indicateurs, cela est loin de se produire réellement dans ce contexte d'agrégation, et cette situation est la norme plutôt que l'exception<sup>111</sup>.

Les pondérations expriment les taux de substitution marginaux<sup>112</sup> parmi des paires d'indicateurs cela implique une compensation constante entre les indicateurs et les dimensions; ainsi, une unité pourrait compenser la perte dans une dimension par un gain dans une autre. Ceci est cependant loin d'être souhaitable dans l'IDSE, notamment dans l'approche de durabilité forte, dans laquelle la croissance économique ne pourrait pas compenser une perte de la dimension environnementale ou sociale.

### 3.3.2- Méthodes d'agrégation géométrique

Les méthodes d'agrégation géométrique sont des agrégations compensatoires qui utilisent le multiplicatif. La moyenne géométrique pondérée est la fonction d'agrégation géométrique la plus répandue.

$$IC_p = \sqrt[\sum W_i]{\prod_{i=1}^n I_{ip}^{W_i}} \quad w_i \text{ Poids pour indicateur } i \text{ du pays } p.$$

<sup>110</sup> Greco S. et al., op. cit.

<sup>111</sup> Paruolo et al. 2013

<sup>112</sup> Decancq, K., Lugo M. A., 2013.

Contrairement aux méthodes agrégatives arithmétiques, qui sont totalement compensatoires, l'agrégation géométrique apporte une solution partielle au problème de substituabilité puisque, dans certaines limites, elle ne permet pas la compensation entre indicateurs. Ce qui limite la capacité des indicateurs à valeurs très faibles d'être entièrement compensés par des indicateurs avec des valeurs élevées. Cette approche est adoptée lorsqu'un indice préfère un certain degré d'indemnisation<sup>113</sup>. Cette particularité de la méthode géométrique a poussé les concepteurs de l'IDH de passer d'une agrégation linéaire à une agrégation géométrique en 2010<sup>114</sup>, répondant ainsi à l'une des principales critiques méthodologiques de l'IDH<sup>115</sup>. L'agrégation géométrique offre une possibilité de compensation inférieure pour les indicateurs avec des valeurs inférieures.

Cette particularité rend la méthode géométrique plus attrayante dans l'exercice d'analyse comparative des systèmes énergétiques ; puisque les pays avec des scores plus faibles dans une dimension donnée ne pourront pas compenser pleinement dans d'autres dimensions. La moyenne géométrique est moins sensible que la moyenne arithmétique aux valeurs les plus élevées d'une série de données. Elle donne, par conséquent, une meilleure estimation de la tendance centrale des données dans le cas d'une distribution comportant des valeurs extrêmes<sup>116</sup>. Cela poussera les pays à être plus motivés à augmenter les valeurs des indicateurs les plus bas, car l'augmentation marginale de ces indicateurs sera beaucoup plus importante par rapport aux régions qui obtiennent déjà des scores élevés, ce qui, en retour, renforcera leur durabilité énergétique. Il est aussi important de mentionner que la moyenne géométrique donne moins d'importance aux résultats les plus élevés et accorde une plus grande importance aux résultats plus faibles, limitant ainsi l'effet de compensation ou de substituabilité entre les différentes composantes de l'indice abordé plus haut. Avec la moyenne géométrique, la performance plus faible dans une seule des composantes se reflète dans le résultat de l'indice<sup>117</sup>. L'agrégation géométrique, dans le domaine de durabilité, pourrait être considérée à la fois attrayante, plus réaliste et plus simple pour répondre à la question de la compensation d'un indice de durabilité. Cependant, cela semble être qu'une solution partielle devant les techniques non compensatoires, mais qui restent complexes.

Les limites des méthodes d'agrégation géométrique doivent également être notées. Tout d'abord, les méthodes d'agrégation géométrique ne sont pas totalement non-

---

<sup>113</sup> OCDE, 2008. P. 32.

<sup>114</sup> Éviter qu'un très mauvais score sur l'une des dimensions de l'indice puisse être intégralement compensé par un bon résultat sur une autre de ces dimensions. Selon le PNUD, la moyenne géométrique est mieux adaptée à l'IDH, car elle tient compte des différences de réalisation dans les diverses dimensions. Ainsi, une performance médiocre dans une dimension donnée est maintenant directement réfléchi dans l'IDH et il n'y a plus de substituabilité parfaite à travers les dimensions (PNUD, 2010). Le PNUD souligne qu'en tant que base pour la comparaison des réussites, la moyenne géométrique est une méthode qui respecte bien mieux les différences intrinsèques entre les dimensions qu'une moyenne simple..

<sup>115</sup> UNDP, 2010. P. 216.

<sup>116</sup> Gouvernement du Québec, 2016. P. 40.

<sup>117</sup> Idem. P. 40.

compensatoires et permettent ainsi des compromis entre les indicateurs, car les méthodes géométriques, comme les méthodes additives, ont la caractéristique d'être préférentiellement dépendant. De plus, avec les méthodes d'agrégation géométrique, les analyses de sensibilité et les quantifications d'incertitude ne peuvent pas être analysées convenablement en présence de valeurs nulles des indicateurs (incontinuité).

### **3.3.3- Méthodes d'agrégation non compensatoires**

Les méthodes d'agrégation non compensatoires, souvent nommées approches Multicritères Non Compensatoires (AMCNC) utilisent des procédés de calcul très complexes que la multiplication. Les méthodes ELECTRE et PROMETHEE sont les modèles les plus répandus et les méthodes non compensatoires s'appuient principalement dessus<sup>118</sup>. Ces deux méthodes sont également utilisées dans l'analyse multicritères en approche opérationnelle du sur-classement de synthèse à agrégation partielle<sup>119</sup>.

Si l'objectif réel de l'IC est d'interpréter les pondérations uniquement comme des coefficients d'importance sans indemnisation, comme dans le cas de durabilité très forte, l'approche non compensatoire sera idéale. Les agrégations tant arithmétiques que géométriques acceptent, plus en moins, des compensations entre les sous-indicateurs de la durabilité, l'utilisation de ces deux méthodes pour agréger des indicateurs est souvent controversée. Quand la substitution entre les sous-composantes est jugée inacceptable, les méthodes d'agrégation non compensatoires deviennent importantes. Ces méthodes sont apparemment basées sur deux points de vue : les propriétés de l'agrégation et la perspective de multicritère de décision<sup>120</sup>.

Étant donné la pondération des indicateurs est interprétée comme coefficients d'importance, l'agrégation mathématique non compensatoire suit les étapes suivantes: La première étape comparer les pays en fonction de l'ensemble des indicateurs en créant la matrice de sur-classement qui présente essentiellement les comparaisons par paires des pays pour chaque indicateur. La deuxième étape, par la procédure d'exploitation de la matrice de sur-classement, les indicateurs seront classés dans une précommande partielle ou complète. Une approche doit être choisie pour l'agrégation appropriée, les approches de type Condorcet ou de type Borda sont les plus utilisées et qui donne des résultats différents. L'approche de type Borda est idéale lorsqu'une seule alternative doit être choisie. L'approche Condorcet est la plus préférable pour classer les alternatives envisagées, mais elle pose un gros problème, celui de la présence de cycles dont la probabilité augmente à la fois avec le nombre d'indicateurs et le nombre de pays. Munda G. qui a appliqué cette approche pour l'indice de soutenabilité environnementale (ESI), produit par les universités de Yale et de Columbia, affirme qu'il existe des différences notables dans le classement des deux

---

<sup>118</sup> Greco S. et al., op. cit.

<sup>119</sup> Carlevaro F., Garbely M., Genoud S., 2002. P 34.

<sup>120</sup> Gan X. et al., op. cit., P. 497.

précédentes approches (linéaire et non compensatoire), principalement dans les pays classés en position intermédiaire et moins apparentes parmi celles classées en première ou dernière position<sup>121</sup>.

Malgré ses points positifs, la méthode non compensatoire n'est pas très appréciée, en juger par le nombre d'applications existantes dans la littérature. Cela pourrait être attribué à sa complexité devant la simplicité des autres, au problème de longs et coûteux calculs. À présent, elles ne fournissent qu'un classement des unités évaluées; ainsi, nous ne pouvons suivre les classements que dans le temps.

L'utilisateur de ces méthodes non compensatoires est forcé d'utiliser des logiciels spécifiques développés, ex. PROMETTA pour la méthode PROMETHÉE. Il s'agit de logiciel entièrement programmé avec interface spécifique. L'utilisateur est guidé de bout en bout. Il n'a pas accès au traitement et le logiciel ne peut pas être modifié. Ce qui crée un problème de transparence et d'inflexibilité<sup>122</sup>. La structure de logiciel est rigide et difficilement adaptable; dépendant exclusivement de son concepteur.

### 3.4- Méthodes d'agrégation hybrides

Ces méthodes, relativement récentes, sont dites méthodes hybrides ou mixtes puisqu'elles combinent différentes approches (linéaires et géométriques) pour résoudre les problèmes de compensation. Plusieurs méthodes apparaissent dans la littérature, Greco S. et al, 2019, <sup>123</sup> analysent cinq exemples de ces méthodes ; Indice Mazziotta-Pareto (IMP), Pénalité pour goulot d'étranglement, Fonction moyenne-min, Modèle ZD, Bénéfice directionnel du doute. Ces méthodes ont pour objectif de produire un IC en utilisant, au moins pour les méthodes précédentes, au départ une méthode d'agrégation arithmétique. L'agrégation est conçue de manière à pénaliser le déséquilibre entre les indicateurs, une sorte de correction en ajoutant ou en soustrayant une composante appelée «pénalité» calculée par différentes manières selon la méthode. Par exemple, pour la méthode IMP, la composante de pénalité est égale à un terme de multiplication de l'écart type de l'unité (pays) et du coefficient de variation entre ses indicateurs<sup>124</sup>. Les méthodes hybrides comme les méthodes non compensatoires souffrent de la complexité et de la surabondance de calculs. Un autre problème rencontré est celui de la subjectivité, voire de l'ignorance, derrière le contrôle de la pénalisation<sup>125</sup>.

---

<sup>121</sup> Munda G., 2012 ; étudie en détail les deux techniques non compensatoires avec formules mathématiques.

<sup>122</sup> Office fédéral du développement territorial, op. cit., P.79.

<sup>123</sup> Greco S. et al., op. cit.

<sup>124</sup> Idem.

<sup>125</sup> Idem.

### Sélection de la méthode d'agrégation appropriée

En ce qui concerne l'étape d'agrégation, une fois de plus, les choix sont très lourds. Plus spécifiquement, ils souffrent d'un compromis entre l'indemnisation et la complexité ou d'une perte d'informations. En effet, passant d'une compensation importante (agrégation linéaire) à une absence totale (par exemple, l'approche multicritère non compensatoire), la complexité et les coûts de calcul augmentent considérablement<sup>126</sup>.

À première vue, en se basant exclusivement sur des considérations purement théoriques, notamment de durabilité forte, les méthodes non compensatoires et hybrides seront plus intéressantes et adéquates pour construire un indice de durabilité<sup>127</sup>. Mais cela, sans compter sur les difficultés liées à la pratique. En effet, ces deux types de méthode posent sérieusement les problèmes de la complexité et de la subjectivité, comme déjà mentionnés précédemment. Selon Joumard, 2011, le processus d'agrégation doit combiner trois exigences : représentativité de phénomène, légitimité et simplicité. Ainsi, malgré les limites liées aux méthodes compensatoires (arithmétiques et géométriques), elles restent le seul recours qui reste. D'ailleurs, nous nous rendons compte pourquoi ces deux méthodes sont les plus utilisées, notamment arithmétiques, dans l'agrégation des IC déjà existants.

Dans notre travail, nous avons privilégié l'agrégation géométrique par rapport à l'agrégation arithmétique, et ça sans prendre en compte certaines anomalies. L'agrégation géométrique est la méthode la plus appropriée pour agréger les composantes de l'IDSE. Étant donné qu'elle possède de meilleures propriétés que la moyenne arithmétique et moins complexe que les méthodes non compensatoires. Tout d'abord, elle est moins sensible aux valeurs élevées que la moyenne arithmétique. De plus, le classement des pays varie moins d'une année à l'autre. La moyenne géométrique réduit le niveau de substituabilité entre les composantes de l'indice. Un mauvais résultat dans une des composantes de l'IDSE ne peut être compensé parfaitement par un bon résultat dans une autre composante. En somme, l'agrégation géométrique favorise des résultats plus équilibrés<sup>128</sup>. Elle tient compte de la non-compensation parfaite des sous-indicateurs et récompense les pays qui excellent dans tous les domaines<sup>129</sup>. Pour cette raison, de plus en plus, au détriment de l'arithmétique, les IC dans le monde sont calculés à l'aide de la géométrie.

Cela ne nous empêche pas de citer les problèmes que pose l'agrégation géométrique. En effet, elle réduit considérablement la sensibilité ou la réactivité de l'indice aux variations des valeurs des indicateurs surtout en présence d'un indicateur dont la valeur se rapproche de zéro. Pour un pays donné, dès qu'il y a une valeur d'indicateur très faible, proche de zéro, par exemple la production d'énergie renouvelable (ECO5) en Algérie en 2010, les progrès réalisés

---

<sup>126</sup> Greco S. et al., op. cit.

<sup>127</sup> Carlevaro F., Garbely M., Genoud S., 2002, P. 35.

<sup>128</sup> Conseil économique et social de l'ONU, 2010.

<sup>129</sup> Dialga I., Thi-Hang-Giang Le, op. cit.

dans d'autres dimensions et/ou indicateurs seront sans avantages puisque le score final sera forcément nul ou proche de zéro. Ainsi, dès qu'un système énergétique est en présence de faiblesse dans un seul indicateur, sa performance et son classement en matière de durabilité selon l'IC seront grandement pénalisés, et, ça malgré les performances que le pays peut présenter dans d'autres indicateurs (par ex. intensité énergétique, ECO2). Ce problème de manque de sensibilité devient plus grave en présence de valeurs d'indicateurs nulles (comme le cas de Malte en 2010 au niveau de réserves locales ECO4), le score de l'indice sera directement nul, et par conséquent, le pays sera condamné à être classé en dernier et ses performances en matière de durabilité énergétique seront nulles (annexe 4.2). Ainsi, nous prévoyons qu'un nombre important de pays auront des scores nuls et seront classés par conséquent à la fin du classement même si ces pays présentent des performances différentes et variées dans d'autres indicateurs. Plusieurs pays seront mis dans le même panier sachant qu'ils présentent des performances différentes, alors que l'objectif ultime de l'indice composite est de rendre explicites les différentes nuances de performances et/ou de progrès (dans le temps et dans l'espace).

Le troisième problème lié à l'agrégation géométrique est purement statistique. Dans notre ensemble d'indicateurs, retenus pour évaluer l'IDSE, figure un indicateur qui admit des valeurs à la fois positives et négatives selon la situation du pays, c'est l'indice d'importations d'énergie nettes. Dans le cas de présence d'indice à valeur négative l'agrégation géométrique donnera un résultat négatif alors que le score de l'IDSE est normalisé à varier entre zéro et un. Pour soulever ce problème, nous avons adopté une transformation particulière pour l'indicateur d'importation nette (ECO6). Cette transformation consiste à additionner la valeur absolue de la valeur la plus faible à l'échelle mondiale à tous les autres pays (voir l'annexe C). Ainsi, les valeurs de cet indicateur seront positives et la disparité entre les pays sera conservée.

#### **Section4-Discussion des résultats et analyse de robustesse**

Cette dernière section s'intéressera à deux éléments essentiels du projet de construction d'IDSE. Dans un premier lieu, nous discuterons ici des résultats (rangs et scores des pays de l'échantillon) obtenus suivant les combinaisons des choix de méthodes retenues dans chacune des étapes précédentes et leurs implications en termes de durabilité énergétique. Dans un second lieu, afin de donner plus de crédibilité à l'IDSE, nous analyserons sa robustesse en intéressant de près à l'incertitude et la sensibilité des scores et des rangs par rapport aux changements de méthodes choisies précédemment.

##### **4.1- Formules de l'IDSE**

Une fois les méthodes de pondération et d'agrégation bien établies, il ne reste plus qu'à procéder au calcul des scores de l'IDSE pour chaque pays et durant les cinq années d'étude. La formule de calcul n'est que le résultat de synthèse des choix pris lors des deux

dernières étapes de construction abordées précédemment, pondération et agrégation. En résumé, l'IDSE est calculé sur la base de 13 indicateurs de durabilité : 6 indicateurs économiques, 4 indicateurs environnementaux et 3 indicateurs sociaux (annexe A.1). Le score est mesuré en faisant recours à la méthode de normalisation Min/Max et à la pondération égale selon l'arborescence respective dans l'indice (tableau 4.2). En ce qui concerne la méthode d'agrégation, la préférence, ou le choix, reste difficile devant les nombreuses contraintes liées à l'agrégation géométrique abordées précédemment. Pour cette raison, malgré que nous optons pour l'agrégation géométrique, nous voyons très intéressant de donner les résultats pour les deux systèmes d'agrégation, arithmétique et géométrique (tableau 4.2 et 4.3).

À l'origine, l'IDSE représente la moyenne géométrique des indicateurs normalisés des trois dimensions de durabilité énergétique. Malheureusement, comme le montre le tableau 4.2 ci-dessous, en maintenant l'agrégation géométrique, la moitié de l'échantillon aura un score nul. Six pays avec des configurations très différentes auront le même score, zéro. Ainsi, les situations différentes des pays en matière de durabilité énergétique ne seront pas exprimées inégalement par les scores issus d'agrégation géométrique. Le recours à l'agrégation arithmétique est justifié par la volonté d'analyser la robustesse de l'IDSE et surtout par les scores distincts et non nuls pour tous les pays de l'échantillon.

L'indice de durabilité du système énergétique (IDSE) d'un pays  $p$  est exprimé, selon le système d'agrégation adopté, par les formules détaillées suivantes :

$$\text{Agrégation géométrique : } IDSE_p = \prod_{d=3} (Dimension_d)^{\frac{1}{3}}$$

$$IDSE_p = \prod_i^n I_{ip}^{W_i} \rightarrow 0 < I_{ip} < 1, W_i > 0 \text{ et } \sum W_i = 1$$

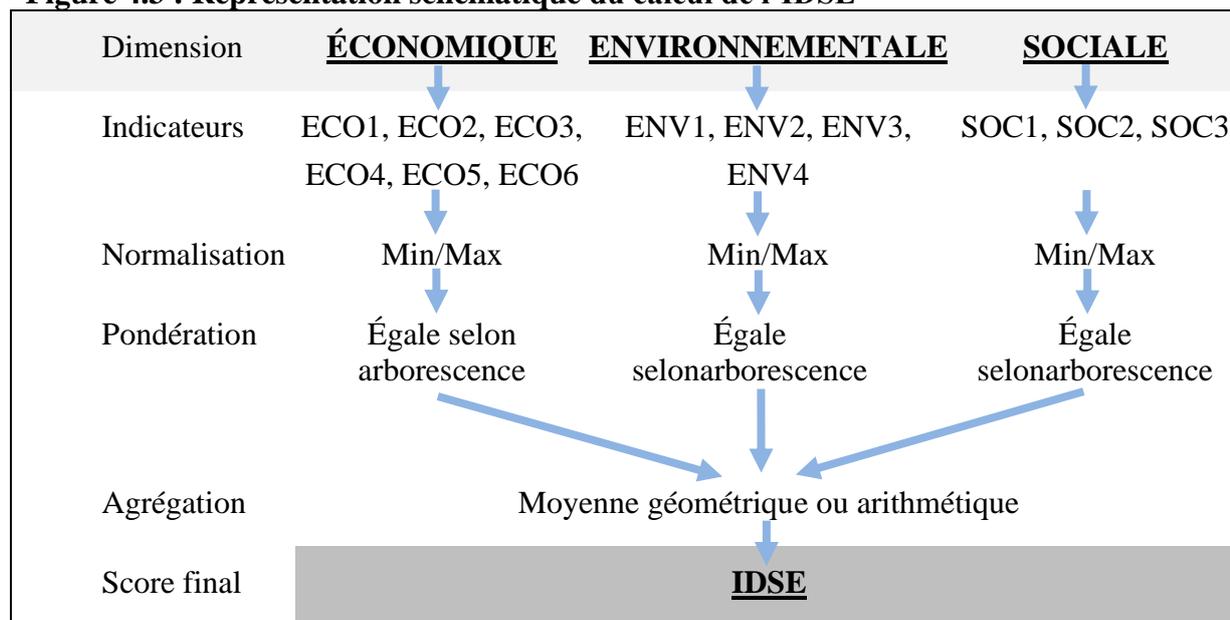
$$IDSE_p = ECO1_p^{\frac{1}{24}} * ECO2_p^{\frac{1}{24}} * ECO3_p^{\frac{1}{24}} * ECO4_p^{\frac{1}{48}} * ECO5_p^{\frac{1}{48}} * ECO6_p^{\frac{1}{6}} * ENV1_p^{\frac{1}{24}} * ENV2_p^{\frac{1}{24}} * ENV3_p^{\frac{1}{12}} * ENV4_p^{\frac{1}{6}} * SOC1_p^{\frac{1}{12}} * SOC2_p^{\frac{1}{12}} * SOC3_p^{\frac{1}{6}} \quad (3)$$

$$\text{Agrégation arithmétique : } IDSE_p = \sum \frac{1}{3} dimension_d$$

$$IDSE_p = \sum_i^n W_i I_{ip} \rightarrow 0 < I_{ip} < 1, W_i > 0 \text{ et } \sum W_i = 1$$

$$IDSE_p = ECO1_p * \frac{1}{24} + ECO2_p * \frac{1}{24} + ECO3_p * \frac{1}{24} + ECO4_p * \frac{1}{48} + ECO5_p * \frac{1}{48} + ECO6_p * \frac{1}{6} + ENV1_p * \frac{1}{24} + ENV2_p * \frac{1}{24} + ENV3_p * \frac{1}{12} + ENV4_p * \frac{1}{6} + SOC1_p * \frac{1}{12} + SOC2_p * \frac{1}{12} + SOC3_p * \frac{1}{6} \quad (4)$$

Avec  $W_i$  la pondération associée à l'indicateur  $i$  du pays  $p$ .

**Figure 4.3 : Représentation schématique du calcul de l'IDSE**

Source : Élaborée par nos soins.

#### 4.2-Présentation des résultats

Une fois les calculs des scores effectués et les classements des pays établis en fonction de ces scores, les informations contenues dans la base de données (matrices de données) seront rendues explicites. En effet, il serait facile d'avoir une idée à la fois simple et directe sur l'évaluation et l'évolution de la durabilité du système énergétique pour les différents pays de l'échantillon. Justement, l'IDSE aurait atteint son objectif de départ, celui de synthétiser les informations diverses et complexes, véhiculées dans les treize (13) indicateurs simples, en un seul chiffre mesurant le score de durabilité énergétique, voir la figure 4.3 ci-dessus. La deuxième partie de cette section analysera la qualité de cette synthèse d'information réalisée grâce à l'IDSE en abordant l'incertitude et la sensibilité.

Dans cette sous-section, la présentation des résultats sera faite par étapes. Nous présenterons en premier lieu les résultats des scores puis en deuxième lieu les classements des pays de l'échantillon. Lors de l'analyse des résultats, nous confronterons systématiquement les deux rives de la méditerranée. Évidemment, nous nous intéresserons de près aux résultats obtenus par l'Algérie. L'annexe D contient les résultats de l'IDSE calculés par les différentes méthodes de pondérations et d'agrégation retenues.

Même s'il paraîtra de la redondance, pour plus de clarté, nous présenterons en même temps les tableaux et les représentations graphiques de ces tableaux. Puisque la moitié des résultats obtenus en faisant recours à l'agrégation géométrique, voir tableau 4.2, sont presque égaux à zéro, nous présenterons en parallèle les résultats obtenus en utilisant l'agrégation arithmétique. Cette présentation sera encore utile pour comparer les résultats des IC issus de constructions basées sur l'approche de durabilité forte (compensation partielle) ou ceux basés sur l'approche de durabilité très faible (forte compensation). En effet, comme le montrent les

tableaux 4.2 et 4.3 ci-dessous, l'agrégation arithmétique donne des résultats diversifiés et non nuls pour tous les pays. Des résultats qui peuvent se rendre compte des moindres différences entre les pays en matière de durabilité énergétiques. Ils peuvent aussi faciliter la comparaison entre les pays et faciliter aussi le suivi de l'évolution de la durabilité énergétique dans le temps pour tous les pays. L'indice, comme outil d'évaluation, doit acquérir la qualité d'être sensible aux moindres changements.

**Tableau 4.2: Scores et rangs de l'IDSE, pondération égale et agrégation géométrique**

	2010		2011		2012		2013		2014	
	Score	Rang								
Algérie	0		0,1537	8	0,1502	8	0,1449	7	0,1170	8
Chine	0		0		0		0		0	
Égypte	0,2287	7	0,2330	7	0,2304	7	0,2294	6	0,2136	6
Espagne	0,2810	2	0,2817	2	0,2915	3	0,2946	3	0,2788	2
États-Unis	0,3153	1	0,3220	1	0,3278	1	0,3189	1	0,3104	1
France	0		0		0		0		0	
Grèce	0,2786	3	0,2783	3	0,2940	2	0,2985	2	0,2774	3
Italie	0,2543	6	0,2489	6	0,2668	6	0,2728	4	0,2557	4
Libye	0,2561	5	0,2596	5	0,2697	5	0		0,1909	7
Malte	0		0		0		0		0	
Maroc	0		0		0		0		0	
Portugal	0		0		0		0		0	
Tunisie	0,2746	4	0,2741	4	0,2704	4	0,2721	5	0,2507	5

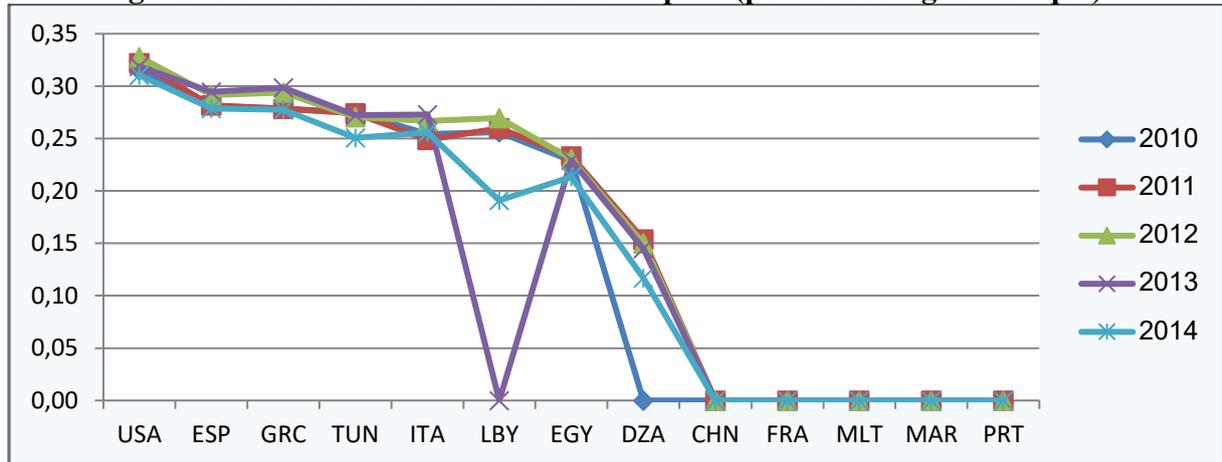
Sources : Élaborée par nos soins sur la base de données de l'annexe C.

La lecture du tableau ci-dessus permet de constater que certaines cases sont vides ce qui s'explique par le classement des pays de l'échantillon ayant un score nul (zéro) durant les cinq années d'étude. Voire leur nombre important, il sera inutile de leur accorder le dernier rang (13) à la fois.

En utilisant l'agrégation géométrique, les scores de l'IDSE varient au sein d'une fourchette très étroite [0, 0,3]. Si nous prenons uniquement les valeurs non nulles, cette fourchette se situe entre [0,11, 0,3]. Les pays de l'échantillon ne dépassent pas cette barre, sauf pour les États-Unis qui la dépassent très légèrement durant toute la période. L'agrégation géométrique réduit le niveau des scores, donc des niveaux de durabilité énergétique calculés par l'IDSE. Cela est dû à la faible compensation et surtout à la sensibilité aux valeurs faibles.

Comme le montre la figure 4.4, ci-dessous, les pays gardent presque le même score durant la période de cinq ans. Les scores presque ne varient pas sauf pour les pays européens et la Tunisie où des variations très légères sont visibles.

**Figure 4.4: Évolution des scores dans l'espace (pondération géométrique)**



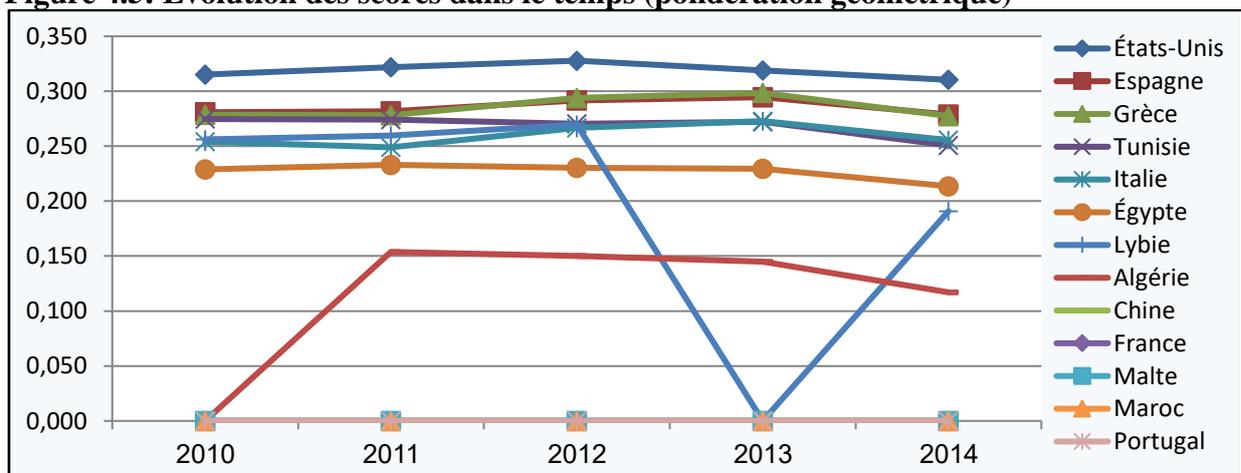
Sources : Élaborée par nos soins à partir de tableau 4.2.

Des variations conséquentes et passagères sont visibles pour l'Algérie et la Libye. L'Algérie de 2010 obtient un score nul, pénalisée par le handicap de production d'énergie renouvelable (ECO5) dont la production nationale est quasiment nulle. L'Algérie, malgré ses nombreuses performances dans la majorité des indicateurs notamment environnementaux et sociaux, est sévèrement pénalisée par l'inexistence de production d'énergie renouvelable.

La Libye obtient aussi un score nul en 2013, puisqu'elle est le pays qui enregistre l'extremum de pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution de l'électricité (ECO3) à l'échelle mondiale.

Contre toute attente, comme le montre la figure 4.5 ci-dessous, l'Algérie, et de moins la Libye, occupent les dernières places des pays à score non nul, loin derrière la Tunisie, l'Égypte et la Grèce. Trois pays qui présentent davantage de performances (tendance centrale) sur la majorité des indicateurs sélectionnés en 2014, voir l'annexe F.

**Figure 4.5: Évolution des scores dans le temps (pondération géométrique)**

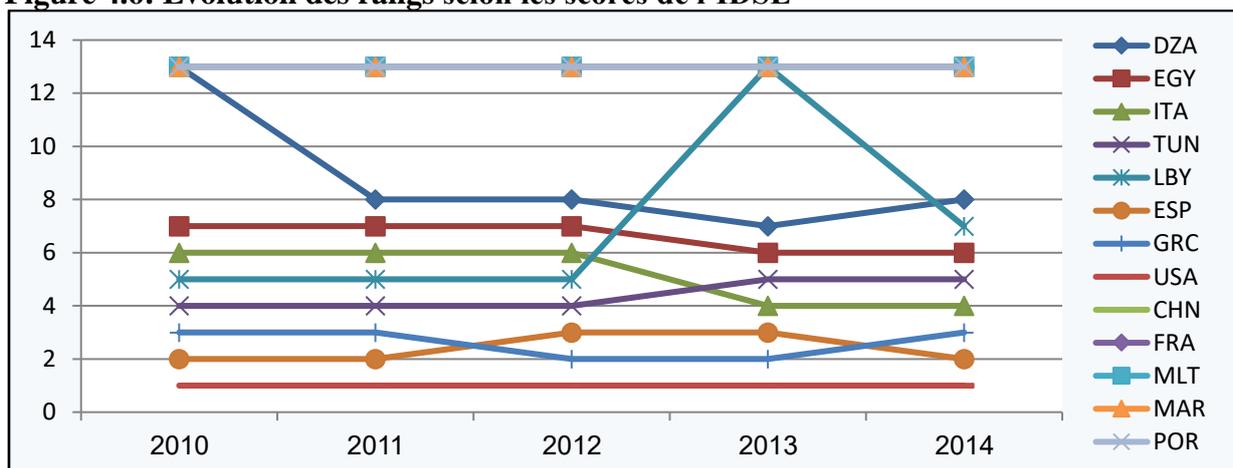


Sources : Élaborée par nos soins à partir de tableau 4.2.

Cinq pays de l'échantillon obtiennent un score nul durant toute la période, des pays qui enregistrent des insuffisances sévères dans au moins un seul indicateur. La Chine, le plus

grand consommateur du charbon dans le monde obtient un score nul, puisque la normalisation Min/Max octroie une valeur nulle pour le pays qui présente la valeur maximale mondiale pour un indicateur inversé au sens de durabilité, voir l'équation (2) page 232. Les pays européens de l'échantillon, à l'exception de l'Espagne et de la Grèce, obtiennent aussi des scores nuls puisqu'ils présentent, avec le Maroc, des réserves et des productions nulles en énergies fossiles locales (ECO4).

**Figure 4.6: Évolution des rangs selon les scores de l'IDSE**



Sources : Élaborée par nos soins à partir de tableau 4.2.

Les rangs des pays suivent exactement l'évolution des scores, d'ailleurs il y a de grandes ressemblances entre les deux figures 4.5 et 4.6 (symétrique par rapport à l'axe des ordonnées). Cette ressemblance est due à la fois à la taille réduite de notre échantillon et à la durée courte de l'échantillon. Nous attendons à ce que cette ressemblance diminuera si la taille de l'échantillon et la durée de l'étude se voient amplifiées.

Les États-Unis restent le leader en matière de durabilité énergétique, selon les résultats de l'IDSE, puisqu'ils gardent la première place durant toute la période d'étude. Alors que l'Algérie occupe la dernière place par rapport aux pays ayant des scores non nuls et la huitième place par rapport à tous les pays de l'échantillon. Si l'Algérie occupe la septième place au lieu de la huitième place habituelle en 2013, cela n'est possible que parce que la Libye perd sa place avec un score nul (ECO3). Finalement, il y a que l'Italie et l'Égypte qui progressent dans le classement au détriment de la Tunisie et la Libye.

Le passage d'une agrégation géométrique faiblement compensatoire à une agrégation arithmétique totalement compensatoire changera complètement la donne. Premièrement, comme le montre le tableau 4.3 ci-dessous, les scores de durabilité énergétique de tout l'échantillon sont différents de zéro et largement supérieurs à ceux obtenus par l'agrégation géométrique. Ces résultats sont explicables par les propriétés de l'agrégation additive ; fortement compensatoire et surtout non sensible aux valeurs très faibles proches de zéro.

**Tableau 4.3: Scores et rangs de l'IDSE, pondération égale et agrégation arithmétique**

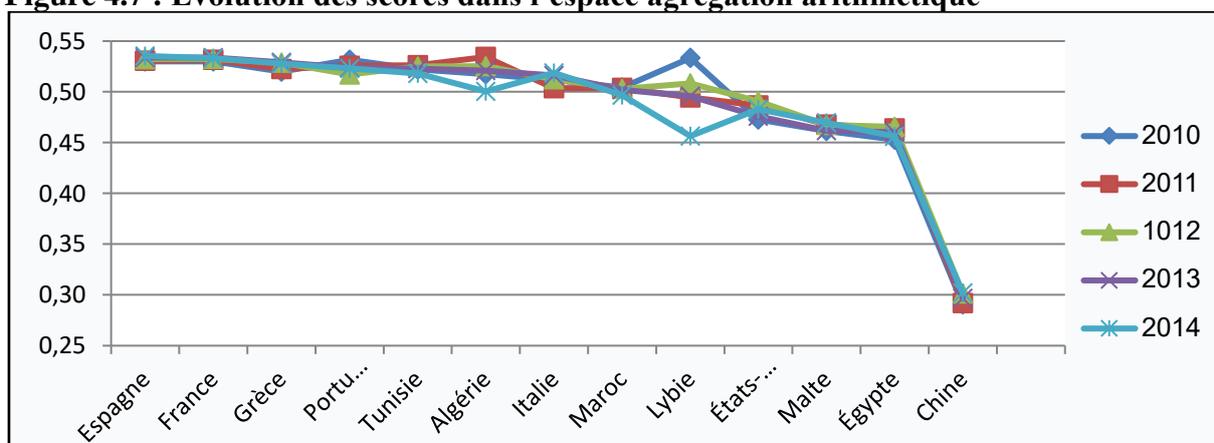
Pays	2010		2011		2012		2013		2014	
	Score	Rang								
Algérie	0,517	7	0,534	1	0,525	4	0,521	6	0,501	7
Chine	0,291	13	0,292	13	0,301	13	0,297	13	0,302	13
Égypte	0,453	12	0,464	12	0,465	12	0,460	12	0,456	12
Espagne	0,530	4	0,531	3	0,532	2	0,534	1	0,535	1
États-Unis	0,473	10	0,487	10	0,491	10	0,476	10	0,483	9
France	0,530	3	0,532	2	0,532	1	0,534	2	0,533	2
Grèce	0,520	6	0,522	6	0,529	3	0,529	3	0,528	3
Italie	0,512	8	0,504	8	0,513	7	0,516	7	0,519	5
Libye	0,533	1	0,495	9	0,508	8	0,496	9	0,457	11
Malte	0,462	11	0,468	11	0,467	11	0,462	11	0,470	10
Maroc	0,504	9	0,504	7	0,503	9	0,502	8	0,497	8
Portugal	0,532	2	0,525	5	0,517	6	0,524	4	0,523	4
Tunisie	0,522	5	0,526	4	0,525	5	0,523	5	0,518	6

Source : Élaborée par nos soins.

Deuxièmement, contrairement aux scores obtenus précédemment par l'agrégation géométrique qui ont été inférieurs à 0,3, les scores obtenus par l'agrégation arithmétique sont majoritairement supérieurs à 0,3. En effet, les scores varient à présent dans la fourchette [0,29, 0,53]

Les pays européens, à l'exception de Malte, occupent les premières places durant les cinq années avec des scores supérieurs à la moyenne(0,5). De l'autre côté, comme le montre la figure 4.7, les pays de l'Afrique du Nord obtiennent des scores inférieurs légèrement à ceux des Européens sauf pour l'Égypte qui présente de faibles performances puisque son score moyen est de 0,46 durant la période. Malte, en tant que petite île, est désavantagée par l'absence de production d'énergie locale, notamment non renouvelable, ce qui réduit la consommation d'énergie par habitant.

**Figure 4.7 : Évolution des scores dans l'espace agrégation arithmétique**

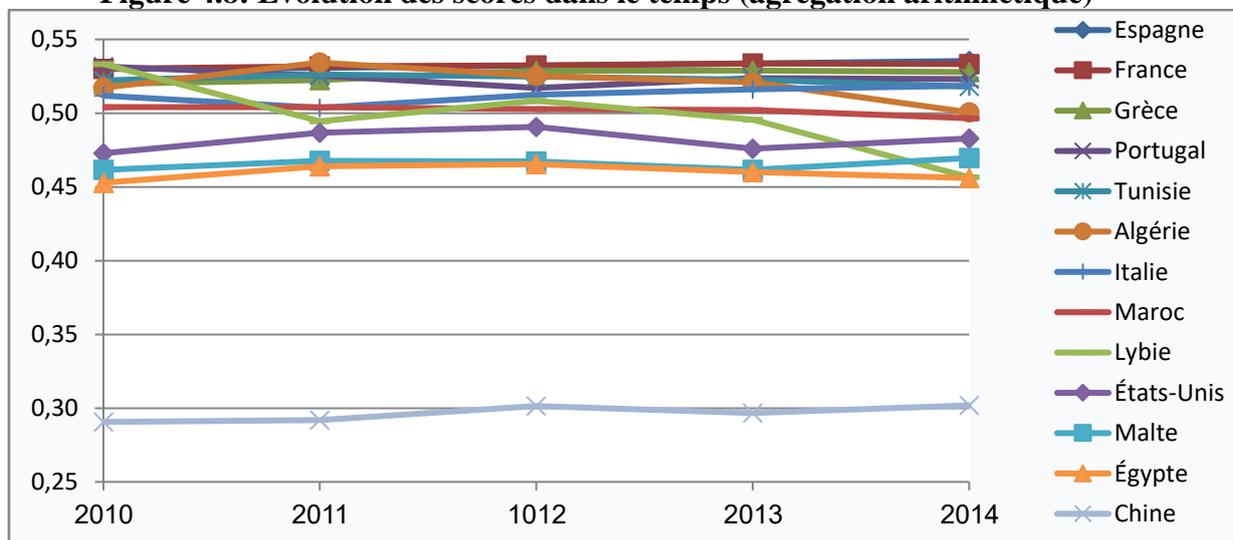


Sources : Élaborée par nos soins à partir de tableau 4.3.

Des scores de durabilité énergétique presque stables pour tout l'échantillon et durant toute la période de cinq années d'étude. Il n'y a que la Libye qui enregistre des variations à la

baisse de son score de durabilité, des variations qui peuvent être expliquées par la fragilité politique et sécuritaire du pays contrairement aux autres pays de la région. Cette stabilité des résultats est cohérente puisque, comme déjà indiqués à la section 3 de chapitre 3, les systèmes énergétiques sont connus par leur rigidité liée aux coûts très élevés des investissements et surtout à la très longue durée de vie de ces derniers. Techniquement, le système énergétique est composé d'équipement de production, de transmission et de consommation qui coûte très cher et dont l'amortissement prend plusieurs décennies (bâtiment, raffinerie, centrale...). De côté de la consommation, il est aussi très difficile d'enregistrer dans peu du temps des modifications dans les habitudes et l'équipement d'utilisation d'énergie notamment dans le comportement des consommateurs. Cette inertie limite fortement les chances des dirigeants à reconfigurer le système énergétique et d'amorcer une transition énergétique durable pendant une période de temps très serrée, de cinq ans.

**Figure 4.8: Évolution des scores dans le temps (agrégation arithmétique)**



Source : Élaborée par nos soins à partir de tableau 4.3.

La figure montre une sorte de conglomérat, la majorité des pays, à l'exception de la Chine qui s'isole et occupe de très loin la dernière place du classement. En effet, le concours est très serré, les scores des pays varient dans une amplitude de 0,1 seulement [0,45, 0,55] au point que la courbe de la Figure 4.7 prend presque l'apparence d'une seule ligne. D'ailleurs, c'est pour cette raison que le classement des pays n'est pas stable et que la première place change de main fréquemment entre les pays. Tellement les scores des pays sont très proches, la moindre modification, même minime, pour un pays donné, le bousculera dans le classement. Par exemple, l'Algérie, qui occupe la septième place du classement en 2010, décroche la première place une année après puis elle régressera vers la septième en 2014.

Les États-Unis qui occupaient la première place lors de la pondération géométrique prennent la dixième place de classement avec la pondération arithmétique.

La Chine présente de très loin le score le plus faible durant toute la période, par conséquent, elle est très loin derrière les États-Unis. La Chine présente des faiblesses dans plusieurs domaines (indicateurs). En effet, dans un nombre important d'indicateurs, notamment dans les dimensions économique et sociale, la Chine montre de faibles performances en durabilité énergétique. Dans plus de la moitié des treize indicateurs sélectionnés sur la base desquels l'IDSE est calculé, voir l'annexe C, les valeurs normalisées des indicateurs ; ECO1, ECO3, ECO4, ECO5, ENV4, SOC2 et SOC3 sont proches de zéro pour la Chine en 2014.

La rive nord de la méditerranée, importatrice nette d'énergie fossile, présente des performances très élevées par rapport à la rive sud de la méditerranée, exportatrice nette d'énergie fossile. Une façon de rappeler que la durabilité énergétique, multidimensionnelle et multicritère, ne peut être assurée ou consolidée uniquement par la présence de réserves locales remarquables en énergies fossiles. La tendance générale, durant les cinq années, est que les pays de la rive nord méditerranéenne présentent de légères tendances à la hausse des scores de durabilité énergétique, contrairement aux pays de la rive sud, où la tendance est à la baisse, notamment pour l'Algérie et la Libye. L'écart en termes de durabilité énergétique entre les deux rives se creuse.

#### **4.3-Analyse de robustesse de l'IDSE**

Nous avons effectué, dans ce qui a précédé, des comparaisons intertemporelles et interspatiales des différents niveaux de performances (scores et rangs) en matière de durabilité énergétique de 13 pays entre 2010 et 2014. Mais, ce genre de mesures et comparaisons reste entaché des limites dans la mesure où les choix alternatifs lors de la construction de l'IDSE pourraient conduire à l'inversion ou de moins à la modification des conclusions tirées de l'évolution de la durabilité énergétique dans le temps et dans l'espace.

Comme nous l'avons constaté, la construction d'IC implique une longue série d'étapes, tant conceptuelles que méthodologiques, qui doivent être suivies soigneusement et au cours desquelles des jugements doivent être faits. Il n'y a aucun doute que les choix dans ces étapes (surtout de pondération et d'agrégation) peuvent aboutir facilement à une mesure synthétique incorrecte et donner une image déformée de la réalité. D'ailleurs, dans la littérature, comme déjà mentionnées, ces deux dernières étapes de pondération et d'agrégation, sont à l'origine des principales critiques aux IC. En effet, la moindre inattention, lors de ces étapes, peut altérer radicalement les résultats et ainsi la crédibilité et l'acceptabilité de l'IC lui-même.

La diversité de choix lors de multiples étapes suscite des préoccupations sur la crédibilité des résultats obtenus par un IC. Bien que le nombre et la diversité des méthodes de construction d'IC rendent compliquée l'évaluation de la durabilité énergétique, l'inquiétude est de savoir si les résultats de l'évaluation en utilisant de différentes méthodes présentent des

conclusions similaires et valables sur la performance des pays en matière de durabilité énergétique.

Dans cette dernière sous-section, nous présenterons l'IDSE calculé précédemment en faisant recours aux autres schémas alternatifs de pondération et d'agrégation afin d'analyser sa robustesse. Nous comparerons les scores et les classements des pays de l'échantillon qui résulteront de recours à l'utilisation de deux procédures de pondération (égale selon l'arborescence et ACP) et deux procédures d'agrégation (arithmétique et géographique).

L'analyse de la robustesse est indispensable pour un IC, c'est une sorte d'outil d'assurance qualité de l'IDSE. Dans la littérature, l'analyse de robustesse n'est pas automatique, pour la grande majorité des indices composites, elle peut être partiellement ou totalement absente<sup>130</sup>. Nous devons admettre que ce type d'analyse n'est pas chose facile. Pour une analyse complète de la robustesse, cette tâche nécessitera un travail énorme, notamment si la partie conceptuelle, en plus de la partie méthodologique, sera aussi analysée. D'ailleurs, c'est pour cette raison que nous allons nous contenter d'analyser uniquement la robustesse par rapport aux schémas de pondération et d'agrégation seulement, sans analyser les choix liés ; au cadre conceptuel, aux indicateurs, à l'imputation des données manquantes et de la normalisation. Nous devons préciser que l'analyse de la robustesse comporte plusieurs formes et elle consiste à comparer le score final de l'IC en abordant l'utilisation, un par un, de tous les choix potentiels dans chaque étape en toutes choses égales par ailleurs.

L'analyse de robustesse couvre plusieurs formes potentielles : analyses d'incertitude et de sensibilité (techniques dites traditionnelles), Analyse d'acceptabilité multicritères stochastique<sup>131</sup> et bien d'autres formes encore.

Fréquemment, l'analyse de robustesse est réalisée au moyen d'une analyse d'incertitude ou d'une analyse de sensibilité ou les deux à la fois, d'ailleurs, c'est pour cette raison qu'elles sont nommées les techniques traditionnelles. Souvent ces deux formes sont traitées séparément, l'analyse d'incertitude étant le type de robustesse le plus fréquemment utilisé<sup>132</sup>. Cependant, les deux sont nécessaires pour permettre aux experts, au public et aux décideurs auquel l'indice est destiné de mieux déchiffrer les résultats de la mesure. Évidemment, avec l'utilisation de ces deux méthodes, un IC pourrait s'immuniser contre certaines critiques et surtout de donner une image plus robuste, donc de sa crédibilité en tant que mesure de durabilité.

---

<sup>130</sup> Dialga I. et Thi-Hang-Giang I., op. cit.

<sup>131</sup> Lors de la construction des indices composites de pauvreté, l'analyse stochastique (dominance stochastique) est généralement utilisée, voir, Bibi S., El Lahga A. R.. 2008 et Ezzrari A., 2012.

<sup>132</sup> Freudenberg, 2003.

### 4.3.1- Analyse d'incertitude

L'analyse d'incertitude fait référence aux changements observés (rangs et scores des pays) à partir d'un changement de l'un des choix effectués dans les méthodes lors d'une certaine étape de construction d'indice (également nommé, entrée) par un autre choix éventuellement différent. L'analyse d'incertitude rend explicite le crédit que nous pouvons accorder à l'IDSE comme outil de mesure de durabilité énergétique. Toutes les étapes et les différentes méthodes de construction d'un IC génèrent des incertitudes qui se répercutent sur le score et le rang attribué à un pays.

L'analyse d'incertitude nous permet d'observer comment les performances (score) et/ou le rang d'un pays donné s'écartent suite aux modifications apportées aux méthodes lors des étapes de construction. Cette modification est habituellement illustrée dans un tableau de dispersion<sup>133</sup>. L'axe vertical indiquant les performances des pays (score et classement) et l'axe horizontal représentant la source d'incertitude testée (autres systèmes de pondération ou d'agrégation).

Nous allons réaliser l'évaluation de l'incertitude associée à l'IDSE de chaque pays en retenant la pondération égale selon l'arborescence et l'agrégation géométrique (voir tableau 4.4 et 4.5). Comme déjà mentionnée, seule l'incertitude liée aux changements de pondérations et d'agrégations sera évaluée. Nous nous intéresserons aux sources d'incertitude en nous intéressant à d'autres systèmes de pondération et d'agrégation.

La première étape de l'analyse de l'incertitude consiste à choisir les facteurs d'entrée qui seront testés. Dans notre cas, uniquement deux facteurs d'entrée seront testés à savoir deux schémas de pondération (Égal, ACP<sup>134</sup>) et deux schémas d'agrégation (arithmétique, géométrique). Ce choix peut être expliqué par les multiples critiques exprimées à l'égard des IC dans ces deux étapes, au point de les qualifier de talon d'Achille de la construction d'IC.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) permet d'obtenir les poids relatifs aux dimensions et aux indicateurs de l'IDSE en raison de la contribution relative de chaque variable aux variations de la variance totale de l'indice. Les poids sont obtenus à partir des valeurs propres fournies par l'ACP calculée par le logiciel XLSTAT. Comme dans la pondération égale, la somme des poids des indicateurs est égale à un (1).

À partir des résultats obtenus ci-dessus, nous allons conduire des tests d'incertitude par rapport aux deux méthodes de pondération, en retenant l'agrégation par la moyenne géométrique. Dans le tableau 4.4, nous présentons les écarts imputables aux méthodes de pondérations ; égale selon l'arborescence et ACP pour l'année la plus récente, 2014. Puis en deuxième lieu, nous allons conduire des tests d'incertitude par rapport aux deux méthodes

---

<sup>133</sup> OCDE, 2008.

<sup>134</sup> L'analyse en composantes principales (ACP) est la méthode classique de réduction de la dimension d'une matrice de plusieurs observations d'un ensemble de plusieurs variables. Voir Carlevaro F. et al. 2002. P. 25.

d'agrégations, en retenant la pondération égale selon l'arborescence. Dans le tableau 4.5, nous présentons les écarts imputables aux méthodes d'agrégations ; arithmétique et géométrique pour l'année la plus récente, 2014.

L'analyse d'incertitude consiste à relier les indicateurs (inputs) au rang selon le score (output) aux différentes méthodes lors de chaque étape de construction d'IC. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour calculer cette incertitude ; la méthode d'incertitude relative, la méthode de Monte-Carlo... La méthode de Monte-Carlo est la méthode la plus utilisée<sup>135</sup> sauf que, dans notre cas, l'échantillon de 13 pays n'est pas assez large pour faire recours à cette méthode. En conséquence, nous utiliserons la formule de calcul de l'incertitude relative.

L'incertitude absolue  $\Delta X$  mesure l'erreur maximale susceptible d'être commise dans l'évaluation de score de l'indice  $X$ . L'incertitude relative  $\Delta X/X$  mesure quant à elle l'importance de l'erreur maximale susceptible d'être commise par rapport à la valeur calculée de l'indice.

**Tableau 4.4 : Calcul de l'incertitude relative associée à l'IDSE liée aux méthodes de pondération en 2014 (agrégation: géométrique)**

Pays	Pondération égale selon l'arborescence		Pondération ACP		Incertitude absolue ( $ \Delta $ )	Incertitude relative (%)	$\Delta$ Rang
	Score	Rang	Score	Rang			
Algérie	0,12	8	0,17	8	0,05	45,5	0
Chine	0	13	0	13	0	0	0
Égypte	0,21	6	0,24	7	0,02	10,6	-1
Espagne	0,28	2	0,35	2	0,07	25,5	0
États-Unis	0,31	1	0,43	1	0,11	36,9	0
France	0	13	0	13	0	0	0
Grèce	0,28	3	0,32	3	0,04	13,7	0
Italie	0,26	4	0,27	4	0,02	7,6	0
Libye	0,19	7	0,25	5	0,06	31,5	2
Malte	0	13	0	13	0	0	0
Maroc	0	13	0	13	0	0	0
Portugal	0	13	0	13	0	0	0
Tunisie	0,25	5	0,24	6	0,01	3,1	-1
variance	0,017	22,026	0,024	22,026	0,001	258,511	0,5
Ecart type	0,129	4,693	0,156	4,693	0,035	16,078	0,707

Source : Élaborée par nos soins.

En s'intéressant uniquement aux scores non nuls, il est évident que les scores de l'IDSE changent avec le changement de la méthode de pondération. Globalement, les scores sont légèrement élevés avec la pondération ACP qu'avec la pondération égale selon l'arborescence, sauf pour la Tunisie et l'Égypte. L'incertitude absolue liée aux deux systèmes de pondération est faible puisqu'elle est inférieure à 0,1 notamment pour la Tunisie, l'Italie, l'Égypte, la Grèce et l'Algérie, sauf pour les États-Unis où l'incertitude absolue est de 0,11.

135 Nardo et al., op. cit.

Du côté de l'incertitude relative, la situation devient compliquée. Le niveau d'incertitude relative est variable entre les pays, il passe de 3% pour la Tunisie jusqu'à 45% pour l'Algérie en 2014. En effet, un tel niveau d'incertitude devient embarrassant pour un outil d'évaluation de performances énergétiques à l'échelle internationale, puisque la mesure peut enfermer une imprécision (ou une erreur) qui se rapproche de la moitié de la valeur de résultat ( $\approx 50\%$ ).

La remarque la plus importante est que, malgré la modification des scores, le classement des pays fourni par l'IDSE reste presque identique avec les deux méthodes de pondération, sauf pour l'Égypte, la Libye et la Tunisie. Ainsi, si les scores de durabilité changent avec la pondération, l'IDSE garde le même classement international des pays en termes de durabilité énergétique.

**Tableau 4.5 : Calcul de l'incertitude relative associée à l'IDSE liée aux méthodes d'agrégation en 2014 (pondération égale).**

Pays	Géométrique		Arithmétique		Incertitude absolue $ \Delta $	Incertitude relative (%)	$\Delta$ rang
	Score	Rang	Score	Rang			
<b>Algérie</b>	0,12	8	0,50	7	0,38	327,85	1
<b>Chine</b>	0	<u>13</u>	0,30	13	0,30	#	0
<b>Égypte</b>	0,21	6	0,46	12	0,24	113,50	-6
<b>Espagne</b>	0,28	2	0,54	1	0,26	92,03	1
<b>États-Unis</b>	0,31	1	0,48	9	0,17	55,59	-8
<b>France</b>	0	<u>13</u>	0,53	2	0,53	#	11
<b>Grèce</b>	0,28	3	0,53	3	0,25	90,25	0
<b>Italie</b>	0,26	4	0,52	5	0,26	102,83	-1
<b>Libye</b>	0,19	7	0,46	11	0,27	139,12	-4
<b>Malte</b>	0	<u>13</u>	0,47	10	0,47	#	3
<b>Maroc</b>	0	<u>13</u>	0,50	8	0,50	#	5
<b>Portugal</b>	0	<u>13</u>	0,52	4	0,52	#	9
<b>Tunisie</b>	0,25	5	0,52	6	0,27	106,64	-1
<b>Variance</b>	0,017	22,026	0,004	15,167	0,015	7046,286	29,026
<b>Ecart type</b>	0,129	4,693	0,063	3,894	0,124	83,942	5,388

Source : Élaborée par nos soins à partir de l'annexe C

Avec le changement de méthode d'agrégation, en passant d'agrégation géométrique à une pondération arithmétique, l'incertitude associée à l'IDSE construit pour l'échantillon va de 55% pour les États-Unis à plus de 327 % pour l'Algérie. Des niveaux d'incertitude démesurés qui mettent sérieusement en péril la crédibilité de l'IDSE, de côté de l'agrégation, en tant que mesure de performances en durabilité. Comme déjà mentionné précédemment lors de présentation des résultats, cela a induit des incertitudes au niveau des classements des pays. Si nous prenons que les pays présentant des scores non nuls en agrégation géométrique séparément des autres pays, il sera très facile de constater que les rangs entre ces pays là restent presque inchangés.

Ainsi, nous pouvons conclure que si les systèmes d'agrégation infligent des incertitudes élevées dans les scores de durabilité, ils restent presque équivalant (peu de changement) du côté de rangs des pays. Comme déjà prévus précédemment, ces résultats obtenus laissent penser que les caractéristiques de l'agrégation géométrique (faible compensation et sensibilité aux valeurs proche de zéro) sont à l'origine de ces très fortes variations des résultats de l'indice des pays en particulier pour l'Algérie et la Libye où l'incertitude dépasse les 100%. Cette divergence des résultats du calcul d'incertitude illustre bien la prudence qu'il est à observer dans les conclusions issues des analyses des indices composites construits en adoptant telle ou telle méthode d'agrégation.

Par conséquent, l'IDSE peut être utilisé comme un indice efficace pour classer (ou comparer) les pays en matière de durabilité énergétique, puisqu'il comporte moins d'incertitudes dans les rangs des pays. Par contre, l'IDSE ne peut être utilisé comme un indice solide de mesure de degré de durabilité énergétique dans le sens d'interpréter le score de l'IDSE comme niveau donné de durabilité d'un système énergétique. Par exemple, si un pays donné se voit attribuer un score de 0,8 par l'IDSE, cela ne signifie pas que ce pays est proche d'atteindre la durabilité énergétique. Cela voudra dire seulement qu'il est plus performant relativement par rapport à un autre pays à qui l'IDSE a attribué un score inférieur à 0,8. Aussi si le score de l'IDSE s'améliore dans le temps pour un pays donné, cela peut être interprété comme une amélioration de ses performances en matière de durabilité énergétique et l'inverse et juste.

#### **4.3.2- Analyse de sensibilité**

L'analyse de sensibilité mesure l'ampleur de la variance de score attribué aux incertitudes analysées précédemment dans l'analyse d'incertitude<sup>136</sup>.

L'analyse de sensibilité peut être considérée comme complémentaire à l'analyse d'incertitude, puisqu'elle nous donne des réponses aux questions de sensibilité de l'indice aux incertitudes précédentes en identifiant la portion de cette variation dans les rangs à ce changement particulier des schémas de pondération et d'agrégation. Quelle modification d'entrée qui modifie principalement les classements ? Qui a un effet plus important sur le score, est-ce que c'est le schéma de pondération ou d'agrégation ou les deux ? Celles-ci sont généralement exprimées en termes de mesures de sensibilité pour chaque entrée testée.

Là encore, plusieurs méthodes sont utilisées : intervalles de confiance, décomposition de variance... Selon Saisana et al. 2005, cette dernière technique basée sur la variance sont les plus appropriées en raison de la nature non linéaire des IC. Elle permet aussi d'évaluer la solidité de l'IC, puisque la variance est une mesure d'imprécision. Pour chaque facteur d'entrée testé, un indice de sensibilité est calculé, indiquant la proportion de la variance globale du composite expliquée, toutes choses étant égales par ailleurs, en fonction des

---

136 Saisana M., Saltelli A., Tarantola S., 2005, P. 331.

variations de cette sortie. Ces indices de sensibilité sont calculés pour tous les facteurs d'entrée via une formule de décomposition (voir Saisana et al. 2005, p. 311).

L'analyse consiste à évaluer la contribution de chaque variable d'entrée à la variance totale de l'indicateur composite. Cette décomposition permet de construire des indices de sensibilité de l'IC, une mesure quantitative de la sensibilité.

Nous allons faire des tests de sensibilité des scores de l'IDSE par rapport aux méthodes de pondération et d'agrégation. Lors de test de sensibilité par rapport aux pondérations égales selon l'arborescence et ACP, nous retiendrons l'agrégation par la moyenne géométrique et lors de test de sensibilité par rapport aux schémas d'agrégation, nous retiendrons la pondération égale selon l'arborescence de l'IDSE (voir tableaux 4.4 et 4.5).

Avec les deux méthodes d'agrégation arithmétique et géométrique, selon l'importance de l'écart entre les deux scores (tableau 4.5), nous pouvons distinguer deux genres d'écart. D'une part, pour les pays qui ont des scores nuls avec l'agrégation géométrique (Chine, malte, Maroc...) la variation des scores issus de l'agrégation arithmétique est très élevée. Par exemple, la France passe de la dernière place à la deuxième place, soit une variation du rang de 11 places. Pour ce type de pays, l'IDSE en très sensible au changement du système d'agrégation.

De l'autre part, pour les pays qui ont des scores non nuls avec l'agrégation géométrique, la variation des scores est relativement faible. Si nous délimitons notre échantillon uniquement à ce type de pays, comme le montre le tableau 4.6, les scores seront largement moins sensibles par rapport au premier type de pays.

**Tableau 4.6 : Sensibilité de l'IDSE des pays à score non nul avec l'agrégation géométrique en 2014 (pondération égale).**

Pays	Géométrique		Arithmétique		$\Delta$ rang
	Score	Rang	Score	Rang	
Algérie	<b>0,12</b>	<b>8</b>	<b>0,5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
Égypte	0,21	6	0,46	7	<b>-1</b>
Espagne	0,28	2	0,54	1	<b>1</b>
États-Unis	0,31	1	0,48	6	<b>-5</b>
Grèce	0,28	3	0,53	2	<b>1</b>
Italie	0,26	4	0,52	4	<b>0</b>
Libye	0,19	7	0,46	8	<b>-1</b>
Tunisie	0,25	5	0,52	3	<b>2</b>
<b>Variance</b>	0,004	6,000	0,001	6,000	6,000
<b>Ecart type</b>	0,061	2,449	0,031	2,449	2,449

Source : Élaborée par nos soins à partir du tableau 4.5.

Il est très facile de constater que les scores ne varient pas beaucoup en fonction de la méthode de pondération, notamment pour l'Italie, la Libye, la Grèce...qui gardent presque le même score. En effet, comme le montre les tableaux 4.4 et 4.5, l'écart type de l'incertitude

relative liée au changement de schéma d'agrégation est de 83,9% alors que celle liée au changement de schéma d'agrégation n'est que de 16%, soit 5 fois moins.

Nous pouvons conclure que l'IDSE est très sensible au changement de méthodes d'agrégation, notamment pour les pays qui ont au moins un indicateur dont la valeur normalisée est nulle. Cette sensibilité est fortement liée au caractère sensible de l'agrégation géométrique aux valeurs proches de zéro puisque pour les autres cas, c.-à-d lorsque les valeurs de tous les indicateurs normalisés ne sont pas nulles, l'IDSE est moins sensible.

La sensibilité aux méthodes de pondération montre des résultats complètement différents des précédents comme déjà montrés par le tableau 4.4 ci-dessus. En effet, tous les pays de l'échantillon gardent exactement le même rang, quelle que soit la méthode de pondération utilisée, sauf pour trois pays, à savoir la Libye, la Tunisie et l'Égypte pour lesquelles les scores varient très légèrement. Le même constat en ce qui concerne la sensibilité des rang aux systèmes d'agrégation, en effet, l'écart type de variation des rangs relatif aux schémas d'agrégation est de 5,4 places alors qu'il est de 0,7 place pour les schémas de pondération.

En nous limitant aux résultats obtenus pour notre échantillon, nous pouvons conclure que l'IDSE n'est pas (ou très peu) sensible au changement de méthodes de pondération ACP et égale selon l'arborescence de l'IDSE, alors que les schémas d'agrégation infligent beaucoup plus d'incertitudes sur les scores et les rangs que les schémas de pondération.

### **Conclusion du chapitre**

La construction de l'IDSE implique une longue séquence d'étapes qui doivent être suivies méticuleusement. Chacune des étapes nécessite d'opter pour un choix entre plusieurs méthodes qui impliquent des hypothèses assez fortes à faire. La crédibilité de l'IDSE est intrinsèquement liée à sa construction. Chaque méthode à chaque étape a ses avantages et ses inconvénients. Nous avons été obligés de faire des compromis délicats à chaque étape. En absence d'une méthode universelle, aucun indice composite (IC) ne peut être à l'abri des critiques puisqu'aucun élément de sa construction n'est au-dessus de la critique. C'est la source des principales critiques aux IC. Ils doivent ainsi être interprétés avec une extrême prudence en particulier lorsqu'ils sont utilisés dans la prise de décision.

Pour atténuer ces critiques, la solidité de raisonnement et la transparence des choix doivent guider la construction toute entière. La construction de l'IDSE est guidée de près par les objectifs explicites et implicites de la durabilité énergétique. Sachant que les objectifs de la durabilité, selon l'approche faible ou forte, sont autant divers qu'aucun IC ne peut répondre à toutes les exigences. L'IDSE est un compromis entre un rapprochement étroit aux principes

de durabilité forte et un attachement à la simplicité et à la transparence de la construction, conformément à la définition synthétique de durabilité proposée précédemment.

L'IDSE et l'interprétation des résultats sont exceptionnellement enracinés aux cadres théoriques que méthodologiques, mais également à plusieurs autres défis pratiques, notamment la disponibilité et la qualité des données. En effet, la robustesse de l'IDSE est ramollie par le niveau élevé des incertitudes et la forte sensibilité des résultats au changement de méthode d'agrégation. L'agrégation géométrique, faiblement compensatoire et sensible aux valeurs très faibles, réduit considérablement les scores et désorganise le classement des pays issus de l'agrégation additive. De côté de la pondération, l'IDSE montre une robustesse exceptionnelle, puisque les scores des pays comportent peu d'incertitudes et une insensibilité des rangs au changement de méthode de pondération. La pondération égale selon l'arborescence et ACP s'achève aux mêmes résultats et à des rangs inchangés des pays de l'échantillon.

Parallèlement aux résultats obtenus pour notre échantillon, si l'IDSE se montre moins efficace comme outil d'aide à la décision, il sera un outil significatif pour comparer les pays à l'échelle mondiale en matière de durabilité énergétique. Donc, l'IDSE a atteint son objectif de départ, celui de construire des performances des pays en matière de durabilité énergétique. Si les scores varient relativement, les rangs des pays restent moins sensibles aux modifications des méthodes de pondération et d'agrégation.

Le système énergétique algérien se montre partiellement fragile puisqu'il est moins performant que ceux des pays de la région, Maroc, Libye et Égypte. L'Algérie se voit défavoriser par l'inexistence de production et de consommation d'énergies renouvelables, l'importance des pertes en électricité et, contrairement aux idées reçues, le faible accès financier des ménages à l'électricité commerciale (SOC2). Quelle que soit la méthode de pondération et d'agrégation, l'Algérie prend le milieu du classement des pays de l'échantillon. Entre les grands pays énergivores, il est très facile de conclure que la Chine se retrouve à la dernière place, très loin derrière les États-Unis, leader de l'échantillon. Globalement, la rive nord de la méditerranée présente des systèmes énergétiques relativement plus durables que ceux de la rive sud.

Ces résultats doivent être considérés avec prudence puisque l'échantillon de pays et la durée d'étude sont restreints pour apprécier la crédibilité de l'IDSE ou pour généraliser les résultats obtenus.

## **Conclusion générale**

Dans le travail qui a précédé, les développements des systèmes énergétiques nationaux sont évalués par un indice composite (IC) dénommé Indice de Durabilité de Système Energétique (IDSE) où la durabilité énergétique est décrite par un ensemble d'indicateurs multidimensionnels ; économiques, sociaux et environnementaux en référence à la littérature. En optant pour certaines méthodes spécifiques dans chaque étape de sa construction, l'IDSE a été calculé, analysé puis comparé pour un échantillon de pays.

Pour cette analyse, un ensemble de 13 indicateurs a été adopté. Des indicateurs identifiés grâce à une vaste consultation des rapports des organisations internationales de renommée tout en veillant au respect des normes théoriques et pratiques spécifiques à l'évaluation de la durabilité. L'IDSE est calculé en utilisant des données disponibles, facilement accessibles et fiables. En absence du consensus, le concept de DD adopté dans ce travail n'appartient pas exclusivement à la durabilité faible ou forte, mais à un compromis entre les deux approches. La nouvelle méthode proposée a été appliquée à un échantillon de 13 pays limitrophes à l'Algérie. L'étude a été utilisée pour suivre l'évolution dans le temps et dans l'espace, comparer la durabilité des différents systèmes énergétiques de cet échantillon durant la période allant de 2010 à 2014.

L'IDSE révèle la durabilité du système énergétique et peut apporter des solutions pour accroître la durabilité énergétique d'un pays en améliorant les indicateurs d'impact positif et en atténuant les indicateurs d'impact négatif. Le niveau de la durabilité énergétique et l'importance de celle-ci ne sont pas identiques pour chaque pays. À cet égard, construire un IDSE est une nécessité, premièrement, pour atteindre cette durabilité et, deuxièmement, pour évaluer et comparer les performances de chaque pays dans ce domaine. En outre, la construction d'IC efficace est nécessaire pour inciter les pays à améliorer et à renforcer les conditions de leur durabilité énergétique.

L'indice proposé peut constituer un mécanisme de surveillance à l'échelle internationale qui souligne les forces et les faiblesses d'un pays du point de vue de la durabilité du système énergétique. Cela peut apporter des solutions pour accroître la durabilité énergétique d'un pays en intégrant les sous indicateurs de l'IDSE dans le processus de prise de décision. Il indique également l'évolution dans le temps et dans l'espace du niveau de

durabilité des systèmes énergétiques et il peut contribuer à attirer l'attention des dirigeants et des citoyens à repenser la façon de produire et de consommer l'énergie à fin de créer une volonté de suivre la voie de DD.

Au terme de ce travail, un constat captivant est effectué. Si la durabilité en tant qu'aspiration de l'humanité à garantir la continuité de ses exploitations est très ancienne, la durabilité en tant que projet de pérennité de bien-être humain est très récente. Elle remonte aux premiers travaux sur la théorie de l'effondrement de la deuxième moitié de XXe siècle. En effet, actuellement, la durabilité est vue comme un nouveau paradigme du progrès, puisque, pour la majorité d'experts, elle constitue le prolongement légitime de l'évolution historique de la notion du progrès, de croissance et de développement. Alors, si les précédents paradigmes du progrès, tel que la croissance, sont unidimensionnels ou bidimensionnels, tel que le développement, le paradigme de durabilité se veut multidimensionnel. La durabilité est un domaine multidisciplinaire, voire transdisciplinaire où la durabilité est abordée en mettant l'accent sur des cibles multidimensionnelles, multidisciplinaires, complexes et dynamiques.

La durabilité c'est un concept récent métissé et très complexe. Il est entièrement en construction. Si la durabilité fixe un objectif noble à atteindre à travers les générations, comme elle est définie au départ dans le rapport Brundtland, **elle reste un projet flou et difficilement opérationnel**. Bien que le concept de DD ait fait l'objet de nombreuses discussions dans la littérature, il reste toujours un sujet en évolution où de nouvelles idées de durabilité, pas forcément réconciliables, continuent à émerger.

Après plus de trente ans de débat et de réflexion, **il n'existe pas de définition consensuelle de ce que signifie pratiquement la durabilité. Il y a beaucoup de points de vue divergents sur ce qu'est « la durabilité »** et comment celle-ci peut être mise en œuvre et évaluée. L'idée de durabilité découle du concept de DD qui fixe l'objectif à atteindre, éviter l'effondrement, sans donner des précisions sur les moyens pour l'atteindre. Aujourd'hui, le DD est entré dans le langage commun, mais souffre d'imprécision sur sa mise en œuvre. Par conséquent, **dans ce travail, la question de savoir comment définir la durabilité en termes de principes opérationnels vigoureux, puis comment traduire ses principes en un cadre fonctionnel d'évaluation dans le domaine énergétique est posée**. Au lieu de voir la durabilité comme un simple objectif, flou et complexe, il faut la concevoir comme un processus dynamique. Il est constaté que l'idée de durabilité, conformément définie, englobera de manière adéquate tous les aspects des éléments économiques, environnementaux et sociaux impliqués dans le concept original, le développement durable.

Malgré les efforts scientifiques actuellement consacrés à l'étude du DD et à l'évaluation de la durabilité et aux systèmes énergétiques, il y a une carence de littérature, notamment francophone, qui récapitule formellement ; la définition et l'opérationnalisation de la durabilité. Il y a, en conséquence, l'absence d'approches et de cadres uniques à utiliser pour

son évaluation, une étape primordiale qui souffre d'immature. Les efforts de définir la durabilité semblent abandonnés et ils sont tout simplement focalisés sur son évaluation, ce qui nuit fortement sur la crédibilité des projets de son évaluation.

La reconnaissance du fait que l'humanité exerce des pressions importantes sur les systèmes terrestres et aussi de fait des inégalités qui pèsent sur le système social, a conduit à la multiplication des travaux scientifiques qui rendent compte des résultats des évaluations de la durabilité. Cela a conduit à une multitude d'approches et de méthodes qui aspirent apporter des réponses aux questions de durabilité. En fait, nous sommes entrés dans une ère où il existe une abondance de méthodes d'analyse, complémentaires et/ou concurrentielles, de la durabilité. **La plupart des conceptions de durabilité vont ensuite évoluer plus ou moins chacune de leurs côtés, en établissant leurs propres approches et outils d'évaluation.** Dans ce domaine, des singularités sont constatées. Avancer une "approche standard" d'évaluation ne permet pas de refléter sans aberration les visions différentes du concept. C'est donc l'universalité du DD qui est remise en cause ici : **développer des systèmes d'évaluation complexes `universels` ou au contraire, permettre une certaine flexibilité** afin d'intégrer les particularités ou les priorités spécifiques de chacun. Devant l'impossibilité de la première, dans ce travail, nous avons opté pour la deuxième approche i.e. accepter certaine flexibilité entre les deux approches de durabilité. Envisager des arbitrages (jugement de valeur) afin de parvenir à des compromis par forcément objectifs.

La question de la durabilité est particulièrement difficile. Dans ce domaine important, complexe et en extension rapide, l'imprécision et les divergences et même les contradictions entre les conceptualisations de durabilité rendent l'opérationnalisation et l'évaluation de celle-ci compromise. **La sélection de méthodes appropriées pour répondre aux exigences du DD dans l'évaluation n'est pas chose facile.** La sélection ou l'adoption d'une méthode particulière nécessite des choix quant à la portée, aux hypothèses, aux valeurs et à la précision. **La subjectivité reste inévitable puisqu'elle reste dominante dans les nombreux travaux d'évaluation de durabilité, notamment par des IC.** En outre, l'évaluation devient plus dépendante des acteurs d'évaluation, l'évaluateur et l'utilisateur, que sur des méthodes logiques et objectives.

La science de la durabilité est une discipline en plein essor. Un débat est en cours sur ce que la durabilité et sur ce que son évaluation devrait englober. Ce débat renvoie à la nécessité de combler des disciplines très différentes, chacune avec ses propres valeurs et approches. **Devant l'absence de consensus sur ce que la durabilité incarne et l'engagement de mettre en œuvre le DD, proposer une "définition réunificatrice" claire, opérationnelle et mesurable de la durabilité devient une revendication de taille.** Sachant que cela est très difficile, soumettre une définition réunificatrice revient, d'une manière ou d'une autre, à concilier de multiples objectifs complexes et contradictoires. Dans ce sens, afin de faire avancer le débat sur la mise en œuvre du DD et devant l'absence d'une définition

commune, notre démarche a été de formuler une « **définition synthétique** » au concept de durabilité, une synthèse des cadres de durabilité déjà existants. En gros, le résultat de cette démarche est que, pour renforcer la durabilité, il est fondamental de veiller à un certain **équilibre dynamique** entre les dimensions de durabilité en assurant de préserver un niveau de performance minimal dans chacune de ces dimensions. La contrainte de **chercher un équilibre** en combinant à la fois l'**efficacité** économique et la gestion **rationnelle** et **prudente** de l'environnement et du tissu social dans un souci **d'équité intergénérationnelle**.

En outre, la définition synthétique de durabilité incite de veiller à :

- Équilibrer entre les besoins et les moyens,
- Équilibrer le rythme de consommation et celui de la production des ressources,
- Maintenir un certain niveau stable de ressources,
- Éviter l'épuisement du capital en garantissant un niveau minimal dans les trois types,
- Garantir un niveau moyen de performances dans chaque dimension,
- Adopter une approche systémique pour mesurer le DD,
- Adopter une approche intégrée pour mettre en œuvre le DD.

Cette définition synthétique se rapproche plus des perspectives de durabilité forte que de celles de durabilité faible puisqu'elle évoque certains principes propres à l'approche écosystémique de durabilité tels que : équilibre dynamique, gestion prudente de l'environnement et du tissu social (principe de précaution), et surtout, éviter l'épuisement du capital en garantissant un niveau minimal dans les différents types du capital global.

Si cette définition règle partiellement le problème précédent, certaines imprécisions restent à régler. En effet, certains aspects essentiels à la mesure de durabilité tel que; **la synergie, les préférences et la substituabilité** entre les trois dimensions de durabilité, ne sont pas assignées, alors qu'il s'agit d'aspects qui handicapent sérieusement la mesure de la durabilité. **Le problème de la difficulté de construire une définition complète et définitive de la durabilité reste d'actualité.** Le chemin vers cette définition reste également long.

Par conséquent, l'évaluation des performances en matière de durabilité ne suit pas un protocole commun bien établi. Elle relève d'un processus long et périlleux qu'il faut suivre. Les valeurs éthiques des acteurs, à forte subjectivité, déterminent les principes de durabilité des fois en forte contradiction. Elles sont considérées comme des choix préliminaires qui catalyseront le cadre conceptuel de durabilité. À leur tour, ces choix éthiques détermineront l'approche d'EDD à appliquer. Ce dernier choix nous amènera à adopter un cadre méthodologique approprié. Le cadre méthodologique, évidemment, va opter pour un outil spécifique d'EDD qui englobera inévitablement toutes les valeurs éthiques de départ. Un outil qui influencera finalement sur la légitimité, la crédibilité et la solidité de projet d'EDD puisque les résultats finaux et leurs interprétations dépendent fortement des valeurs de cet outil.



Ainsi, pour être cohérente, la sélection d'outils d'évaluation doit commencer par un ensemble de principes directeurs en matière de DD et une compréhension des cadres qui correspondent à ces critères.

Chaque étape de ce processus expose le projet d'évaluation à des critiques sévères. Les valeurs éthiques des acteurs, qui influencent tout au long de processus d'évaluation, expriment la vision du monde réel entre une vision égoïste matérialiste (ultralibérale, néoclassique) et une autre vision altruiste biophysique (écologiste, sociétale). En fait, la différence se porte sur ce qui est important à mesurer et sur comment le mesurer. Enfin, **cette étude fournit des preuves substantielles de différences significatives dans la construction d'outils d'EDD** concernant les approches d'évaluation de durabilité. Dans le cas des indices composites (IC) cette anomalie est facilement visible à travers les grandes disparités entre les méthodes de pondération et d'agrégation des indicateurs. Contrairement aux outils d'évaluation économiques unidimensionnels, l'évaluation de durabilité multidimensionnelle reflète des défis majeurs.

La durabilité est subdivisée en plusieurs dimensions, la subjectivité se voit inévitable lors de classement ou des préférences relatives entre ces dimensions. La différence entre les approches de durabilités découle justement de là. L'EDD est ainsi inévitablement subjective. La conceptualisation d'une notion aussi complexe et large que la durabilité est très difficile de proposer définitivement des normes méthodologiques. Il est difficile de proposer un outil de mesure approprié. La rigueur d'outil est fortement ancrée à l'objectif de la mesure donc des valeurs des acteurs, c.-à-d. de l'évaluateur et/ou de l'utilisateur.

Selon l'objectif recherché, l'évaluation renvoie à des conclusions très différentes. Par conséquent, à l'image du DD qui reste un concept évolutif non achevé. Nous attendant à ce que l'EDD devait continuer à évoluer en complexité et en approches (courants) selon les objectifs et les valeurs, selon les exigences recherchées ou imposées. L'évaluation appropriée et efficace constituera un processus évolutif. Une nouvelle démarche est en train de s'opérer graduellement, elle consiste à faire converger les différentes conceptualisations de durabilité.

L'EDD est un cadre récent d'évaluation de l'action humaine. Elle met l'accent sur la réalisation des progrès en matière de DD. Elle est fondamentalement pluraliste et elle peut prendre de nombreuses formes ce qui la rend très complexe **puisqu'elle exige la maîtrise et l'intégration d'un nombre important d'éléments**. Elle nécessite la gestion d'une **grande variété de types d'informations, de paramètres et d'incertitudes**. Elle vise à appuyer la prise de décision dans un **contexte plus vaste et transcende**. La complexité de cette tâche d'évaluation relève de ces éléments précédents et implique un certain nombre d'implications

pratiques et éthiques. Les principaux défis de la mesure de la durabilité sont liés à la nécessité d'identifier une ligne de démarcation, à la fois scientifique et politique, capable de définir une frontière apparente entre ce qui contribue au DD et ce qui ne l'est pas. Ces défis sont aussi liés à porter des **solutions dans un cadre transdisciplinaire**. La grande difficulté est liée à **l'incertitude** de comprendre l'écosystème et à prévoir l'impact des décisions sur tout l'écosystème. Elle est aussi liée à l'incertitude de compréhension complète de la dynamique complexe, ce qui peut avoir des répercussions importantes sur la qualité et l'utilité de l'évaluation.

La durabilité est considérée comme science post-normale qui exige d'adopter une **approche holistique, d'intégrer une méthode transdisciplinaire, d'avoir une fonction normative, d'encourager des approches participatives (démocrates), de faire face aux incertitudes par l'adoption du principe de précaution.**

En tant que méthode d'évaluation, la durabilité prévoit des révolutions sur plusieurs plans; épistémologique (science post-normale), ontologique (évaluation intégrée), méthodologique (modéliser et évaluer les interactions entre les dimensions).

Les outils d'EDD sont nombreux et impliquent une série de choix méthodologiques très chargés en valeur. La difficulté est liée au manque des directives et des critères bien établis sur la manière de choisir entre ces outils. Très peu de littérature propose la sélection systématique d'outils d'EDD. **L'adoption d'un outil est généralement effectuée par subjectivité, spécialité ou de qualifications de l'évaluateur** et dépend généralement des contraintes de temps, de données, du budget et de la gamme d'outils disponible (approche bottom-up) plutôt que d'une base théorique solide ou du contexte de la stratégie globale d'évaluation (top-down). Cela va jouer inévitablement sur la crédibilité et la légitimité de la mesure.

Chaque outil reflète des hypothèses implicites et le résultat final de la mesure n'est pas forcément le même puisque l'EDD est spécifique dans chaque outil. Les outils monétaires ne sont que des mesures étendues pour intégrer les externalités reflétant une approche à triple résultat en matière de durabilité. En conséquence, ils pourraient ne pas aboutir à une pratique durable. Pour cette raison que c'est impératif de proposer une définition stable et commune au concept de durabilité, puisque la raison de ces contestations réside dans les origines mêmes du concept de durabilité.

Ce travail a présenté une contribution particulière au développement d'un cadre d'évaluation de la durabilité énergétique en soulignant la pertinence d'une démarche indiciaire. Devant l'impossibilité de construire un cadre d'EDD sur un consensus scientifique ou politique, ce travail s'appuie sur plusieurs conclusions qui auront une incidence sur le processus d'EDD. L'absence de l'unanimité pour former une méthode d'évaluation commune

et stable dans le contexte international nous a forcés de suivre une approche particulière pour construire l'IDSE, notamment pour la sélection des systèmes de pondération et d'agrégation.

Si en macroéconomie, la délimitation de la démarche et du champ d'IC peut s'appuyer sur une conceptualisation théorique et des conventions méthodologiques largement acceptées, cela n'est pas le cas en matière de durabilité. La conceptualisation proposée pour décrire ce phénomène multidimensionnel et multidisciplinaire fait encore l'objet de nombreuses controverses. Les valeurs éthiques et les approches varient et s'opposent selon la discipline scientifique (écologique, économique ou sociale) et selon les tendances politiques (idéologiques). Cette confrontation endémique donne, en gros, naissance à deux approches extrêmes : durabilité faible et forte. Devant ce manque de consensus, il n'est pas facile de proposer une méthode d'EDD qui sera à l'abri de fortes critiques. La légitimité et l'acceptabilité de l'IC sont toujours à l'apportée de vives critiques. Généralement, l'évaluation du DD est confectionnée selon les acteurs ; évaluateur, utilisateur.

Malgré qu'il paraisse délicat, nous avons opté, conformément à la « définition synthétique » de durabilité que nous avons déjà proposée, pour une démarche qui a consisté à proposer un dispositif d'EDD par un IC qui a consisté, à son tour, à dresser un processus de convergence des deux principales approches de durabilité ; forte et faible. Devant l'absence d'homogénéité des démarches EDD, notre démarche a consisté à une double opération ; de convergence et de simplification. La premièrement a consisté à construire un cadre théorique d'évaluation de convergence entre les deux précédentes approches de durabilité. La deuxièmement, a consisté à simplifier la démarche méthodologique de cette évaluation. Sachant que cette dernière, la simplification, est incontournable à la première, la convergence. Converger deux polarités, du point de vue puriste inconciliables, ne peut être possible sans la simplification. Ainsi, le champ d'étude de l'IDSE est délimité en fonction des attentes et de la possibilité de ``réconcilier`` les deux approches de durabilité. La simplification est vue comme un moyen à soutenir la légitimité de l'IDSE et son acceptabilité. Cette démarche **nous a semblée adéquate et elle s'opérer progressivement après trente ans de débat sur le DD.**

L'idée d'EDD par un IC est une perspective de l'approche de durabilité faible. Le choix d'évaluer la durabilité par un indice composite sous-entend dès le départ une certaine acceptation des principes de durabilité faible (modélisation, réductionniste, substituabilité...). Et puisque la construction d'IC est connue par une grande flexibilité, dans chaque étape de construction de l'IDSE, nous nous sommes attachés, dans la mesure de possible, de favoriser l'adoption des principes de durabilité forte. Ainsi, **l'IDSE, en tant qu'un indice composite à initiative de durabilité faible, s'est forcé à s'insérer dans l'approche de durabilité forte.** Idéalement, l'évaluation de la durabilité ancrée dans le contexte global devrait commencer par un consensus sur les valeurs puis à l'identification d'indicateurs pertinents au niveau mondial avant de distinguer (générer) un choix méthodologique ; pondération et agrégation.

Notre démarche de simplification et de convergence s'est basée sur la proposition de vision et de finalité clairement établies du projet d'évaluation. L'EDE par un IC s'est basée sur une vision systémique relative aux performances du système énergétique dans l'objectif de faciliter la comparaison spatiale et temporelle de la durabilité énergétique à l'échelle internationale. Cette démarche s'est révélée facilement applicable dans une démarche d'évaluation indiciaire du DD, puisque, **les IC visent à mesurer les résultats de systèmes complexes et intégrer de multiples éléments** liés à des objectifs spécifiques, des échelles et des concepts de durabilité utilisés dans leur formulation.

La durabilité énergétique (DE), relativement à la durabilité globale, marque certains progrès puisqu'elle forme un certain consensus relatif. En effet, la définition et donc la conceptualisation de la durabilité énergétique ne posent pas problème autant que la durabilité globale. La seule difficulté qui reste et liée à l'opérationnalisation de la DE. La DE souffre de diversification des façons de l'examiner, ce qui conduit à l'absence de vision commune de son évaluation. Chacun a sa propre vision de cette notion et en conséquence sa propre approche d'évaluation. **L'évaluation de la DE est loin de faire l'unanimité**, elle n'est pas commune ou universelle. En gros, trois catégories d'outils d'évaluation de la durabilité énergétique sont attrayantes. À défaut de faire une évaluation intégrée, les indices composites se montrent plus favorables et plus ambitieux que l'évaluation liée au produit. Un problème important dans l'évaluation des systèmes énergétiques (SE) est que l'évaluation de la durabilité de ces systèmes est extrêmement complexe. Afin d'évaluer de manière globale la durabilité des SE, l'utilisation d'indicateurs de durabilité est souvent nécessaire.

Puisqu'aucune perspective unique ne peut englober pleinement la réalité de l'ensemble du système énergétique durable. Un outil ne peut être suffisant pour une analyse complète du système. Le grand nombre et la divergence au sein des publications scientifiques sur le sujet en témoignent. La conclusion est que les IC ne doivent jamais être considérés comme un objectif en soi. Les IC doivent être considérés comme un point de départ pour lancer la discussion et susciter l'intérêt et les préoccupations. Les IC doivent pouvoir fournir des signaux, en particulier des signaux d'alerte qui signalent aux décideurs les domaines dans lesquels une intervention est nécessaire. Bien que l'IDSE proposé dans cette étude ne puisse fournir une mesure absolue et précise du niveau de durabilité énergétique en méditerranée ni déterminer avec précision si les pays ont atteint l'objectif du DD, cette étude permet de déterminer si des progrès en matière de durabilité énergétique sont réalisés au cours de la période d'étude. L'IDSE affiche les tendances vers la durabilité ce qui incitera de prendre des politiques et des mesures concrètes pour amorcer ou améliorer les progrès en matière de durabilité.

En absence de mesure standard permettant d'évaluer les systèmes énergétiques (SE), il est difficile de déterminer une mesure dans laquelle ces SE suivent réellement le nouveau défi lié à la durabilité énergétique. En réponse, le travail qui précède a consisté à appliquer

l'évaluation de la durabilité basée sur des indicateurs aux systèmes énergétiques. Les publications les plus récentes sur le sujet ont toutes un point commun d'opter à l'outil d'indice composite (IC). Un outil devenu emblématique dans le domaine. Même si des progrès avaient été accomplis dans la mise en point d'outils d'évaluation, l'ambiguïté reste évidente, c'est-à-dire, des indicateurs et des critères d'évaluation de durabilité énergétique. Il semble qu'une critique sérieuse est liée à l'agrégation des données, une étape qui fait toute la différence entre une démarche scientifique, rigoureuse, sérieuse et un exercice subjectif et idéologique. Des problèmes méthodologiques soulèvent des doutes sur la robustesse et l'acceptabilité des IC.

À cause de cette multiplication d'avantages et d'inconvénients, l'élément essentiel pour un indice composite (IC) est que **tous les choix méthodologiques soient transparents et argumentés**. Un bon IC est une métrique qui combine un mélange ; **de robustesse statistique, de simplicité procédurale, de transparence, de viabilité politique, d'utilité pour la conception et l'analyse de politiques et s'appuie surtout sur la disponibilité des données**. En plus de cela, un bon IC de durabilité énergétique doit résulter d'une analyse systémique de système énergétique basée sur des critères multidimensionnels tout en suivant une approche intégrée, et comme évidence tout cela doit être fondé sur les fondements de la science de durabilité, elle-même en évolution.

Une économie durable doit avoir des niveaux d'efficacité et d'utilisation de ressources énergétiques bien supérieures à ceux de nos jours, et les politiques visant à encourager cette évolution auront un rôle crucial à jouer. L'objectif devrait être de canaliser les avantages d'une efficacité accrue sur l'approvisionnement en énergie à faibles externalités négatives et sur l'amélioration de la qualité de la vie plutôt que sur le niveau de vie et la poursuite de la croissance physique. Les options incluent une réforme fiscale verte et des normes d'efficacité progressive, plafonnement des émissions et de l'utilisation des ressources, soutien à la R&D et aux technologies à faibles émissions de carbone, mesures visant à encourager la production et la consommation d'énergies propres et renouvelables. Nous espérons que l'IDSE stimulera au moins certaines réflexions dans cette direction conformément aux objectifs du millénaire pour le développement (OMD).

Les tendances à long terme dans le développement durable des systèmes énergétiques méditerranéens ne montrent pas une évolution significative des niveaux de durabilité énergétique mesurée par l'IDSE durant les cinq années d'étude. Un constat qui renforce l'idée selon laquelle les systèmes énergétiques révèlent une certaine rigidité au changement à moyen et long terme. Les objectifs de durabilité énergétiques s'accomplissent à très long terme. En effet, les scores de l'IDSE sont délicatement en hausse et aucun des pays ne dépasse le score de 0,6, niveau moyen de durabilité. Globalement, pour les 13 pays de notre échantillon, le score moyen reste presque fixe durant la période 2010-2014. Cela ne veut pas dire que les tendances individuelles des pays suivent la même orientation durant la période, chaque pays suit sa propre évolution différemment des autres.

Les scores de l'IDSE et les classements correspondants des pays de l'échantillon révèlent que globalement, par rapport aux pays de la rive sud de la méditerranée, les pays de la rive nord ont relativement des niveaux de durabilité énergétique supérieurs. L'écart entre les deux rives de la méditerranée se creuse. Les pays de la rive nord progressent dans ce domaine, notamment pour l'Espagne qui prend les premières places du classement avec les deux méthodes d'agrégation. L'Espagne, la France, la Grèce et le Portugal ont montré des résultats significatifs en matière de durabilité énergétique à long terme, considérés comme principaux acteurs de la durabilité dans la région. Des pays qui présentent des performances multiples dans les trois dimensions de durabilité ; utilisation efficace et répartition équitable d'énergie, leur seul inconvénient est celui d'inexistence de réserves fossiles sur leurs territoires. Des pays qui veillent au respect de principe d'équilibre entre les dimensions du DD.

Au sein des pays d'Afrique de nord la situation est différente et l'équilibre entre les dimensions est visiblement rompu. Chaque pays présente des défaillances critiques au moins dans un domaine donné. Les dimensions environnementale et sociale se montrent sous-estimées par l'ensemble des pays, puisque les indicateurs dévoilent des déficiences préoccupantes notamment dans la dimension sociale. Globalement, ils présentent des lacunes dans la maîtrise de l'énergie ; peu d'efficacité énergétique et absence d'économie d'énergie. Ces pays-là présentent relativement de fortes intensités énergétiques et de fortes pertes électriques, des situations en forte opposition aux objectifs du développement énergétique durable. Ce qui indique la faible prise de conscience du concept du DD et de la transition énergétique durable. À l'exception de Maroc et de la Tunisie, ils présentent une absence flagrante en matière de production et consommation d'énergie renouvelable. La Tunisie se montre leader dans la région avec davantage de performances durant les 5 années d'étude.

La situation de l'Algérie n'est pas luisante en matière de durabilité énergétique, puisque sur les 13 indicateurs sélectionnés, 9 indicateurs relatent des faibles performances relativement aux autres pays de l'échantillon. À l'échelle de l'échantillon, l'Algérie occupe l'avant-dernière place devant les pays à scores non nuls calculés par agrégation géométriques. Alors qu'elle prend la place médiane de l'échantillon avec l'agrégation arithmétique. Ce décalage de classement explicite les grandes hétérogénéités entre les données des indicateurs qui renvoient à un déséquilibre entre les dimensions de durabilité énergétiques en Algérie.

Les États-Unis montrent des performances particulières par rapport aux autres pays de l'échantillon. Ils prennent la première place de classement en agrégation géométrique, un signe qui relate un équilibre significatif entre les valeurs des indicateurs et des dimensions de durabilité énergétique. Inversement, la Chine prend des scores très faibles et occupe la dernière place de classement avec un écart considérable par rapport à l'avant-dernier de classement. Si la Chine montre des performances moyennes dans les dimensions économique et sociale, elle est très défaillante au niveau de la dimension environnementale. En fait, la

Chine est le grand pollueur de la planète, des émissions énormes en GES, puisque le charbon constitue la principale ressource d'énergie primaire combinée avec une efficacité énergétique qui fait défaut. À l'image de la Chine, les pays en croissance économique et démographique rapides qui revêtent une importance particulière, le développement énergétique durable fait défaut puisqu'il ne constitue pas une priorité.

L'IDSE proposé dans ce travail, notamment après les tests de robustesse, peut être utilisé comme un outil efficace pour une évaluation ordinale (classement) des performances en matière de durabilité énergétique des pays puisque les classements obtenus par l'IDSE sont faiblement sensibles et comportent peu d'incertitudes au changement de méthodes de pondération. Par contre, l'IDSE ne constitue pas un outil solide pour une évaluation cardinale (chiffrement) des niveaux de durabilité énergétique puisque la sensibilité et l'incertitude sont fortes envers les méthodes d'agrégations. Dans certaines mesures l'IDSE peut représenter un mécanisme de surveillance national qui souligne les forces et les faiblesses d'un pays en termes de durabilité énergétique.

L'IDSE montre des degrés de sensibilité trop élevés aux changements de schéma d'agrégation ce qui lui attribue des taux d'incertitude élevés. En effet les scores obtenus par l'agrégation géométrique, partiellement compensatoire, sont largement inférieurs à ceux obtenus par l'agrégation arithmétique, absolument compensatoire. Une manière de témoigner que les évaluations par l'approche de durabilité faible allongent le degré de durabilité relativement à l'évaluations par l'approche de durabilité forte. Ce résultat est évident, puisque à chaque fois que les exigences en matière de durabilité sont fortes, les difficultés pour atteindre le même niveau de durabilité s'agrandissent.

Tout au long des étapes de construction de l'IDSE, un certain dilemme fréquent s'inflige entre les fondements théoriques de l'évaluation de durabilité et les exigences empiriques de construction d'IC. En effet, **l'évaluation de la durabilité par un IC renvoie à des arbitrages dans lesquels des compromis s'imposent entre des possibilités contradictoires comprenant toutes des désavantages prédominant.**

Pour être de qualité, la construction des IC est soumise à des exigences parfois difficilement compatibles : la rigueur scientifique, l'efficacité politique et la légitimité démocratique. L'indice doit être représentatif par rapport à la question à laquelle il se rapporte, riche en informations et clair, permettre une interprétation normative claire et acceptée et enfin, il doit être non excessivement onéreux.

Devant ces difficultés, il sera difficile de fournir un IC unique, représentatif et fiable de la durabilité énergétique. Un certain nombre de défis ont été identifiés, dont certains ont retenu le plus l'attention. Un défi fondamental est de savoir comment un large éventail de valeurs peut être efficacement contenu dans la construction d'un IC. Un raisonnement comprenant des propositions contradictoires s'impose à chacune des étapes de construction de

l'IDSE. Un défi consiste à déterminer et à justifier (la crédibilité) les choix spécifiques à effectuer à différentes étapes du processus de construction d'IC. Sachant que chaque choix implique un choix de valeur (d'hypothèse) considérable. **Le constructeur de l'IC est forcé à faire recours à la subjectivité à maintes reprises, dans chaque étape.** Les spécificités de la formulation de l'IC peuvent avoir un impact radical sur la durabilité mesurée d'un système. Résoudre un dilemme, consistant à concevoir une méthode d'évaluation efficace intégrée multicritère d'une part, et de l'autre part simple. Si l'EDD recommande une évaluation intégrée non réductionniste (holiste, exhaustive) pour prendre en compte la nature multidimensionnelle de durabilité, présenter trop d'indicateurs peut également être un problème en créant plus de confusion que de compréhension, en particulier lorsque les indicateurs diffèrent dans la direction du changement. Par conséquent, **un compromis est nécessaire entre la complexité et la facilité d'utilisation et de compréhension et aussi entre la transdisciplinarité et la simplicité.** L'utilité d'un IC dépend en premier lieu de sa capacité à refléter la réalité complexe, mais également de sa simplicité d'acquisition et de compréhension. En revanche, tout ne peut pas et ne doit pas être mesuré simultanément. Une telle tentative rendrait inutilement complexe la compréhension des modes de développement, de leurs impacts et de leur évolution. Rappelant les difficultés et les coûts que représente la quantification d'un grand nombre d'indicateurs et que trop d'informations tue l'information.

Pour surmonter ces défis, nous avons proposé des suggestions simples. Empiriquement, l'EDD doit être défini de manière réaliste, compte tenu de la nature, de l'échelle et de la complexité de l'IC, de la capacité et de la volonté des acteurs, des contraintes de temps et de disponibilité de données. Sélectionner des indicateurs déjà publiables dans des rapports annuels et mondiaux par des organisations internationales crédibles afin que des mises à jour régulières puissent être facilement effectuées et que des informations significatives puissent être obtenues. Sélectionner des méthodes de normalisation, d'agrégation et de pondération simples avec des calculs faciles de préférence déjà largement utilisées. Reconnaître que, dans certaines circonstances, certains choix ne peuvent être optimaux puisqu'aucun choix ne peut être efficace. L'important reste cependant de pouvoir identifier clairement la part de subjectivité et la part d'objectivité et de rendre explicites tous les détails en affichant une transparence totale.

Comme tous les travaux de recherche sur l'EDD, notre travail n'est pas à l'abri des critiques et il comporte certaines limites. Nous n'avons pas utilisé les méthodes d'agrégation non compensatoires lors de calcul de l'IDSE malgré qu'elles se montrent très adéquates pour évaluer la durabilité notamment pour la construction d'IC selon l'approche de durabilité forte.

Nous avons abordé les liens et les interactions entre les différents indicateurs de durabilité dans la littérature, mais sans les intégrer dans l'évaluation de la durabilité énergétique. L'IDSE ne tient pas compte des synergies éventuelles entre les indicateurs de durabilité énergétique. Sachant que les récents travaux de recherche sur le DD mettent

l'accent sur ces synergies et démontrent théoriquement leur importance pour une stratégie de mesure ou de mise en œuvre du DD. De notre part, cela n'est pas dû à la recherche de la facilité ; il est très difficile, si ce n'est pas impossible, de saisir analytiquement ces synergies et surtout dans les équations de mesure de durabilité, notamment dans un IC.

Nous n'avons pas abordé les corrélations entre les indicateurs de durabilité énergétiques dans l'étape d'agrégation de l'IDSE. La prise en compte des corrélations entre les données d'indicateurs sont essentielles pour l'exactitude des résultats de l'IDSE puisqu'il nous permettra d'éviter selon les cas, le double comptage et/ou la neutralité entre les valeurs d'indicateurs. Sachant que dans la littérature, de moins celle que nous avons consultée, aucun indice composite de durabilité n'a pris en compte les synergies ou les corrélations entre les indicateurs dans ses calculs.

À défaut de disponibilité de données fiables et facilement accessibles, certains indicateurs très intéressants, notamment sociaux et environnementaux, ne font pas partie des indicateurs sélectionnés pour la mesure de l'IDSE. D'ailleurs, comme déjà mentionné maintes fois précédemment, **le manque de données statistiques constitue une handicapante limite pratique à l'évaluation du développement durable.**

Pour des raisons du temps limité et afin d'éviter que le texte de thèse soit volumineux, un échantillon réduit de 14 pays et une durée d'étude relativement courte de 5 ans ont été pris. Ce choix restreint les résultats de l'étude, puisque les conclusions établies sur la base de l'IDSE, les scores et les rangs des pays de l'échantillon, sont moins exhaustives pour donner une synthèse représentative des progrès réalisés en matière de durabilité énergétique et de son évolution dans le temps et dans l'espace. Une durée d'étude de 5 ans se révèle relativement courte afin de décrire avec certitude l'évolution des systèmes énergétiques nationaux dans le temps et de saisir les tendances de la durabilité énergétique. Rappelons-nous que le DD recommande de raisonner à très long terme (à travers des générations). Un échantillon restreint de 14 pays, presque de même région géographique, peut être considéré comme inadéquat afin d'avoir une idée globale sur l'évolution de la durabilité énergétique et de sa répartition dans le monde.

En tant que perspectives futures de la recherche, le nombre de pays étudiés doit être enrichi afin d'avoir une image large de la durabilité énergétique à l'échelle planétaire. L'inclusion de nouveaux pays peut conduire à la découverte de certains modèles d'approche de la durabilité des énergies. Il serait intéressant d'élargir le système d'indicateurs simples en intégrant des données supplémentaires essentielles notamment des données liées à la dimension sociale telles que la répartition de budget alloué à la consommation de l'énergie par les ménages. Il serait aussi intéressant d'intégrer des données liées à l'efficacité de production de l'énergie, coût de production et le niveau des prix de l'énergie, notamment pour les énergies alternatives.

Comme orientation des travaux futures, nous envisageons de développer un autre IC ressemblant à l'IDSE. La seule particularité, au lieu de le calculer à partir de quelques indicateurs simples, il sera calculé à partir de "sous-indicateurs composites". Ces "sous-indicateurs composites" seront de IC qui mesureront les aspects spécifiques des dimensions de la durabilité énergétique. D'une autre manière, au lieu que les thèmes et les sous-thèmes de durabilité énergétique de l'annexe A.2 soient représentés par un ou deux indicateurs simples, ils seront eux-mêmes mesurés par des indices composites que nous surnomons "sous-indicateurs composites". Cette idée aura un double intérêt. Premièrement, l'IC intégrera plus d'informations et de données sur le domaine énergétique puisque les "sous-IC" seront calculés sur la base de plusieurs sous-indicateurs simples. Deuxièmement, la simplicité et la facilité d'interprétation et de compréhension des résultats seront assurées puisqu'il suffit de s'intéresser à l'évolution des sous-IC au lieu des nombreux indicateurs simples.

Une étude future doit développer un mécanisme de maintenance à long terme des indicateurs simples. De plus, les indicateurs de durabilité devraient être examinés tous les trois ou cinq ans afin de réévaluer leur pertinence. Sur la base de cet examen, les indicateurs de durabilité peuvent être ajustés pour refléter les ajustements politiques liés au développement énergétique, évaluer la situation du développement durable, dynamiser chaque indicateur et permettre de procéder aux ajustements nécessaires. Par conséquent, nous recommandons que des méthodes de calcul internationales (communes) soient adoptées et que les données soient accessibles.

Nous espérons à ce que l'évaluation de durabilité énergétique par l'IDSE jouera un rôle clé dans la promotion de la durabilité des systèmes énergétiques à l'échelle planétaire en stimulant la prise de conscience et de décision en facilitant la comparaison des performances en matière de durabilité énergétiques entre les pays, notamment lors des négociations internationales sur les changements climatiques (COP).

## Bibliographie

### Ouvrages

- 1- Abdelmalki Lahsen, Mundler Patrick, « Économie de l'environnement et du développement durable ». De Boeck , Bruxelles, 2010. 219 pages.
- 2- AEN, « Uranium 2016 : Resources, Production and Demand », OCDE, Paris, 2016
- 3- AIE (Agence internationale de l'énergie). « Perspectives énergétiques mondiales ». Paris, 2011.
- 4- AIEA, DAESNU, AIE, Eurostat, AEE. « Indicateurs énergétiques pour un développement durable: principes directeurs et méthodologies ». AIEA, Vienne, 2008.
- 5- Ariès Paul. « La décroissance, un nouveau projet politique ». Golias. Paris, 2007.
- 6- Audrey Aknin, Geronimi Vincent, Schembri Patrick, Froger Géraldine et Méral Philippe. « Environnement et développement. Quelques réflexions autour du concept de développement durable ». in Martin J.Y. « Développement durable ? Doctrines, pratiques, évaluations », IRD Editions, 2002. Pages 51-71.
- 7- Babin Didier, Weber Jean-Louis. « La comptabilité Écosystémique du capital naturel : introduction et mise en œuvre ». Observatoire de Sahara et de Sahel. Montréal, 2017.
- 8- Barre R. « Économie politique ». Collection Thémis, Tome 1, 2e édition, PUF, 1969.
- 9- Beaumais O., Chiroleu-Assouline M. « Économie de l'environnement », Bréal, Paris, 2001.
- 10- Belem Gisèle. « Du développement au développement durable : cheminement, apports théoriques et contribution des mouvements sociaux », Les Cahiers de la CRSDD, N. 06, Québec, 2010. 113 pages
- 11- Boiral Olivier. « Environnement et gestion : de la prévention à la mobilisation », Presses Université Laval, Québec, 2007. 338 pages.
- 12- Bontems PH., Rotillon G., « L'économie de l'environnement », La Découverte, troisième édition, Paris, 2007.
- 13- Boutaud Aurélien. « Chapitre 6. Les indicateurs de développement durable à l'échelle des territoires ». in ouvrage collectif, Bertrand Zuideau. « Développement durable et territoire ». Presses universitaires du Septentrion, À Villeneuve d'Ascq, 2010. Pages 83-94.
- 14- Bouyssou D., Marchant T., Pirlot M., Perny P., Tsoukias A., Vincke P. « Evaluation and Decision Models: a Critical Perspective ». Academic Publishers, 2000. 274 pages.
- 15- Breton Jean-Marie. « Gestion des ressources en eau et développement local durable: Caraïbe, Amérique latine, Océan indien ». Éditions KARTHALA, Paris. 2008. page 268-410.
- 16- Burgenmeier B. « Économie du développement durable » De Boeck, 2e édition, Bruxelles, 2005.

- 17- CME (Conseil mondial de l'énergie). « Trilemme énergétique mondial : le programme du changement ». 2013.
- 18- CME (Conseil Mondial de l'Énergie). « Trilemme Énergétique Mondial, Financement : mythes et réalités », Paris, 2014.
- 19- Diamond Jared. « Effondrement - Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie ». Gallimard, Paris, 2009. Traduction en français par Jean-Luc Fidel et Agnès Botz.
- 20- Fourastié Jean, Fourastié Jacqueline, « La mesure du progrès économique » Les Sciences sociales, Problèmes et Orientations, Mouton, U. N. E. S. C. O. /SS/3.244, Paris, 1966.
- 21- François Alain. « Le concept de développement: la fin d'un mythe. Information géographique ». Armand Colin, 2003. Pages 323-336.
- 22- Gallopín Gilberto. « A systems approach to sustainability and sustainable development ». United Nations Publication. Santiago, Chile, March, 2003.
- 23- Georgescu-Roegen Nicholas. « The Entropy Law and the Economic Process ». About HUP eBooks, 1971. 457 pages.
- 24- Godard Olivier. « Entre nature et société ». In Robert Boyer, Bernard Chavance, Olivier Godard. « Les figures de l'irréversibilité en économie ». EHESS. Paris, 1991.
- 25- Gouvernement de Québec. « Une première liste des indicateurs de développement durable pour surveiller et mesurer les progrès réalisés au Québec en matière de développement durable ». Janvier 2009.
- 26- Guay Louis, Doucet Laval, Bouthillier Luc. « Les enjeux et les défis du développement durable: connaître, décider, agir ». Les presses de l'université Laval, 2004.
- 27- Hicks, J. « Value and Capital: A Survey of Certain Fundamental Principles of Economic Theory », Oxford: Clarendon Press, 1941.
- 28- IAEA. « Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies ». IAEA, 2005.
- 29- Jacquet Pierre, Tubiana Laurence. « l'annuel du développement durable : Énergie et changements climatiques ». Regards sur la Terre 2007, Presses de Sciences Po, 2006. 304 pages.
- 30- James C. Coomer. « Quest for a Sustainable Society ». 1st Edition, Pergamon, 1981. 272 pages.
- 31- Jianguo Wu, Tong Wu. « Sustainability indicators and indices: an overview ». In: Christian N. Madu, C. Kuei. « Handbook of Sustainable Management». Imperial College Press, London, 2012. Pages 65-86.
- 32- Joumard Robrt. « durable? ». les collections de l'INRET. Bron. 2011.
- 33- Kirk Geoffrey. « Chumacher on Energy : Speeches and Writing of E. F. Schumacher». Jonathan Cape Ltd; Edition 1st. Ed.1982. London, 1997. 212 pages.
- 34- Lauvergeon Anne, Jamard Michel-H. « La troisième révolution énergétique ». Plon, 2008. 210 pages.

- 35- Malthus Thomas Robert. « Essai sur le principe de population ». Éditions Gonthier, 1963, Paris, 1798 236 pages.
- 36- Meadows D., Meadows D., Randers J., « les limites à la croissance (dans un monde fini), Le Rapport Meadows, 30 ans après », les éditions écosociété, Québec, 2013, Traduction en français : Agnès El Kaïm. 37 pages.
- 37- Meadows, D. « Indicators and Information Systems for Sustainable Development » A Report to the Balaton Group. The Sustainability Institute. Hartland, USA, 1998.
- 38- Munasinghe Mohan. « Analysing the nexus of sustainable development and climate change: an overview ». OECD, 2003.
- 39- Nardo Michela, Michaela Saisana, Andrea Saltelli, Stefano Tarantola. « Tools for Composite Indicators Building ». European Communities, 2005.
- 40- Nardo Michela, Saisana Michela., Saltelli A., Tarantola S., Hoffman A., Giovannini E. « Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide ». STD/DOC, N.3, OECD Statistics Directorate, Paris, 2005.
- 41- Nshue Mbo Mokime Alexandre, « croissance économique : une perspective africaine », l'Harmattan, Paris, 2014. 487 pages.
- 42- NU (Nations Unies). « L'avenir que nous voulons ». (RIO+20) Rio de Janeiro, Brésil. 20-22 juin 2012.
- 43- OCDE (1). « Du bien-être des nations : le rôle du capital humain et social ». Paris, 2001.
- 44- OCDE (2). « Développement durable : Quelles politiques ? » OCDE. Paris. 2001.
- 45- OCDE (3). « Développement durable : Les grandes questions ». OCDE. Paris. 2001
- 46- OCDE. « Handbook on Constructing Composite Indicators ». 2008.
- 47- OECD. « The oslo manual: the measurement of scientific and technical activities ». Paris, 1997.
- 48- OECD. « Environmental Indicators: development, measurement and use ». 2003. Consulté le 09/02/2019 sur <http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>.
- 49- Office fédéral du développement territorial. « Guide des outils d'évaluation de projets selon le développement durable ». ARE, Berne, 2004.
- 50- ONU. « Protocole de Kyoto des Nations Unies aux Nations Unies relatif à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques » ONU, 1998.
- 51- Parkin Michael, King David. « Economics », Addison -Wesley P.C. 1992.
- 52- Passet René, « l'économie et le vivant », Petites éditions Payot, Paris, 1979.
- 53- Patrick Viveret. « Reconsidérer la richesse ». Editions de l'Aube. 2004. 255 pages.
- 54- PNUD, DAESNU, CME. « Rapport sur l'énergie dans le monde : L'énergie et le challenge du développement durable ». PNUD, New York, 2000.
- 55- PNUD, DESANU, CME. « World Energy Assessment: Energy et le défi de la durabilité», New York. 2000.

- 56- Prades José A., Vaillancourt Jean-Guy, Tessier Robert « Environnement et développement: questions éthiques et problèmes sociopolitiques ». Fides, Québec 1991. 374 pages.
- 57- Rist Gilbert. « Chapitre 2 : Les métamorphoses d'un mythe occidental ». Le développement, (4e éd.), Presses de Sciences Po (P.F.N.S.P.), 2015.
- 58- Saisana Michaela, Stefano Tarantola. « Report on the state of knowledge on current methodologies and practices for the development of composite indicators ». Institute for Protection and Security of the Citizen Technological and Economic Management, Ispra (VA) Italy, 2002.
- 59- Saisana, M., Tarantola, S. « State-of-the-art report on current methodologies and practices for composite indicator development ». European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and the Security of the Citizen, Technological and Economic Risk Management Unit, Ispra, 2002.
- 60- Sandrina Berthault Moreira, Nuno Crespo. « Composite Indicators of Development – some recent contributions. In « Emerging Trends in the Development and Application of Composite Indicators », igi-global, 2017.
- 61- Sen Amartya. « The Standard of Living ». (Hawthorne G). Cambridge University Press, 1987.
- 62- UNECE, Eurostat, OECD. « Frameworks and suggested indicators to measure sustainable development ». Task Force on Measuring Sustainable Development, 27 May 2013.
- 63- UNECE, Eurostat, OECD. « Task Force on Measuring Sustainable Development ». TSFD, « Frameworks and suggested indicators to measure sustainable development », May 2013.
- 64- Vaillancourt J.-G.» Action 21 et le développement durable: après Rio 1992; 67-79 ». in Guay L. et al « Les enjeux et les défis du développement durable: connaître, décider, agir ». Les presses de l'université Laval, 2004.
- 65- Van Duysen J-C, Jumel S. « Le développement durable », L'Harmattan, 2008, Paris. 175 pages.
- 66- WEC (World Energy Council). « World Energy Trilemma Index ». London, 2018.
- 67- WRI/IIED (World Resources Institute and International Institute for Environment and Development). World resources. Basic Books, New York, 1986.
- 68- Zahm F, Alonso Ugaglia A., Boureau H., d'Homme B., Barbier J.M., et al. « Agriculture et exploitation agricole durables : état de l'art et proposition de définitions revisitées à l'aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture ». Innovations Agronomiques, Vol. 46, INRA, 2015. Pages105-125.

## Articles et revues

- 1- Abbas Hirzallah, Chakour Saïd Chaouki, Chelil Abdellatif. « Paradigme du progrès: De la croissance économique au développement durable ». Revue les cahiers du POIDEX, Vol 06, N. 10, 2018. Pages 5-23
- 2- Abdallah M. Hasna. « A Review of Sustainability Assessment Methods in Engineering ». International Journal of Environmental, vol. 5, N. 1. January 2009.
- 3- Ademar Ribeiro Romeiro. « Sustainable development: an ecological economics perspective ». Estud. av. Vol. 26, N.74, São Paulo, 2012.
- 4- Al Bartlett. "Reflections on Sustainability, Population Growth, and the Environment - part 2». January 1998. Disponible sur : [www.albartlett.org/articles/art\\_reflections\\_part\\_2.html](http://www.albartlett.org/articles/art_reflections_part_2.html), consulté le 15/04/2018.
- 5- Andrade A. L. C., Mattei L. « Consumo energético e emissões de CO2: uma análise do setor de transportes brasileiro». In: IX Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 2011.
- 6- Andreu Solé. « Développement durable ou décroissance : Le point aveugle du débat ». in : Ecosociété, « Décroissance *versus* développement durable : Débats pour la suite du monde ». Québec, 1er trimestre 2011. Pages 14-33.
- 7- Bal Jean-Louis. « Quel avenir pour les énergies renouvelables au Nord et au Sud de la Méditerranée? » in « Énergies renouvelables en Méditerranée : un pari à gagner », Les Notes IPEMED, N. 8, Mars 2010.
- 8- Baumgärtner Stefan, Quaas Martin. « What is sustainability economics ». Ecological Economics, Vol. 69, N. 3, 15 January 2010. Pages 445-450.
- 9- Bebbington J., Brown J., Frame B. « Accounting technologies and sustainability assessment models ». Ecological Economics, Vol. 61, 2007. Pages 224-236.
- 10- Bhattacharyya Subhes C. « Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis ». Energy for Sustainable Development, Vol. 16, N. 3, September 2012. Pages 260-271.
- 11- Blanchet Didier. « Rapport Stiglitz et indicateurs de développement durable : les principaux messages », Regards croisés sur l'économie, vol. 2, N. 6, 2009. Pages 87-96.
- 12- Bond Alan, Angus Morrison-Saunders, Jenny Pope. « Évaluation de la durabilité: état de la technique, évaluation d'impact et évaluation de projet ». Journal Impact Assessment and Project Appraisal, Vol. 30, N. 1, 2012. Pages 53-62.
- 13- Booyens F. «An overview and evaluation of composite indices of development ». Social Indicators Research, vol. 2, N. 59, 2002. Pages 115-151.
- 14- Boutaud Aurélien (1). « Croissance, décroissance et soutenabilité ». In Ecorev, « Sens de la décroissance ». N. 26, avril 2007. Pages 66-70.

- 15- Camus Sandra, Hikkerova Lubica, Sahut Jean-Michel. « Tourisme durable: une approche systémique ». *Management & Avenir*. Vol.4, N. 34, Avril 2010. Pages 253-269.
- 16- Cardebat Jean-Marie, Bernard Sionneau. « Quelle évaluation de la durabilité des territoires : enjeux et pistes de proposition ». *Marché et organisations*, vol. 16, N. 2, 2012. Pages 21-52.
- 17- Cavalcanti Rafael Felipe Ramos de Rangel Moreira, Cândido Gesinaldo. « Energy sustainability: proposed indicators and their contributions to the adoption of more effective policies and actions for the energy sector ». *HOLOS*. Vol. 8. N. 3, 2017.
- 18- Christoph Böhringer, Patrick E.P. Jochem. « Measuring the immeasurable- A survey of sustainability indices », *Ecological Economics*, Vol. 63, N. 1, 2007. Pages 1-8.
- 19- Cinelli Marco, Stuart R. Coles, Kerry Kirwan. « Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment ». *Ecological Indicators*, Vol. 46, November 2014. Pages 138-148.
- 20- Clark William C. « Sustainability science: a room of its own » *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 104, 2007. Pages 1737-1738.
- 21- Common Mick, Perrings Charles. « Towards an ecological economics of sustainability ». *Ecological Economics*, vol. 6, N. 1, 1992. Pages 7-34.
- 22- Daly Herman E. « Oward some operational principles of sustainable development »; in *Ecological Economics* Vol. 2, N. 1, April 1990, Pages 1-6.
- 23- David L. Little II. «Defining Sustainability in Meaningful Ways for Educators ». *Journal of Sustainability Education* Vol. 7, December 2014. Disponible sur, [www.jsedimensions.org](http://www.jsedimensions.org). Consulté le 01/03/2018
- 24- Decamps Mélanie, Vicard Fanny, « Mesurer le développement durable : jeux d'indicateurs et enjeux locaux ». *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol. 4, octobre 2010. Pages 749-771.
- 25- Decancq K., Lugo M. A. « Weights in multidimensional indices of wellbeing: An overview ». *Econometric Reviews*, Vol. 32, N.1, 2013. Pages 7–34.
- 26- Devuyt D. Hens L., Lannoy W.D. « How green is the city? Sustainability assessment and management of urban environments ». *Columbia University press*, New York, 2001.
- 27- Dinçer Ibrahim, Acar Canan. « A review on clean energy solutions for better sustainability ». *International Journal of Energy Research*, vol. 39, N. 5, 2015. Pages 585-606.
- 28- Dinçer Ibrahim, Acar Canan. « Intelligent energy systems for a sustainable future ». In *Energie Appliquée*, Vol. 194, 15 Mai 2017. Pages 225-235.
- 29- Dincer Ibrahim, Zamfirescu Calin. « Potential options to greenize energy systems ». *Energy*, Vol. 46, N. 1, October 2012. Pages 5-15.

- 30- Dincer Ibrahim. « Exergization ». *International journal of energy research*, Vol. 40, N. 14, November 2016. Pages 1887-1889.
- 31- Dincer I., Rosen M. A. « Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 9, N.2, 2005. Pages 169-189.
- 32- Djordjevic A., Cotton Debby R. E. « Communicating the sustainability message in higher education institutions ». *International Journal of Sustainability in Higher Education*. Vol. 12, N. 4. 2011. Pages 381-394.
- 33- Donald Worster. « The Wealth of Nature: Environmental History and the Ecological Imagination ». *The American Historical Review*, Vol. 99, N. 2, April 1994, Pages 632-633.
- 34- Du Pisani Jacobus A. « Sustainable development – historical roots of the Concept », *Environmental Sciences*, Vol. 3, N. 2, June 2006. Pages 83- 96.
- 35- Ezzrari Abdeljaouad. « Pauvreté et inégalités des conditions de vie au Maroc entre 2001 et 2007 : Une approche multidimensionnelle ». Abhat, centre national de documentation, avril 2012.
- 36- Ferdinand Costes, Vincent Martinet, Gilles Rotillon. « Développement durable et théorie de la croissance », Documents de travail THEMA N. 27, « Théorie Economique, Modélisation et Applications », Université de Cergy-Pontoise.13 mars 2003.
- 37- Figuières Charles, Hervé Guyomard, Gilles Rotillon. « Une brève analyse économique orthodoxe du concept de développement durable ». *Économie rurale*, 2007.
- 38- Florence Jany-Catrice. « Les indicateurs de développement durable ». in *Compte rendu de dossier (Insee, 2008)*, *Natures Sciences Sociétés*, Vol. 17, N.4, 2009. Pages 432-434.
- 39- Funtowicz Silvio O., Ravetz Jerome R. « The Emergence of Post-Normal Science ». In: Von Schomberg R. (Eds) *Science, Politics and Morality*, vol. 17. 1993. Pages 85-123.
- 40- Gan Xiaoyu, Ignacio C. Fernandez, Jie Guo, Maxwell Wilson, Yuanyuan Zhao, Bingbing Zhou, Jianguo Wu. « When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators ». *Ecological Indicators*, Vol. 81, October 2017. Pages 491-502.
- 41- Gang Liu. « Development of a general sustainability indicator for renewable energy systems: review ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 31, mars 2014. Pages 611-621.
- 42- Gasparatos A., Scolobig A. « Choosing the most appropriate sustainability assessment tool ». *Ecological Economics*, Vol. 80, August 2012. Pages 1-7.
- 43- Gasparatos Alexandros. « Embedded value systems in sustainability assessment tools and their implications ». *Journal of Environmental Management*, Vol. 91, N. 8, August 2010, Pages 1613-1622.

- 44- Gasparatos A., El-Haram M., Horner M. « The argument against a reductionist approach for measuring sustainable development performance and the need for methodological pluralism ». *Accounting Forum*, vol. 33, N.3, 2009. Pages 245-256.
- 45- Gendron C., Revéret J.-P. « Le développement durable ». *Économie et Sociétés, Série F*, N. 37, « Développement », 2000. Pages 111-124.
- 46- Georges Bertrand. « Environnement et développement : concevoir la durabilité ». in *Les Cahiers d'Outre-mer*, N. 197, 1997. Pages 3-6.
- 47- Gilberto C. Gallopin. « Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach ». *Environmental Modeling and Assessment*. Vol. 1. 1996. Pages 101-117.
- 48- Gralla Fabienne, Beatrice John, David J.Abson, Anders P.Moller, Manuel Bickel, Daniel J.Langb, Henrikvon Wehrden.» The role of sustainability in nuclear energy plans-What do national energy strategies tell us? ». *Energy Research & Social Science*. Vol. 22, December 2016. Pages 94-106.
- 49- Greco Salvatore, Alessio Ishizaka, Menelaos Tasiou, Gianpiero Torrisi.» On the Methodological Framework of Composite Indices: A Review of the Issues of Weighting, Aggregation, and Robustness ». *Social Indicators Research*, Vol. 141, N. 1, January 2019. Pages 61–94.
- 50- Gueldry Michel, Knuckles James, « Promouvoir la durabilité par l'analyse du cycle de vie des produits », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 12, N. 2, septembre 2012.
- 51- Hacatoglu K., Dincer I., Rosen M.A. « A new model for assessing the environmental impact and sustainability of energy systems ». *Journal of clean production*, Vol. 103, September, 2015. Pages 211-218.
- 52- Hacking Theo, Peter Guthrie. « A framework for clarifying the meaning of Triple Bottom-Line, Integrated, and Sustainability Assessment ». *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 28, N. 2–3, February–April 2008. Pages 73-89.
- 53- Hanley Nick, Peter G. McGregor, J. Kim Swales, Karen Turner. « Do increases in energy efficiency improve environmental quality and sustainability? » *Ecological Economics*, Vol. 68, N. 3, 15 janvier 2009. Pages 692-709.
- 54- Harribey Jean-Marie, « La prise en compte des ressources naturelles dans le modèle néo-classique d'équilibre général : éléments de critique ». *Economies et sociétés, Série « Développement, croissance et progrès »*, vol. 4, N. 35, 1997. Pages 57-70.
- 55- Harribey Jean-Marie, « Richesse et valeur dans une perspective de soutenabilité ». *ContreTemps*, N. 4, mai 2002. Pages 71-84.
- 56- Hiremath Rahul B., P. Balachandra, Bimlesh Kumar, Sheelratan S. Bansode, J. Murali. « Indicator-based urban sustainability – a review ». *Energy for Sustainable Development*, Vol. 17, N. 6, December 2013. Pages 555-563.

- 57- Höök Mikael et Tang Xu. «Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change ». *Energy Policy*, Vol. 52, January 2013. Pages 797-809.
- 58- Iddrisu Insah, Bhattacharyya Subhes C.. « Sustainable Energy Development Index: A multi-dimensional indicator for measuring sustainable energy development ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 50, October 2015. Pages 513-530.
- 59- Jabareen Yosef. « A new conceptual framework for sustainable development ». *Science&Business Media B.V.* 2006.
- 60- Jacquet Pierre, Tubiana Laurence. « Énergie et changements climatiques ». *L'annuel du développement durable : Regards sur la Terre 2007*, «Presses de Sciences Po (P.F.N.S.P.)», Paris, 2006. Page 248
- 61- Johnston Paul, Everard Mark; Santillo David; Robèrt Karl-Henrik. « Reclaiming the Definition of Sustainability » *Environmental Science & Pollution Research*, vol. 14, N. 1, Janvier 2007.
- 62- Juwana I., Muttill N., Perera BJC. « Indicator-based water sustainability assessment- A review ». *Science of The Total Environment*, Vol. 438, N.1, November 2012. Pages 357-371.
- 63- Kateb Mohammed Lakhdar, Ouddane Bouabdellah. « Les exportations hors hydrocarbures comme stratégie de diversification : cas de l'entreprise Algérienne Rafexport » in *Les Cahiers du POIDEX*, Vol. 7, N. 1, juin 2018. Pages 275-298.
- 64- Keirstead James. « Selection of sustainability indicators for urban energy systems ». *International Symposium on Urban Energy and Carbon Management Bangkok*, 5 February 2008.
- 65- Knox-Hayes Janelle. « Towards a moral socio-environmental economy: A reconsideration of values ». *Geoforum*, Vol. 65, October 2015. Pages 297-300.
- 66- Konstantinos D. Patlitzianas, Haris Doukas, Argyris G.Kagiannas, John Psarras. « Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations ». *Renewable Energy*, Vol. 33, N. 5, May 2008. Pages 966-973.
- 67- Lansdowne Zachary. F. « Outranking methods for multicriterion decision making: Arrow's and Raynaud's conjecture ». *Social Choice Welfare*, vol. 14, 1997. Pages 125-128.
- 68- Lauriol Jacques, « Le développement durable à la recherche d'un corps de doctrine », *Revue française de gestion*, vol. 5, N. 152, 2004. Pages 137-150.
- 69- Lemaire Xavier. « Glossary of Terms in Sustainable Energy Regulation ». *REEEP / Sustainable Energy Regulation Network* , August 2004-Revised, September 2010.
- 70- Lemonick, Michael D. « Top 10 myths about sustainability ». *Scientific American*, edition special Earth 3.0, Vol. 19, N. 1, 2009. Page 40-45.
- 71- Maréchal Jean-Paul. « L'héritage négligé de François Perroux ». *L'économie politique*, vol. 20, N. 4, 2003. Pages 47-63.

- 72- Marquez-Ballesteros Maria-Jose, Llanos Mora-López, Pau Lloret-Gallego, Andreas Sumper, Mariano Sidrach-de-Cardona. « Measuring Urban Energy Sustainability and its Application to Two Spanish Cities: Malaga and Barcelona ». *Sustainable Cities and Society*, 5 November 2018.
- 73- Masson Jean-Patrick. « Le capital naturel : bien commun, socle d'un développement soutenable ». *Repères*, N. 67, Décembre 2014. 16 pages
- 74- Michiel C. Zijp, Reinout Heijungs, Ester van der Voet, Dik van de Meent, Mark AJ Huijbregts, Anne Hollander and Leo Posthuma. « An identification key for the selection of methods of Sustainability Assessments ». *Sustainability*, N. 7, 2015. Pages 2490-2512.
- 75- Mikulić Josip, Kozic Ivan, Krešić Damir. « Weighting indicators of tourism sustainability: A critical note ». *Ecological Indicators*, Vol. 48, January 2015. Pages 312-314.
- 76- Mitcham, Carl. « The concept of sustainable development: its origins and ambivalence ». *Technology in Society*. Vol. 17, 1995. Pages 311-326.
- 77- Moore Julia E., Alekhya Mascarenhas , Julie Bain et Sharon E. Straus. « Developing a comprehensive definition of sustainability ». *Implementation science* vol. 12 , N. 110. Canada. 2017.
- 78- Morrison-Saunders Angus, Jenny Pope, Alan Bond, François Retief. « Towards a follow-up to the sustainability assessment ». *Review of the environmental impact assessment*. Vol. 45, February 2014. Pages 38-45.
- 79- Morse, S.; Bell, S. « Sustainable development indicators: The tyranny of methodology revisited ». *Consilience*, Vol. 6, 2011. Pages 222–239.
- 80- Mulder Peter, Jeroen C.J.M. Van Den Bergh, « Evolutionary Economic Theories of Sustainable Development ». *Growth and Change*. Vol. 32, 2001. Pages 110-134.
- 81- Munda, G. « Choosing aggregation rules for composite indicators ». *Social Indicators Research*, vol. 109, N. 3, 2012. Pages 337–354.
- 82- Najam Adil, Cleveland Cutler J. « Energy and Sustainable Development at Global Environmental Summits: An Evolving Agenda ». *Environment Development and Sustainability*, February 2003.
- 83- Ness B., Urbel-Piirsalu E., Anderberg S., Olsson L. « Categorization of tools for sustainability assessment ». *Ecological Economics* , vol. 60, 2007. Pages 498-508.
- 84- OCDE « Chapitre 6 : Indicateurs alternatifs du bien-être », *Revue Réformes économiques*, vol. 1, N. 2. 2006. Pages 133-148.
- 85- Olayinka Oyedepo Sunday. « On energy for sustainable development in Nigeria ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, N. 5, June 2012. Pages 2583-2598.

- 86- Onat Nevzat, Bayar Haydar. « The sustainability indicators of power production systems ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, 2010. Pages 3108-3115.
- 87- Ozturk Murat, Yunus Emre Yuksel. « Energy structure of Turkey for sustainable development ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 53, January 2016. Pages 1259-1272.
- 88- P.F.N.S.P. (Presses de la Fondation nationale des sciences politiques). « L'annuel du développement durable : La définition et les approches du développement durable », *Regards sur la Terre 2007*, Presses de Sciences Po, Paris, 2006, P. 248-248.
- 89- Patlitzianas, KD, H Doukas, AG Kagiannas and J Psarras. « Sustainable energy policy indicators: Review and recommendations ». *Renewable Energy*, vol 33, 2008. Pages 966-73.
- 90- Perret B. « Indicateurs sociaux : État des lieux et perspectives ». *Les Papiers du CERC, Conseil de l'emploi, des revenus et de la cohésion sociale*, N. 1, 2002, Paris, janvier 2002.
- 91- Pezzey John C. V. « Sustainability Constraints versus Optimality » versus Intertemporal Concern, and Axioms versus Data ». *Land Economics « Defining Sustainability »*, Vol. 73, N. 4, November 1997. Pages. 448-466
- 92- Pinter L, Hardi P, Bartelmus P. « Sustainable Development Indicators: Proposals for a way forward ». *International Institute for Sustainable Development*, vol. 8, March 2015.
- 93- Pintér László, Peter Hardi, André Martinuzzi, Jon Hall. « Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement ». *Ecological Indicators*, Vol. 17, June 2012. Pages 20-28.
- 94- Pintér László, Peter Hardi, André Martinuzzi, Jon Hall. « Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement ». in *Ecological Indicators*, Vol. 17, June 2012. Pages 20-28.
- 95- Pollesch N.L., Dale V.H. « Normalization in sustainability assessment: Methods and implications ». *Ecological Economics*, Vol. 130, 2016. Pages 195-208.
- 96- Pope Jenny, Alan Bond, Jean Hugé. Angus Morrison-Saunders. « Reconceptualising sustainability assessment ». *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 62, January 2017, Pages 205-215.
- 97- Pope, J., Annandale, D., Morrison-Saunders, A. « Conceptualising sustainability assessment ». *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 24, N.6, 2004. Pages 595-616
- 98- PSI (Paul Scherrer Institut). « Le point sur l'Énergie : des faits pour la politique ». *Énergétique de demain*, N. 20, Juin 2010.
- 99- Rosen Marc A. « Energy Sustainability: A Pragmatic Approach and Illustrations ». *Sustainability*, vol. 1, N. 1, 2009. Pages 55-80.

- 100- Saamah Abdallah, Sam Thompson and Nic Marks. « Estimating world wide life satisfaction ». *Ecological Economics*, 2008, vol. 65, N. 1. Pages 35-47.
- 101- Sahabmanesh Aref, Yadollah Saboohi. « Energy System Sustainability Model, Hamedan Case ». *Energy Policy*, Vol. 104, Mai 2017. Pages 66-79.
- 102- Saisana M., Saltelli A., Tarantola S. « Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators ». *Statistics in society*, Vol. 168, N. 2, March 2005. Pages 307-323.
- 103- Sala Serenell, Biagio Ciuffo, Nijkamp Peter. « A systemic framework for sustainability assessment ». *Ecological Economics*, Vol. 119, November 2015. Pages 314-325.
- 104- Sala Serenella, Farioli Francesca, Zamagni Alessandra. « Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1 ». *Int J Life Cycle Assess*, vol. 18, N.9, 2013. Pages 1653–1672.
- 105- Sami Bibi, Abdel Rahmen El Lahga. « Comparaisons ordinales robustes de la pauvreté multidimensionnelle : Afrique du sud et Égypte ». *De Boeck Supérieur « Revue d'économie du développement »*. Vol. 16, N.1, 2008. Pages 5-36.
- 106- Sébastien Léa, Brodhag Christian. « A la recherche de la dimension sociale du développement durable ». *Développement durable et territoires*, Dossier N.3, 2004.
- 107- Seghezzi Lucas. « The five dimensions of sustainability ». *Environmental Politics*, Vol. 18, No. 4, July 2009. Pages 539-556.
- 108- Singh Rajesh Kumar, H.R. Murtya S.K. Gupta, A.K. Dikshit. « An overview of sustainability assessment methodologies ». *Ecological Indicators*, Volume 9, Issue 2, March 2009, Pages 189-212
- 109- Singh RK, HR Murty, SK Gupta and AK Dikshit. « An overview of sustainability assessment methodologies ». *Ecol Indicators*, vol 15, 2012. Pages 281-299.
- 110- Sorrell Steven. « Energy, Economic Growth and Environmental Sustainability: Five Propositions ». *Sustainability*, vol. 2, N. 6, 2010.
- 111- Spedding A., Holms R. « A methodology for determining component service life ». In Taylor and Francis « *Durability of Building Materials & Components* ». N°7, Vol. 2, Stockholm, Mai 1996.
- 112- Stern D. I. « A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy ». *Energy Economics*, vol. 22, 2000. Pages 267–283.
- 113- Stern P.C., Dietz T., Kalof L., Guagnano G.A.. « Values, beliefs and proenvironmental action: attitude formation towards emergent attitude objects », *Journal of Applied Social Psychology*, N. 25, 1995. Pages 1611-1636.
- 114- Tasak Tomohiro I, Kameyama Yasuko. « Sustainability Indicators: Are We Measuring What We Ought to Measure? ». in *Global Environmental Research, AIRIES*, vol. 19, 2015. Pages 147-154.
- 115- Terrapon-Pfaff Julia , Carmen Dienst, Julian König, Willington Ortiz. « A cross-sectional review: Impacts and sustainability of small-scale renewable energy projects in

- developing countries ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 40, December 2014. Pages 1-10.
- 116- Tilley David Rogers. « Howard T. Odum's contribution to the laws of energy » *.Ecological Modelling* vol. 178, 2004. Pages 121-125.
- 117- Vera Ivan, Langlois Lucille. « Energy indicators for sustainable development ». *Energy*, Vol. 32, N. 6, June 2007. Pages 875-882.
- 118- Verheem R. « Recommendations for Sustainability Assessment in the Netherlands, Environmental Impact Assessment in the Netherlands ». *Views of the Commission on the Environmental Impact Assessment, Netherlands*, 2002.
- 119- Vincent Louis-André. « Progrès technique et progrès économique ». *Revue économique*, vol. 12, N.6, 1961. Pages 876-904.
- 120- Vivien Franck-Dominique, « Les modèles économiques de soutenabilité et le changement climatique », *Regards croisés sur l'économie*, vol. 2, N. 6, 2009. Pages 75-83.
- 121- Vivien Franck-Dominique, Jacques Lepart, Pascal Marty. « L'évaluation de la durabilité ». *Natures Sciences Sociétés*, Vol. 21, N.1, 2013. Pages 155-156.
- 122- Vivien Franck-Dominique. « Sustainable development: An overview of economic proposals », *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, vol. 1, N. 2. 2008.
- 123- Waas Tom, Jean Hugé, Thomas Block , Tarah Wright, Francisco Benitez-Capistros, et Aviel Verbruggen. « Évaluation de la durabilité et indicateurs: outils dans une Stratégie de prise de décision pour le développement durable ». *Durabilité*, vol.6, 2014. Pages 5512-5534.
- 124- Wayan G.Santika, M. Anisuzzaman, Parisa A.Bahri, G.M.Shafiullah, Gloria V.Rupf, TaniaUrmee. « From goals to joules: A quantitative approach of interlinkages between energy and the Sustainable Development Goals ». *Energy Research & Social Science*, Vol. 50, April 2019. Pages 201-214.
- 125- Weitzman Martin L. « Sustainability and Technical Progress ». *Scandinavian Journal of Economics* Vol. 99, N. 1. 1997.
- 126- Worster, D. « The Richness of Nature: The History of the Environment and the Ecological Imagination ». *Oxford University Press*, New York, 1993. Pages 142-155.
- 127- Yoo Seung-Hoon, Kwak So-Yoon. « Electricity consumption and economic growth in seven South American countries ». *Energy Policy*. Vol. 38, 2010. Pages 181-188.
- 128- Yoo Seung-Hoon, So-Yoon Kwak. « Electricity consumption and economic growth in seven South American countries ». *Energy Policy*, vol. 38, N. 1, January 2010. Pages 181-188.
- 129- Yung-Jaan Lee, Ching-Ming Huang. « Sustainability index for Taipei ». *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 27, N. 6, August 2007. Pages 505-521.

### Actes colloques et séminaires

- 1- ABBAS Hirzellah. « le développement durable : une nouvelle idéologie des relation Nord\Sud ». Colloque international CADEM11 « coordination des acteurs pour un développement durable des territoires euro-méditerranéens », université de Bejaia, Mai 2011.
- 2- Billaudot Bernard, Destais Ghislaine. « Les analyses de la durabilité en économie : fondements théoriques et implications normatives », Colloque « Pour la suite du monde » Développement durable ou décroissance soutenable ?, HEC Montréal - 18 et 19 mai 2009.
- 3- Boude Jean Pierre, Chaboud Christian. « Le concept de ressource naturelle en économie ». Premier Forum Halieumétrique, Session 3 : modélisation économique des pêcheries, Rennes, 29/06/1995. Pages 269-282
- 4- Boulanger Paul-Marie. « Les indicateurs de développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique ». Les séminaires de l'Iddri, n° 12, Iddri, juillet 2004.
- 5- Brehain Sophie. « L'approche par capitaux pour mesurer le développement durable : où en est la réflexion? ». Institut de la statistique du Québec, N. 1. Novembre 2011.
- 6- Carlevaro Fabrizio, Myriam Garbely, Stéphane Genoud. « Évaluation comparée de méthodes de contrôle et de décision en matière de développement durable ». Office fédéral de l'énergie « Bundesamt für Energie BFE », Bern, juillet 2002.
- 7- Comelieu C., « Croissance économique : mesure ou démesure » in « Économie : le développement en question (s) », Pessac Presses Universitaires de Bordeaux, 2006.
- 8- Commenge Guillaume. « Durabilité et Croissance de la Population : Quel Critère de Choix social, quelle règle de Hartwick ». École d'Économie de Paris et Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, novembre 27, 2009.
- 9- Costes Ferdinand, Vincent Martinet, Gilles Rotillon, « Développement durable et théorie de la croissance ». THEMA, Université Paris 10, 13 mars 2003.
- 10- Dialga Issaka, Thi-Hang-Giang Le. « Développement d'indices composites et politiques publiques : interactions, portée et limites méthodologiques ». HAL Id, Université de Nantes, 2 octobre 2014.
- 11- Figuières Charles, Hervé Guyomard, Gilles Rotillon . «Le développement durable : Que peut nous apprendre l'analyse économique ? », 60e anniversaire de l'INRA, Académie d'Agriculture de France, Séance du 11 octobre 2006. 20 pages
- 12- Gadrey Jean, « de la croissance au développement : à la recherche d'indicateurs alternatifs ». Séminaire Dares, 15 octobre 2002, Paris.
- 13- Giraud G., Kahraman Z. « How Dependent is Growth from Primary Energy? The Dependency ratio of Energy in 33 Countries (1970-2011) ». Documents de Travail du Centre d'Economie de la Sorbonne, Paris, 2014.

- 14- Giraud Gaël, Kahraman Zeynep. « How Dependent is Growth from Primary Energy? Output Energy Elasticity in 50 Countries (1970-2011) ». Seminars at Paris-1 university, April 10, 2014.
- 15- Halacheva Plamena. « Vers une nouvelle politique de développement durable de l'Union européenne ? ». Le défi régional. Institut européen des hautes études internationales, 2006
- 16- Land K. « The Foundation for Child Development Child and Youth Well-Being Index (CWI), 1975-2004, with Projections for 2005 ». Duke University Durham, NC, 2006.
- 17- Munda Giuseppe, Nardo Michela. « Constructing Consistent Composite Indicators: The Issue of Weights ». Institute for the Protection and Security of the Citizen, 2005.
- 18- Sirven Nicolas. « Capital social et développement : quelques éléments d'analyse ». Documents de travail 57, Centre d'économie du développement, Université Montesquieu-Bordeaux IV, France, 2000.
- 19- Tarrit Fabien, « Le développement durable en question », Université de Reims Champagne-Ardenne, REGARDS-OMI, Colloque international francophone, « Le développement durable : débats et controverses », Université Blaise Pascal 15 et 16 décembre 2011.
- 20- Ten Brink Patrick. « Qu'est-ce que le capital naturel ? ». Séminaire « Nature et richesse des nations », Institute for European Environmental Policy IEEP, 10 septembre 2015. Pages 43-53

### **Thèses**

- 1- Boutaud Aurélien (2). Le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ? : bilan et analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France : de l'émergence d'un changement dans les modes de faire au défi d'un changement dans les modes de penser. Sciences de l'environnement. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne; Université Jean Monnet - Saint-Étienne, 2005.
- 2- Jose Luis Juarez Morejon. « Récupération assistée du pétrole par injection de polymères hydrosolubles : nouvelle approche ». Université de Bordeaux, 2017.
- 3- Thia D., Mbaye A. « Évaluer et suivre les impacts des AMP sur la base d'indicateurs biologiques, socio-économiques et de gouvernance : Étude de cas sur l'AMP de Joal-Fadjouth ». USAID/COMFISH project, University of Rhode Island, Narragansett, Décembre 2012.
- 4- Timothée Ollivier. « Capital naturel, développement et durabilité à Madagascar et au Mozambique ». Economies et finances. Université Paris Dauphine - Paris IX, 2009.

- 5- Youngho Chang. « A Path towards Strong Sustainability ». École des sciences humaines et sociales, université de Nanyang Singapour, December 2011.

### **Rapports**

- 1- AIE. « Key world energy statistics, 2009 ».
- 2- AIE. « Key world energy statistics, 2010 ».
- 3- AIE. « Key world energy statistics, 2011 ».
- 4- AIE. « Key world energy statistics, 2012 ».
- 5- AIE. « Key world energy statistics, 2013 ».
- 6- AIE. « Key world energy statistics, 2019 ».
- 7- Banque mondiale. « World Development indicators 2019 ».
- 8- BP Energy Outlook, 2018.
- 9- BP Statistical Review of World Energy, 2015.
- 10- BP Statistical Review of World Energy, June 2016
- 11- CMED. « Notre avenir à tous (Rapport Brundtland) ». 1987.
- 12- Laville Elisabeth. « Pour une consommation durable ». Mission du Centre d'analyse stratégique, N. 33, La documentation française, janvier 2011.
- 13- Myrsaliev Nurzat, Brit Samborsky. « Rapport sur l'Indice Arabe de l'Énergie Future (AFEX) : Efficacité Énergétique 2013 ». Centre Régional pour les Énergies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique (RCREEE), 2013.
- 14- NU (Nations Unies). « Rapport du Sommet mondial pour le développement durable Johannesburg (Afrique du Sud) ». A/CONF.199/20, 26 août-4 septembre 2002,
- 15- NU. « Rapport sur les objectifs de développement durable». 2018. 44 pages.
- 16- UN (United Nations). « Measuring sustainable development ». New York, 2008. (Rapport)
- 17- UN. « Transforming Our World: The 2030» . Agenda for Sustainable Development. 25 September 2015.
- 18- UNDP (United Nations Development Programme). « Human development report (HDR) 2010: The real wealth of nations: Pathways to human development ». Technical report, UNDP, 2010.

### **Sites internet**

- 1- <http://www.cid.harvard.edu/sustsci/overview.html>. Programme de science durable. Université de Harvard. Consulté le 26/01/2018.
- 2- [http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/08/19/ressources-naturelles-l-humanite-vit-a-credit-pour-le-reste-de-l-annee\\_4473543\\_3244.html#Dh6ft27QQiS0C3xy.99](http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/08/19/ressources-naturelles-l-humanite-vit-a-credit-pour-le-reste-de-l-annee_4473543_3244.html#Dh6ft27QQiS0C3xy.99), consulté le 03/01/2017.
- 3- <http://www.sustainablemeasures.com/node/33>, consulté 03/03/2018

- 4- <http://www.sustainablemeasures.com/node/35>
- 5- <http://www.thenaturalstep.org/our-approach/> le site officiel de ce cadre, consulté le 02/03/2018
- 6- [http://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy\\_indicators/chapter2.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy_indicators/chapter2.pdf)
- 7- <http://www.un.org/french/ga/special/sids/agenda21/>, consulté novembre 2016.
- 8- <http://www.worldbank.org/poverty/scapital/whatsc.htm>, consulté le 10 mars 2018
- 9- <http://www.worldometers.info/fr/population-mondiale/>, consulté le 03/01/2017.
- 10- <https://alcse.org/what-is-sustainable-energy/> consulté le 06/12/2018
- 11- <https://jis.gov.jm/.../jamaica-sustainable-development-network>, consulté le 07/12/2018.
- 12- <https://sustainabilityhistory.org/defining-sustainability>, consulté le 03/02/2018.
- 13- <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>, consulté le 12/02/2019
- 14- <https://www.lenergiestoutcompris.fr>
- 15- <https://www.littre.org/definition/progrès>
- 16- <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/energy/>, consulté le 05/02/2019
- 17- [www.edfenr.com/lexique/energies-renouvelables](http://www.edfenr.com/lexique/energies-renouvelables), consulté le 07/12/2018.
- 18- [www.fiveplusfiverihe.org](http://www.fiveplusfiverihe.org), consulté le 21/11/2019
- 19- [www.lemoci.com/fiche-pays/algerie](http://www.lemoci.com/fiche-pays/algerie), consulté le 27/10/2018.

## Annexe A : IDSE, indicateurs, structure et pondérations

Tableau A.1 : IDSE, indicateurs sélectionnés, unités de mesure et sources.

Sous-thème	Indicateur	Formule	Unité	Code	Sens de durabilité	Source
Utilisation globale	Utilisation d'énergie par habitant	ATEP/pop	tep/hab	ECO1	+	AIE
Productivité globale (Intensité énergétique)	Utilisation d'énergie par unité de PIB	ATEP/GDP(ppa)	tep/000 2010 USD	ECO2	-	AIE
Efficacité d'approvisionnement	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	Part des pertes dans la production	% de la production	ECO3	-	BP
Production	Rapport réserves/ production	Réserves/production des fossiles	Années restantes d'exploitation	ECO4	+	BP*
	Rapport énergie renouvelable /Production	Combustibles renouvelables et déchets/production totale	% de l'énergie total	ECO5	+	BM
Importation	Dépendance nette aux importations	Importations/ATEP	% d'ATEP	ECO6	-	BM
Changements climatiques	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émission CO2/hab	tCO2/hab.	ENV1	-	AIE
	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Emission CO2/PIB (ppa)	kgCO2/2010 USD	ENV2	-	AIE
Qualité de l'air	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Pollution atmosphérique aux particules fines (PM2,5), exposition annuelle moyenne	Microgrammes par mètre cube	ENV3	-	BM
Énergie très polluante	Consommation du charbon	Consommation du charbon	Millions TEP/an	ENV4	-	BP
Accessibilité physique	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès à l'électricité	% de la population	SOC1	+	BM
Accessibilité économique	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'électricité par habitant	kWh/hab	SOC2	+	AIE
Promotion d'énergie renouvelable	Consommation d'énergies renouvelables	Part dans la consommation totale d'énergie	% de cons. totale d'énergie	SOC3	+	BM

Source : Élaborée par nos soins.

\* Calculé par nos soins, réserves/production des fossiles selon les données fournies par la source.

Tableau A.2 : IDSE, structure et pondération par arborescence égale

Dimension	Thème	Poids	Sous-thème	Poids	Indicateur	Code	Poids
Économique (1/3)	Modes d'utilisation et de production	1/6	Utilisation globale	1/24	Utilisation d'énergie par habitant	ECO1	1/24
			Productivité globale (Intensité énergétique)	1/24	Utilisation d'énergie par unité de PIB	ECO2	1/24
			Efficacité d'approvisionnement	1/24	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	ECO3	1/24
			Production	1/24	Rapport réserves/production des fossiles	ECO4	1/48
	Rapport Production de combustibles renouvelables et déchets/production totale	ECO5			1/48		
Sécurité d'approvisionnement	1/6	Importation	1/6	Dépendance nette aux importations	ECO6	1/6	
Environnementale (1/3)	Atmosphère	1/6	Changement climatique	1/12	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	ENV1	1/24
					Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	ENV2	1/24
			Qualité de l'air	1/12	Pollution atmosphérique aux particules fines (PM2,5), exposition annuelle moyenne	ENV3	1/12
	Énergie très polluante	1/6	consommation du charbon	1/6	Millions TEP/an	ENV4	1/6
Sociale (1/3)	Équité	1/6	Accessibilité physique	1/18	Part des ménages sans électricité ou énergie commerciale	SOC1	1/12
			Accessibilité économique	1/18	Part du revenu des ménages consacrée aux combustibles et à l'électricité	SOC2	1/12
	Promotion des ENR	1/6	Consommation d'énergies renouvelables	1/6	Part des ENR dans consommation totale d'énergie	SOC3	1/6
Total		1		1			1

Source : Élaborée par nos soins.

Tableau A.3 : IDSE, structure et pondération par analyse en composantes principales (ACP)

Dimension	Thème	Poids	Sous-thème	Poids	Indicateur	Code	Poids
Économique (0,469)	Modes d'utilisation et de production	0,401	Utilisation globale	0,080	Utilisation d'énergie par habitant	ECO1	0,080
			Productivité globale (Intensité énergétique)	0,097	Utilisation d'énergie par unité de PIB	ECO2	0,097
			Efficacité d'approvisionnement	0,055	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	ECO3	0,055
			Production	0,169	Rapport réserves/production des fossiles	ECO4	0,119
	Rapport Production de combustibles renouvelables et déchets/production totale	ECO5			0,050		
	Sécurité d'approvisionnement	0,068	Importation	0,068	Dépendance nette aux importations	ECO6	0,068
Environnementale (0,333)	Atmosphère	0,239	Changement climatique	0,188	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	ENV1	0,098
					Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	ENV2	0,090
			Qualité de l'air	0,051	Pollution atmosphérique aux particules fines (PM2,5), exposition annuelle moyenne	ENV3	0,051
	Énergie très polluante	0,094	consommation du charbon	0,094	Millions TEP/an	ENV4	0,094
Sociale (0,2)	Équité	0,149	Accessibilité physique	0,052	Part des ménages sans électricité ou énergie commerciale	SOC1	0,052
			Accessibilité économique	0,097	Part du revenu des ménages consacrée aux combustibles et à l'électricité	SOC2	0,097
	Promotion des ENR	0,051	Consommation d'énergies renouvelables	0,051	Part des ENR dans consommation totale d'énergie	SOC3	0,051
<b>Total</b>		<b>1</b>		<b>1</b>			<b>1</b>

Source : Élaborée par nos soins.

Les poids des indicateurs obtenus avec la méthode ACP sont répartis de façon presque égale (max=ECO4= 0,119 et min=ENV3=SOC3=0,051) que ceux obtenus avec la pondération arborescence égale (max=0,16 et min=0,02). Avec l'ACP, le poids relatif à la dimension économique est le plus élevé vaut 0,469, celui de la dimension environnementale est de 0,333 et le poids attribué à la dimension sociale est de 0,2. La dimension économique a le poids le plus élevé puisqu'elle comporte plus d'indicateurs que les autres dimensions, alors que la dimension environnementale garde exactement le même poids. Ainsi ACP favorisera les pays qui ont une bonne performance dans la dimension économique que sociale.

## Annexe B : Matrices de données non normalisées

Tableau B.1 : Matrice de donnée 2010 non normalisée

2010	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6*	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable /Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
Source	AIE	AIE	BP	BP	BM	BM*	AIE	AIE	BM	BP	BM	AIE	BM
Unité	tep/hab.	tep/000 2010 USD	% de pro.	Rés. / Pro.	% de pro.	% de con.	tCO2/hab.	kgCO2/2010 USD	Microgr/m <sup>3</sup>	millions tep	% de pop.	kWh/hab.	% de cons. totale
Algérie	1,14	0,15	19,88	24,83	0,13	-275,46	2,78	0,37	33,64	0,31	98,88	1026,00	0,26
Chine	1,81	0,26	6,12	24,63	4,42	11,45	5,43	0,80	69,48	1748,9	100	2942,00	12,88
Égypte	0,90	0,16	10,16	17,57	2,16	-16,46	2,19	0,39	77,45	0,46	99,59	1608,00	5,72
Espagne	2,77	0,10	9,18	14,67	4,14	73,05	5,82	0,22	11,35	6,90	100	6155,00	14,40
États-Unis	7,15	0,17	5,99	88,30	3,20	22,21	17,31	0,41	9,36	498,76	100	13361,0	7,51
France	4,04	0,14	6,28	0,00	4,48	48,16	5,52	0,19	14,85	11,51	100	7756,00	11,85
Grèce	2,44	0,10	6,59	14,67	3,60	65,82	7,45	0,31	19,06	7,86	100	5245,00	11,09
Italie	2,81	0,10	6,88	12,03	5,40	81	6,59	0,24	19,03	13,66	100	5384,00	12,79
Lybie	3,01	0,19	35,75	58,23	0,75	-399,07	8,12	0,52	50,15	0,00	81,29	4270,00	1,57
Malte	2,03	0,09	6,53	0,00	0,19	99,42	5,99	0,26	16,45	0,00	100	4182,00	1,39
Maroc	0,52	0,12	11,31	0,00	8,69	88,76	1,44	0,33	29,65	2,79	90,57	781,00	14,41
Mauritanie	0,35	nd	nd	0,00	nd	nd	nd	nd	39,64	0,00	34	nd	34,00
Portugal	2,21	0,10	7,97	0,00	11,30	75,31	4,53	0,21	10,08	1,65	100	4929,00	27,83
Tunisie	0,91	0,11	11,45	4,87	8,50	18,97	2,08	0,24	35,55	0,00	99,5	1350,00	12,69
Max	16,88	0,52	62,59	140	92,52	100	37,57	2,71	100,78	1748,9	100	51439,9	96,83
Mini	0,14	0,09	2,75	0,00	0	-944,89	0,05	0,01	7,15	00	1,5	24,52	0

Max et Mini au niveau mondial.

nd : données non disponibles.

\* : Données qui seront transformées avant la normalisation.

Tableau B.2 : Matrice de donnée 2011 non normalisée

2011	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable /Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation de charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
Source	AIE	AIE	BP	BP	BM	BM	AIE	AIE	BM	BP	BM	AIE	BM
Unité	tep/hab.	tep/000 2010 USD	% de pro.	rés./Pro	% de pro.	% de con.	tCO2/hab	kgCO2/2010 USD	Microgr/m <sup>3</sup>	millions tep	% de pop.	kWh/hab.	% de cons. Totale
<b>Algérie</b>	1,16	0,15	19,32	25,67	0,04	-248,73	2,89	0,38	33,83	0,28	99,08	1145,00	0,18
<b>Chine</b>	2,03	0,27	5,74	24,23	3,80	11,86	5,92	0,80	70,54	1903,85	100	3298,00	11,70
<b>Égypte</b>	0,94	0,17	8,47	17,23	2,10	-9,87	2,28	0,41	70,79	0,44	99,82	1677,00	5,58
<b>Portugal</b>	2,72	0,10	8,93	27,00	4,58	74,56	5,86	0,22	12,04	12,79	100	5604,00	14,75
<b>États-Unis</b>	7,02	0,17	6,00	87,60	3,30	18,55	16,94	0,40	9,74	470,60	100	13227,00	8,16
<b>Portugal</b>	3,88	0,13	5,83	0,00	4,04	46,06	5,04	0,17	14,88	9,77	100	7318,00	10,91
<b>Grèce</b>	2,36	0,11	4,77	17,67	4,43	64,02	7,40	0,33	20,00	7,89	100	5292,00	11,09
<b>Portugal</b>	2,76	0,10	6,93	15,23	4,10	80,98	6,47	0,24	19,99	15,35	100	5393,00	11,90
<b>Lybie</b>	2,08	0,35	31,53	60,00	1,14	-138,44	5,43	0,91	44,63	0,00	79,61	3731,00	2,23
<b>Malte</b>	2,05	0,09	7,02	0,00	0,30	99,2	5,90	0,26	16,64	0,00	100	4659,00	2,03
<b>Maroc</b>	0,54	0,12	10,69	0,00	7,79	90,48	1,55	0,35	29,27	2,98	92,73	821,00	12,35
<b>Mauritanie</b>	nd	nd	nd	0,00	nd	nd	nd	nd	40,04	0,00	36	nd	33,28
<b>Portugal</b>	2,17	0,10	7,88	0,00	11,67	75,79	4,51	0,21	10,36	2,22	100	4806,00	27,22
<b>Tunisie</b>	0,89	0,11	13,67	5,00	8,91	22,2	1,98	0,24	33,87	0,00	99,5	1297,00	13,33
<b>Max</b>	17,80	0,53	71,88	144,10	90,43	100	38,17	2,50	100,77	1903,90	100	52376,00	96,59
<b>Mini</b>	0,14	0,08	1,82	0,00	0,00	-672,11	0,05	0,11	7,28	0,00	4,1	32,00	0,00

Tableau B.3 : Matrice de données 2012 non normalisée

2012	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable /Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation de charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
Source	AIE	AIE	BP	BP	BM	BM	AIE	AIE	BM	BP	BM	AIE	BM
Unité	tep/hab.	tep/000 2010 USD	% de pro.	Rés/Pro .	% de pro.	% de con.	tCO2/hab	kgCO2/2010 USD	Microgr /m <sup>3</sup>	millions tep	% de pop.	kWh/hab.	% de cons. totale
<b>Algérie</b>	1,20	0,11	19,28	25,10	0,03	-212,77	2,97	0,26	33,37	0,29	98,76	1203,00	0,19
<b>Chine</b>	2,14	0,22	5,81	23,77	3,40	14,36	6,08	0,63	63,83	1927,79	100	3475,00	11,97
<b>Égypte</b>	0,97	0,10	11,12	16,53	2,09	-4,97	2,44	0,26	72,79	0,39	99,7	1804,00	5,55
<b>Espagne</b>	2,71	0,10	8,73	28,33	4,97	73,31	5,77	0,22	11,15	15,49	100	5647,00	15,77
<b>États-Unis</b>	6,81	0,15	6,29	93,40	3,56	15,69	16,15	0,36	9,00	416,03	100	12947,00	8,48
<b>France</b>	3,86	0,13	6,73	0,00	4,48	46,8	5,10	0,17	13,83	11,07	100	7367,00	12,37
<b>Grèce</b>	2,39	0,11	2,65	16,67	4,92	60,75	6,99	0,33	18,42	8,14	100	5511,00	13,86
<b>Italie</b>	2,61	0,10	7,06	13,57	5,59	78,33	6,15	0,23	18,11	15,72	100	5277,00	14,39
<b>Lybie</b>	2,79	0,25	59,03	65,63	0,90	-403,06	7,18	0,65	44,91	0,00	77,97	4805,00	1,91
<b>Malte</b>	1,60	0,07	8,41	0,00	0,41	99,02	6,02	0,26	15,40	0,00	100	4766,00	2,60
<b>Maroc</b>	0,58	0,09	11,76	0,00	7,42	90,94	1,59	0,26	27,79	3,02	94,93	888,00	11,40
<b>Mauritanie</b>	1,04	0,07	nd	0,00	nd	nd	2,86	0,20	42,34	0,00	37	2019,00	31,84
<b>Portugal</b>	2,02	0,10	10,33	0,00	10,75	78,04	4,34	0,21	9,48	2,91	100	4708,00	25,52
<b>Tunisie</b>	0,92	0,10	15,15	5,97	8,57	26,16	2,14	0,23	32,82	0,00	99,5	1411,00	13,08
<b>Max</b>	18,49	0,52	82,88	173,67	89,83	100	36,95	2,53	96,96	1927,80	100	53156,00	95,53
<b>Mini</b>	0,13	0,07	1,90	0,00	0,00	-589,51	0,04	0,09	6,60	0,00	6,5	50,00	0,00

Tableau B.4 : Matrice 2013 non normalisée

2013	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	d'électricité lors de la transmission de la	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable /Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
Source	AIE	AIE	BP	BP	BM	BM	AIE	AIE	BM	BP	BM	AIE	BM
Unité	tep/hab.	tep/000 2010 USD	% de pro.	Rés./Pro	% de pro.	% de con.	tCO <sub>2</sub> /hab	kgCO <sub>2</sub> /2010 USD	Microgr/m <sup>3</sup>	millions tep	% de pop.	kWh/hab.	% de cons. totale
<b>Algérie</b>	1,21	0,11	18,41	26,17	0,05	-189,35	2,9	0,25	34,25	0,16	99,58	1244	0,14
<b>Chine</b>	2,21	0,22	5,78	23,63	3,02	14,76	6,6	0,64	65,51	1969,07	100	3766	11,84
<b>Égypte</b>	0,94	0,1	11,14	24,10	2,23	-6,89	2,25	0,24	76,21	0,39	99,99	1812	5,71
<b>Espagne</b>	2,51	0,09	9,48	40,00	4,24	70,34	5,06	0,19	10,74	11,40	100	5404	16,95
<b>États-Unis</b>	6,92	0,15	5,96	27,10	3,67	13,94	16,18	0,35	8,73	431,84	100	12987	8,71
<b>France</b>	3,84	0,12	6,63	0,00	4,87	46,35	4,79	0,15	13,59	11,56	100	7382	13,48
<b>Grèce</b>	2,12	0,1	6,82	18,67	4,76	60,12	6,25	0,31	17,78	6,98	100	5000	16,29
<b>Italie</b>	2,56	0,1	7,36	13,33	5,92	76,34	5,58	0,21	17,76	13,55	100	5124	16,32
<b>Lybie</b>	2,74	0,23	61,48	91,33	0,79	-227,79	6,97	0,58	49,28	0,00	76,37	3963	1,72
<b>Malte</b>	1,74	0,07	6,97	0,00	0,46	98,84	5,5	0,23	15,28	0,00	100	4740	2,58
<b>Maroc</b>	0,57	0,09	13,02	0,00	7,26	90,25	1,53	0,24	29,26	3,00	97,17	878	12,05
<b>Mauritanie</b>	1,09	0,07	nd	0,00	nd	nd	3,04	0,2	40,22	0,00	38	2148	34,2
<b>Portugal</b>	2,08	0,1	10,79	0,00	10,85	73,17	4,3	0,2	9,43	2,65	100	4685	30,17
<b>Tunisie</b>	0,96	0,1	14,73	6,23	8,44	29,92	2,17	0,23	35,65	0,00	99,7	1435	13,25
<b>Max</b>	18,52	0,48	61,48	167	79,43	100	33,38	3,18	95,31	1969,1	100	54759	94,23
<b>Mini</b>	0,13	0,06	2,06	0,00	0	-672,4	0,08	0,04	6,28	00	7,09	39	0

Tableau B.5 : Matrice 2014 non normalisée

2014	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	d' électricité lors de la transmission e de la	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable /Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
Source	AIE	AIE	BP	BP	BM	BM	AIE	AIE	BM	BP	BM	AIE	BM
Unité	tep/hab.	tep/000 2010 USD	% de pro.	Rés./Pro	% de pro.	% de con.	tCO2/hab	kgCO2/2010 USD	Microgr/m <sup>3</sup>	millions tep	% de pop.	kWh/hab.	% de cons. totale
Algérie	1,33	0,10	17,13	25,33	0,01	-177,12	3,16	0,24	35,56	0,18	99,88	1363,00	0,07
Chine	2,24	0,18	5,47	22,53	2,88	15,02	6,66	0,54	59,77	1954,48	100	3927,00	12,22
Égypte	0,84	0,08	10,95	17,23	2,29	-7,39	1,93	0,20	76,56	0,39	99,8	1699,00	5,87
Espagne	2,47	0,08	9,60	45,33	4,36	69,36	4,99	0,16	10,07	11,64	100	5358,00	17,35
États-Unis	6,94	0,14	5,91	95,60	3,69	9,21	16,22	0,32	8,22	430,86	100	12962,00	8,75
France	3,67	0,10	6,34	0,00	4,61	43,49	4,32	0,12	12,29	8,64	100	6955,00	13,35
Grèce	2,12	0,09	8,24	20,33	4,86	61,97	6,03	0,25	17,37	6,69	100	5047,00	16,09
Italie	2,41	0,07	6,99	7,33	5,66	75	5,26	0,16	17,77	13,07	100	5002,00	17,09
Lybie	2,85	0,20	69,70	115,97	0,85	-102,96	7,65	0,52	47,50	0,00	74,8	1841,00	1,75
Malte	1,81	0,06	4,68	0,00	0,82	98,38	5,49	0,20	14,44	0,00	100	5012,00	3,93
Maroc	0,56	0,08	14,70	0,00	7,15	90,72	1,57	0,22	29,95	4,04	91,6	912,00	11,72
Mauritanie	1,11	0,06	nd	0,00	nd		3,14	0,18	43,11	0,00	39	2182,00	32,02
Portugal	2,03	0,08	10,03	0,00	10,56	71,67	4,12	0,16	8,78	2,68	100	4663,00	30,46
Tunisie	0,96	0,09	14,80	7,37	8,34	36,2	2,27	0,21	34,69	0,00	99,8	1463,00	12,93
Max	20,29	0,44	71,03	145,17	80,03	100	35,73	2,82	98,12	1954,50	100	53896,00	94,60
Mini	0,16	0,05	2,03	0,00	0,00	-1058,12	0,06	0,06	6,18	0,00	7	39,00	0,00

## Annexe C : Matrices de données normalisées

## Matrice C.1 : Données normalisées 2010

2010	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6*	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable / Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
Algérie	0,060	0,860	0,714	0,177	0,000	0,3593	0,927	0,867	0,717	1,000	0,989	0,019	0,003
Chine	0,100	0,605	0,944	0,176	0,042	0,0848	0,857	0,707	0,334	0,000	1,000	0,057	0,133
Égypte	0,045	0,837	0,876	0,125	0,023	0,1115	0,943	0,859	0,249	1,000	0,996	0,031	0,059
Espagne	0,157	0,977	0,893	0,105	0,051	0,0258	0,846	0,922	0,955	1,000	1,000	0,119	0,149
États-Unis	0,419	0,814	0,946	0,631	0,036	0,0745	0,540	0,852	0,976	0,710	1,000	0,259	0,078
France	0,233	0,884	0,941	0,000	0,045	0,0496	0,854	0,933	0,918	0,990	1,000	0,150	0,122
Grèce	0,137	0,977	0,936	0,105	0,049	0,0327	0,803	0,889	0,873	1,000	1,000	0,102	0,115
Italie	0,159	0,977	0,931	0,086	0,045	0,0182	0,826	0,915	0,873	0,990	1,000	0,104	0,132
Lybie	0,171	0,767	0,449	0,416	0,013	0,4776	0,785	0,811	0,541	1,000	0,810	0,083	0,016
Malte	0,113	1,000	0,937	0,000	0,003	0,0006	0,842	0,907	0,901	1,000	1,000	0,081	0,014
Maroc	0,023	0,930	0,857	0,000	0,086	0,0108	0,963	0,881	0,760	1,000	0,904	0,015	0,149
Mauritanie	0,008	#	#	0,000	#	0,0957	#	#	0,653	1,000	0,330	#	0,351
Portugal	0,124	0,977	0,913	0,000	0,129	0,0602	0,881	0,926	0,969	1,000	1,000	0,095	0,287
Tunisie	0,046	0,953	0,855	0,035	0,099	0,0776	0,946	0,915	0,697	1,000	0,995	0,026	0,131

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe B tableau B.1.

\*Données transformées : valeur d'importation nette + la valeur absolue de minimum mondial.

Suite au manque flagrant de données statistiques fiables sur la Mauritanie, nous l'avons écartée de l'échantillon de pays.

## Matrice C.2 : Données normalisées 2011

2011	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable / Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
<b>Algérie</b>	0,058	0,844	0,750	0,178	0,000	0,4517	0,925	0,887	0,716	1,000	0,990	0,021	0,002
<b>Chine</b>	0,107	0,578	0,944	0,168	0,042	0,1142	0,846	0,711	0,323	0,000	1,000	0,062	0,121
<b>Égypte</b>	0,045	0,800	0,905	0,120	0,023	0,1423	0,942	0,874	0,321	1,000	0,998	0,031	0,058
<b>Espagne</b>	0,146	0,956	0,899	0,187	0,051	0,0330	0,848	0,954	0,949	0,990	1,000	0,106	0,153
<b>États-Unis</b>	0,390	0,800	0,940	0,608	0,036	0,1055	0,557	0,975	0,716	0,750	1,000	0,252	0,084
<b>France</b>	0,212	0,889	0,943	0,000	0,045	0,0699	0,869	0,908	0,974	0,990	1,000	0,139	0,113
<b>Grèce</b>	0,126	0,933	0,958	0,123	0,049	0,0466	0,807	0,946	0,919	1,000	1,000	0,100	0,115
<b>Italie</b>	0,148	0,956	0,927	0,106	0,045	0,0246	0,832	0,665	0,864	0,990	1,000	0,102	0,123
<b>Lybie</b>	0,110	0,400	0,576	0,416	0,013	0,3088	0,859	0,937	0,864	1,000	0,787	0,071	0,023
<b>Malte</b>	0,108	0,978	0,926	0,000	0,003	0,0010	0,847	0,900	0,600	1,000	1,000	0,088	0,021
<b>Maroc</b>	0,023	0,911	0,873	0,000	0,086	0,0123	0,961	0,906	0,900	1,000	0,924	0,015	0,128
<b>Mauritanie</b>	#	#	#	#	0,000	0,1295	#		0,765	1,000	0,333	#	0,345
<b>Portugal</b>	0,115	0,956	0,913	0,000	0,129	0,0314	0,883	0,946	0,650	1,000	1,000	0,091	0,282
<b>Tunisie</b>	0,042	0,933	0,831	0,035	0,099	0,1008	0,949	0,879	0,967	1,000	0,995	0,024	0,138

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe B tableau B.2.

\*Données transformées : valeur d'importation nette + la valeur absolue de minimum mondial.

Suite au manque flagrant de données statistiques fiables sur la Mauritanie, nous l'avons écartée de l'échantillon de pays.

Matrice C.3 : Données normalisées 2012

2012	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable /Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
<b>Algérie</b>	0,058	0,911	0,785	0,145	0,000	0,4536	0,921	0,930	0,704	1,000	0,987	0,022	0,002
<b>Chine</b>	0,109	0,667	0,952	0,137	0,038	0,1242	0,836	0,779	0,367	0,000	1,000	0,064	0,125
<b>Égypte</b>	0,046	0,933	0,886	0,095	0,023	0,1522	0,935	0,930	0,268	1,000	0,997	0,033	0,058
<b>Espagne</b>	0,141	0,933	0,916	0,163	0,055	0,0387	0,845	0,947	0,950	0,990	1,000	0,105	0,165
<b>États-Unis</b>	0,364	0,822	0,946	0,538	0,040	0,1223	0,564	0,967	0,710	0,780	1,000	0,243	0,089
<b>France</b>	0,203	0,867	0,940	0,000	0,050	0,0772	0,863	0,902	0,973	0,990	1,000	0,138	0,129
<b>Grèce</b>	0,123	0,911	0,991	0,096	0,055	0,0569	0,812	0,943	0,920	1,000	1,000	0,103	0,145
<b>Italie</b>	0,135	0,933	0,936	0,078	0,062	0,0314	0,834	0,770	0,869	0,990	1,000	0,098	0,151
<b>Lybie</b>	0,145	0,600	0,294	0,378	0,010	0,7296	0,807	0,930	0,873	1,000	0,764	0,090	0,020
<b>Malte</b>	0,080	1,000	0,920	0,000	0,005	0,0014	0,838	0,930	0,576	1,000	1,000	0,089	0,027
<b>Maroc</b>	0,025	0,956	0,878	0,000	0,083	0,0131	0,958	0,955	0,903	1,000	0,946	0,016	0,119
<b>Mauritanie</b>	0,050	1,000	#	#	#	#	0,924	0,951	0,766	1,000	0,326	0,037	0,333
<b>Portugal</b>	0,103	0,933	0,896	0,000	0,120	0,0318	0,884	0,943	0,604	1,000	1,000	0,088	0,267
<b>Tunisie</b>	0,043	0,933	0,836	0,034	0,095	0,1071	0,943	0,889	0,968	1,000	0,995	0,026	0,137

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe B tableau B.3.

\*Données transformées : valeur d'importation nette + la valeur absolue de minimum mondial.

Suite au manque flagrant de données statistiques fiables sur la Mauritanie, nous l'avons écartée de l'échantillon de pays.

## Matrice C.4 : Données normalisées 2013

2013	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable / Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
<b>Algérie</b>	0,059	0,881	0,725	0,157	0,001	0,3746	0,915	0,933	0,686	1,000	0,995	0,023	0,001
<b>Chine</b>	0,113	0,619	0,938	0,142	0,038	0,1104	0,804	0,809	0,335	0,000	1,000	0,068	0,126
<b>Égypte</b>	0,044	0,905	0,847	0,144	0,028	0,1384	0,935	0,936	0,215	1,000	1,000	0,032	0,061
<b>Espagne</b>	0,129	0,929	0,875	0,240	0,053	0,0384	0,850	0,952	0,950	0,990	1,000	0,098	0,180
<b>États-Unis</b>	0,369	0,786	0,935	0,162	0,046	0,1114	0,517	0,965	0,670	0,780	1,000	0,237	0,092
<b>France</b>	0,202	0,857	0,923	0,000	0,061	0,0695	0,859	0,914	0,972	0,990	1,000	0,134	0,143
<b>Grèce</b>	0,108	0,905	0,920	0,112	0,060	0,0516	0,815	0,946	0,918	1,000	1,000	0,091	0,173
<b>Italie</b>	0,132	0,905	0,911	0,080	0,075	0,0306	0,835	0,828	0,871	0,990	1,000	0,093	0,173
<b>Lybie</b>	0,142	0,595	0,000	0,547	0,010	0,4244	0,793	0,939	0,871	1,000	0,746	0,072	0,018
<b>Malte</b>	0,088	0,976	0,917	0,000	0,006	0,0015	0,837	0,936	0,517	1,000	1,000	0,086	0,027
<b>Maroc</b>	0,024	0,929	0,816	0,000	0,091	0,0126	0,956	0,949	0,899	1,000	0,970	0,015	0,128
<b>Mauritanie</b>	0,052	0,976	#	0,000#	0,000	0,1295	0,911	0,949	0,742	1,000	0,333	0,039	0,363
<b>Portugal</b>	0,106	0,905	0,853	0,000	0,137	0,0347	0,873	0,939	0,619	1,000	1,000	0,085	0,320
<b>Tunisie</b>	0,045	0,905	0,787	0,037	0,106	0,0907	0,937	0,901	0,965	1,000	0,997	0,026	0,141

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe B tableau B.4.

\*Données transformées : valeur d'importation nette + la valeur absolue de minimum mondial.

Suite au manque flagrant de données statistiques fiables sur la Mauritanie, nous l'avons écartée de l'échantillon de pays.

Matrice C.5 : Données normalisées 2014

2014	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3
Indicateur	Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité lors de la transmission et de la distribution	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable /Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables
<b>Algérie</b>	0,058	0,872	0,781	0,175	0,000	0,2393	0,913	0,935	0,680	1,000	0,999	0,025	0,001
<b>Chine</b>	0,103	0,667	0,950	0,155	0,036	0,0734	0,815	0,826	0,417	0,000	1,000	0,072	0,129
<b>Égypte</b>	0,034	0,923	0,871	0,119	0,029	0,0927	0,948	0,949	0,234	1,000	0,998	0,031	0,062
<b>Espagne</b>	0,115	0,923	0,890	0,312	0,054	0,0265	0,862	0,964	0,958	0,990	1,000	0,099	0,183
<b>États-Unis</b>	0,337	0,769	0,944	0,659	0,046	0,0784	0,547	0,978	0,690	0,780	1,000	0,240	0,092
<b>France</b>	0,174	0,872	0,937	0,000	0,058	0,0488	0,881	0,931	0,978	1,000	1,000	0,128	0,141
<b>Grèce</b>	0,097	0,897	0,910	0,140	0,061	0,0328	0,833	0,964	0,934	1,000	1,000	0,093	0,170
<b>Italie</b>	0,112	0,949	0,928	0,051	0,071	0,0216	0,854	0,833	0,878	0,990	1,000	0,092	0,181
<b>Lybie</b>	0,134	0,615	0,019	0,799	0,011	0,1753	0,787	0,949	0,874	1,000	0,729	0,033	0,018
<b>Malte</b>	0,082	0,974	0,962	0,000	0,010	0,0014	0,848	0,942	0,551	1,000	1,000	0,092	0,042
<b>Maroc</b>	0,020	0,923	0,816	0,000	0,089	0,0081	0,958	0,957	0,910	1,000	0,910	0,016	0,124
<b>Mauritanie</b>	0,047	0,974	1,029	0,000	0,000	0,0863	0,914	0,964	0,741	1,000	0,344	0,040	0,338
<b>Portugal</b>	0,093	0,923	0,884	0,000	0,132	0,0245	0,886	0,946	0,598	1,000	1,000	0,086	0,322
<b>Tunisie</b>	0,040	0,897	0,815	0,051	0,104	0,0551	0,938	0,906	0,972	1,000	0,998	0,026	0,137

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe B tableau B.5.

\*Données transformées : valeur d'importation nette + la valeur absolue de minimum mondial.

Suite au manque flagrant de données statistiques fiables sur la Mauritanie, nous l'avons écartée de l'échantillon de pays.

**Annexe D :**  
**Résultats de l'IDSE par différentes méthodes de pondération et d'agrégation.**

**Tableau D.1 : Scores et rangs de l'IDSE, pondération égale et agrégation géométrique**

Pays	2010		2011		2012		2013		2014	
	Score	Rang								
Algérie	0		0,1537	8	0,1502	8	0,1449	7	0,1170	8
Chine	0		0		0		0		0	
Égypte	0,2287	7	0,2330	7	0,2304	7	0,2294	6	0,2136	6
Espagne	0,2810	2	0,2817	2	0,2915	3	0,2946	3	0,2788	2
États-Unis	0,3153	1	0,3220	1	0,3278	1	0,3189	1	0,3104	1
France	0		0		0		0		0	
Grèce	0,2786	3	0,2783	3	0,2940	2	0,2985	2	0,2774	3
Italie	0,2543	6	0,2489	6	0,2668	6	0,2728	4	0,2557	4
Lybie	0,2561	5	0,2596	5	0,2697	5	0		0,1909	7
Malte	0		0		0		0		0	
Maroc	0		0		0		0		0	
Portugal	0		0		0		0		0	
Tunisie	0,2746	4	0,2741	4	0,2704	4	0,2721	5	0,2507	5

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe C.

**Tableau D.2 : Scores et rangs de l'IDSE, pondération égale et agrégation arithmétique**

Pays	2010		2011		2012		2013		2014	
	Score	Rang								
Algérie	0,5173	7	0,5343	1	0,5254	4	0,5210	6	0,500	7
Chine	0,2906	13	0,2918	13	0,3015	13	0,2968	13	0,3019	13
Égypte	0,4528	12	0,4641	12	0,4654	12	0,4601	12	0,4560	12
Espagne	0,530	4	0,531	3	0,5323	2	0,5338	1	0,5354	1
États-Unis	0,4728	10	0,4866	10	0,4907	10	0,4760	10	0,4829	9
France	0,5301	3	0,5317	2	0,5324	1	0,5337	2	0,5332	2
Grèce	0,5198	6	0,5225	6	0,5286	3	0,5289	3	0,5278	3
Italie	0,5118	8	0,5036	8	0,5125	7	0,5163	7	0,5186	5
Lybie	0,5333	1	0,4945	9	0,5084	8	0,4956	9	0,4566	11
Malte	0,4615	11	0,4677	11	0,4673	11	0,4616	11	0,4696	10
Maroc	0,5041	9	0,5040	7	0,5029	9	0,5020	8	0,4966	8
Portugal	0,5316	2	0,5255	5	0,5171	6	0,5238	4	0,5230	4
Tunisie	0,5222	5	0,5262	4	0,5249	5	0,5228	5	0,5180	6

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe C.

**Tableau D.3 : Scores et rangs de l'IDSE, pondération ACP et agrégation géométrique**

Pays	2010		2011		2012		2013		2014	
	Score	Rang	Score	Rang	Score	Rang	Score	Rang	Score	Rang
Algérie	0		0,1948	8	0,1885	8	0,1928	7	0,1702	8
Chine	0		0		0		0		0	
Égypte	0,2434	7	0,2453	6	0,2420	6	0,2519	5	0,2363	7
Espagne	0,3213	3	0,3390	2	0,3376	2	0,3489	2	0,3498	2
États-Unis	0,4296	1	0,4310	1	0,4282	1	0,3682	1	0,4250	1
France	0		0		0		0		0	
Grèce	0,3141	4	0,3174	3	0,3160	3	0,31757	3	0,3154	3
Italie	0,2951	5	0,2934	5	0,2951	5	0,2991	4	0,2750	4
Lybie	0,3279	2	0,3046	4	0,3142	4	0		0,2511	5
Malte	0		0		0		0		0	
Maroc	0		0		0		0		0	
Portugal	0		0		0		0		0	
Tunisie	0,2442	6	0,2411	7	0,2405	7	0,2439	6	0,2428	6

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe C.

**Tableau D.4 : Scores et rangs de l'IDSE, pondération ACP et pondération arithmétique**

Pays	2010		2011		2012		2013		2014	
	Score	Rang								
Algérie	0,5259	9	0,5344	6	0,5417	4	0,5309	4	0,5259	8
Chine	0,3764	13	0,3741	13	0,3878	13	0,3806	13	0,3915	13
Égypte	0,4908	12	0,4953	12	0,5068	11	0,5049	11	0,5043	12
Espagne	0,5530	2	0,5614	2	0,5571	2	0,5636	1	0,5734	1
États-Unis	0,5667	1	0,5719	1	0,5671	1	0,5110	9	0,5696	2
France	0,5410	5	0,5429	4	0,5402	5	0,5392	3	0,5419	4
Grèce	0,5440	3	0,5462	3	0,5454	3	0,5422	2	0,5465	3
Italie	0,5328	7	0,5188	9	0,5251	9	0,5274	6	0,5297	5
Lybie	0,5435	4	0,5060	10	0,5318	7	0,5109	10	0,5222	9
Malte	0,5017	11	0,5048	11	0,5055	12	0,5010	12	0,5076	11
Maroc	0,5250	10	0,5276	8	0,5246	10	0,5197	8	0,5166	10
Portugal	0,5373	6	0,5347	5	0,5266	8	0,5246	7	0,5271	7
Tunisie	0,5313	8	0,5321	7	0,5330	6	0,5282	5	0,5285	6

Source : Calculé par nos soins à partir de l'annexe C.

## Annexe E :

## Classement des pays de l'échantillon selon les différents indicateurs normalisés

De plus performants au moins performant en matière de durabilité énergétique en 2014.

Utilisation d'énergie par habitant	Utilisation d'énergie par unité de PIB	Pertes d'électricité	Rapport réserves/production	Rapport énergie renouvelable / Production	Dépendance nette aux importations	Émissions de GES dues à l'énergie par habitant	Émissions de GES dues à l'énergie par unité de PIB	Concentration ambiante des polluants en zones urbaines	Consommation du charbon	Part des ménages avec électricité commerciale	Accès des ménages à l'électricité commerciale	Consommation d'énergies renouvelables	
+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	
ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ENV1	ENV2	ENV3	ENV4	SOC1	SOC2	SOC3	
USA	Malte	Malte	Lybie	Portugal	Algérie	Maroc	USA	France	France Lybie Grèce Portugal Malte Algérie Tunisie Égypte Maroc	USA France Espagne Italie Chine Grèce Portugal Malte	USA	Portugal	
France	Italie	Chine	USA	Tunisie	Lybie	Égypte	Espagne	Tunisie			France	Espagne	
Lybie	Espagne	USA	Espagne	Maroc	Égypte	Tunisie	Grèce	Espagne			Espagne	Italie	
Espagne	Portugal	France	Algérie	Italie	USA	Algérie	Maroc	Grèce			Grèce	Grèce	
Italie	Égypte	Italie	Chine	Grèce	Chine	Portugal	Égypte	Maroc			Malte	France	
Chine	Maroc	Grèce	Grèce	France	Tunisie	France	Lybie	Italie			Italie	Tunisie	
Grèce	Grèce	Espagne	Égypte	Espagne	France	Espagne	Portugal	Lybie			Portugal	Chine	
Portugal	Tunisie	Portugal	Italie	USA	Grèce	Italie	Malte	USA			Chine	Maroc	
Malte	France	Égypte	Tunisie	Chine	Espagne	Malte	Algérie	Algérie			Algérie	Lybie	USA
Algérie	Algérie	Maroc	Malte	Égypte	Portugal	Grèce	France	Portugal			Espagne	Tunisie	Égypte
Tunisie	USA	Tunisie	France	Lybie	Italie	Chine	Tunisie	Malte	Italie	Égypte	Tunisie	Malte	
Égypte	Chine	Algérie	Portugal	Malte	Maroc	Lybie	Italie	Chine	USA	Maroc	Algérie	Lybie	
Maroc	Lybie	Lybie	Maroc	Algérie	Malte	USA	Chine	Égypte	Chine	Lybie	Maroc	Algérie	
0,00607	0,01118	0,05691	0,06134	0,00138	0,00440	0,01019	0,00209	0,05252	0,07156	0,00548	0,00334	0,00665	
0,0811	0,1101	0,2483	0,2578	0,0386	0,0690	0,1051	0,0476	0,2385	0,2784	0,0770	0,0602	0,0849	

Les deux dernières lignes représentent respectivement la variance et l'écart-type entre les valeurs de chaque indicateur de l'échantillon d'étude.

Source : Etabli par nos soins à partir de la matrice C.5, annexe C.

## Table des matières

Sommaire .....	I
Liste des abréviations .....	II
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	V
Introduction générale .....	01
<b>Chapitre 1 : Analyse économique du développement durable</b> .....	<b>11</b>
Introduction au chapitre .....	11
Section 1- Émergence et réflexion sur la durabilité dans l’histoire.....	12
1.1- Émergence du concept de durabilité.....	12
1.2- Thomas Malthus 1798.....	13
1.3- Club de Rome, 1968.....	16
1.4- Écodéveloppement, conférence de Stockholm 1972.....	20
1.5- Rapport Brundtland.....	23
1.6- Conférences des Nations unies.....	26
Section 2- Développement durable et autres formes du progrès .....	28
2.1- Histoire de l'idée du progrès .....	30
2.2- Croissance économique .....	35
2.3- Développement économique .....	39
Section 3- Développement durable.....	47
3.1- Notion du développement durable .....	48
3.2- Critiques au développement durable .....	53
3.3- Conceptions du DD dans le paradigme de la théorie du développement .....	58
3.3.1- Internationalisation.....	58
3.3.2- Réconciliation.....	60
3.3.3- Complémentarité.....	61
Section 4- Approches économiques du développement durable.....	62
4.1- Branches d’analyse du développement durable .....	64
4.1.1- Économie du marché efficient.....	65
4.1.2- Économie de l’environnement .....	67
4.1.3- Économie écologique .....	68
4.2- Développement durable et valeur .....	70
4.2.1- Hégémonie de la valeur économique .....	70
4.2.2- Hiérarchie incertaine entre valeur économique et éthique .....	71
4.2.3- Hégémonie de la valeur éthique.....	72
Conclusion du chapitre.....	73
<b>Chapitre II : Opérationnalisation et évaluation de durabilité</b> .....	<b>75</b>
Introduction au chapitre.....	75
Section 1 : Saisir le concept de durabilité .....	76
1.1- Difficulté de définir la durabilité .....	76
1.2- Utilisation du mot durabilité .....	79
1.3- Essai de définition de la durabilité .....	84
1.3.1- Cadres de Durabilité .....	84
1.3.1.1- Trois règles de H. Daly .....	86
1.3.1.2- Cadre Triple Bottom Line .....	87
1.3.1.3- Cadre d’étape naturel .....	88
1.4- Proposition de définition synthétique de la durabilité .....	89
Section 2- Dimensions de durabilité .....	91

2.1- Approche par capitaux légués .....	92
2.2- Types de capitaux .....	95
2.2.1- Capital économique .....	95
2.2.2- Capital naturel .....	97
2.2.2.1- Composantes du capital naturel .....	98
2.2.2.2- Caractéristiques du capital naturel .....	99
2.2.2.3- Mesure du capital naturel .....	100
2.2.3- Capital social .....	102
2.2.3.1- Capital humain .....	103
2.2.3.1.1- Composantes du capital humain .....	104
2.2.3.1.2- Caractéristiques du capital humain .....	104
2.2.3.1.3- Mesure du capital humain .....	104
2.2.3.2- Capital social collectif .....	106
2.2.3.2.2- composantes du capital social .....	107
2.2.3.2.3- Caractéristiques du capital social .....	108
2.2.3.2.4- Mesure du capital social .....	110
2.3- Liens entre les piliers du développement durable .....	111
2.3.1- Interactions entre les piliers du développement durable .....	112
2.3.1.1- Interactions entre l'économique et l'environnemental .....	113
2.3.1.2- Interactions entre l'environnemental et le social .....	113
2.3.1.3- Interactions entre l'économique et le social .....	114
2.3.2- Complémentarité et substituabilité entre les capitaux .....	114
Section 3- Approches de durabilité .....	116
3.1- Approche de soutenabilité faible .....	118
3.1.1- Substituabilité .....	121
3.1.2- Progrès technique .....	123
3.2- Approche de soutenabilité forte .....	125
3.2.1- Spécificité de capital naturel .....	128
3.2.2- Capital minimal critique .....	129
Section 4- Évaluation de durabilité .....	132
4.1- État de l'art dans l'évaluation de la durabilité .....	133
4.1.1- Objectifs de l'évaluation de la durabilité .....	134
4.1.2- Défis de l'évaluation .....	135
4.1.3- Comment soulever les défis de la mesure .....	135
4.1.4- Types d'approches d'évaluation de durabilité .....	137
4.2- Outils de mesure de durabilité .....	137
4.3- Cadre méthodologique .....	141
4.3.1- Principes d'évaluation de la durabilité .....	142
4.3.2- Procédure d'évaluation de la durabilité .....	143
4.3.2.1- Approche de la durabilité .....	143
4.3.2.1.1- Systèmes de valeur intégrés .....	143
4.3.2.1.2- Principes de durabilité .....	144
4.3.2.2- Contexte d'évaluation .....	145
4.3.2.3- Choix méthodologiques .....	146
4.3.2.3.1- Identification des méthodologies les plus appropriées .....	146
4.3.2.3.2- Faire face aux incertitudes dans l'évaluation de la durabilité .....	147
Conclusion du chapitre .....	148
<b>Chapitre 3 : Conceptualisation et évaluation de durabilité énergétique .....</b>	<b>150</b>
Introduction au chapitre .....	150

Section 1- Problématique énergétique .....	151
1.1- Dépendance à l'énergie .....	151
1.2- Épuisement de l'énergie .....	154
1.3- Ralentissement des découvertes .....	156
1.4- Indice de durée des réserves énergétiques prouvées .....	158
1.5- Pollution énergétique .....	150
Section 2- Saisir le concept de durabilité énergétique .....	163
2.1- Définitions élémentaires .....	163
2.2- Définition de la durabilité énergétique .....	166
2.3- Conceptions du système énergétique durable dans la littérature .....	169
2.4- Solutions triplement avantageuses à la durabilité énergétique .....	173
2.4.1- Efficacité énergétique .....	173
2.4.2- Énergies propres et renouvelables .....	174
2.4.3- Progrès technique .....	175
Section 3- Dimensions et indicateurs de durabilité énergétiques .....	177
3.1- Dimension technique de l'énergie.....	178
3.2- Dimension économique de l'énergie.....	179
3.3- Dimension environnementale de l'énergie.....	181
3.4- Dimension sociale de l'énergie.....	182
3.5- Dimension institutionnelle de l'énergie.....	185
Section 4- Évaluation de la durabilité énergétique .....	186
4.1- Approches d'évaluation de DE .....	186
4.1.1- Approches thermodynamiques .....	186
4.1.2- Approches environnementales .....	187
4.1.3- Approche systémique .....	187
4.1.4- Catégories d'outils d'évaluation de la durabilité énergétique .....	188
4.1.5 Catégories d'indicateurs .....	189
4.1.5.1 Indicateur simple .....	190
4.1.5.2 Tableau de bord.....	192
4.1.5.3 Indice composite .....	193
4.2- État de l'art des indices de durabilité énergétique .....	197
4.2.1- Indice de trilemme énergétique (ITE) .....	198
4.2.2- Indice de développement énergétique durable (IDED) .....	200
4.2.3- Indice de Développement Énergétique (IDE) .....	201
4.2.4- Indice Multidimensionnel de la Pauvreté Énergétique (IMPE) .....	202
Conclusion du chapitre.....	203
<b>Chapitre 4- Construction de l'indice de durabilité du système énergétique .....</b>	<b>205</b>
Introduction au chapitre .....	205
Section 1- Cadre conceptuel .....	206
1.1- Conceptualisation de la durabilité énergétique .....	207
1.2- Choix de dimensions .....	210
1.3- Sélection des critères et des objectifs de durabilité énergétique .....	211
1.4- Choix du cadre d'indicateurs .....	213
Section 2- Choix d'indicateurs .....	217
2.1- Sélection d'indicateurs .....	217
2.2- Critères de sélection d'indicateurs .....	221
Section 3- Cadre méthodologique .....	228
3.1- Normalisation .....	228
3.2- Pondération .....	232

---

3.3- Agrégation .....	239
3.3.1- Méthodes d'agrégation additive linéaire .....	241
3.3.2- Méthodes d'agrégation géométrique .....	242
3.3.3- Méthodes d'agrégation non compensatoires .....	244
3.4- Méthodes d'agrégation hybrides .....	245
Section 4- Discussion des résultats et analyse de robustesse .....	247
4.1- Formule de l'indice de vitalité économique .....	247
4.2- Présentation des résultats .....	249
4.3- Analyse de robustesse de l'indice .....	255
4.3.1- Analyse d'incertitude .....	256
4.3.2- Analyse de sensibilité .....	260
Conclusion du chapitre .....	262
Conclusion générale .....	264
Bibliographie .....	276
Annexes .....	293
Annexe A : IDSE, indicateurs, structure et pondérations .....	293
Annexe B : Matrices de données non normalisées .....	296
Annexe C : Matrices de données normalisées .....	301
Annexe D : Classement des pays de l'échantillon selon les différents indicateurs normalisés .....	306
Annexe E : résultats de l'IDSE .....	308
Table des matières .....	309
Résumé.....	310

## Résumé

Après avoir adopté une approche historique et conceptuelle du DD, cette thèse présente une méthode particulière d'évaluation de durabilité énergétique. Cette méthode a opté pour une démarche indicielle d'évaluation et de comparaison des performances des systèmes énergétiques nationaux par un indice composite multidimensionnel dénommé IDSE.

Devant l'absence de consensus scientifique et idéologique sur la notion de durabilité et sur sa mesure, l'IDSE est construit en suivant une approche consensuelle des deux principales visions de durabilité à savoir la durabilité forte et faible. Une approche qui s'avère pertinente puisqu'elle vise à réconcilier les divergences en proposant une vision médiane.

Une vision qui a l'avantage de faire sortir le DD d'un débat d'imprécision et de divergence vers un débat scientifique unanime et précis. Méthodologiquement, l'IDSE est construit d'une manière à mettre en exergue les performances d'un échantillon de 13 pays limitrophes de l'Algérie entre 2010 et 2014. Malgré l'importance d'une approche descendante pour l'évaluation du DD, le manque de donnée impose de suivre une approche ascendante basée sur 13 indicateurs.

Les résultats obtenus montrent que, dans l'ensemble, les pays de la rive nord-méditerranéenne jouissent d'une position plus élevée et occupent le premier rang. Les pays de la rive sud sont les moins durables de l'échantillon, la Chine étant dans une position très critique très loin derrière les États-Unis.

L'analyse de robustesse indique que l'IDSE est très sensible aux méthodes d'agrégation qu'aux méthodes de pondération. Si les scores des pays changent selon la méthode d'agrégation, les rangs des pays restent moins sensibles. Ce qui confirme la particularité de l'IDSE comme outils de comparaison des performances des pays en matière de durabilité énergétique.

**Les mots clés :** Développement durable, indices, durabilité énergétique, évaluation de durabilité. système énergétique.

## ملخص

بعد اعتماد نهج تاريخي ومفاهيمي للتنمية المستدامة، تقدم هذه الأطروحة طريقة استثنائية لتقييم استدامة الطاقة. اختارت هذه الطريقة نهجًا قائمًا على المؤشر لتقييم ومقارنة أداء أنظمة الطاقة الوطنية بمؤشر متعدد الأبعاد يسمى مؤشر استدامة نظام الطاقة (IDSE).

في ظل غياب إجماع علمي وأيديولوجي حول مفهوم الاستدامة وقياسها، تم إنشاء مؤشر (IDSE) باتباع نهج توافقي للرؤيتين الرئيسيتين للاستدامة، وهما الاستدامة القوية والضعيفة. نهج يثبت أهميته لأنه يهدف إلى تسوية الاختلافات لصالح الرؤية الوسيطة.

رؤية لها ميزة إخراج التنمية المستدامة من مناقشة عدم الدقة والاختلاف نحو نقاش علمي دقيق بالإجماع. منهجياً، تم وضع المؤشر بطريقة تسلط الضوء على أداء عينة من 13 دولة مجاورة للجزائر بين عامي 2010 و2014. على الرغم من أهمية اتباع نهج من أعلى إلى أسفل لتقييم التنمية المستدامة، نقص البيانات يفرض اتباع نهج من القاعدة إلى القمة بناءً على 13 مؤشراً.

أظهرت النتائج المتحصل عليها، على العموم، أن بلدان شمال البحر الأبيض المتوسط تتمتع بمكانة أعلى وتحتل المراتب الأولى. دول الساحل الجنوبي هي الأقل استدامة في العينة، حيث تكون الصين في وضع حرج للغاية وراء الولايات المتحدة الأمريكية.

يشير تحليل المتانة إلى أن المؤشر حساس للغاية لطرق التجميع من طرق الترجيح. إذا تغيرت نتائج البلدان وفقاً لطريقة التجميع، فستظل تصنيفات البلدان أقل حساسية. وهذا يؤكد خصوصية المؤشر كأداة لمقارنة أداء البلدان من حيث استدامة الطاقة.

**الكلمات الرئيسية:** التنمية المستدامة، المؤشرات، استدامة الطاقة، تقييم الاستدامة. نظام الطاقة.