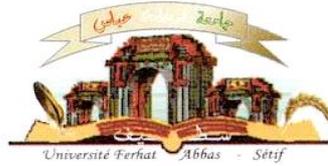


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

N°...../SNV/2019

THÈSE

Présentée par

LATRECHE Filali

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière: AGRONOMIE

Spécialité: PRODUCTION VÉGÉTALE

THÈME

**Évaluation et conception des systèmes de culture innovants en
zones semi-arides algériennes**

Soutenue publiquement le 01/09/2020

DEVANT LE JURY

| | | |
|------------|-------------------------|-----------------------------|
| Président | HAFSI Miloud | Pr. UFA Sétif 1 |
| Directeur | ABBAS Khaled | Pr. INRA Sétif |
| Examineurs | BENMAHAMMED Amar | Pr. UFA Sétif 1 |
| | MEBARKIA Amar | MCA. UFA Sétif1 |
| | HAZMOUNE Tahar | MCA. U 20août SKIKDA |
| | LATATI Mourad | MCA. ENSA Alger |

Laboratoire sciences et techniques du vivants
« L.S.T.V »

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مدى مساهمة الأنظمة الزراعية المتبعة في المناطق الشبه جافة بولايتي سطيف و سوق هراس من جهة وتصميم أنظمة زراعية جديدة أكثر ملاءمة من جهة أخرى، لهذا الغرض قمنا بإجراء استبيان على مستوى 260 مستثمرة فلاحية، وذلك لجمع المعلومات اللازمة لحساب 17 مؤشر إستدامة والتي تغطي المستويات الثلاثة للتنمية المستدامة. جزء آخر من هذه المعلومات تم استغلاله لتصنيف هذه المستثمرات والأنظمة الزراعية المتبعة بها، ولقد أظهر هذا التصنيف وجود 6 أنظمة زراعية تختلف فيما بينها من حيث الدورة الزراعية، المسار التقني ودرجة التكثيف. تقييم مساهمة الأنظمة الزراعية في التنمية المستدامة أعطى نتائج متوسطة (0,56) مع وجود فرق معنوي لصالح سوق هراس ($P = 0,02$). مساهمة المستوى الاقتصادي كانت هي الأكبر مقارنة مع الميئين الاخرين. تحليل نتائج الديمومة حسب الأنظمة الزراعية في المنطقتين أعطى فروقا دالة معنويا حسب النظام الزراعي من جهة وبين منطقتي الدراسة من جهة أخرى، حيث كان نظام حبوب بطاطا أكثر مساهمة يليه حبوب زراعات حقلية، حبوب بقول جافة، حبوب عطيل محروث، حبوب عطيل مرعي وأخيرا نظام الزراعة الأحادي للحبوب ب قيم تقدر ب (0,65 ; 0,59 ; 0,57 ; 0,55 ; 0,53 ; 0,50) على التوالي. المنهجان المتبعان لتصميم أنظمة زراعية جديدة (التصميم بالمشاركة والتصميم باستخدام الأنموذج الزراعي STICS) مكننا من استنباط 12 نظاما مستحدثا حيث خضعت 4 منها لتجارب حقلية وقد تضمنت التحديثات إدخال زراعات جديدة من بينها السلجم وتغييرات في المسار التقني للحبوب. وقد أظهرت هذه الأنظمة عن عدة مزايا مرتبطة بتحسين المردود حيث عرف هذا الأخير زيادة ب 10.8 ق/هـ وكذلك بتحسن مؤشرات التنمية المستدامة مع فروق دالة إحصائيا مقارنة بالأنظمة السابقة وقد قدرت هذه الزيادة ب % 42. أتاح استخدام نتائج الدراسة ونتائج دراسات سابقة إلى تطوير أداة لدعم اتخاذ القرار (ODA) سميت INSCER لتحكم أفضل في المسار التقني لإنتاج الحبوب.

كلمات مفتاحية: نظام زراعي، تقييم، استحداث، سطيف، سوق هراس، مناطق شبه جافة، STICS

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer et de concevoir des systèmes de culture innovants en zones semi-arides de Sétif et Souk-Ahras). De ce fait 260 exploitations agricoles appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride moyen de la région de Sétif et Souk-Ahras font l'objet d'une enquête pour recueillir les informations nécessaires au calcul de 17 indicateurs couvrant les trois échelles de durabilité. D'autre information liée aux fonctionnements des systèmes de culture ont servies à la réalisation d'une typologie des exploitations et des SdC, cette typologie a permis d'identifier 6 types de SdC qui se diffèrent par le précédent cultural, l'itinéraire technique et le degré d'intensification. Le calcul de la durabilité montrent que la contribution des six systèmes de culture au développement durable est modérée (0,56), avec une différence significative à la faveur de la région de Souk-Ahras ($P= 0.02$). Des différences significatives inter et intra systèmes de culture ont été révélées, la contribution de l'échelle économique est prépondérante par rapport aux deux autres échelles. Les six systèmes de culture se classent selon leur contribution décroissante au développement durable comme suite : céréales pomme de terre, céréales maraichère, céréales légume sec, céréales jachère travaillée, céréales jachère pâturée et monoculture de céréales pour des contributions de l'ordre de 0,65 ; 0,59 ; 0,57 ; 0,55 ; 0,53 ; 0,50 respectivement. Les deux démarches de conception suivies, co- conception et conception *in silico* à l'aide de modèle STICS, ont abouti à la conception de 12 systèmes de culture dont 4 font l'objet d'un essai "système de culture", les innovations apportées concernent le remaniement de l'itinéraire technique et l'introduction des nouvelles cultures dont le colza. Les résultats obtenus montrent des différences significatives à la faveur des systèmes de culture innovants issus des deux démarches de conception. Un gain de rendement de 10,8q/ha a été enregistré. La contribution des systèmes de culture innovants au développement durable a connu une augmentation de l'ordre de 42%, supportée par l'augmentation des valeurs de 3 des 4 indicateurs recalculés. L'exploitation des données issues des enquête et ceux de la bibliographiques ont permet le développement d'un outil d'aide à la décision nommé INSCER pour l'installation des céréales.

Mot clés : Évaluation, conception, système de culture, durabilité, semi-aride, Sétif Souk-Ahras, STICS

Abstract

The objective of this study is to assess and design innovative cropping systems in semi-arid areas. To achieve this goal, 260 farms belonging to the central semi-arid of Sétif and Souk-Ahras were surveyed, to collect the information needed to calculate 17 indicators covering the three scales of sustainability. Other information related to the functioning of cropping systems was used to create a typology of farms and cropping systems. So that 6 types of cropping system which differ by the previous crop, the crop management and the degree of intensification were identified. Those cropping systems have a moderate sustainability (0,56), with a significant difference in favor of the Souk Ahras region ($P = 0.02$). Significant differences between and within cropping systems have been revealed, the contribution of the economic scale is preponderant compared to the other two scales. The six cropping systems are ranked according to their contribution to sustainable development as follows: cereals potato, cereals market gardening, cereals legumes, cereals worked fallow, cereals pastured fallow and continuous cereal for contributions of around 0,65; 0,59 ; 0,57 ; 0,55 ; 0,53 ; 0,50 respectively.

The two approaches followed to design innovative cropping systems, (co-design and in silico design using the STICS crop model), allowed us to design 12 cropping systems, 4 of them were experimented in "Cropping system testing" experimentation. The innovations concern crop management, and the introduction of new crops including rapeseed. The results obtained show significant differences in favor of the innovative cropping systems resulting from the two design approaches. A yield gain of 10.8q / ha was recorded. The contribution of innovative cropping systems to sustainable development has increased by around 42%, supported by the increase of the 3 values of the 4 recalculated indicators. The exploration of data from the 260 surveys and bibliographic data has enabled the development of a decision support tool called INSCER to increase cereal crop management.

Keywords : Assessing, Sustainability, Cropping system, design, Semi-arid Sétif Souk Ahras, STICS.

REMERCIEMENTS

Je remercie, tout d'abord, ALLAH, le tout puissant, de m'avoir aidé à achever ce travail.

Je tiens à présenter mes humbles et sincères remerciements à mon directeur de Thèse le Professeur Khaled ABBAS, pour son aide et ses précieux conseils et pour l'intérêt qu'il a porté pour l'aboutissement de ce travail.

Je tiens à remercier vivement les membres de jury d'avoir accepté de faire-part et de contribuer à la critique de ce travail. Pr Miloud HAFSI (UFA, Sétif1) de m'avoir accordé l'honneur de présider le jury ; Pr Amar BENMEHAMMED (UFA, Sétif1). Pr Amar MEBARKIA (UFA, Sétif1) d'avoir accepté d'enrichir ce modeste travail ; également mes remerciements sont accordés à mon ancien enseignant Dr Tahar HAZMOUN (Université 20aout 1955 SKIKDA) d'avoir accepté d'examiner ce travail et Enfin, Dr Mourad LATATI (ENSA, Alger) d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail, et de nous faire profiter de ses connaissances en matière des modélisations des systèmes de culture

Ce travail n'aurait pu aboutir sans l'aide de nombreuses personnes. Que me pardonnent celles que j'oublie, j'adresse mes remerciements aux personnels de UMR Agir de de l'INRA de Toulouse surtout Juli CONSTANTAIN, Jack-Eric BERGEZ, Phillipe DEBEAK et juste ERIC. Mes grandes remerciements sont adressés à Mr Nicolas BEDOIN pour l'accueil chaleureux qu'il m'a accordé au saine de INRA de Laon (UMR Agro-impacte). Sans oublier les chercheurs de l'Agro Paris Tech UMR système, Raymonde REAU et Marie Hèllène JUFFROY.

Je tiens à remercier Fayçal BENALLILECHE et sa femme pour l'accueil chaleureux qu'ils m'ont accordé lors de mon séjour à Paris, merci bien mon ami je n'oublierai jamais tes aides assez précieux, sans oublié Ahmed BOUJIT et Brahim BOUCHFIRAT. Un grand merci à mon chère ami Nessr Eddine BRIGUEN pour le soutien et l'aide qu'il m'a offert cette été, je n'oublierai jamais, ton mobilisation jusqu'à 2h du matin. Ali GUENDOZ, Mohamed BEN IDIR, Amar RAOUBHI et Fayçal BOUMIMEZE, je suis très reconnaissant pour votre contribution et votre aide. À mes collègues de l'ISAV de Taoura, Baha Eddine BADOUNA, Leila HADDED et Sara MAARIFIA, je suis très reconnaissant pour votre relecture de mon manuscrit. Mr Djamel FADEL, enfin j'ai terminé ma Thèse merci bien pour vos encouragements.

Je remercie également les agriculteurs de Sétif et Souk-Ahras pour leur aide. Grâce à DIEU et après à eux que j'ai pu surmonter beaucoup de problèmes sur le terrain qui auraient pu retarder, voir même freiner mon travail. *Ami Derraji, et Ami Teyeb* votre contribution est décisive dans la réalisation de mes essais, je suis désolé pour le travail supplémentaire que j'ai entraîné à vous. Au nombreux personne dont je ne peux pas citer leurs noms un grand merci ne suffira pas pour vous remercier, mais merci, merci et merci. Enfin un grand merci à ma femme pour sa patience et son encouragement, maintenant on peut profiter des vacances d'été.

Liste des abréviations

| | |
|-------------------------|---|
| ACP | Analyse en composante principales |
| ACV | Analyse du cycle de vie |
| ACVA | Analyse du cycle de vie pour l'agriculture |
| AFC | Analyse factorielle des correspondances |
| AFCM | Analyses factorielles des correspondances multiples |
| AGIR | Agro écologie - Innovation - Territoire |
| AM | Autonomie de matériel |
| ANDI | Agence nationale de drainage et irrigation |
| ANOVA : | Analysis of variance |
| ANRH | Agence nationale des ressources hydriques |
| APFA | Accès à la propriété foncière agricole |
| APSIM | Agricultural Production Systems SIMulator |
| ARAA | Association pour la Relance Agronomique en Alsace |
| Ass | Assolement |
| Bd | Blé dur |
| Bt | Blé tendre |
| CAH | Classification Hiérarchique Ascendante |
| CC | Cover-crop |
| CCLS | Coopérative des céréales et légume secs |
| CD | Charrue à disque |
| Ceco | Contrainte économique |
| CérJPât | Céréales jachère pâturée |
| CérJW | Céréales jachère travaillée |
| CérLég | Céréales légumes secs |
| CérMar | Céréales cultures maraichère |
| CérPT | Céréales pomme de terre |
| Cfon | Contraintes foncières |
| CIC | Complexité des itinéraires techniques |
| CM | Charge de mécanisation |
| Cnat | Contraintes naturelles |
| CO | Charge opérationnelles |
| CS | Couverture du sol |
| CS | Charrue à soc |
| CT | Charge Totale |
| Ctec | Contrainte technique |
| CV | Coefficient de variation |
| DD | Développement durable |
| DECH | Déchaumage |
| DFC | Diversité des familles des cultures |
| Dg | Durabilité globale |
| DGER | Direction générale de l'enseignement et de la recherche |
| Div | Diversité |
| D_{max} | Durabilité maximale |
| D_{min} | Durabilité minimale |
| D_{opt1} | Durabilité optimale du seuil inférieur |
| D_{opt2} | Durabilité optimale du seuil supérieur |
| DPSIR | Forces motrices pression état impact réponse |

| | |
|-----------------------|--|
| DSA | Direction des services agricoles |
| EAC | Exploitation agricole collective |
| EAI | Exploitation agricole individuelle |
| EAP | Exploitation agricole privée |
| EE | EfficiencE Économique |
| EE_n | EfficiencE énergétique |
| EMP | Contribution à l'emploi |
| En | Consommation d'énergie |
| EnF | Engrais de fond |
| ETP | Évapotranspiration potentiel |
| ETR | Évapotranspiration réel |
| Fev | Fève |
| FNRA | Fond nationale de la révolution agraire |
| GRE | Gestion de la ressource en eau |
| Har | Haricot |
| IA | Irrigation d'appoint |
| IC | Irrigation continue |
| ICARDA | Centre international de recherche agricole dans les zones arides |
| IDEA | Indicateur de durabilité des exploitations agricoles |
| IFT | Indice de fréquence de traitements |
| I_N | Indicateur azote |
| INDIGO | Indicateurs de Diagnostic Global à la parcelle |
| INRA | Institut national de recherche agronomique |
| Irrig | Irrigation |
| ITGC | Institut technique de grande culture |
| ITK | Itinéraire technique |
| JC | Jachère cultivée |
| JP | Jachère pâturée |
| JW | Jachère travaillée |
| K | Coefficient qui détermine le sens et l'intensité d'allongement de la courbe de durabilité tracé par l'équation de durabilité |
| K_c | Coefficient cultural |
| Lab | Labour |
| Len | Lentille |
| MAP | Mono-ammonium de Phosphate |
| MAPMDREF | Ministère d'agriculture de la pêche maritime , du développement rural et de l'eau et des foret (Maroc) |
| MASC | Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems |
| MB | Marge bute |
| MB_c | Marge brute par culture |
| MB_t | Marge brute totale |
| Me | Melon |
| MEA | Millennium ecosystem assessment |
| MJ | Méga joules |
| MO | Matière organique dans le sol |
| MonCér | Monoculture des céréales |
| NC | Nombre de culture |
| NV | Niveau intellectuel |
| OAD | Outil d'aide à la décision |
| OAIC | Office algérien interprofessionnelle des céréales |

| | |
|---------------|---|
| OGM | Organismes génétiquement modifiés |
| Oig | Oignon |
| OMC | Organisation mondiale de commerce |
| ONID | Office nationale de l'irrigation et du drainage |
| ONS | Office nationale de statistique |
| Or | Orge |
| OTEX | Orientation technico économique |
| PAC | Politiques agricoles en commune |
| Pas | Nombre de passage |
| Past | Pastèque |
| PB | Produit brute |
| PER | Pression état ressources |
| Per | Persil |
| PMG | Poids de mille grains |
| PMV | Plans Maroc vert |
| PNDA | Plan National de Développement Agricole |
| PoCh | Pois Chiche |
| Poi | Poivron |
| Pp | Petit pois |
| PRAR | la Politique des Renouveau Agricole et Rural |
| PT | Pomme de terre |
| QS | Qualité sanitaire des produits |
| RDD | Règle de décision |
| RE | Répartition des exploitations |
| RFU | Réserve facilement utilisable du sol |
| RISE | Response-Inducing Sustainability Evaluation) |
| SA | Souk-Ahras |
| SAU | Surface agricole utile |
| SC | Succession culturale |
| SC | Scarificateur |
| SD | Semis directe |
| SdC | Système de culture |
| SdCi | Système de culture innovant |
| SdE | Système d'élevage |
| SJ | Statut juridique des exploitations |
| SMIC | Salaire minimum interprofessionnel de croissance |
| STICS | Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standard |
| TCS | Techniques culturales simplifiées |
| Tom | Tomate |
| TPhyto | Traitement phytosanitaire |
| TR | Temps de retour de la culture |
| TSP | Triple super phosphate |
| UICN | Union Internationale pour la Conservation de la Nature |
| UMR | Unité mixte de recherche |
| UTH | Unité de travail humain |
| WCED | Commission Mondiale pour l'Environnement et Développement |
| WS | Travail de sol |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| Tableau 1.1 Occupation des sols en Algérie..... | 13 |
| Tableau 1.2 Répartition de la surface agricole en fonction de la pente et de la précipitation... | 14 |
| Tableau 1.3 Évolution du volume des investissements agricoles programmés entre 1967 et 1989..... | 19 |
| Tableau 1.4 Comparaison de performance du secteur agricole des pays du Maghreb..... | 31 |
| Tableau 2.1 Indicateurs retenus pour l'évaluation des systèmes de culture déterminés par an et par parcelle..... | 72 |
| Tableau 2.2 Synthèse des données mesurées durant l'expérience à la zone de Taoura | 76 |
| Tableau 2.3 Données de paramétrage de module sol dans Stics..... | 77 |
| Tableau 2.4 Orientation technico économique des exploitations enquêtées | 86 |
| Tableau 2.5 Variables quantitatives et leurs modalités..... | 87 |
| Tableau 2.6 Variables qualitatives et leurs modalités | 88 |
| Tableau 2.7 : Moyennes et écarts type des moyennes (entre parenthèses) des variables quantitatives selon les huit classes d'exploitations | 91 |
| Tableau 2.8 : Distribution (nombre et pourcentage) des modalités des variables qualitative selon les huit classes d'exploitation au niveau de Sétif et Souk-Ahras..... | 92 |
| Tableau 2.9 Fréquence des espèces cultivées dans les champs enquêtés | 99 |
| Tableau 2.10 Distribution de la succession des cultures dans la zone d'étude..... | 104 |
| Tableau 2.11 Variables qualitatives et leurs modalités..... | 105 |
| Tableau 2.12 Variables quantitatives et leurs modalités | 106 |
| Tableau 2.13 Répartition des modalités de préparation de sol dans la zone d'étude..... | 116 |
| Tableau 2.14 Distribution de la dose de semis par espèce et par zone | 119 |
| Tableau 2.15 Distribution des paquets d'installation des céréales..... | 122 |
| Tableau 2.16 Composant des paquets d'installation des céréales | 132 |
| Tableau 2.17 Fréquences et kits constituant les différents types d'itinéraire technique..... | 134 |
| Tableau 2.18 Comparaison du rendement selon les systèmes de culture | 137 |
| Tableau 2.19 Paramètres utilisés pour le calcul des fonctions de durabilité | 147 |
| Tableau 2.20 Poids attribués par les parties prenantes à chaque échelle (a) et à chaque indicateur de chaque échelle (b)..... | 149 |
| Tableau 2.21 Mode de calcul de l'indicateur gestion des ressources en eau selon Vilain 2008 | 162 |
| Tableau 2.22 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) des indicateurs calculés pour les 260 exploitations visitées..... | 181 |
| Tableau 2.23 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) des indicateurs calculés pour 120 exploitations visitées pour la région de Sétif..... | 183 |
| Tableau 2.24 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) des indicateurs calculés pour 140 exploitations visitées dans la région Souk-Ahras..... | 185 |
| Tableau 2.25 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) de la contribution des indicateurs au développement durable dans la région de Sétif..... | 187 |
| Tableau 2.26 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) de la contribution des indicateurs au développement durable dans la région de Souk-Ahras..... | 189 |
| Tableau 2.27 Comparaison des valeurs prises par les trois échelles (Moyenne \pm écart type) dans les deux régions d'étude..... | 192 |
| Tableau 2.28 Comparaison de la durabilité en fonction des systèmes de culture..... | 194 |
| Tableau 2.29 Comparaison de la durabilité en fonction des parties prenantes..... | 195 |
| Tableau 2.30 Classement de six types de système de cultures sur la base de l'indice de durabilité global (Dg) calculé avec six ensembles de pondérations différents..... | 196 |
| Tableau 2.31 Description des innovations apportées au système de culture..... | 210 |
| Tableau 2.32 Comparaison des moyennes de la contribution des 4 indicateurs selon les systèmes de culture..... | 217 |

LISTE DE FIGURES

| | |
|---|-----|
| Figure 1.1 Les reliefs, du nord au sud, de l'Algérie..... | 5 |
| Figure 1.2 Évolution de statut des terres agricoles depuis l'indépendance..... | 9 |
| Figure 1.3 Évolution de la surface cultivée de blé en l'Algérie | 21 |
| Figure 1.4 Importation, exportation et taux de couverture des besoins en céréale | 22 |
| Figure 1.5 Les différentes échelles de la durabilité | 41 |
| Figure 1.6 Pyramide des informations | 42 |
| Figure 1.7 Le modèle pression état réponse..... | 43 |
| Figure 1.8 Le modèle force motrice pression état impacte réponse..... | 44 |
| Figure 1.9 Démarche de conception de systèmes de culture et contribution des différents outils de l'agronomie systémique..... | 51 |
| Figure 1.10 La démarche d'élaboration des prototypes à dire d'expert en trois étapes : élaboration du cahier de charges, conception des prototypes et choix des prototypes à expérimenter après une évaluation a priori..... | 55 |
| Figure 2.1 Localisation de la zone d'étude | 65 |
| Figure 2.2 Données climatiques moyennes mensuelles de la zone d'étude (1995-2016) | 66 |
| Figure 2.3 Classification des sols dans la région d'étude..... | 68 |
| Figure 2.4 Démarche générale de la thèse..... | 69 |
| Figure 2.5 Principe de fonctionnement de modèle STICS..... | 76 |
| Figure 2.6 Démarche de génération et d'évaluation <i>ex ante</i> des systèmes de culture innovants..... | 78 |
| Figure 2.7 Distribution de l'âge des agriculteurs..... | 81 |
| Figure 2.8 Distribution générale et selon les régions des effectifs humains. (UTH)..... | 82 |
| Figure 2.9 Répartition des exploitations selon la taille..... | 83 |
| Figure 2.10 Distribution des exploitations selon le nombre de parcelles..... | 84 |
| Figure 2.11 Répartition des exploitations selon le statut juridique | 85 |
| Figure 2.12 Positionnement selon les deux premiers axes des variables utilisées dans la typologie pour la zone d'étude..... | 90 |
| Figure 2.13 Positionnement selon les deux premiers axes des variables utilisées dans la typologie pour la zone d'étude..... | 91 |
| Figure 2.14 Représentation schématique des huit types d'exploitation..... | 93 |
| Figure 2.15 Distribution des cultures par SdC..... | 100 |
| Figure 2.16 Surfaces alloués à chaque culture dans les zones d'étude..... | 101 |
| Figure 2.17 Positionnement selon les deux premiers axes des variables utilisées dans la typologie des systèmes de culture..... | 107 |
| Figure 2.18 Représentation sur les deux premiers axes des huit types de système de culture en relation avec leurs caractéristiques..... | 108 |
| Figure 2.19 Composants de l'itinéraire technique des céréales en zone semi-aride..... | 110 |
| Figure 2.20 Répartition des opérations poste-récoltes..... | 111 |
| Figure 2.21 Distribution des dates de labour | 112 |
| Figure 2.22 Comparaison entre les deux régions selon le matériel de travail de sol..... | 113 |
| Figure 2.23 Distribution de nombre de passage des outils de travail superficiel..... | 114 |
| Figure 2.24 Distribution de la date et du mode de semis des exploitations visitées | 118 |
| Figure 2.25 Typologie de l'opération de semis..... | 121 |
| Figure 2.26 Distribution des paquets d'installation des cultures entre régions d'études | 123 |
| Figure 2.27 Distribution des modalités la fertilisation minérale et organique..... | 124 |
| Figure 2.28 Typologie des modalités de fertilisation dans les deux zones d'étude..... | 126 |
| Figure 2.29 Distribution des modalités liées au désherbage | 127 |
| Figure 2.30 Distribution de 5 kits de désherbage ente région d'étude..... | 128 |
| Figure 2.31 Distribution des modalités de la lutte phytosanitaire..... | 129 |
| Figure 2.32 Distribution de modalités d'irrigation..... | 130 |

| | |
|--|-----|
| Figure 2.33 Typologie des itinéraires techniques dans la zone d'étude..... | 133 |
| Figure 2.34 Distribution des 6 systèmes de culture dans la zone d'étude..... | 135 |
| Figure 2.35 Comparaison des rendements de blé dur..... | 136 |
| Figure 2.36 Distribution de valeur prises par l'indicateur matière organique | 150 |
| Figure 2.37 Distribution des valeurs de l'indicateur couverture de sol..... | 151 |
| Figure 2.38 Distribution de l'indicateur consommation d'énergie dans la région d'étude..... | 153 |
| Figure 2.39 Distribution des valeurs Di pour l'indicateur consommation de l'énergie et l'indice énergétique..... | 154 |
| Figure 2.40 Distribution des valeurs prise par l'indicateur succession culturale..... | 155 |
| Figure 2.41 Distribution de valeur de l'indicateur diversité des cultures | 156 |
| Figure 2.42 Distribution des valeurs prise par l'indicateur diversité des familles de culture . | 158 |
| Figure 2.43 Destribution des valeurs de l'indicateur assolement..... | 159 |
| Figure 2.44 Distribution des valeurs prises par l'indicateur fréquence des traitements IFT... | 161 |
| Figure 2.45 Distribution générale et selon les régions de l'indicateur gestion de ressource en eau... | 163 |
| Figure 2.46 Description des valeurs prises par l'indicateur contribution à l'emploi des exploitations visitées..... | 164 |
| Figure 2.47 Distribution de valeur prises pat l'indicateur complexité des interventions culturale | 166 |
| Figure 2.48 Distribution des valeurs de l'indicateur qualité sanitaire..... | 167 |
| Figure 2.49 Distribution des valeurs de l'indicateur produit brut | 169 |
| Figure 2.50 Contribution de la paille au produit brute (%)...... | 170 |
| Figure 2.51 Distribution des valeurs prises par l'indicateur charge opérationnelle | 171 |
| Figure 2.52 Distribution des valeurs prises par l'indicateur charge de mécanisation | 172 |
| Figure 2.53 Distribution des valeurs prises par l'indicateur charge totale | 173 |
| Figure 2.54 Distribution des valeurs prises par l'indicateur marge brute..... | 175 |
| Figure 2.55 Les revenus nets rapportés au SMIC et au UTH. | 176 |
| Figure 2.56 Distribution des valeurs prises par l'indicateur efficacité économique..... | 177 |
| Figure 2.57 Contribution des indicateurs des trois échelles au développement durable..... | 179 |
| Figure 2.58 Comparaison de la contribution des trois échelles au DD selon les systèmes de culture dans la région de Sétif et de Souk-Ahras..... | 190 |
| Figure 2.59 Contribution des trois échelles au DD en fonction des systèmes de culture dans les deux régions d'étude..... | 191 |
| Figure 2.60 Contribution des trois échelles au développement durable..... | 193 |
| Figure 2.61 Valeurs de la durabilité globale en fonction des 6 systèmes de culture..... | 194 |
| Figure 2.62 Contraintes naturelles et économiques de la production des cultures..... | 206 |
| Figure 2.63 Répartition des autres contraintes de la production..... | 207 |
| Figure 2.64 Distribution des objectifs assignés par les agriculteurs..... | 208 |
| Figure 2.65 Principales étapes de la conception des systèmes de culture soumis à une disponibilité en eau limitée..... | 209 |
| Figure 2.66 Les innovations apportées aux 4 systèmes de culture..... | 211 |
| Figure 2.67 Comparaison du rendement des SdC innovants, Rdt Agriculteur et Rdt moyenne zone..... | 212 |
| Figure 2.68 Les systèmes de culture alternatifs à la rotation Blé dur/jachère..... | 215 |
| Figure 2.69 Comparaison du rendement simulé et observé..... | 216 |
| Figure 2.70 Les valeurs prises par les 4 indicateurs selon les systèmes de culture..... | 217 |
| Figure 2.71 Comparaison des valeurs de la durabilité globale Dg pour des SdC innovants et les SdC enquêtés..... | 218 |
| Figure 2.72 Présentation schématique de l'outil d'aide à la décision INSCER..... | 221 |

TABLE DE MATIERE

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION GÉNÉRALE | 1 |
| I-PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE | |
| CHAPITRE I : CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'AGRICULTURE ALGÉRIENNE | |
| Introduction | 5 |
| 1 Rétrospective sur l'agriculture Algérienne dans les derniers 60 ans..... | 5 |
| 2 Les contraintes de la production agricole en Algérie..... | 7 |
| 2.1 Un frein majeur mal pris en charge par les politiques agraires : le foncier agricole..... | 8 |
| 2.2 Le climat..... | 10 |
| 2.2.1 Des précipitations de plus en plus rares et irrégulières..... | 10 |
| 2.2.2 Des températures souvent stressantes..... | 11 |
| 2.2.3 Des ressources en sols limitées..... | 12 |
| 2.3 La jachère, une veuille histoire toujours d'actualité..... | 14 |
| 2.4 Des politiques agricoles en mutation perpétuelle..... | 17 |
| 2.5 Une agriculture toujours extensive à la recherche de grade de l'agriculture intensive : le besoin d'une autre révolution agricole..... | 18 |
| 2.6 Une politique économique en faveur de l'industrie..... | 19 |
| 3 La céréaliculture « garant de la sécurité alimentaire », mais les résultats sont loin des attentes de la population..... | 20 |
| 3.1 La production nationale..... | 20 |
| 3.2 Les contraintes à l'expression du potentiel de rendement du blé..... | 23 |
| 3.3 Conclusion..... | 23 |
| CHAPITRE II : EVALUATION ET CONCEPTION DES SYSTEMES DE CULTURE | |
| Introduction..... | 24 |
| 1 Évaluation des systèmes de culture..... | 24 |
| 1.1. Définition des concepts : assolement, succession de culture, itinéraire technique, situation de production et système de culture..... | 24 |
| 1.2 Élément moteurs de réinvention et de l'évaluation des systèmes de culture en Algérie..... | 26 |
| 1.2.1 La dégradation de l'environnement et l'épuisement des ressources..... | 26 |
| 1.2.2 La viabilité économique du secteur agricole est en question | 28 |
| 1.2.3 L'évolution des attentes des consommateurs et de la demande des filières..... | 29 |
| 1.2.4 Les acquis des pays voisins..... | 30 |
| 1.3 Agir d'une manière systémique (l'agriculture systématique)..... | 32 |
| 1.4 Évaluation des systèmes de culture..... | 34 |
| 1.4.1 Démarche de l'évaluation..... | 35 |
| 1.4.1.1 Le diagnostic agronomique étape indispensable pour entamer l'évaluation..... | 35 |
| 1.4.1.1.1 Caractériser la parcelle, et comprendre le comportement des cultures..... | 35 |
| 1.4.1.1.2 Savoir expliquer la viabilité des performances des SDC à l'échelle régionale..... | 36 |
| 1.4.1.2 L'analyse des données pour confirmer le diagnostic..... | 36 |
| 1.4.2 Types d'évaluation | 37 |
| 1.4.2.1 Évaluation de la faisabilité technique..... | 37 |
| 1.4.2.2 Évaluation de la cohérence agronomique..... | 38 |
| 1.4.2.3 Évaluation de la contribution des systèmes de culture au développement durable..... | 39 |
| 1.4.2.3.1 Naissance du concept de développement durable | 39 |
| 1.4.2.3.2 L'agriculture durable | 40 |
| 1.4.2.3.3 La notion d'indicateur..... | 41 |
| 1.4.2.3.4 Types d'indicateurs..... | 43 |
| a- Le modèle PER | 43 |
| b- Le modèle DPSIR..... | 44 |

| | |
|---|----|
| 1.4.2.3.5 Critères de choix d'un indicateur..... | 45 |
| 1.4.2.4 Méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes de production..... | 46 |
| 1.4.2.4.1 Description de quelques méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture..... | 46 |
| a- Méthode INDIGO® (Indicateurs de Diagnostic Global à la parcelle)..... | 46 |
| b-Méthode MASC..... | 47 |
| c- La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles)..... | 48 |
| 1.4.2.5 Limites de l'évaluation..... | 48 |
| 2 Conception de systèmes de culture innovant : où sont les méthodes..... | 49 |
| 2.1 Conception des systèmes de culture..... | 49 |
| 2.2 Démarche de conception des SdC..... | 50 |
| 2.3. Améliorer l'existant ou construire de novo..... | 51 |
| 2.3.1 La conception dite « pas à pas » (step by step method)..... | 52 |
| 2.3.2 Une conception innovante (dite 'de novo')..... | 52 |
| 2.4. Les ressources méthodologiques de la conception des systèmes de culture..... | 53 |
| 2.4.1. La conception basée sur l'expérimentation: la méthode du diagnostic agronomique..... | 53 |
| 2.4.2 La conception à dire d'expert (le prototypage)..... | 54 |
| 2.4.3. La conception assistée par modèle agronomique (l'approche in silico)..... | 56 |
| 2.5 Besoin d'approches de conception à l'échelle du territoire..... | 57 |
| 2.6 Conclusion bibliographique..... | 58 |

II- PARTIE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE I MATERIEL ET MEHODES

| | |
|--|----|
| 1 Problématique et objectifs de la thèse..... | 61 |
| 2 Choix de la zone d'étude..... | 63 |
| 3 Description de la zone d'étude..... | 64 |
| 3.1 Un climat de type continental a influence méditerranéenne soumis à des grandes variations..... | 64 |
| 3.2 Une évapotranspiration réelle (E.T.R.) qui s'ordonne inversement à la précipitation..... | 67 |
| 3.3 Des gelées printanières à craindre les mois d'avril et mai..... | 67 |
| 3.4 Le sol de la zone d'étude..... | 67 |
| 4 Méthode et démarche générale retenue pour la thèse..... | 69 |
| 4.1 Élaboration d'une typologie des exploitations et des SdC..... | 70 |
| 4.2 L'évaluation ex-poste des systèmes de culture..... | 70 |
| 4.2.1 Le choix des indicateurs | 70 |
| 4.2.2 Choix des exploitations enquêtées..... | 72 |
| 4.2.3 Le questionnaire..... | 73 |
| 4.2.4 Déroulement de l'enquête..... | 73 |
| 5. La conception des systèmes de culture innovant: Un deuxième volet de notre travail..... | 74 |
| 5.1 Démarche de conception..... | 75 |
| 5.1.1 La co-conception..... | 75 |
| 5.1.2 Conception in silico par le modèle STICS..... | 75 |
| 5.1.2.1 Paramétrisation de base de STICS..... | 75 |
| 5.2 L'évaluation à priori (ex ante) des systèmes de culture innovants issus et d'expérimentation sur champs et de la simulation par STICS..... | 78 |
| 5.3 Traitements statistiques et analyse des données..... | 78 |
| 6 Conception d'un outil d'aide à la décision pour l'installation des céréales INSCER..... | 79 |

CHAPITRE II : TYPOLOGIE ET ANALYSE DES SYSTEMES DE PRODUCTION ET DES SYSTEMES DE CULTURE

| | |
|---|-----|
| Introduction | 80 |
| 1 Analyse descriptive des exploitations agricoles enquêtées..... | 80 |
| 1.1 Âge de l'agriculteur..... | 80 |
| 1.2 Effectifs humains (UTH)..... | 81 |
| 1.3 Surface agricole utile (SAU)..... | 82 |
| 1.4 Répartition des exploitations RE (nombre de parcelle par exploitation)..... | 83 |
| 1.5 Statut juridique des exploitations | 84 |
| 1.6. Orientations technico-économiques des exploitations agricoles (OTEX)..... | 85 |
| 2 Typologie des exploitations..... | 86 |
| 2.1. Description des axes factoriels..... | 88 |
| Axe 1..... | 88 |
| Axe 2..... | 89 |
| 2.1.2 Classification..... | 92 |
| A/ Petites exploitations..... | 93 |
| A1/Petites exploitations privées à vocation céréalière..... | 94 |
| A2/ Petites exploitations construites de terres de location..... | 94 |
| A3/ petites exploitations privées à vocation céréales-élevage | 94 |
| A4/ Petites exploitations dont le statut juridique est de type EAI..... | 94 |
| B/ Exploitation à taille moyenne..... | 94 |
| B1 / Moyenne exploitation à unité de travail faible (UTH 1)..... | 95 |
| B2/ Moyennes exploitations à vocation céréalière et maraichère..... | 95 |
| C/ Grandes exploitations à dominance céréales-élevage | 95 |
| C1/ grandes exploitations à autonomie totale en matériel et à UTH moyenne (UTH2)..... | 95 |
| C2/ Grandes exploitations à unité de travail humain faible (UTH1)..... | 95 |
| 2.3 Analyse et discussion..... | 96 |
| 2.3.1 Analyse descriptive des exploitations | 96 |
| 2.3.1.1 Âge et main d'œuvre..... | 96 |
| 2.3.1.2 Surface agricole utile..... | 96 |
| 2.3.1.3 Répartition des exploitations RE..... | 97 |
| 2.3.1.4 Statut foncier des exploitations..... | 98 |
| 2.3.1.5 Orientation technico-économique des exploitations..... | 98 |
| 3 Caractérisation et typologie des systèmes de culture..... | 99 |
| 3.1 Assolement et succession des cultures | 99 |
| 3.1.1 Nombre de cultures par système de culture..... | 100 |
| 3.1.2 La surfaces allouées aux différentes cultures (assolement)..... | 101 |
| 3.1.3 La rotation (Succession des cultures)..... | 103 |
| 4 Typologie fonctionnelle des systèmes de culture..... | 105 |
| 4.1 Typologie des itinéraires techniques..... | 105 |
| Axe 1 | 106 |
| Axe 2..... | 106 |
| 4.2 Classification..... | 107 |
| 4.3 Typologie des itinéraires techniques des principales cultures (les céréales)..... | 109 |
| 4.3.1 Opérations poste-récoltes de la culture précédente..... | 110 |
| 4.3.2 Travail de sol..... | 111 |
| 4.3.2.1 L'outil de travail de sol..... | 112 |
| 4.3.2.2 Le nombre de passage..... | 114 |
| 4.3.3 Le semis | 117 |

| | |
|---|-----|
| 4.3.3.1 Date de semis..... | 117 |
| 4.3.3.2 Mode de semis..... | 118 |
| 4.3.3.3 Dose de semis..... | 118 |
| 4.3.3.4 Les variétés cultivées..... | 119 |
| 4.3.4 Typologie des modalités d'installation des céréales d'hivers | 121 |
| 4.3.5 L'entretien de la culture..... | 123 |
| 4.3.5.1 Gestion de la fertilisation minérale et organique..... | 123 |
| 4.3.5.2 Le désherbage..... | 126 |
| 4.3.5.3 La lutte phytosanitaire et les régulateurs de croissance..... | 128 |
| 4.3.5.4 L'irrigation..... | 130 |
| 4.3.6 Construction d'une typologie des opérations d'entretien de la culture..... | 131 |
| 4.3.7 Synthèse de la typologie des itinéraires techniques..... | 132 |
| 4.3.8 Typologie fonctionnelle globale des systèmes de culture..... | 134 |
| 4.4 Le rendement des céréales..... | 136 |
| 5 Discussion de la partie typologie des SdC..... | 137 |
| 5.1 L'installation des céréales..... | 137 |
| 5.1.1 La succession des cultures..... | 139 |
| 5.1.2 L'itinéraire technique..... | 140 |
| 5.1.2.1 L'installation des cultures..... | 140 |
| 5.1.2.2 Les travaux d'entretien des cultures..... | 142 |
| 6 Conclusion..... | 145 |
| CHAPITRE III ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES SYSTEMES DE CULTURE | |
| 1 Critères d'utilisation de la méthode adoptée..... | 146 |
| 2. Analyse descriptive de la durabilité..... | 148 |
| 2.1. Échelle agri-environnementale..... | 148 |
| 2.1.1 La classe sol..... | 150 |
| 2.1.1.1 L'indicateur maîtrise de matière organique de sol (MO)..... | 150 |
| 2.1.1.2 L'indicateur couverture de sol (CS)..... | 151 |
| 2.1.2 Classe énergie..... | 152 |
| 2.1.2.1 Consommation d'énergie et efficacité énergétique (En, IEn)..... | 152 |
| 2.1.3 Classe diversité..... | 154 |
| 2.1.3.1 Succession culturale SC..... | 154 |
| 2.1.3.2 Diversité des cultures (Div)..... | 156 |
| 2.1.3.3 Diversité des familles de culture (DFC)..... | 157 |
| 2.1.3.4 Assolement (Ass)..... | 158 |
| 2.1.4 Classes pression sur les ressources | 160 |
| 2.1.4 .1 Indicateur de fréquence de traitements (IFT)..... | 160 |
| 2.1.4 .2 Gestion de la ressource en eau (GRE)..... | 161 |
| 2.2 Échelle sociale..... | 163 |
| 2.2.1 Contribution à l'emploi (EMP)..... | 163 |
| 2.2.2 Complexité des interventions culturales (CIC)..... | 165 |
| 2.2.3 Qualité sanitaire des produits (QS)..... | 166 |
| 2.3 Échelle économique..... | 168 |
| 2.3.1 Produit brute PB (da/ha)..... | 168 |
| 2.3.2 Charge totale (CT)..... | 170 |
| 2.3.2.1 Charge opérationnelle (CO) (semences, engrais, traitement location de terre)..... | 170 |
| 2.3.2.2 Charge de mécanisation CM (D /ha) hors coût de la main d'œuvre..... | 171 |
| 2.3.2.3 Charge totale | 173 |
| 2.3.3 Marge brute MB (da /ha)..... | 174 |
| 2.3.4 Efficacité économique..... | 176 |

| | |
|--|------------|
| 2.4 Contribution des indicateurs aux trois échelles de durabilité..... | 178 |
| 3 Évaluation de la durabilité par système de culture..... | 180 |
| 3.1 Les valeur des indicateurs (Vi) selon les systèmes de culture dans les deux régions d'étude..... | 180 |
| 3.2 Évaluation de la durabilité (Di) selon les systèmes de culture dans la région de Sétif..... | 186 |
| 3.3 Évaluation de la durabilité selon les systèmes de culture dans la région de Souk-Ahras.... | 188 |
| 3.4 Contribution des trois échelles au développement durable selon les systèmes de culture.. | 189 |
| 3.5 Durabilité globale par système de culture..... | 193 |
| 3.6 Durabilité globale (Dg) selon les parties prenantes..... | 195 |
| 3.6.1 La durabilité des systèmes de culture selon le poids assigné par les parties prenantes... | 195 |
| 4 Discussion..... | 196 |
| 4.1 Avantages, aspects critiques de la méthodologie..... | 196 |
| 4.1.1 Indicateurs, fonctions de durabilité et méthodes d'agrégation..... | 196 |
| 4.1.2 Le choix d'échelles spatiales et temporelles..... | 198 |
| 4.1.3 Seuils de durabilité et le choix des parties prenantes..... | 199 |
| 4.2 Comparaison des systèmes de cultures..... | 200 |
| 4.3 Comparaison entre régions..... | 203 |
| 4.4 Conclusion..... | 203 |
| CHAPITRE IV CONCEPTION DES SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS | |
| Introduction | 205 |
| 1 Décomposition des contraintes et objectifs..... | 205 |
| 1.1 Contraintes..... | 205 |
| 1.2 Objectifs des agriculteurs | 207 |
| 2 Conception des systèmes de culture innovant..... | 209 |
| 2. 1 La conception pour s'adapter à un déficit hydrique chronique..... | 209 |
| 2.1.1 Le rendement des systèmes de culture innovants testés sur le terrain..... | 211 |
| 2.2 La conception pour l'amélioration du rendement et des performances globales du SdC par rapport aux critères de la durabilité (agronomique, économique, environnementale et sociale)..... | 213 |
| 2.2.1 Le rendement des céréales des 8 SdC..... | 216 |
| 3 Évaluation a priori (ex ante) des systèmes de culture innovant..... | 216 |
| 3.1 Contribution des systèmes de culture innovants au développement durable..... | 216 |
| 3.2 Durabilité globale Dg..... | 218 |
| 3.3 Critiques de l'approche développée..... | 219 |
| 3.3.1 Limites méthodologiques | 219 |
| 4 L'outil « installation des céréales » INSCER..... | 220 |
| 5 Principe de l'outil INSCER | 220 |
| 6 Conclusion..... | 221 |
| CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVE..... | 223 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 228 |
| ANNEX..... | |

Introduction générale

La tendance vers la hausse des productions agricoles dans le monde, durant ces dernières 60 années, n'a jamais été une source de confiance des écologues, chercheurs et agronomes. Cette hausse est le résultat du développement technique, scientifique et technologique sans précédent, conjuguée avec l'amélioration des conditions de production dans certaines régions du globe. Les bibliothèques sont riches en titres de type comment nourrir le monde en 2025?, quel futur alimentaire pour le monde en 2050? (Meynard, 2008). Les challenges sont grands, la croissance démographique et l'épuisement des ressources naturelles sont toujours des sources d'inquiétude. Le « Millenium Ecosystem Assessment (MEA) », réalisé sous l'égide des nations unies (publié en 2005), souligne que l'activité anthropique lors des derniers cinquante ans a causé des modifications sur l'écosystème de manière plus rapide que sur aucune autre période de l'histoire de l'humanité. Cette activité, ayant pour objectif de satisfaire une demande croissante et rapide en matière de nourriture, eau douce, fibre, bois industriel et énergie, a engendré des conséquences lourdes : i) perte de la biodiversité sur terre dont une plus grande partie de manière irréversible, ii) une diminution des avantages que les générations futures pourraient tirer des écosystèmes. La responsabilité de l'agriculture intensive, grande consommatrice des ressources naturelles et d'intrants dans cette situation est importante (MEA, 2005).

L'émergence des concepts du développement durable défini par WCED (1987) comme le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins, a incité les agronomes à l'adopter pour l'agriculture. De ce fait, les recherches agronomiques se sont accélérées pour se conformer aux cahiers des charges qui définissent l'agriculture durable. Basé sur trois piliers ; sérénité environnementale, viabilité (rentabilité) économique et équité sociale. Ces notions ont abouti à l'élargissement du champ d'action de l'agronomie : du champ qui est l'échelle initiale d'étude dont l'objectif est de comprendre les interactions entre pratique agricole, milieu et rendement afin d'optimiser ce dernier (Sébillotte, 1990) ; à l'exploitation agricole qui se compose de plusieurs parcelles est pilotée par l'agriculteur, l'agronome cherche à comprendre les logiques du fonctionnement et les règles de décisions pour apporter les améliorations nécessaires afin d'assurer la durabilité de son activité. Actuellement, l'échelle de travail de l'agronome couvre le territoire agricole (Caron, 2005) dont le but est de concevoir des systèmes de culture (SdC) et de production durable à l'échelle du territoire.

La conception des SdC dont l'objectif est de répondre aux enjeux du développement durable (DD) doit le suivi d'une démarche systémique où le tout est cohérent, et ce, afin de cerner les interactions au sein de système de culture, tout en prenant en compte les atouts, les conflits, les contradictions, les incertitudes ainsi que les complémentarités existantes entre les différents composants du système. Cependant, une phase d'évaluation à posteriori ou *ex post* est nécessaire pour la détermination des contraintes qui entravent l'évolution des systèmes de culture actuels vers des SdC plus durables. Cette évaluation s'effectue par des méthodes basées sur des indicateurs (Bockstaller *et al.*, 2008 ; Loyce et Wery, 2006).

Sur la rive Sud de la méditerranée, l'agriculture Algérienne, dont le système de production céréales élevage est dominant surtout en zone semi-aride, et depuis longtemps déficitaire car elle n'arrivant pas à couvrir les besoins alimentaires de la population. Cette situation perdurera encore pour plusieurs années si les facteurs de production (techniques et socio-économiques) restent stagnants. La majorité des chercheurs et d'acteurs du domaine des sciences agronomiques en Algérie misent sur la forte implication des conditions du milieu en zones semi-arides (agriculture tributaire des précipitations, ces dernières sont rares et mal réparties dans le temps) dans la situation actuelle du secteur agricole. Ce dernier est caractérisé par une viabilité économique faible où le rendement moyen d'une culture comme les céréales, ne dépasse guère les 15 qx/ha (Aït Amara, 2009). La dégradation des terres et la fragilité de la situation socio-économique des agriculteurs accentuent davantage l'état agonique de ce secteur. Une partie du problème est alors expliquée par les composantes du milieu: sol et climat, éléments relativement statiques. L'autre partie du problème est à chercher dans l'élément mouvant du continuum sol, climat, et système de culture ; ce dernier représente l'ensemble des techniques et des pratiques mises en œuvre par l'agriculteur dans son processus de production. Avec ces trois éléments rotation, assolement et itinéraire technique, le système de culture peut servir comme réacteur de nouvelles méthodes de production répondant mieux à nos conditions climatiques.

Mise à part l'amélioration des rendements pour satisfaire les besoins d'une population en croissance continue, en favorisant une agriculture intensive qui mobilise plus d'intrant et de techniques innovantes, la société et les acteurs économiques exercent une pression grandissante sur le secteur en mettant leurs attentes en révision. Pour eux l'agriculture doit contribuer à la création des richesses, la création de l'emploi et une plus grande contribution au développement local comme le souhaite la société, fournir des produits sains et de qualité

et concurrentiels comme espèrent les acteurs économiques. Une pression croissante s'exerce pour que les pratiques agricoles évoluent en Algérie. Les acquis dans des pays voisins avec lesquels nous partageons les mêmes conditions pédoclimatiques accentuent cette pression. La combinaison des deux démarches (évaluation et conception) dans une boucle dite de progrès à travers l'optimisation des choix techniques et l'application rigoureuse des lois agronomiques est la seule manière capable de faire évoluer les systèmes de culture actuels, source de faiblesse de l'agriculture algérienne, vers des systèmes plus durables répondant aux attentes de toutes les parties prenantes.

Cette thèse adopte l'approche systémique, et vise la mobilisation des démarches innovantes, complexes et non standardisées, en vue de contribuer à l'amélioration des systèmes de culture à travers l'introduction de ces composants dans une boucle de progrès basée sur l'évaluation *posteriori*, la conception puis l'évaluation *ex ante* et la re-conception (si le système nouvellement conçu présente des anomalies) et enfin la diffusion auprès des agriculteurs. Pour ce faire, nous avons, dans un premier temps, évalué la durabilité des systèmes de culture dans deux grandes régions céréalières d'Algérie, en l'occurrence la région de Sétif et la région de Souk-Ahras, en mobilisant 17 indicateurs. Cette évaluation est suivie par une phase de conception des systèmes de culture innovants capables de surmonter les contraintes, de mieux explorer les atouts offerts par ces zones céréalières et de pouvoir répondre aux défis de l'agriculture en zones semi-arides Algériennes. Parmi les méthodes de conception existantes, nous avons choisi celle basée sur le prototypage combiné avec un modèle de culture STICS (Simulateur Multidisciplinaire des Cultures Standards). Le choix de la zone d'étude est porté sur la zone médiane des deux régions où les contraintes climatiques sont moins prononcées (précipitation comprise entre 300 et 600 mm), afin de mettre en lumière les dysfonctionnements et les incohérences existants aux niveaux de la gestion des systèmes de culture.

Ainsi, cette thèse a un double objectifs : i) identifier les points faibles et les points forts des systèmes de culture déjà en place à travers une typologie et une évaluation à *posteriori*, ii) la conception des SdC mieux adaptés au contexte climatique et socio-économique et qui concordent avec les enjeux du développement durable. Un outil d'aide à la décision pour la mise en place des céréales nommé INCER qui est le résultat de la boucle de progrès sera élaboré et diffusé dans sa première version dans une perspective d'amélioration de performances et d'affinement par les utilisateurs sur terrain.

Ce manuscrit s'organise en deux parties, la première partie comporte deux chapitres. Dans le premier, nous présentons la situation de l'agriculture algérienne. Il s'agit d'un rappel du contexte et des contraintes entravant le développement de ce secteur. Le deuxième chapitre porte sur l'évaluation et la conception des systèmes de culture ainsi que les moteurs qui motivent cette évaluation. La partie conception a fait l'objet d'une communication orale lors d'un séminaire national. La deuxième partie est scindée en quatre chapitres. Dans le premier, matériel et méthodes, une description de la démarche adoptée depuis la collecte des données au niveau des exploitations jusqu'à la conception des systèmes de culture est faite. Le second est consacré à la typologie des exploitations agricoles et des SdC. Le troisième chapitre présente les résultats de l'évaluation de la durabilité des SdC, est faisant l'objet d'une communication orale dans un séminaire et une publication internationale. Le dernier chapitre porte sur la conception des systèmes de culture puis le choix des systèmes candidats qui seront diffusés auprès des agriculteurs. La contribution de ce travail de recherche ainsi que les perspectives futures sont discutées dans une conclusion générale.

CHAPITRE I : CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'AGRICULTURE ALGÉRIENNE

Introduction

Avec une superficie de plus de 2 millions de km² et un relief qui oscille de -34 à plus de 2900 m d'altitude (fig.1.1), l'Algérie possède peu de terres cultivables (Bencherif, 2011). Celles-ci occupent seulement 3.4% de la surface totale (Aït Amara, 2009). Avec les contraintes climatiques permanentes, les possibilités d'accroissement des productions agricoles restent faibles. En outre, les superficies des terres irriguées sont aussi très faibles (712.000 ha) : elles représentent seulement 8,6 % de la superficie des terres cultivables dont 200.000 ha dans les régions sahariennes et 520.000 ha dans la zone Nord du pays (Bencherif, 2011).

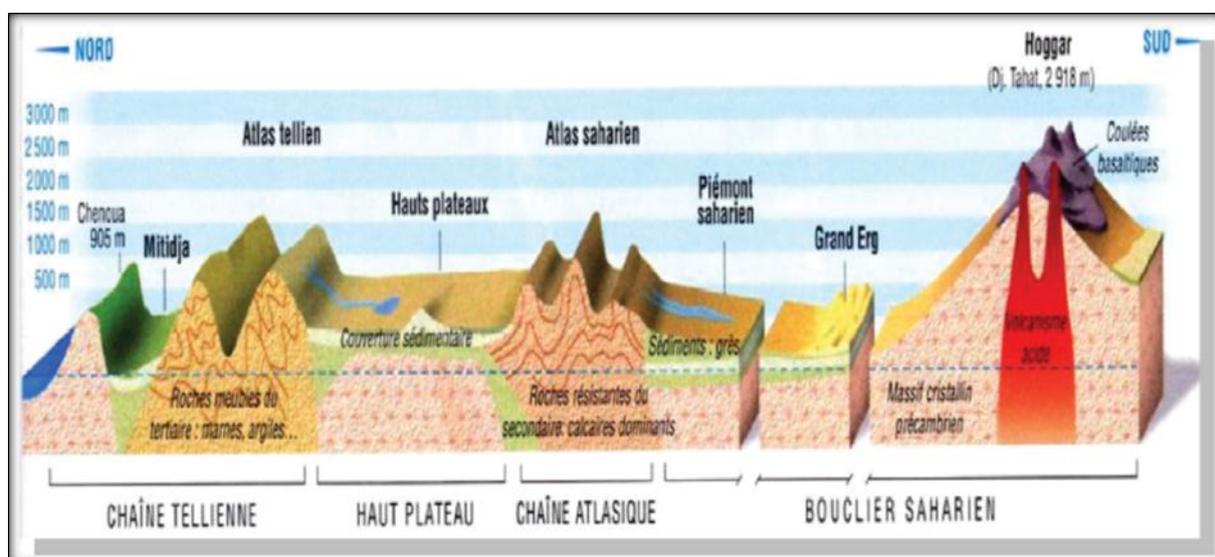


Figure 1.1 Les reliefs, du Nord au Sud, de l'Algérie (GEO, 2006 in Bencherif, (2011))

Les faibles soles irriguées, qui sont généralement destinées aux cultures à valeur ajoutée élevée, exposent les autres productions végétales dont les céréales et les fourrages aux conditions climatiques très contraignantes. Ainsi, en Algérie, une très grande majorité des cultures se pratiquent en mode pluvial, dépendant entièrement du climat et par conséquent soumises à ses incertitudes (Bencherif, 2011).

1 Rétrospective sur l'agriculture Algérienne dans les derniers 60 ans

L'agriculture représente un secteur économique à importance capitale pour l'économie Algérienne dont sa première fonction est d'assurer la couverture des besoins alimentaires du

pays qu'elle l'assure à hauteur de 70 % en moyenne des produits finis (FAO, 2012). Un taux reste tributaire des rendements annuels enregistrés pour les différentes productions agricoles. Occupe la troisième place après le secteur des hydrocarbures et celui des services, le secteur agricole constitue l'une des priorités du programme de développement économique et social, et le garant de la sécurité alimentaire du pays ; ce dernier est loin d'être à l'abri d'une éventuelle crise alimentaire.

À la fin de la période coloniale, l'agriculture algérienne était déjà déficitaire et même avant deux ans de l'indépendance. À l'heure actuelle, cette agriculture n'a pas significativement accru sa contribution à la satisfaction des besoins alimentaires du pays. La production par habitant poursuit toujours la baisse, à la différence des grandes régions du monde qui ont amélioré significativement leur disponibilité. La production des céréales, denrées vivrières de base est ainsi passée de 350 kg par habitant au début de siècle dernier à 100 kg dans les années 1990 et à 80 kg en 2004-2005 (Omari *et al.*, 2012 ; Aït Amara, 2009). Si l'indépendance a mis fin à l'état de sous-alimentation dans lequel le régime colonial maintenait la population, c'est au prix des importations alimentaires croissantes. Dès la fin de l'année 1959, l'Algérie est déjà importatrice nette du blé, avec 0,5 million de tonnes en 1960, un million de tonnes en 1970, mais 4 million de tonnes dans les années 1980 et 5 million de tonnes entre 2001 et 2005 (Aït Amara, 2009). Les déficits laitiers, de matière grasse (huile végétale) ont progressé au même rythme. En terme de devise, les importations alimentaires sont passées de 1 milliard de dollars en 1983 à 3 milliard de dollar en 2003 et de 3,6 milliard de dollars en 2004 à 4,7 milliard de dollar en 2007, de 8,77 milliards de dollars en 2013 à 10,27 milliards de dollars en 2014, (Benyoucef, 2016 ; Aït Amara, 2009) soit une hausse de près de 17% par rapport à l'année 2013. La part des céréales dans cette facture est de 3,54 milliards de dollars en 2014. En effet l'Algérie a importé 12,3 millions de tonnes de céréales et y inclus le maïs, en hausse de 12 % par rapport à 2013. Il est aussi utile de rappeler qu'en 2015, uniquement pour le premier semestre de l'année, la facture des importations a fait un bond de 7,3%. Les légumes secs qui occupent une part importante dans le régime alimentaire de l'Algérien connaissent eux aussi une progression certaine dans les importations alimentaires. Leur part respective en 2012 est de 20,15 millions de \$ contre 9,5 millions de dollars en 2010, d'où une croissance chiffrée enregistrée de 112% entre les deux périodes (Bessaoud *et al.*, 2019). Pour les produits d'origine animale, le lait qui occupe la deuxième place des produits de première nécessité a enregistré un accroissement de 160% entre 2002 et 2012 passant de 492 millions de dollars à 1,2 milliards de dollars. La consommation de ce produit est passée de 54 litres/an/habitant en

1969 à 125 litres/an/habitant en 2013 (Boukerrou et Djaalab, 2013). La situation de la filière viande n'est pas tout de même meilleure, l'approvisionnement est assuré par les ovins et bovins conduits en extensive alors que les élevages camelins et caprins restent marginaux. Ces élevages sont articulés à un marché interne fort rémunérateur du fait du maintien de la demande à un niveau relativement élevé (Chikhi et Bencharif, 2016). L'Algérie produit plus de 20 millions de têtes ovines, 2 millions de bovins et une production moyenne de 300.000 tonnes de viandes blanches par année (ANDI, 2016). Le recours à l'importation des viandes est un moyen de régulation du marché dans les périodes de fortes demandes (Ramadhan et autres fêtes religieuses). Les viandes importées sont principalement les viandes bovines congelées (ONS, 2014a). En moyenne, l'Algérie importe chaque année presque 40.000 tonnes de viande congelée (Chikhi et Bencharif, 2016). Les animaux vivants généralement importés de France (bovins vivants et poussins) représentent une bonne part de produits carnés importés. En 2013, l'Algérie a importé 19.784 tonnes d'animaux vivants de l'espèce bovine à partir de la France, 20.000 tonnes de viandes bovines fraîches ou réfrigérées du Brésil et 40.199 tonnes de l'Inde (ONS, 2014b).

Il faut souligner que les différentes politiques menées depuis l'indépendance n'ont pas permis i) d'assurer une indépendance alimentaire d'une population qui a triplé et cela malgré le triplement de la production céréalière et ii) de faire face aux besoins fourragers accrus d'un effectif ovin qui a presque quadruplé et d'un effectif de volailles qui a été multiplié par 15. Compte tenu de la forte hausse des prix de l'importation, une telle progression dans la dépendance externe du système alimentaire algérien pose évidemment la question de sécurité alimentaire pour la population. Elle expose le marché au risque de la pénurie. L'offre mondiale sera-t-elle toujours suffisante pour combler les déficits et le sera-t-elle à des prix compatibles avec les moyens de paiement de notre pays? (Aït Amara, 2009).

2 Les contraintes de la production agricole en Algérie

Le développement agricole dépend du taux de maîtrise des facteurs de production : i) facteur naturel ; sol climat, topographie hydrogéologie, environnement biologique, ii) facteur technique ; espèces et variété, itinéraires techniques, iii) facteurs économiques ; capitale, matériel, débouché et rentabilité et iv) facteurs humains : objectif, technicité et qualification, d'une part et de la demande de produits alimentaires, de la capacité de stockage, de distribution et de la disponibilité , d'une autre part. La combinaison de ces facteurs et leur agencement avec les autres branches de l'économie conditionnent le développement de

l'agriculture (Bouri, 2011 ; Bourenane, 1991). Si la faiblesse de l'agriculture algérienne est un constat partagé par les chercheurs, les économistes et les décideurs, l'examen des causes de cette faiblesse ne fait guère consensus. L'Algérie semble faire moins bien que ses voisins maghrébins et reste loin de son potentiel productif toujours sous-estimé.

2.1 Un frein majeur mal pris en charge par les politiques agraires : le foncier agricole

Au poids des contraintes naturelles et techniques appliquées sur l'agriculture algérienne s'ajoute celui lié au foncier agricole qui a une prégnance particulièrement forte sur tout le processus productif. Dans son histoire récente (dépendance et indépendance) l'Algérie a connu au moins deux grandes ruptures dans la gestion du foncier: rupture lors de la colonisation et lors de l'indépendance (Nemouchi, 2009). Ces dernières ont mené à l'apparition des domaines coloniaux et des domaines Algériens puis, des domaines socialistes, des domaines privés, des domaines collectifs et des propriétés individuelles. Toutes ces formes se sont découlées sur plusieurs statuts fonciers des terres agricoles (fig. 1.2).

Malgré le foisonnement de lois et décrets concernant le foncier agricole : loi du 1 Octobre 1963, Ordonnance no 71-73 du 8 Novembre 1971 portant «Révolution agraire» décide l'extension des nationalisations des terres au profit de Fond nationale de la révolution agraire (FNRA) , loi n° 83-18 du 13 août 1983 relative à l'accession à la propriété foncière, loi n° 87-19 du 8 Décembre 1987 déterminant le mode d'exploitation des terres agricoles du domaine national et fixant les droits et obligations des producteurs, loi n° 90-25 du 18 Novembre 1990 portant sur l'orientation foncière, loi n° 08-16 du 03 août 2008 portant sur l'orientation agricole, et enfin la loi n° 10-03 du 18 Août 2010 fixant les conditions et les modalités d'exploitation des terres agricoles du domaine privé de l'État, l'Algérie n'arrive toujours pas à créer des unités agricoles économiquement viables et largement autonomes en matière de gestion (Benmihoub, 2015 ; Ali, 2011 ; Nemouchi, 2009).

Mesli (2004), rapporte que les changements incessants du statut juridique des terres et les perturbations des structures agraires ont eu des conséquences sur l'agriculture, on notera :

- La taille des exploitations : l'une des conséquences de ces réformes foncières consiste en l'apparition de petites exploitations qui représentent 62% des exploitations du pays avec une superficie de moins de 5 hectares occupant 11,36% de la surface agricole utilisée (SAU). Ainsi, le nombre d'exploitations passe de 629 450 en 1958 à 1 037 852 en 2001 avec une taille moyenne de l'ordre de 8,3 ha /exploitation.

- Le titre de propriété : La nationalisation des terres et la restructuration de ces dernières ne procurent pas à leurs occupants le droit de jouissance; la plupart des exploitations ne possèdent pas de titre de propriété. Il a été recensé que 6 041 220 ha sont sans titre ce qui représente 71% de la SAU, et seuls 120 087 exploitants sont propriétaires de 1 090 192 ha.
- Le niveau d'instruction des agriculteurs : Le recensement de 2001 indique que 67% des chefs d'exploitations ne sont pas instruits dont 32% ont moins de 40 ans, et seulement 1,4% ont un niveau d'instruction moyen à supérieur ce qui s'explique par l'introduction de techniciens et d'ingénieurs dans les exploitations suite à la réforme de 1987 (Ali, 2011).

À l'heure actuelle une grande partie des terres agricoles souffre d'une profonde ambiguïté sur le plan foncier. Ce problème assez ancien et assez complexe nécessite une décision politique courageuse pour sa résolution.

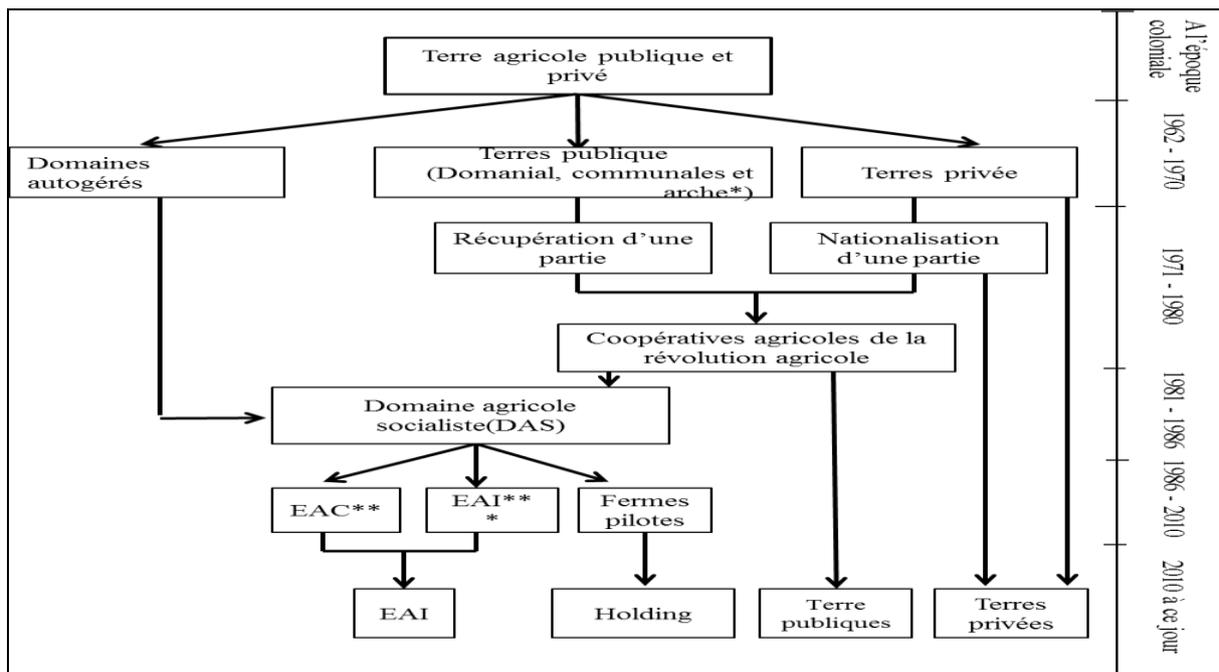


Figure 1.2 Évolution du statut foncier des terres agricoles depuis l'indépendance (Bencharif, 2011).

Terres « arch » : ce sont les terres collectives des tribus et qui n'ont pas encore de sommier de connaissance.
EAC : exploitation agricole collectives
EAI : exploitation agricole individuelle

2.2 Le climat

Le climat avec ses caractéristiques constitue la ressource naturelle la plus déterminante pour l'agriculture ; par ces trois facteurs essentiels : i) les précipitations qui conditionnent la nutrition hydrique, ii) la température qui conditionne la croissance et la production de la biomasse et iii) la lumière, source d'énergie lumineuse locomotrice de la photosynthèse. Ces facteurs sont tous non modifiables du moins à grande échelle et dont les plus importantes restent cependant la pluie et la température.

2.2.1 Des précipitations de plus en plus rares et irrégulières

Localisée dans une région intermédiaire, entre les régimes tempérés et subtropicaux, l'Algérie est un pays majoritairement aride et semi-aride qui comprend trois grands ensembles géographiques : le Tell au Nord, les hauts plateaux et l'Atlas Saharien au centre, et le Sahara au Sud. Le pays présente un climat de type méditerranéen caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des hautes plaines, et une période de sécheresse supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien. Les précipitations accusent une grande variabilité annuelle et interannuelle. Le gradient pluviométrique est croissant de l'Ouest en l'Est (450 mm/an à Oran à plus de 1 000 mm/an à Annaba). Les précipitations moyennes annuelles varient de 50 mm/an dans la région du M'zab dans le Sud et 1 058 mm/an à Jijel dans le Nord du pays (Chabane, 2012).

Le niveau moyen de la pluviométrie est considéré comme l'un des plus faibles dans le bassin méditerranéen. Cette situation place l'Algérie dans le groupe des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, et elle se trouve dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an (Bennabi *et al.*, 2012). Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998, 500 m³ en 2003, elle ne sera que de 430 m³ en 2020 (Remini, 2010). Une tension est déjà existante sur les ressources en eau entre le secteur agricole, industriel et les eaux potables et de ménage. Cette tension sera plus intense dans les années à venir car tous les scénarios climatiques prévoient une diminution de précipitation entre 10 et 30% (Amyay *et al.*, 2012).

Malheureusement, en Algérie, la très grande partie des terres agricoles se trouve dans les hautes plaines intérieures dominées par un climat aride et semi-aride. Ces zones sont caractérisées par des précipitations abondantes en hiver où la demande évapotranspiratoire des cultures est faible voire nulle et un taux de satisfaction des besoins maximal, alors qu'au printemps et en été, la demande évapotranspiratoire est maximale, les pluies sont faibles ce qui engendre un taux de satisfaction des besoins faible et les plantes subiront des répercussions du déficit hydrique dont l'intensité est étroitement liée au taux de précipitation, à l'évapotranspiration et au stade de développement de la culture (Chennafi *et al.*, 2008). L'une des manifestations les plus préoccupantes de cette variabilité est la sécheresse. La fréquence des périodes sèches a connu une nette augmentation durant le 20^{ème} siècle (une sécheresse tous les dix ans au début du siècle et cinq à six sécheresses en dix ans actuellement (Agoumi, 2003). Comme c'était le cas en 1910, 1940, 1975 et 1997 ; celui de 1997 a causé le sinistrement de plus de 60 % des superficies agricoles emblavées (FAO, 2001). Cette nouvelle situation est aggravée par la concentration des épisodes pluvieux sur un nombre de jours faible (60 jours au Nord, 10 à 15 jours dans le Sud) entraînant des inondations, souvent catastrophiques (cas de la terrible inondation de 2001 et les pluies automnales désastreuses de 2007).

2.2.2 Des températures souvent stressantes

La température conditionne, à tout moment, la physiologie de la plante cultivée. Chaque espèce cultivée a une température de référence ou un zéro végétative, au-dessus de laquelle il aura une germination et une croissance, et une température optimale de croissance, où l'activité photosynthétique est intense. Une température supérieure à 0°C est exigée pour la germination, de la majorité des espèces cultivées, le blé exige une température comprise entre 0 et 3°C, le maïs une température qui oscille entre 6 et 10°C, la pomme de terre une température supérieure à 6°C, la luzerne une température supérieure à 1°C (Soltner, 2016). En Algérie qui renferme l'une des zones la plus chaude au monde, l'amplitude thermique, à l'inverse de la pluviométrie, augmente du Nord au Sud. Les écarts de température entre jour et nuit peuvent dépasser les 30°C. La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est variée entre 0°C et 9°C dans les régions côtières, et entre -2°C et +4°C dans les régions semi-arides et arides. La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud varie avec la continentalité, de 28°C à 31°C sur le littoral, de 33°C à 38°C dans les hautes

plaines steppiques et se révèle supérieure à 40°C dans les régions sahariennes (Nedjraoui, 2001).

Les premières gelées font leur apparition à quelques kilomètres du littoral et s'accroissent de plus en plus vers le Sud. L'aridité du climat est rendue plus aigüe par les vents de sables parfois très violents et notamment le sirocco, vent extrêmement chaud et sec, qui souffle en provenance du Sahara. Les accidents climatiques dus aux gelées tardives et au sirocco précoce sont fréquents et influent sur les rendements des cultures. Pour les céréales par exemple le gel printanier affecte la formation et la fertilité de l'épi (Bouzerzour et Benmahammed, 2009 ; Mekhlouf *et al.*, 2001).

2.2.3 Des ressources en sols limitées

En Algérie à peine 4 % des terres sont arables soit 8,4 millions ha, alors que ce taux est de l'ordre de 32% pour la Tunisie, 13% pour le Maroc (Chabane, 2011), sur la rive Nord de la méditerranée, ce taux atteint 53% pour la France et 32% pour l'Allemagne. À titre de comparaison, en 2018, la SAU par d'habitant est de 0,55 ha en Espagne, 0,50 ha en Grèce, 0,42 ha en France et 0,19 ha en Italie et 0,19 ha pour l'Algérie (Bessaoud *et al.*, 2019). La répartition générale des terres du territoire national représentée dans le tableau 1.1 montre que les terres improductives occupent 80% de la superficie totale. Les surfaces forestières et les zones alfatières réunies représentent 21% et environ 4% de la surface du territoire représente la surface agricole.

Il ressort des données précédentes que l'Algérie fait partie de l'ensemble des pays à potentialités réduites en terre, en raison de son relief escarpé et de sa géographie physique, et les caractères agrologiques conjugués par une faible épaisseur de la terre arable qui limite la profondeur exploitée par les racines. La pauvreté en matière organique (humus) et en éléments minéraux nourriciers exerce plus de pression sur le potentiel sol (Benyoucef, 2016 ; Aït Amara, 2009).

La corrélation entre les composantes ressource hydrique (précipitations) et topographie fait ressortir un tableau assez peu favorable à l'installation des cultures et fait de l'irrigation un complément indispensable pour réussir un nombre important des productions végétales (Tableau 1.2). Le Nord de l'Algérie dominé par une longue chaîne montagnarde (la chaîne d'Atlas), laisse peu de plaines bornées par la mère méditerranéenne, ces dernières sont

relativement peu arrosées car elles se trouvent à l'ombre pluviale des chaînons littoraux. Les plaines telliennes bien arrosées à sol profond et à teneur en matière organique élevée représente presque le tiers de la SAU totale (enivrent 2.5million ha) où se pratique une agriculture intensive dominée par l'arboriculture fruitière, la pomme de terre et le maraichage (Bessaoud, 2016).

Tableau 1.1 Occupation des sols en Algérie.

| Occupation du sol | | | Superficie en millier d'ha | Pourcentage % de la surface totale |
|--|-------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|
| Surface agricole | Terres labourable | Culture annuelles (céréales, fourrages, maraichage, ect | 4064 | 1,7 |
| | Culture permanentes | Terres au repos (jachère) | 3404 | 1,4 |
| | | Plantations fruitières | 810 | 0,34 |
| | | Vignoble | 98 | 0,04 |
| | | Prairies naturelles | 25 | 0,01 |
| | Totale superficie utile | | 8458 | 3,55 |
| Autres terres | Pacages et parcours | | 32776 | 13,76 |
| | Terres alfatières | | 2793 | 1,17 |
| | Terres forestières | | 4700 | 1,97 |
| Totales des terres utilisées par l'agriculture | | | 48673 | 20.14 |
| Terres improductives non affectées à l'agriculture | | | 186500 | 78,30 |
| Superficie totale du territoire national | | | 238174 | 100 |

Source : Ministère de l'Agriculture et du développement rural, année 2008, cité par Ali (2011).

La pratique de la jachère en rotation biennale avec la céréaliculture, une culture tous les deux ans fait que la sole céréalière est exploitée à la hauteur de 55% seulement donc un potentiel qui est sous exploité. Ces sols sont menacés par plusieurs facteurs naturels mais aussi par les pratiques liées à l'homme tel que le labour contre les courbes de niveau.

Tableau1.2 Répartition de la surface agricole en fonction de la pente et de la précipitation (Bessaoud, 2016 et Aït Amara, 2009).

| Caractéristiques des terres | SAU (ha) |
|---|---|
| zones plates plus ou moins arrosées en plaine (+ 600 mm) | 1600 000ha |
| zone collinaires <12.5% de pente (+ de 600mm) | 1200 000 |
| zones de montagne > 12.5 % de pente (+ de 500ml) | 2 à 2 600 000 ha qui devraient être laissés au forêt et pâturage. Forte érosion |
| zone de hauts plateaux > 400mm | 2 000 000ha |
| Surface irrigué répartie entre jusqu'au 2011 | 987 005 ha |

Parmi les principales atteintes au patrimoine foncier, il convient de citer : l'érosion hydrique, la salinité et la désertification. Le développement de l'agriculture dans ces conditions ne passera donc que par l'amélioration de la productivité par l'unité de surface des terres arables disponibles et une meilleure économie de l'eau et ce pour augmenter les rendements. Produire plus sur les mêmes superficies est donc le défi qui reste à réaliser pour l'agriculture algérienne.

2.3 La jachère, une veille histoire toujours d'actualité

L'absence de théorisation de la jachère est à l'origine de la rareté de la connaissance objective sur les rôles des jachères et sur les raisons de les pratiquer ou de les abandonner. Une telle théorie des jachères devrait permettre non seulement un meilleur dialogue entre sciences humaines et agronomie, mais surtout de mieux poser la problématique de sa substitution par des cultures écologiquement bénéfiques. La jachère est une technique aussi ancienne, elle se considère comme une originalité de l'agriculture méditerranéenne, pratiquée depuis l'aire carthaginoise (Pousset et Bureau, 2014 ; Morlon et Sigaut, 2008 ; Erroux, 2003) dont les raisons étaient un peu obscures, alors que les règles étaient solidairement établies, elles se résument en trois labours en avril, juin et septembre. La jachère se définit aujourd'hui comme l'état de la terre d'une parcelle entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante. La jachère se caractérise, entre autres, par sa durée, par les techniques culturales qui sont appliquées à la terre et par les rôles qu'elle remplit.

À l'échelle de système de culture, la jachère entre en rotation ou en assolement pour des intérêts purement agronomiques résumés par Sébillotte *et al.*, (1993) en :

- La conservation d'humidité : la jachère a pour objet principal de conserver l'humidité. Une partie de précipitation qui tombe sur un sol nu pendant la période de jachère sera retenue dans la zones des racines (à une profondeur de 1,2 m à 1,8 m pour les céréales, néanmoins ce rôle est conditionné par la profondeur du sol, le volume de précipitation et la date de réalisation de labour. la jachère travaillée ne permet un stockage d'eau (à plus de 60 cm) que si les labours de printemps sont réalisés suffisamment tôt (janvier-février) avant le début de la sécheresse et si, et seulement si le sol est lourd (argileux) et assez profond ; en outre, le recroisement est indispensable si les pluies sont tardives pour réduire l'effet des adventices et créer un mulch. Or, ces conditions ne sont pas souvent réunies dans les zones céréalières algériennes caractérisées par une pluviométrie faible et irrégulière et surtout par des sols peu profonds (Abbas et Abdelguerfi, 2005). Une fois ces conditions sont réunies, le surplus d'humidité accumulé dans le sol ne peut s'extérioriser que si les semences ne suivent pas une longue période sèche car alors l'humidité en surface n'est pas affectée, et la réussite des semis est liée aux pluies de l'année ; cette situation est la règle, ou presque, en Afrique du Nord (Sébillotte et Orstom, 1985) et y compris l'Algérie.

- La diminution des risques de lixiviation de l'azote élément très mobile dans le sol ; pour les jachères pâturées, le déplacement des animaux permet aussi des transferts d'éléments minéraux et de matière organique entre parcelles, à travers le choix des lieux de stabulation ou de parcage (lieux de déjections) et à travers le devenir de celle-ci (Sébillotte *et al.*, 1993). Historiquement, la jachère a également eu pour rôle dans de nombreuses régions de permettre la réalisation des travaux profonds du sol sur une longue période, alors qu'ils auraient été irréalisables dans le laps de temps qui sépare deux cultures successives. La répétition des travaux superficiels pour lutter contre les adventices sur une longue période permettait aussi un affinement progressif des états structuraux du sol, favorable à la réalisation d'un bon lit de semis, permettant ainsi aux agriculteurs de surmonter l'obstacle de manque du matériel agricole.

L'effet de la jachère travaillée ou pâturée sur la dynamique de la matière organique est peu étudié (Sébillotte, 1993). Mais le rôle négatif de la jachère sur le stock de la matière organique fait consensus dans tous les travaux de recherches déjà réalisés : Dans le système jachère-blé, par exemple et surtout si la jachère est travaillée, il y a accroissement de la

minéralisation sans aucune restitution de matières organiques. Un tel système ne peut contribuer à maintenir un taux de matières organiques élevé dans le sol, sauf si, grâce à lui, les résidus de la culture suivante sont beaucoup plus élevés. À part ces inconvénients la jachère travaillée expose les sols à l'érosion hydrique ou éolienne une fois conjuguée avec un sol à texture limoneux ou sableux, des pentes importantes ou des pluies intenses. Les dégâts sont loin d'être compensés par les avantages précités des jachères.

Occupant plus de 40% de la superficie agricole totale, la jachère dans toutes ces formes est toujours considérée comme un signe de l'agriculture extensive liée à une sous exploitation des terres agricoles et un frein à l'augmentation de la production agricole surtout en grande culture (Abbas, 2004). Sur les deux rives de la méditerranée des subventions, liées à la jachère sont déjà en place depuis quelque temps pour des objectifs tout à fait différents : pour la rive Nord, la subvention est pour des terres mises en jachère afin de réduire la production pour respecter les quotas imposés par la politique agricole en commune (PAC) (Gohin et Levert, 2006), alors qu'en Algérie (la rive Sud) cette subvention concerne les terres exclues de la jachère dont l'objectif est d'accroître la production. La résorption de la jachère et son remplacement par une culture, est donc devenue une constante dans tous les programmes de développement agricoles. Cultiver la jachère pour donner plus de terres à l'agriculture et doubler les surfaces agricoles pour augmenter la production agricole est la logique qui a été suivie alors que l'objectif assigné à cette démarche est toujours loin.

Outre la jachère est une pratique liée à l'agriculture algérienne depuis l'antiquité il apparait que l'adoption de cette technique était une nécessité imposée par les conditions du milieu, puisque rien ne pousse les agriculteurs dans le passé et dans le présent à mettre en place cette technique, si ce n'est pas la difficulté du milieu (Abbas, 2004). Le jugement agronomique sur les conduites de la jachère doit procéder d'une approche globale du système de culture et les recherches à entreprendre doivent viser cette cohérence générale. La place des jachères dans les systèmes de production est à cet égard indispensable à prendre en compte : par exemple, il n'est pas certain que la meilleure position de la jachère dans la succession culturale soit systématiquement après une céréale, comme certains le pensent; en effet, il faut examiner l'ensemble des effets précédents, des sensibilités des cultures aux états du milieu et des moyens techniques dont disposeront les exploitations à la lumière du contexte socio-économique.

2.4 Des politiques agricoles en mutation perpétuelle

Depuis l'indépendance la politique agricole en Algérie se focalise juste sur la réduction de la dépendance alimentaire et la réhabilitation de la profession agricole, dans un environnement économique et politique instable marqué par les fluctuations des prix du baril du pétrole et des revenus issues de l'exportation des hydrocarbures (Baghdad, 2004). Le modèle économique adopté durant les trois premières décennies qui suit l'indépendance est la seule source d'inspiration des politiques agricoles qui ont commencé par l'autogestion et la politique de reconversion partielle de l'appareil productif (1963- 1970). Suivie par un arsenal d'institutions étatique pour la gestion du secteur et la mise en place de la révolution agraires durant la décennie 1970. Cette révolution n'a pas atteint les phases programmées pour sa réalisation progressive et un échec légitime encercle cette révolution. La décennie 1980 opère des ruptures et tente d'assurer une transition vers l'économie de marché (Bessaoud, 1994). Dès les années 2000 et afin de corriger les failles des politiques précédentes , de rattraper le retard cumulé et de s'adapter aux nouvelles exigences de l'économie libre, une politique a été mise en œuvre au travers de différents plans nationaux dont notamment le Programme National de Développement Agricole (PNDA 2000-2010), la Politique des Renouveau Agricole et Rural (PRAR 2010-2014) et aujourd'hui, le Plan FELAHA 2014-2020. Cette politique est jugée ambitieuse et sans précédente car elle vise l'amélioration des différents aspects du secteur agricole : l'aspect institutionnel à travers le renforcement du cadre légal pour l'exploitation des terres soit par concession ou au partenariat public-privé (la loi d'orientation agricole n°08-16 du 03 août 2008, et loi n° 10-03 du 18 août 2010). L'aspect technique englobe le développement des filières jugé stratégique (céréales, pomme de terre et lait), le renforcement des actions de mise en valeur des terres, la diffusion des techniques d'irrigation économes en eau, la lutte contre la désertification et la protection des ressources naturelles, et enfin le renforcement des capacités humaines et techniques du secteur (Bessaoud *et al.*, 2019 ; Baghdad, 2004).

Avec l'amélioration de l'état financier du pays engendré par l'augmentation spectaculaire des prix de pétrole, des grandes dotations budgétaires ont été mobilisées pour la réalisation des objectifs assignés aux différentes politiques agricoles depuis l'année 2000 et par conséquence des résultats encourageants, mais non satisfaisants pour certaines spéculations, ont été obtenus. Les restrictions budgétaires imposées par la baisse des recettes pétrolières ces dernières 5 années nécessitent l'adoption des nouvelles politiques agricoles assurant la croissance continue du secteur.

2.5 Une agriculture toujours extensive à la recherche de grade de l'agriculture intensive : le besoin d'une autre révolution agricole

Le caractère extensif de l'agriculture Algérienne est hérité de la période coloniale (les années 1950) dominée par le complexe céréale-jachère-élevage ovins, conjugué par une sous-productivité des terres et de sous-revenue d'emploi agricole. Le plein essor de la révolution verte en Europe a incité le pouvoir public à entamer une phase de modernisation du secteur agricole en substituant les terres en jachère par des cultures fourragères ces dernières seront la base de l'alimentation d'un cheptel bovin à raison de 3ha / vache laitière. Le deuxième volet de l'intensification porte sur l'optimisation des facteurs traditionnels de production comme le choix du matériel végétal à fort potentiel productif, l'emploi de la mécanisation afin de bien travailler le sol, l'emploi massif des intrants agricoles (engrais herbicides et produit phytosanitaire). Cette intensification purement capitaliste est limitée par la loi des rendements sont moins que proportionnels. La seule manière d'accroître cet optimum c'est de restaurer la fertilité des sols épuisés par des décennies d'exploitation sans restitution de la matière organique (Abdelaziz, 2009).

À l'intensification agronomique, par l'établissement des nouveaux assolements et successions culturales en passant de la rotation biennale jachère / blé à une rotation triennale jachère travaillée intégrale/ blé ou orge à courte paille puis une association vesce – avoine ou culture sarclée selon les conditions pédoclimatique de chaque région. C'est que nous avons sensé de le faire à la sortie de la période coloniale. Malheureusement la politique agricole à la veille de l'indépendance a mis la charrue devant les bœufs et par conséquent, on a raté la première révolution agricole (Aït Amara, 2009). Dès lors, la jachère persiste et devient un label de l'agriculture algérienne. Actuellement elle occupe 40% de la surface agricole utile en réduisant par conséquent cette dernière en moitié et la production par deux. Conjuguée avec un élevage ovin en extensive, la part de la jachère pâturée ne cesse d'accroître au détriment de la jachère travaillée elle se considère comme une ressource alimentaire non négligeable pour les systèmes de production céréales-élevage ovins dominant en zone semi-aride. Ce système a accentué la tendance pastorale de ces zones soutenue par des périodes de sécheresse qui ont sévi durant la dernière décennie. Ce constat ne s'accompagne pas par des évolutions contrastées des céréales et des brebis comparativement à la SAT (Abbas, 2004). La séparation de la combinaison céréales jachère pâturées est de point de vue économique justifiée par la stagnation de rendement des céréales et la stabilité des effectifs des ovins qui

rendent la viande ovine algérienne l'une des plus chères au monde, si non la plus chère, contenue du mode d'alimentation des troupeaux.

De ce fait, l'Algérie a besoin d'une nouvelle révolution agricole dont l'objectif est d'améliorer les niveaux de productivité de système de culture et de système d'élevage, en substituant la jachère par des fourrages et des plantes sarclées, assurant au bétail une bonne ration alimentaire à des coûts de plus en plus faibles.

2.6 Une politique économique en faveur de l'industrie

La politique économique adoptée au lendemain de l'indépendance par l'Etat a perduré le déficit de l'agriculture algérienne car elle a conduit à une dévalorisation du travail et de l'investissement agricoles au sens large du mot (Abdelaziz, 2009). La priorité donnée à l'industrie a vite fait de dévoyer la population et d'une façon plus générale les moyennes propres du secteur agricole de leur fonctions initiales de pourvoyeurs d'aliments vers les cités urbaines. L'industrie lourde dont le siège est les terres hautement fertiles du littoral (Elbouni, la Mitidja, Bounamoussa, littoral oranais, Sidi Bel Abbès, Oued Aïssi ...) a causé un exode massif de la main d'œuvre qualifiée (chauffeurs, mécaniciens et agents comptables) des exploitations agricoles publiques vers les complexes industriels. L'autre aspect de cette politique post coloniale se manifeste par la réduction des investissements qui a surtout touché la culture de blé (Tableau 1.3) au profit des autres spéculations : maraichage, aviculture et viande rouge ainsi qu'un recours massif à l'importation des céréales (Aït Amara, 2009).

Tableau 1.3 Évolution du volume des investissements agricoles programmés (milliard de DA) entre 1967 et 1989 (source Bourenan, 1991 cité par Hamadache (2013)).

| période | 1967-1969 | 1970-1973 | 1974-1977 | 1980-1984 | 1985-1989 |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| prévision | 2.4 | 4 | 12 | 18 | 14 |
| En % des investissements totaux | 25 | 14 | 11 | 5 | 3.5 |

La sous-estimation du secteur agricole est toujours d'actualité, les programmes déployés par l'état n'arrivent pas à augmenter significativement la part de budget de l'agriculture qui est de l'ordre de 3%, un budget jugé insuffisant et ne reflète pas l'importance de secteur.

3 La céréaliculture « garant de la sécurité alimentaire », mais les résultats sont loin des attentes de la population

Les céréales, socle historique de la diète méditerranéenne, assurent 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiques journalière de l'Algérien et offre 5,34g de lipide /j/habitant (Chehat, 2007 ; Bencharif et Rastoin, 2007). Ainsi l'Algérie se situe au premier rang mondiale pour la consommation de blé par tête d'habitant avec plus de 500g par jour et par habitant, nettement supérieur à la moyenne mondiale qui est de l'ordre de 183g/j/habitant , et bien devant l'Egypte (131 kg) et la France (98kg) (Bencharif et Rastoin, 2007).

3.1 La production nationale

Cette spéculation occupe encore aujourd'hui une place prépondérante à la fois dans la production agricole et agroalimentaire de l'Algérie et dans la consommation alimentaire des ménages. La céréaliculture est pratiquée par la majorité des exploitants. On compte 600 000 céréaliculteurs soit près de 60% de l'effectif global des exploitations (RGA, 2013). Sans tenir compte de la jachère, la superficie céréalière représente 45% de la SAU. Et elle se pratique dans des petites exploitations dont la taille moyenne ne dépasse pas les de 6,8 ha. La céréaliculture occupe, en moyenne, 3,4 millions d'hectares chaque année, dont 2 millions d'hectares de blé en moyenne (fig.1 3). Par ailleurs, la culture des céréales continue à être associée à la jachère (3,2 millions d' ha en moyenne) dans la majorité des exploitations (Aït Amara, 2009).

Une tendance vers la hausse des surfaces emblavées est observée à partir des années 2000 profitant de l'application du programme d'intensification initié dans le cadre du Plan national de développement agricole (PNDA). Ce programme visait, en effet, d'une part, à inciter les agriculteurs à modifier leurs systèmes de production pour mieux l'adapter aux conditions agro climatiques locales et d'autre part, à supprimer les soutiens à la production des céréales dans les zones considérées comme défavorables du point de vue des conditions agro climatiques (Abdelaziz, 2009).

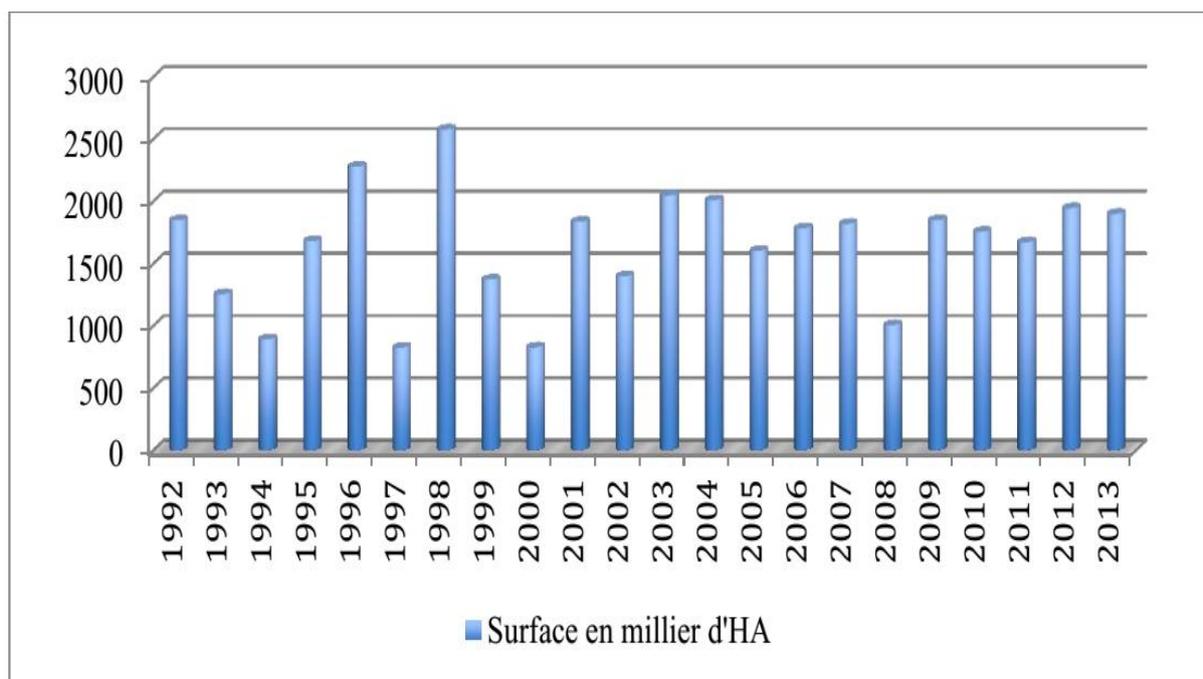


Figure 1.3 Évolution de la surface cultivée de blé en l'Algérie (source FAOSTAT 2015).

La majeure partie des emblavures (94%) de la sole du blé est conduite en mode pluviale. Le blé en irrigué ne représentent que 6% de la surface totale (120 000 ha). Les principales céréales cultivées sont le blé dur (46%), le blé tendre (25%) et l'orge (25%). Le rendement est tributaire des conditions climatique de l'année, une tendance à l'augmentation est observée depuis 2001, mais elle reste encore très faibles comparativement à ceux obtenus dans tous les pays du pourtour du bassin méditerranéen, y compris ceux du Sud (Omari *et al.*, 2012).

Les améliorations enregistrées en la matière du rendement sont due au courant d'intensification de la céréaliculture apporté par le PNDA qui s'est traduit par une augmentation de l'utilisation des herbicides, introduction de traitement fongiques au stade végétatif et l'introduction de nouvelles variétés caractérisées par une bonne adaptation aux conditions algériennes tel que HD1220, GTA dur, ARZ, Sersou et Waha aux conditions climatiques plus favorable (Hamadache, 2013).

La progression de production du blé au cours des deux dernières décennies (1992 -2013) est le résultat de l'augmentation de la sole destinée à la production de blé et l'amélioration du rendement enregistré depuis l'année 1997. Les progrès en matière de rendement ont poussé le niveau de la production de blé à la hausse, avec une moyenne de 3,7 millions de tonnes. Il faudrait cependant, noter que ces taux de croissance enregistrés en Algérie (27% en moyenne

dans la décennie 2000), sont nettement inférieurs à ceux obtenus dans les pays méditerranéens, notamment, le Maroc et la Tunisie.

Malgré les améliorations des rendements et des productions des céréales, le taux de couverture des besoins par la production locale ne dépasse pas en moyenne 40% durant la période 2000-2015 (fig.1.4). Pour combler le déficit et faire face à la faible couverture de ces besoins par la production locale, l'Algérie fait appel aux marchés internationaux dont les quantités importées dépendent de la production locale (5,92 Mt en moyenne durant la période 2000-2015).

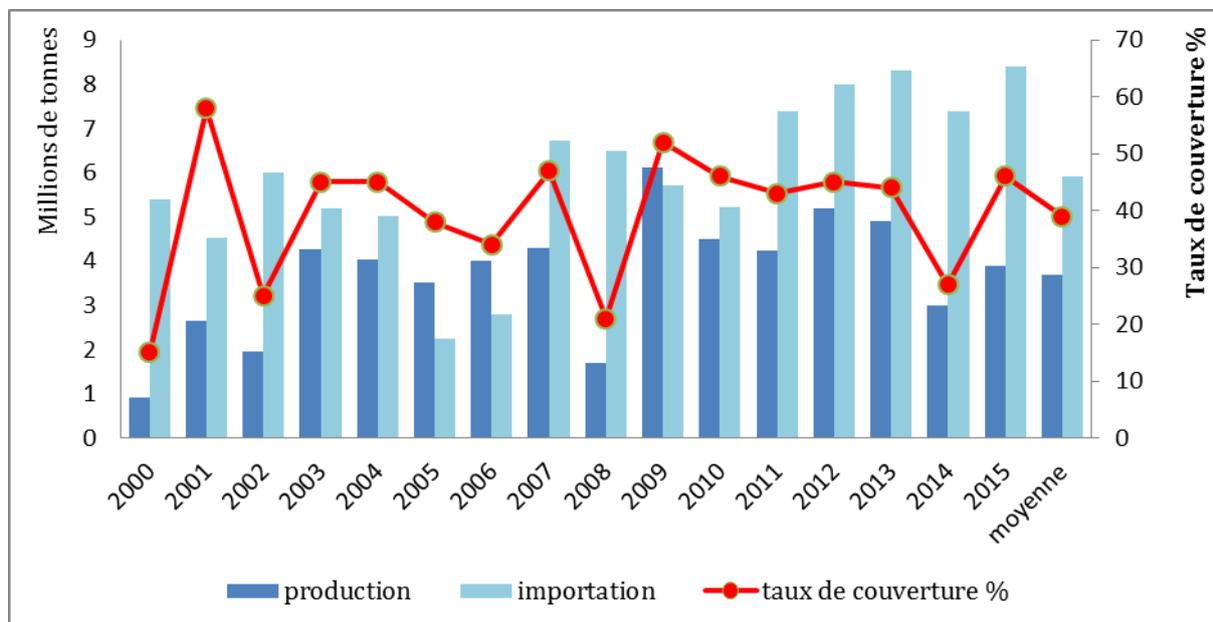


Figure 1.4 Importation, exportation et taux de couverture des besoins en céréale (2000-2015) (source OAIC et ONS 2016).

Les quantités importées classent l'Algérie en troisième place des pays importateurs de blé après l'Égypte (12Mt) et l'Indonésie (8,9Mt) avec un peu plus de 8 millions de tonnes en moyenne ces quatre dernières années (Bessaoud, 2018). Cette situation inquiétante met plus de pression sur les acteurs céréaliers pour inventer des solutions capables d'améliorer la sécurité alimentaire du pays. Une simple comparaison avec les pays du pourtour méditerranéen en la matière de la production des céréales, nous laisse penser qu'il existe une marge de manœuvre très importante pour le pays (Benyoucef, 2016).

3.2 Les contraintes à l'expression du potentiel de rendement du blé

Le rendement des cultures céréalières méditerranéennes, en pluvial, est bas et variable (Chennafi *et al.*, 2008 ; Tavakkolli et Oweis, 2004 ; Lopez-Bellido *et al.*, 2000). La sécheresse affecte fortement la croissance et le développement de la culture, avec des effets négatifs au cours des phases végétative et reproductive (Moayedi *et al.*, 2010). De plus la culture du blé dur est très sensible au manque d'eau, à tous les stades végétatifs. Un déficit hydrique qui survient à un stade donné, réduit une des trois principales composantes et ce qui se répercute sur le rendement grain (Graciela, 1990 ; Blum, 1983). Le rendement grain est la résultante des composantes qui se matérialisent à différentes périodes du cycle de la plante.

Les stress thermiques au cours de la montaison qui est plus courant en zone semi-aride provoque la déformation et la stérilité des épis (Picard et Combe, 1994). Ainsi, les gelées tardives du printemps affectent la formation des organes de reproduction et donc la fertilité de l'épi (Abbassenne *et al.*, 1998). Certaines phases végétatives ne se développent qu'au-dessus d'un seuil thermique, le blé exige 10°C comme température minimale de floraison. Les températures basses printanières réduisent fortement le rendement grain de la céréale (Van Oosterom *et al.*, 1993). L'augmentation de température de 20 à 36°C après l'anthèse réduit le poids du grain (Tashiro et Wardlaw, 1989). 10 jours après l'anthèse, la diminution du poids du grain est de 4% par 1°C d'augmentation de température moyenne entre 20 et 27°C (Gibson et Paulsen, 1999). Pour des températures au-delà de 30°C, le poids du grain est systématiquement réduit (Zahedi et Jenner, 2003). L'efficacité des mécanismes de tolérance à la sécheresse, adoptée par certains génotypes, est étroitement liée à la durée de la contrainte et aux stades végétatifs concernés.

3.3 Conclusion

Les contraintes agro-climatiques, et les problèmes techniques structuraux ont grossièrement affecté l'agriculture algérienne. Le renforcement des capacités techniques et humaines, la résolution des problèmes fonciers, la mise en œuvre d'une politique agricole concertée et la structuration des filières sont des mesures à prendre pour améliorer la sécurité alimentaire du pays

CHAPITRE II : EVALUATION ET CONCEPTION DES SYSTEMES DE CULTURE

Introduction

Avec le développement industriel et technologique qu'a connu l'humanité, le nombre de citoyens ayant un lien avec l'agriculture a considérablement diminué, alors que le nombre des acteurs qui se sentent concernés par les activités agricoles et leurs conséquences s'accroît : décideurs, consommateurs, agent de l'environnement, les filières de transformation. Les pratiques agricoles sont ainsi quittées la sphère privée de l'agriculteur pour devenir objet de débat public. L'agriculture productiviste, soutenue par des innovations techniques et génétiques (pesticides, régulateurs de croissance engrais minéraux, OGM ect.) est rapidement mise en cause, avec l'apparition des problèmes, économiques, sociaux et environnementaux. Une pression croissante s'exerce pour que les pratiques agricoles s'évoluent et le slogan "*produire autrement*" fait apparaître et largement adopté par la communauté des agronomes aussi que par les agriculteurs dans les pays du Nord (Meynard, 2008), alors que les méthodes de production dans les pays de Sud restent stagnantes.

Dans ce chapitre nous allons définir les concepts de base liés aux systèmes de culture (SdC), puis nous exposons les moteurs de la réinvention et l'évaluation des systèmes de culture, ainsi que les méthodes d'évaluations, puis nous brasserons un panorama des démarches et méthodes grâce aux quelles l'évaluation des SdC innovants peut se faire.

1 Évaluation des systèmes de culture

1.1. Définition des concepts : assolement, succession de culture, itinéraire technique, situation de production et système de culture

L'agronomie moderne s'est construite autour de deux axes de questionnement, à savoir i) l'étude du fonctionnement du peuplement cultivé (relations climat-sol-plante) et ii) l'étude de l'action de l'homme sur le champ cultivé à travers les techniques mises en œuvre (Le Gal, 2009). Ces deux axes ont la parcelle et sa gestion comme objets d'étude, dont les performances agronomiques dépendent du choix de la bonne combinaison d'éléments et de leurs interactions dans le temps et l'espace.

Un système de culture (SdC) est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Il se caractérise par : l'assolement, la nature des

cultures et leur ordre de succession, l'itinéraires techniques, y compris le choix des variétés. (Sébillotte, 1990).

L'assolement, correspond à la dimension spatiale de chaque espèce cultivée selon l'échelle considérée (pays, région, exploitation agricole et parcelle). Au sein de système de culture l'assolement désigne le mode de répartition des cultures durant une année agricole elle se caractérise par :

- La liste des cultures implantées ;
- La surface de chaque culture (ou autrement dit les proportions de chaque culture) ;
- La répartition spatiale des cultures au sein des parcelles de l'exploitation agricole.

La prise en compte de la dimension spatiale de l'assolement implique la prise en compte de l'emplacement, de la surface et la forme des parcelles sans tenir compte des différentes espèces cultivées. C'est ainsi que i) deux répartitions spatiales différentes des mêmes proportions de cultures dans une exploitation agricole constituent deux assolements différents ; ii) si les limites des parcelles cultivées sont modifiées (même si les limites externes de l'EA restent identiques), alors la répartition des cultures dans les parcelles est modifiée et l'assolement également (Duryet *al.*, 2012; Schaller, 2011).

Rotation ou succession des cultures ces deux notions assez proches présentent la dimension temporelle de SdC. **La succession de cultures** est définie par la suite de cultures échelonnées au fil des années sur une parcelle donnée et sur une durée déterminée (Prévoist, 2012). En parle de la rotation de culture quand il y a une reproduction cyclique et régulière de la succession culturale ainsi qu'une durée fixe de chaque cycle (ex : rotation courte de 3 ans ou longue de 7 ans) (Pousset et Bureau, 2014; Leteinturier *et al.*, 2006). Le concept de succession de cultures est plus flexible que celui de rotation, puisqu'il fait référence à des nouvelles combinaisons de séquences induites par l'introduction ou l'abandon d'une culture et non à l'historique d'apparition des cultures dont certaines peuvent être substituables à d'autres (Schaller, 2011).

L'itinéraire technique (ITK) est un composant principal de SdC est à la fois source d'innovation et des progrès enregistrés en production végétale et aussi source de tension, vu les altérations causées par les différentes pratiques culturales aux composants des agro-écosystèmes. Défini par Sébillotte (1990) comme ensemble constitué par la combinaison

logique et ordonnée de techniques culturales, appliquées à une culture en vue de tirer une meilleure production. Par convention l'itinéraire technique est limité dans le temps par la durée de cycle culturale, celui-ci commence à la récolte de la culture précédente (exclue) et se termine à la récolte de la culture considérée (inclue), en intégrant les interventions de destruction des chaumes et résidus de culture précédente, le travail du sol préalable au semis de la culture, voire le cas échéant les interventions de semis, d'entretien et de récolte (Schaller, 2011).

Chaque **système de culture** est habituellement divisé en trois sous-systèmes i) le système biophysique, comprenant les interactions entre le continuum sol-plante-climat ii) le système technique, défini comme la combinaison des techniques mises en œuvre par l'agriculteur sur le système biophysique, depuis l'échelle de la parcelle jusqu'à celle de l'exploitation, afin de satisfaire des objectifs de production, iii) le système décisionnel, comporte les différentes règles de décision nécessaire au bonne gestion et au bon pilotage de l'appareil de production. L'interaction dynamique entre ces trois sous-systèmes au cours du temps définit le fonctionnement, les performances et les défauts (fonction d'évaluation) de SdC (Bonneville *et al.*, 1989). À un instant donné le SdC peut être décrit par **la situation de production** défini comme l'ensemble constitué par les composantes physiques (sol, climat), chimiques (solution du sol) et biologiques (plante cultivée, adventices et ravageurs) des parcelles concernées, d'une part et dans l'autre part leur environnement paysager et socio-économique. Cet ensemble détermine à la fois les choix techniques des agriculteurs et les performances des systèmes agricoles (Aubertot et Robin, 2013). La situation de production est la base de diagnostic agronomique qui sera réalisé avant toute tentative d'évaluation des systèmes de culture.

1.2 Éléments moteurs de réinvention et de l'évaluation des systèmes de culture en Algérie

Dans les pays du Nord comme dans les pays de Sud, le besoin d'évaluation des pratiques agricoles est motivé par 4 moteurs majeurs.

1.2.1 La dégradation de l'environnement et l'épuisement des ressources

À la sortie de la deuxième guerre mondiale, politiciens, chercheurs, agronomes et agriculteurs ont pour la plupart œuvré de concert afin d'augmenter la productivité par unité de surface et par travailleur. Le leitmotiv dominant pouvait alors se résumer en trois mots: rendement, stabilité, prédictibilité (Darnhofer *et al.*, 2010). L'agriculture a alors emprunté, la voie dite du

« productivisme » basée sur une grande mobilisation des ressources naturelles (sol, eau) l'utilisation accru des intrants agricoles (engrais chimiques, pesticide), l'intensification et la spécialisation des systèmes de production, et la standardisation des itinéraires technique (clef en main) adapté uniquement à un nombre réduit de situation pédoclimatique et socio-économiques ; L'enjeu était, dans un premier temps, d'atteindre l'autonomie alimentaire puis, dans un second temps, de répondre aux besoins d'un marché de plus en plus globalisé. Ce modèle de développement agricole est désormais rapidement remis en cause avec l'apparition des problèmes environnementaux, économiques et sociales (Meynard *et al.*, 2006).

En Algérie, les impacts de l'agriculture sur l'environnement sont nombreux. Le sol est l'élément le plus affecté soit par l'érosion hydrique causé par des pluies torrentielles assez fréquentes en automne, au moment où le couvert végétale est absent ou par salinisation. Les pertes en sol sont estimées de 1,5 à 9 t/ha, équivalant à la perte de plusieurs dizaines de milliers d'hectares par an (Aït Amara, 2009), ces pertes sont le résultat des pluies intenses dépassant 45 mm/h, provoquant des crues violentes, rapides et chargées engendrant une destruction puis un déplacement de particules solides fines constituant le sol (Touaibia, 2010), ce phénomène est accentué par des facteurs naturels : un relief accidenté (la majeure partie des sols des hautes plaines présente une pente plus ou moins importante selon les régions), conjuguais avec des pratiques agricoles males seines (labour parallèle aux courbes de niveau) et anthropique : les défrichements, le morcellement du foncier, le surpâturage (MADR, 2006). Ce sont donc, en moyenne, 120 millions de tonnes de sédiments qui sont emportés annuellement par les eaux. Les conséquences directes d'une telle situation, sont d'une part la diminution de la fertilité des sols et la perte de surface cultivable et d'autre part l'envasement des barrages (Benblidia, 1993).

Le problème de salinité est d'envergure, il touche près d'un million hectare dont une partie se trouve localisée dans les périmètres irrigués de la région Nord-Ouest du pays (MADR, 2006). Le recours massif à l'irrigation en zones semi-arides caractérisées par une évaporation élevée favorisant ainsi l'accumulation des sels en surface. L'absence de pilotage d'irrigation a engendré un gaspillage et une faible efficience d'utilisation de l'eau, cette eau qui est une ressource précieuse, est devenue une source de pollution des sols par les métaux lourds et les substances toxiques. D'autre problèmes d'ordre environnemental sont apparus suite à la pratique de système céréales jachère pâturée tel que la réduction de la biodiversité, la

résistance des plantes adventices aux herbicides et la pollution de l'eau et de l'air, menaçant ainsi la durabilité des systèmes de culture (Abdelaziz, 2009 ; Abbas et Abdelguerfi, 2005).

1.2.2 La viabilité économique du secteur agricole est en question

Au moment où les pays de Nord établissent des politiques agricoles en commune (PAC) incitant leurs agriculteurs à mettre une partie des terres en jachère pour absorber le surplus de la production et assurer ainsi un niveau de vie équitable à la population agricole et des prix convenables aux consommateurs, le déficit alimentaire des pays de Sud dont le nôtre augmente et leur dépendance aux marchés internationaux s'accroissent. Tous les avis se rejoignent pour dire que l'agriculture algérienne ne remplit pas son rôle qui est celui d'assurer une alimentation suffisante et de qualité à un prix supportable aux autochtones (Benyoucef, 2016), hors le taux de dépendance pour les céréales, lait et viande est exceptionnellement élevé, l'Algérie importe deux fois les quantités qu'elle produit en céréales (Aït Amara, 2009).

Malgré certains progrès enregistrés dans la dernière décennie où le secteur agricole était pourvoyeur de croissance de l'économie nationale avec un taux de croissance annuelle de 7,06% qui est imputée à un accroissement des productions maraichères et animales (Bessaoud, 2016), la facture d'importation des produits alimentaires exerce toujours une pression grandissante sur la balance des paiements; en 2014 elle a atteint les 11 milliards de dollar (Md\$) dont 3,54 Md\$ est la part des céréales dans cette facture, alors qu'elle était aux alentours de 9 Md\$ en 2013. En terme d'indices macro-économiques, le secteur agricole contribue à environ 10% du produit interne brute (PIB), l'élevage ovin, avec un cheptel de plus de 22 millions de têtes, contribue pour la moitié à la formation de ce PIB, derrière le secteur de service qui contribue à hauteur de 40% au PIB et le secteur de l'industrie qui assure 47% de PIB (Bessaoud, 2018 ; Benyoucef, 2016 ; Omari *et al.*, 2012).

L'augmentation drastique des seuils de rentabilité des cultures, causé par la flambé des prix des intrants et les charges de la mécanisation, a neutralisé tout effort d'amélioration de la production des cultures stratégiques. Il est admis par tous les experts agricoles que l'amélioration du rendement d'une culture, est obtenue en assurant une fertilisation adéquate, dans le cas de blé dur il faut 3,5 kg d'azote pour produire 1 kg de blé, et pour acheter un kg d'azote il faut 3,5 kg de blé, alors, il y a 30 ans il faut moins d'un kg (Aït Amara, 2009). Actuellement, le seuil de rentabilité des céréales (blé dur) est de 10 q/ha, avec un rendement moyen national de 16 q/ha, et si on considère la taille des exploitations, (70% sont inférieures à

10 ha) (Boukerrou et Djaalab, 2013) et la pratique de la jachère l'année suivante qui implique la division des revenus sur deux ans, l'agriculteur se trouve avec un revenu inférieur au salaire minimum garantie.

L'amélioration de la viabilité de secteur agricole passe certainement par la maîtrise de coût de production et l'amélioration de la productivité, cette dernière est conditionner par la maîtrise des facteurs de production, et le changement des modes de production qui font de l'Algérie un pays dépendant des pays développées sur le plan des produits alimentaires de consommation courante et du système productif agricole domestique annexé aux firmes multinationales productrices d'intrants.

1.2.3 L'évolution des attentes des consommateurs et de la demande des filières

Les changements en profondeur du modèle de consommation, du régime et des habitudes alimentaires, avec le recul du modèle traditionnel paysan de consommation, a mis plus de pression sur le secteur agricole pour faire face à ces besoins (Abdelaziz, 2009). Les politiques de soutien aux produits alimentaires de large consommation (blé, lait et sucre) qui se considère comme un acquis, a contribué à la satisfaction des besoins quantitatif de la population et préserver ainsi la sécurité alimentaire de pays. Cette sécurité fragile dépendante de la capacité de payement, cette dernière est largement fonction des cours de pétrole dans le marché international. L'envolée des prix agricole causé par les politiques agricoles des pays exportateurs (PAC en Europe et Farm Bill aux USA) qui ont transformé le marché d'une situation d'excédent à une situation de pénurie, la fluctuation des prix des hydrocarbures (tendance vers la baisse), affectent la capacité de l'État à assurer la ration de base de la population à long terme, comme c'est le cas en 1991 quand nous étions dans l'incapacité de payer un bateau de blé de 50 milles tonnes, les émeutes de 2008, de 2011 ont constitué un choc dans le système alimentaire du pays (Belaid, 2016). La volonté de l'État de se débarrasser de lourd fardeau engendré par la politique de soutien des produits du première nécessité et la baisse de la rente pétrolière, doit se rattraper par l'augmentation de la production agricole domestique (Abdelaziz, 2009).

Les attentes de la société concernant la contribution de l'agriculture à l'emploi sont mal affichées voire contradictoires avec les attentes des autres pays. Au milieu des années 2000, le secteur agricole, emploi entre 15 et 17 % de la population active. En 2014, uniquement 8.8 % de la population active est attachée à l'agriculture (Benyoucef, 2016; Bessaoud, 2016), cette

régression a plongé le secteur dans une crise d'emploi. Celui-ci est en déficit de main d'œuvre qualifiée et jeune à employer dans les grandes entreprises en plein développement dans le pays, notamment depuis la mise en œuvre des dispositions sur la concession agricole ou l'accès à la propriété foncière agricole (APFA) et l'adoption de «Plan Filaha 2019» qui affiche l'objectif de création de 350 fermes intégrées de grande dimension (Bessaoud, 2016). L'adaptation de la filière de production végétale, grande consommatrice de main d'œuvre permanente et saisonnière, est nécessaire en améliorant les conditions de travail et de vie des employés et on préservant le côté social des contrats de travail (protection sociale, couverture médicale).

La vive sensibilité des consommateurs à la qualité sanitaire et organoleptique des produits agricoles domestiques ou d'importations est fondée sur l'emploi hors-norme des pesticides pour les premiers et le sur emploi des pesticides pour les deuxièmes (cas de la France premier fournisseur de l'Algérie en céréale). Les produits issus de l'agriculture conventionnelle sont devenus une source d'inquiétude pour les consommateurs. La propagation des maladies dont les cancers est vue comme résultat d'utilisation des pesticides. De ce fait les consommateurs cherchent des produits agricoles issus de l'agriculture non conventionnelle sachant que l'Algérie dispose d'un potentiel intéressant offert par l'agriculture dite traditionnelle largement pratiquée et qui peut bénéficier d'une conversion rapide vers l'agriculture biologique (Hadjou *et al.*, 2013).

1.2.4 Les acquis des pays voisins

Les acquis des pays voisins de la nôtre (Maroc, Tunisie) en la matière d'amélioration de rendement, de la sécurité alimentaire et de l'ouverture sur les marchés internationaux, exerce plus de pression sur le secteur agricole algérien (Omari *et al.*, 2012). Malgré la disproportion dans les surfaces agricoles utiles (SAU) des pays du Maghreb (Tableau 1.4); 8,4 millions d'hectares pour l'Algérie, soit à peu près 4 % de la surface totale, 9,4 millions d'hectares cultivables sur plus de 71 millions d'hectares pour le Maroc, soit un peu plus de 13% de la surface totale et 5.29 million d'hectares (32% de la surface total) pour la Tunisie (Chabane, 2011), les conditions climatiques, édaphiques et socio-économiques ne présente pas des grandes disparités et ne peuvent pas être source de discrimination entre les performance du secteur agricole dans les pays du Maghreb ; vue le rapprochement des potentialités naturels, la situation géographique, l'histoire et les traditions (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

Tableau 1.4 Comparaison de performance du secteur agricole des pays du Maghreb.
(Source : synthèse bibliographique)

| Pays | SAU (Million ha) | surface irriguée (million ha) | Rdt q/ha céréale | Déficits céréaliier | Emplois (%) | PIB (%) | Taux de couverture* |
|----------------|-----------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Algérie | 8,4 | 1,1 | 13,3 | -6,497 | 8.8 | 8 à 10 | 49 |
| Maroc | 9,4 | 1,6 | 15,1 | -4,620 | 40 | 15 à 20 | 72 |
| Tunisie | 5,29 | 0,47 | 17,3 | -2,952 | 16 | 10 à 12 | 85 |

*Taux de couverture moyen de la demande nationale par la production locale.

De point de vue performance économique, le secteur agricole marocain, détient la première place, avec un PIB qui représente 15 à 20% de PIB total, un taux de couverture des exportations par les importations oscille entre 40 et 60% et un taux d'emploi de 40% de la population active (Chabane, 2011), l'intégration des deux pays dans l'organisation mondiale de commerce (OMC) en 1995 pour le Maroc, et 1996 pour la Tunisie a permis aux produits agricoles de ces deux pays d'occuper une place importante dans les marchés internationaux et particulièrement les marchés européens.

La comparaison du rendement, indicateur de maîtrise des itinéraires techniques, doit être considérée avec précaution vu l'interaction de plusieurs facteurs dans son élaboration (Omari *et al.*, 2012 ; Bonneville *et al.*, 1989). Cet indicateur classe la Tunisie en premier rang avec un rendement de 17,3 q/ha suivi par le Maroc et puis l'Algérie. Au Maroc, le plan Maroc vert avec sa stratégie ambitieuse qui vise à faire de l'agriculture le moteur de croissance économique du pays et un outil efficace de lutte contre la pauvreté, en mobilisant des efforts techniques et technologiques ayant apporté de grandes avancées dans la maîtrise des itinéraires techniques ; de ce fait le pays a enregistré une production record de 11,5 millions de tonnes durant la campagne 2014/2015 (MAPMDREF, 2018) (contre 3,5 millions de tonnes pour l'Algérie) et un rendement jamais enregistré (22,9 q/ha) durant la campagne 2017/2018. L'objectif de 500.000 ha irrigués en goutte à goutte est achevé 3 ans avant le délai assigné (fin 2017 au lieu 2020). En Tunisie, la surface agricole utile est dominée par l'arboriculture fruitière avec 1,6Mha suivie par les céréales avec les 1,5Mha (tous types confondus). Les problèmes naturels et structurels qu'avait l'agriculture tunisienne (érosion des terres qui touche environ 3 millions ha, la pression sur le foncier agricole et des conditions climatiques peu favorables à la production végétale) n'ont pas empêché le secteur agricole

tunisien de jouer un rôle important dans l'économie de pays (Richard, 2006). Ce secteur emploie 16% de la population active et contribue à hauteur de 13 % au PIB du pays. La part des exportations agricoles et alimentaires dans la balance commerciale est en baisse, passant de 23,4 % pour les années 1984-1988 à 13,6 % pour les années 1999-2003, mais largement supérieure de la contribution de secteur agricole algérien qui ne dépasse pas le 0,1%.

En ce qui concerne la mécanisation, le nombre de tracteurs en service au niveau national (toutes puissances confondues) est de 97176, ce qui donne une moyenne d'un tracteur pour 87 ha, alors qu'elle a été à la hauteur de 75h en 1993 (Kheyar *et al.*, 2007). En Tunisie le taux de mécanisation est 1 pour 140ha, la moyenne dans les pays Sud de la Méditerranée est 1/ 92 ha. À l'échelle mondiale la moyenne est un tracteur pour 57 ha, de ce fait le taux de mécanisation du secteur agricole algérien est supérieur à ces voisines mais loin de la moyenne mondiale.

1.3 Agir d'une manière systémique (l'agriculture systématique)

Nombreuses sont les études et les travaux de recherches en Algérie qui traitent la plante dans son milieu et en interaction avec les pratiques culturales: l'effet des dates et densités de semis (Bouzerzour et Monneveux, 1993), l'effet de la variété et la profondeur de semis (Nouar *et al.*, 2012 ; Hazmoune et Benlaribi, 2004), l'effet du précédent cultural et de l'outil de travail (Latreche, 2011), effet des techniques culturales simplifiées (Fortas *et al.*, 2014), l'effet du semis direct et du labour conventionnel (Abdellaoui, 2011); l'effet des apports d'eau d'appoint (Chennafi *et al.*, 2006), de la fertilisation azoté (Haffaf *et al.*, 2016), du désherbage (Hajjaj *et al.*, 2016).

Une analyse critique de ces recherches nous amène à faire les commentaires suivants :

- Date, densité et profondeur de semis des bonnes règles de décision s'elles sont associées à d'autres facteurs : génotype précédent et type de sol.
- Le travail de sol de conventionnel au non labour une transition souvent arbitraire et souvent une nécessité ;
- Le stress hydrique largement abordé : qu'elle apport pour la production ? ;
- La fertilisation azotée entre dose et génotype où sont les bonnes combinaisons;

- Les interactions outils de travail précédent pour une année : une décision ambiguë;
- Interaction génotype milieux, il ne faut jamais négliger les pratiques : des années et des années pour prendre la bonne décision;
- L'irrigation entre rareté des ressources hydrique et le cout d'investissement comment faire;
- L'agriculteur porteur des clefs de champ toujours marginalisé.

En fin le système de culture, le seul cadre qui englobe le tout peu de travaux qui le traite.

L'approche analytique adoptée dans ces travaux et dans d'autre recherche à résoudre un seul problème par une démarche expérimentale et qu'uniquement le résultat compte (Bonneviale *et al.*, 1989), a montré sa limite et les progrès enregistrés sont loin des attentes des parties prenantes du secteur agricole (Benyoucef, 2016). La démarche systémique, dont les principes ont pris naissance à la fin des années 1950, pour surmonter l'échec de la démarche sectorielle (analytique) considère l'exploitation comme un système finalisé par l'objectif qui lui assigne par l'exploitant ou la famille. Leur mise en œuvre doit se faire dans le cadre d'équipes pluridisciplinaires capables d'analyser les interactions entre les différents éléments du système et leurs impacts sur les orientations de l'appareil de production (Elloumi, 1994 ; Bonneviale *et al.*, 1989).

La complexité des systèmes de culture (sous système biophysique, technique et décisionnel) , la diversité des situations de production et le lourd poids des contraintes, exigent une compréhension fine de fonctionnement de l'agro écosystème, un traçage des objectifs claires, un affinement des décisions et la mobilisation des agronomes, chercheurs, agents de vulgarisation, décideur et bien sûr l'agriculteur afin d'avoir des finalités satisfaisantes. L'intégration de toute ces données lié à l'exploitation agricole ou au système de culture permet de formuler des diagnostics, de proposer des solutions et des voies d'amélioration qui tiennent compte de la cohérence du système et qui soit en particulier adapté aux objectifs de l'exploitant et aux atouts et contraintes qui en découle pour l'exploitation ou de SdC (Meynard, 2008 ; Bonneviale *et al.*, 1989).

Le cas du stress hydrique est à cet égard exemplaire ; dans les zones semi-arides algériennes où l'eau est le facteur limitant de la production végétale et l'amélioration de rendement est l'objectif majeur des agriculteurs, la création variétale était la piste la plus suivie pour faire

face à cette contrainte (Benbelkacem *et al.*, 1993) ; cependant la résolution du problème du déficit hydrique qui est assez fréquent et d'intensité variable, nécessite la mobilisation de l'approche systémique ou plusieurs stratégies doit être mobilisées pour maximiser l'efficacité d'utilisation de l'eau par les cultures. Ces stratégies sont cadrées par les composants de SdC. Des mesures agronomiques tel que le choix de la variété, de l'espèce cultivée, l'ajustement des itinéraires techniques, le choix de la succession des cultures ou socio-économiques comme l'introduction des nouvelles cultures moins exigeantes en eau, la maîtrise de coût de production et l'ajustement de l'offre à la demande, par la création de ressources supplémentaires peuvent être mobilisées (Debaeke *et al.*, 2008b).

1.4 Évaluation des systèmes de culture

L'évaluation d'un système de culture consiste à apprécier l'atteinte d'un ou de plusieurs objectifs, à déterminer les points forts et les points faibles du système pour un éventuelle ajustement ou amélioration (Castoldi et Bechini, 2010 ; Debaeke *et al.*, 2008a). Quatre éléments majeurs cadre l'opération de l'évaluation : i) la précision de la finalité de l'évaluation en répondant aux questions pourquoi et pour qui on fait l'évaluation ii) la détermination des objectifs opérationnels (on évalué quoi ?) et leur priorités (arbitrages entre objectifs) iii) définir les limites du système évalué et les échelles de l'évaluation (spatiales ou temporelle) et iv) préciser qui réalise l'évaluation et quelles sont les contraintes de l'évaluation (budget, temps, données disponibles, ... comment ?) (Bockstaller *et al.*, 2008). Cette évaluation peut être réalisée :

- **A posteriori ou ex post**, ça veut dire établir le diagnostic des pratiques déjà existantes pour trier les SdC candidats et identifier les plus prometteurs (à tester par expérimentation). (Debaeke *et al.*, 2008a). Le recours aux indicateurs constitue un élément clé pour effectuer ce type d'évaluation

- **A priori ou ex ante**, ce type d'évaluation offre la possibilité de sélectionner rapidement des systèmes alternatifs prometteurs sans avoir besoin de tester au champ toutes les alternatives possibles : l'évaluation *a priori* permet d'éliminer des systèmes apparaissant comme peu satisfaisants, et de ne garder pour une évaluation plus approfondie que les plus performants et répondant aux objectifs visés. Cela peut permettre un gain de temps précieux et évite tout changement imprévisible des contextes socio-économiques, environnementaux et réglementaires (Craheix *et al.*, 2011).

1.4.1 Démarche de l'évaluation

1.4.1.1 Le diagnostic agronomique étape indispensable pour entamer l'évaluation

La mise au point de systèmes de culture durables est une priorité essentielle pour les agronomes et les autres parties prenantes du monde agricole (van Ittersum, 2008). Pour atteindre cet objectif les agronomes mobilisent les concepts, proposés par Sebillotte (1990), d'itinéraires techniques (ITK) à une échelle annuelle et de systèmes de culture (SdC), à une échelle pluriannuelle (Plénet et Simon, 2015), pour comprendre la relation entre la performance du système de culture et les pratiques des agriculteurs à l'échelle de la parcelle. Le diagnostic agronomique vise l'évaluation des causes de dysfonctionnement de processus productif mit aux champs cultivés, considéré comme une combinaison d'un système biophysique, technique et décisionnel, par rapport à un objectif recherché (Loyce et Wery, 2006). Le diagnostic doit permettre de caractériser le contexte de production à l'échelle de la parcelle cultivée, de l'exploitation ou des territoires (région) concernés avec leurs contraintes et leurs atouts, ainsi que les perspectives d'évolution des enjeux économiques, agronomiques et environnementaux (Plénet et Simon, 2015 ; Doré *et al.*, 2006).

Diverses approches peuvent être mobilisées pour évaluer les performances du champ cultivé:

1.4.1.1.1 Caractériser la parcelle, et comprendre le comportement des cultures

Une fiche de parcelle permet de caractériser le système de culture, notamment en ce qui concerne le précédent cultural, le semis (date et dose), la fertilisation (fractionnement, mode et type d'apport, date et dose), la lutte phytosanitaire (date, dose, matière active et fréquence) et l'irrigation. Le diagnostic d'état et du fonctionnement du peuplement végétal d'un champ cultivé à travers le suivi de l'évolution de la biomasse, de la surface foliaire, de la profondeur d'enracinement, en relation avec son milieu (sol, climat) permet de mettre en évidence les causes de dysfonctionnement, qui peuvent être d'ordre abiotiques (déficit hydrique, température basse, carence en élément nutritifs) ou biotique (invasion par les plantes adventices attaque des insectes et microorganismes).

La qualité du diagnostic agronomique repose en grande partie sur le choix des variables et d'indicateurs de diagnostic, à savoir des variables pertinentes faciles d'accès et reflètent l'ensemble du cycle de croissance plutôt que de donner une image instantanée. Ces indicateurs incluent des composants du rendement, tels que le nombre d'épis, de grains, et le poids de mille grains (PMG) dans le cas des céréales. En effet, la valeur de chaque composant

dépend des composants précédemment formés et des facteurs environnementaux au cours de l'élaboration du composant du rendement. Cette valeur peut fournir donc des informations sur les conditions agronomiques, édaphiques et climatiques dont laquelle le composant est formé (Hamadache, 2013 ; Boiffin et Meynard, 1982).

1.4.1.1.2 Savoir expliquer la viabilité des performances des SDC à l'échelle régionale

Dans ce cas le diagnostic vise à déterminer pourquoi certaines parcelles dans une exploitation agricole n'atteignent pas le niveau de performance attendu dans le contexte pédoclimatique de la région considérée. Les sources de dysfonctionnement peuvent être d'ordre édapho-climatique, ou technico-économique. Cette approche repose sur la détermination des sources de la variabilité du rendement et les contraintes de production (Doré *et al.*, 2015). Cependant, la variabilité de la production agricole peut également limiter les performances des spéculations et des filières de production à l'échelle régionale (Le Bail et Meynard, 2003). À cette échelle l'homogénéisation des conditions (climat, sol, contexte socio-économiques) sont des conditions indispensables à un bon diagnostic, car ces derniers peuvent être source de variabilité, étant donné que le rendement peut changer dans la même parcelle d'un point à un autre.

1.4.1.2 L'analyse des données pour confirmer le diagnostic

Les données sont analysées en deux étapes: à l'échelle du terrain et à l'échelle régionale. À l'échelle du champ, l'objectif est d'expliquer les performances des cultures en matière de rendement en mobilisant des tests statistiques classiques tel que l'analyse de variance, régression simple ou autre analyse jugée pertinente. L'inconvénient de ces analyses est la faible prise en compte des facteurs explicatifs du rendement et dans le cas des régressions le problème réside dans la causalité établie dans une régression linéaire multiple (Deytieux *et al.*, 2016; Loyce et Wery, 2006). L'utilisation des lois agronomiques en amont permet d'identifier les facteurs qui limitent le rendement en biomasse et de travailler sur les écarts au rendement permis par ce potentiel; à cet effet, l'eau et la température constituent deux éléments clés car elles conditionnent l'efficacité de plusieurs autres facteurs impliqués dans l'élaboration des rendements.

À l'échelle du territoire, l'analyse exploratoire des données (statistique exploratoire) s'avère plus pertinente pour un diagnostic global des exploitations et du territoire et pour hiérarchisation des contraintes et des objectifs à une échelle plus grande. Le recours aux

données d'enquêtes régionales sur des systèmes de production existants (enquêtes sur le fonctionnement des exploitations, sur les pratiques culturales, recensement agricole) peut être exploité le plus souvent dans le but d'effectuer un diagnostic: caractériser la diversité des systèmes de culture actuels (Beniou et Aubry, 2012), évaluation de la relation entre la typologie et la performance économique des exploitations agricoles: étude de cas pour une région rurale de la région de Sétif, en Algérie (Rouabhi *et al.*, 2012). Des analyses en composante principale (ACP) ou analyse factorielle discriminante (AFD), analyse factorielle des correspondances (AFC) et classification ascendante hiérarchique, peuvent être mobilisées. La difficulté pour l'élaboration de bases de données à large échelle (régionale ou nationale) est le nombre important d'unités à enquêter ainsi que le nombre de variables à renseigner constitue un frein aux généralisations de cette démarche.

Les variables sur lesquelles porte l'évaluation sont naturellement très diverses compte tenu des enjeux auxquels l'agriculture est confrontée, de la faisabilité technique et la cohérence agronomique en passant par les critères économiques, environnementaux qui sont à l'heure actuelle les plus courants. L'aspect social avec les deux autres critères constituant les trois composants de la durabilité. C'est à l'évaluateur de choisir le domaine selon ce qu'il veut avoir comme résultat.

1.4.2 Types d'évaluation

1.4.2.1 Évaluation de la faisabilité technique

Toutes les pratiques agricoles constituant l'itinéraire technique de chaque sole font l'objet d'une évaluation vis-à-vis leur faisabilité technique et leur niveau de maîtrise (qualité d'exécution des opérations). La faisabilité technique est l'aptitude à mettre en œuvre le corps de règles de décision (RDD) c'est-à-dire la capacité à réellement mettre en œuvre au cours du temps les RDD définies au préalable (Loyce et Wery, 2006). Ces dernières résultent de la formalisation de la relation contexte-décision adaptée aux objectifs et aux contraintes de l'agriculteur, elles sont une sorte de modèle pour l'action de l'agriculteur (Sebillotte et Soler, 1990). En formalisant d'une manière logique le i) réalisable des actions (objectifs) selon la situation de production, ii) les leviers à mettre en œuvre dans chacune des situations que l'on peut rencontrer et iii) le pourquoi et le comment faire des pratiques (Henry *et al.*, 2012). La faisabilité technique estime donc l'écart entre ce qui est proposé (théorie) et ce qui a été réalisé (le réel effectué). Le temps d'exécution des travaux est à cet effet prépondérant, ce

dernier peut être affecté par le parc matériel de chaque exploitation et les jours agronomiquement disponibles, (Debaeke *et al.*, 2008a, Munier-Jolain et Dongmo, 2010).

En zone semi-aride où le système céréales jachère travaillée est largement pratiqué, et le blé dur d'hiver est la culture dominante, la fréquence du labour dans la rotation, la date et la dose de semis, la qualité de la levée, la date du 1^{er} apport d'azote, le désherbage (date, type et technicité), l'irrigation: dates (début, fin), doses et enfin la date de récolte, constituent l'essentiel de l'itinéraire technique (Prévoist, 2012) leur application ou non par les agriculteurs, le respect du contexte physiologique, agronomique, climatique et technique de leur réalisation conditionne l'efficacité et la rentabilité de ces techniques (Munier-Jolain et Dongmo, 2010).

1.4.2.2 Évaluation de la cohérence agronomique

Signifie la capacité des règles de décision mises en œuvre à atteindre les objectifs agronomiques visés, en évaluant les finalités de processus de production ou les paramètres liés aux stades repères des cultures : à maturité le rendement et la qualité des produits, sont des très bons indicateurs de la cohérence agronomique de système de culture. À différents stades-clés du développement d'une culture, l'état sanitaire des cultures, l'indice foliaire, le statut azoté et hydrique (sol, plante) donnent des informations intéressantes, quantifiées ou estimées, sur les performances du système dans un environnement donné (Loyce et Wery, 2006).

Les règles de décisions qui contrôlent l'exécution des itinéraires techniques peuvent subir l'effet de certaines contraintes qui met la cohérence agronomique des SdC en question. Trois niveaux de contraintes sont à prendre en compte : i) contraintes internes aux systèmes de culture telle que les interactions entre les éléments d'un même système de culture, ii) les contraintes internes au système de production liées aux caractéristiques structurelles de l'exploitation combinaison des productions iii) contraintes externes liées à l'environnement de l'exploitation (milieu physique milieu socio-économique (Dongmo et Munier-Jolain, 2011; Debaeke *et al.*, 2008a).

1.4.2.3 Évaluation de la contribution des systèmes de culture au développement durable

1.4.2.3.1 Naissance du concept de développement durable(DD)

L'histoire de la genèse de développement durable est récente, les effets de l'activité anthropique sur l'écosystème commence à préoccuper la pensée humaine au milieu de 20ème siècle (1951) date de publication du premier rapport concernant l'état de l'environnement dans le monde par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). En 1971 au club du Rome, "Limits to Growth" a adapté une approche réaliste où il faut respecter des limites environnementales, de la technologie, et des institutions dans la conception des modèle de croissance économique. Le développement durable ne peut penser les unes sans les autres, il lui faut constamment articuler, faire des compromis (Meadows *et al.*, 1972). Une année après à Stockholm, la conférence mondiale des Nations Unies sur l'environnement humain est légendaire car elle sera à l'origine du premier vrai concept de développement durable (Lazzeri et Emmanuelle, 2008). Plusieurs notions clés ont été discutées: L'écodéveloppement, les interactions entre écologie et économie, le développement des pays du Sud et du Nord.

En 1987, dans le rapport Brundtland, la Commission mondiale pour l'environnement et développement (WCED, 1987), adopte la notion du développement durable, sous la définition d' « un processus de transformation dans lequel l'exploitation des ressources, la direction des investissements, l'orientation des techniques et les changements institutionnels se font de manière harmonieuse et renforcent le potentiel présent et à venir permettant de mieux répondre aux besoins et aux aspirations de l'humanité ». La définition retenue pour le développement durable est qui sera utilisée et adoptées ultérieurement par la communauté scientifique stipule que « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». En 1992, l'année de la 2ème conférence mondiale des Nations Unies sur l'environnement « Sommet de terre II». Avec la signature de l'agenda 21, le concept du développement durable passe en actes (United Nations, 1992), avec 27 principes d'action qui vise l'éradication de la pauvreté et réduire les inégalités entre le Nord et le Sud. Les résultats ont parfois été critiqués en raison du premier de ces impératifs qui paraît cautionner des logiques qui ont conduit aux dégâts environnementaux et aux inégalités qu'il dénonce (Gilbert, 2001).

En 2005, le Millennium Ecosystem Assessment, réalisé sous l'égide de l'Organisation des Nations Unies, conclut clairement : « Au cours des cinquante dernières années, l'homme a généré des modifications au niveau des écosystèmes de manière plus rapide et plus extensive que sur aucune période de l'histoire de l'humanité, en grande partie pour satisfaire une demande à croissance rapide en matière de nourriture, eau douce, fibre, bois de construction et énergie » (Maynard, 2008). Ce rapport alarmant pointe la responsabilité de l'agriculture dans la dégradation des écosystèmes, dans la perte de la biodiversité et l'épuisement des ressources non renouvelables engendrant ainsi une diminution des avantages que les générations futures pourraient tirer des écosystèmes (MEA, 2005).

1.4.2.3.2 L'agriculture durable

L'agriculture durable s'inscrit dans une démarche plus générale du développement durable, consistant à répondre "aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs" (Rapport Brundtland, 1987), en couvrant le triptyque "environnemental, social et économique du développement durable" (fig.1.5). Selon ce contexte une agriculture durable est écologiquement saine, économiquement viable, socialement juste et humaine (Pearce et Walrath, 2008).

D'autres auteurs mettent l'accent sur la préservation de la capacité productive et la permanence des systèmes naturels qui les considèrent comme une condition primaire, sur laquelle la rentabilité et la répartition équitable des bénéfices dépendent. Cela est reconnu dans la définition de Gordon : « L'agriculture durable est celle qui est résistante aux crises et aux chocs, qui combine la productivité, la stabilité et l'équité » (Vorley, 2001). La définition de la FAO évoque la productivité des systèmes naturels elle stipule que : « L'approche d'une agriculture durable aspire à favoriser le développement durable dans l'agriculture, la pêche et les secteurs de la sylviculture qui conservent la terre, l'eau, les plantes et les ressources génétiques animales, non-dégradantes, techniquement appropriées, économiquement viable et socialement acceptable » (Lenerts *et al.*, 2017). La plupart des auteurs convergent néanmoins pour considérer la durabilité comme un concept qui est (i) spécifique (ii) dynamique, (iii) nécessitant d'être analysé à des échelles spatiales, sociales et temporelles clairement déterminées. Il est par ailleurs généralement admis qu'une agriculture durable conjugue trois dimensions essentielles : (i) qualité environnementale (ii) performances agro-économiques élevées et (iii) acceptabilité sociale (Schindler *et al.*, 2015 ; Lichtfouse, 2009; Rasul et Gopal-Thapa, 2004).

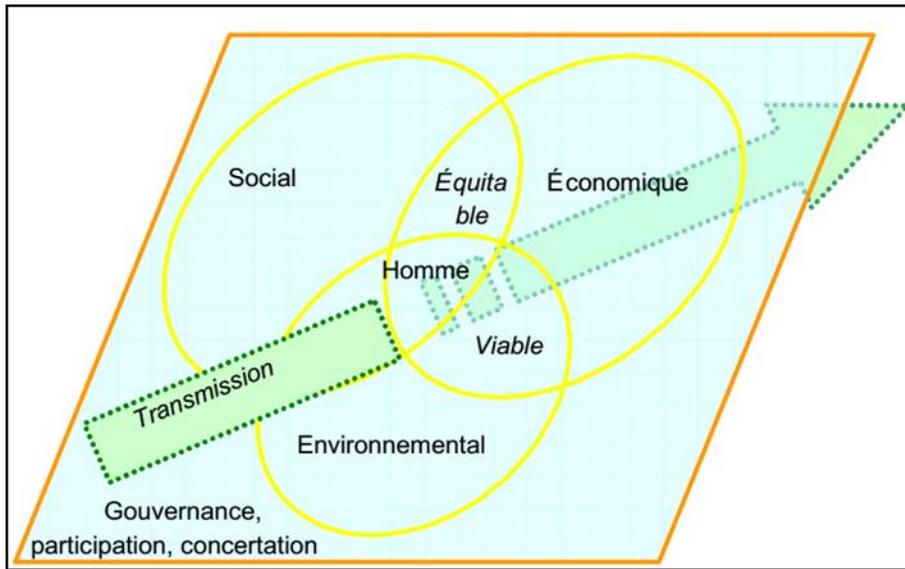


Figure 1.5 Les différentes échelles de la durabilité (López -Ridaura *et al.*, 2002).

L'extension d'échelle de la durabilité aux systèmes agraires, exige l'élargissement du concept à travers les sept propriétés générales des systèmes de gestion des ressources naturelles. Ces propriétés sont : i) la productivité, ii) la stabilité, iii) la fiabilité (iv) la résilience, v) l'adaptabilité; vi) l'équité; vii) et l'autonomie (López -Ridaura *et al.*, 2002).

1.4.2.3.3 La notion d'indicateur

Trouve ces origines dans différentes disciplines, le concept d'indicateur fut introduit dans le domaine de l'environnement par Hall et Grinell en 1919 en l'appliquant à des espèces végétales et animales pour caractériser des zones de vie particulières (Lairez *et al.*, 2016).

Le recours aux indicateurs dans le domaine économique fait son exploit avec le développement de comptabilité nationale et les tentatives de calcul des richesses dans les années 1940. En sociologie les indicateurs furent utilisés par Lazarsfeld en 1958 pour traduire les concepts théoriques (abstraites) en variables observables (Gadrey et Jany-Catrice, 2005).

L'émergence des problèmes environnementaux et du débat sur DD fait des indicateurs, éléments indissociables pour guider le développement durable et les décisions publiques, évaluer les modèles de développement et de croissances actuels, et contribuer à la conception des solutions innovantes (Keichinger, 2013). Selon Boulanger (2004), un indicateur synthétise, ou simplifie des données ou des variables jugées pertinentes pour accéder aux variables plus

difficiles d'accès ou d'un système plus complexe. Il repose sur une relation approuvée ou supposée entre la (les) variable (s) utilisée (s) pour rendre compte d'une réalité complexe et difficilement mesurable. L'indicateur peut résulter d'une mesure, d'une observation, d'une donnée statistique, d'un calcul, d'une sortie de modèle dans le cas d'indicateur simples ou d'une agrégation de variables pour des indicateurs composites (Riley, 2001 ; Mitchell *et al.*, 1995 ; Gras *et al.*, 1989), pour être utilisés comme outils d'évaluation, de prise de décision. Ils permettent d'évaluer les performances d'un système et ces évolutions. il joue le rôle d'un système d'alerte en suivant l'évolution anormale des phénomènes étudiés (Geniaux *et al.*, 2009). Dans le cadre du développement durable, les indicateurs permettent de mesurer ou estimer les impacts des différents systèmes sur les trois composantes de la durabilité (Lairez *et al.*, 2016), leur quantification s'effectue à partir d'un ensemble de données brutes et de leur analyse (fig. 1.6)

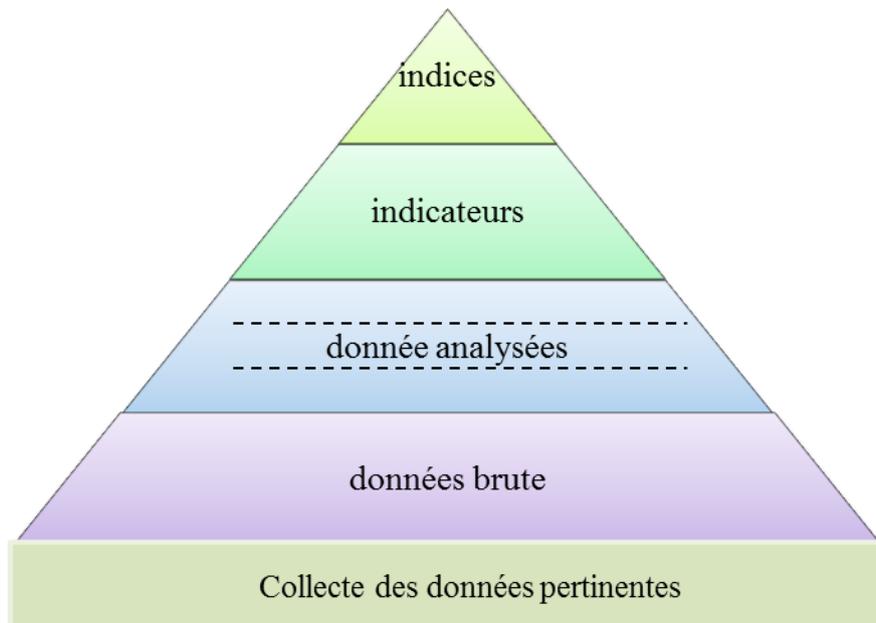


Figure 1.6 Pyramide des informations d'après (Geniaux *et al.*, 2009).

La pyramide montre les différents niveaux d'agrégation et de synthèse d'informations ; depuis les données élémentaires aux indicateurs agrégés. Certains indicateurs sont le résultat de l'agrégation, avec ou sans pondération. Dans la pratique, la difficulté réside dans la transition entre chaque étage de la pyramide (modes de pondération et d'agrégation).

1.4.2.3.4 Types d'indicateurs

La typologie des indicateurs est fonction des approches utilisées pour articuler et intégrer les processus impliqués dans les phénomènes ou le système évalué. L'objectif d'une évaluation est de rendre compte des effets ou des conséquences des activités anthropiques (pratiques culturelles politiques publiques, processus de production etc.) sur les écosystèmes et les socio systèmes. Plusieurs approches ont été proposées avec différents indicateurs, mais ceux qui ont eu le plus d'influence sont le modèle "pression état ressources" (PER) et le modèle "forces motrices, pression, état, impact et réponse" (DPSIR) (Geniaux *et al.*, 2009).

a- Le modèle PER

Le modèle pression état ressources a été développé dans les années 1980 pour organiser l'analyse environnementale en chaînes causales (fig.1.7). Centrée sur l'état de l'environnement, la pression est perçue comme exercée par l'activité humaine à travers les flux de pollution et la consommation de ressources, tandis que la réponse englobe les mesures sociétales prises en réaction à l'état ou au changement d'état (Lairez *et al.*, 2016 ; Geniaux *et al.*, 2009).

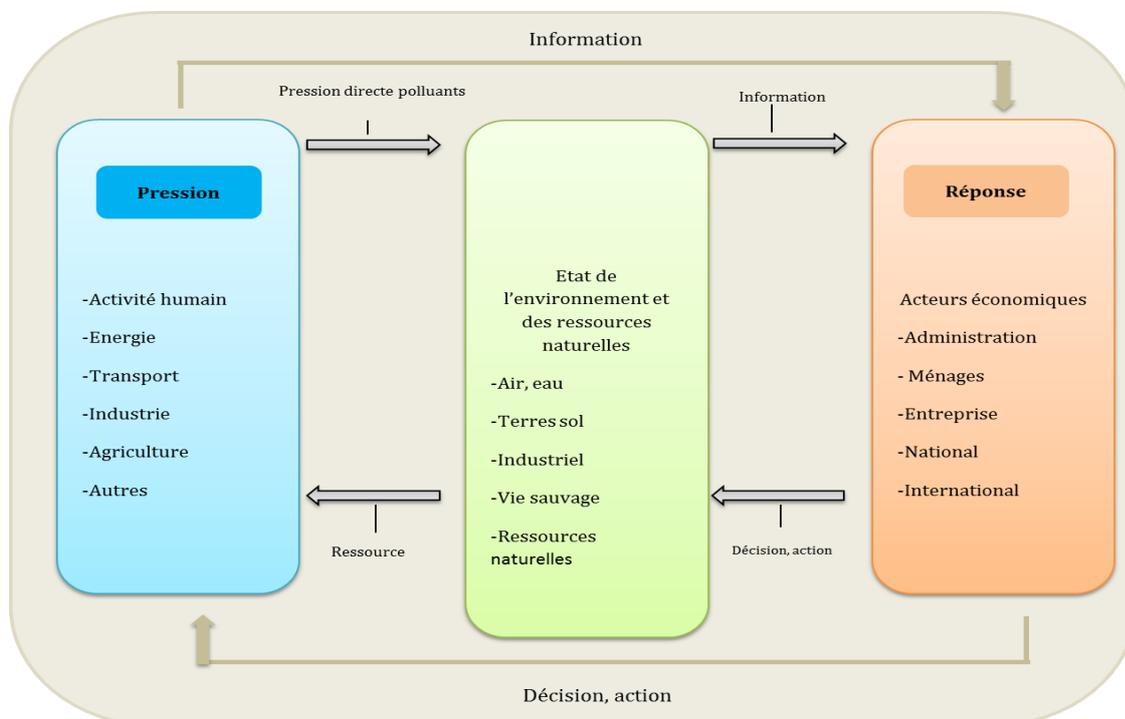


Figure 1.7 Le modèle pression état réponse (OCDE, 1999).

Ce modèle classe les indicateurs en trois types : i) Les indicateurs de pression ; estiment les pressions directes et indirectes qu'exerce une activité humaine sur le milieu. ii) Les indicateurs

d'état qui décrivent les phénomènes physiques (passage répété des outils de travail du sol sur la structure de ce dernier), biologiques (faune nuisible), chimiques (trace d'herbicide et concentration de nitrate dans les eaux souterraines). Ils permettent d'élaborer un diagnostic global de l'écosystème étudié, iii) et Les indicateurs de réponse qui décrivent les réactions des parties prenantes pour faire face aux différentes atteintes à l'équilibre des écosystèmes (prévenir, compenser ou s'adapter aux changements).

b- Le modèle DPSIR

Le modèle de l'agence européenne pour l'environnement (AEE) ; forces motrices pression état impacte réponse (plus connue sous le sigle DPSIR (Smeets et Weterings, 1999), est une extension du modèle PER (fig. 1.8). Ce modèle distingue la cause de la pression exercée par l'activité humaine sur l'environnement, principalement à travers la consommation énergétique et la production agricole et industrielle, de la pression elle-même (émissions de CO₂ par exemple). Les forces motrices ont été introduites car le modèle PER a été considéré incompatible avec le système social et économique ; les forces motrices représentent les activités anthropiques (Ronchi *et al.*, 2002).

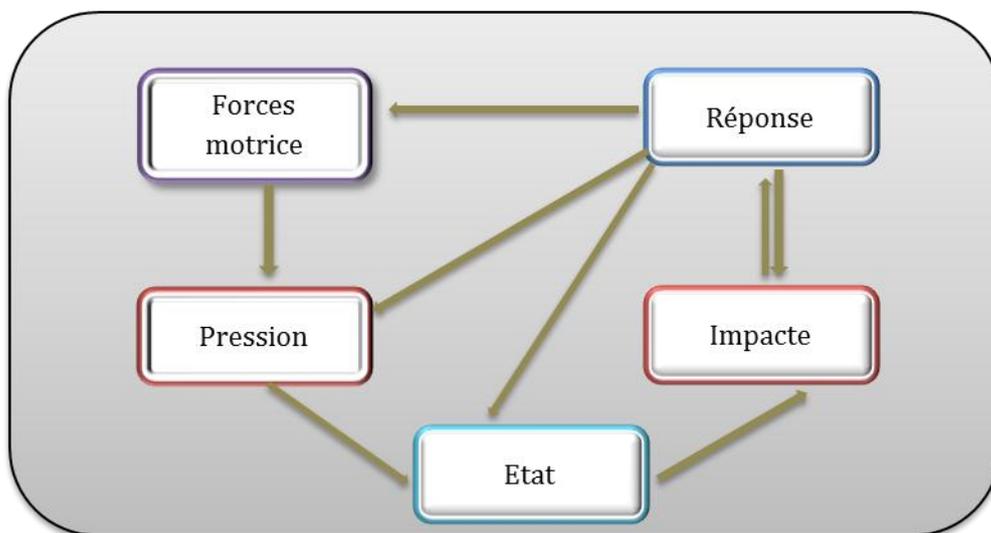


Figure 1.8 Le modèle force motrice pression état impacte réponse (Ronchi *et al.*, 2002).

L'avantage de ce modèle réside dans le fait que les chaînes causales sont faciles à concevoir et sont particulièrement adaptées à certaines interactions simples entre économie et

environnement. L'activité économique (consommation, production) reste le moteur principal dans ce processus. Ce modèle classe les indicateurs en 4 groupes (Payraudeau, et Van der Werf, 2005) :

- ❖ **Les indicateurs descriptifs d'impact** qui décrivent les effets extrêmes engendrés par les changements d'état ou de forces motrices décrivant le développement, économique, social et démographique de la société et son implication dans les changements du mode de vie, du modèle de consommation et de production.
- ❖ **Les indicateurs de performance**, permettent de répondre à la question : les résultats obtenus sont-ils satisfaisants au regard des objectifs qui leur avaient été fixés?
- ❖ **Les indicateurs d'efficacité**, qui donnent un aperçu sur l'efficacité des politiques publique, des processus de production et de transformation.
- ❖ **Les indicateurs de bien-être total** qui intègrent les indicateurs des trois piliers de DD afin d'évaluer leurs effets sur le bien-être total (humain et animal).

Malgré leurs utilisations à l'échelle internationale, ces modèles possèdent plusieurs limites (Bockstaller *et al.*, 2013). L'identification des indicateurs pour ces catégories n'est pas toujours simple et elles donnent l'impression d'une linéarité du processus mono factoriels, alors que ces derniers sont plus complexes vue la nature systémique et dynamique de nombreux processus de cause à effet, et les relations qui peuvent exister entre les différentes causes elles-mêmes ou les effets eux-mêmes. La notion de pression est assez ambiguë désignant tantôt des pratiques, tantôt des émissions (Bockstaller *et al.*, 2009 ; Geniaux *et al.*, 2009).

1.4.2.3.5 Critères de choix d'un indicateur

Pour qu'un indicateur puisse avoir une place dans la liste finale des indicateurs retenus, il doit remplir plusieurs critères dont les principaux sont : i) pertinent par rapport à l'objectif et aux politiques générales, ii) flexible vis-à-vis la diversité des situations, iii) facile à obtenir soit par mesure direct, calcul ou données statistiques, iv) sensible aux variations v) opérationnel ; indicateur disponible à un coût acceptable, vi) simple et compréhensible, (Bockstaller *et al.*, 2013 ; Kristle et Sudhakara, 2012). Ces critères n'ont pas la même importance, le système à évaluer, l'échelle, les finalités et l'utilisateur, conditionne la hiérarchisation logique des critères.

1.4.2.4 Méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes de production

La conception et l'évaluation de systèmes de culture innovants et durables est nécessaire en raison du contexte évolutif de l'agriculture. De par ses modes de production intensifs, sa fonction de production alimentaire et l'utilisation particulière qu'elle fait des ressources naturelles, l'agriculture est l'un des domaines les plus concernés par la question du développement durable (Humbert, 2008 ; Charvet, 2007). L'évaluation de la durabilité est une tâche complexe, elle vise à soutenir la prise de décision dans un contexte environnemental, économique et social plus vaste (Deytieux *et al.*, 2016 ; Sala *et al.*, 2015).

Face à ce foisonnement de méthodes d'évaluation, basées sur des listes plus ou moins organisées d'indicateurs, l'utilisateur peut cependant rester perplexe et s'y perdre. Cela l'amène souvent à un choix contig.

1.4.2.4.1 Description de quelques méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes de culture

De nombreuses méthodes d'évaluation multicritères existent pour aborder les triptyques de l'agriculture durable ou une de ces composantes surtout la dimension environnementale à diverses échelles. Le point commun de toutes ces méthodes est qu'elles utilisent en général un jeu d'indicateurs pour évaluer l'atteinte des objectifs assignés et quantifier la contribution des systèmes évalués au DD.

a- Méthode INDIGO® (Indicateurs de diagnostic global à la parcelle)

Cette méthode s'intéresse au volet environnemental de la durabilité, elle est conçue par l'institut national de recherche agronomique (INRA) de France avec le soutien de l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) et l'université de Lorraine, durant la période 1994 -2004. Elle est implantée sur un modèle informatique de 2004 au 2010 (Bockstaller et Rabolin, 2011 ; Girardin *et al.*, 2000), cette méthode permet i) d'identifier les points faibles et les points forts des systèmes, ii) de repérer les pistes d'améliorations pour orienter le conseil iii) et de sélectionner les systèmes de culture les plus performants. Cette méthode se compose de 10 indicateurs synthétiques : Assolement, succession culturale, matière organique, phosphore, azote, phyto (I-Phy), irrigation, énergie (Bockstaller et Girardin, 2008). Ces indicateurs sont exprimés sur une échelle de performance

environnementale entre 0 (impact inacceptable) et 10 (impact faible voire nul) avec une valeur de référence à 7 correspondants à un minimum acceptable.

Le champ d'application de cette méthode englobe les grandes cultures, viticulture, polyculture-élevage et élevage (surface en prairies). La sensibilité des indicateurs aux pratiques agricoles à l'échelle de la parcelle permettant une analyse détaillée des pratiques (Ex: par application de substance active) et une prise en compte du milieu dans l'évaluation des impacts. Parmi les inconvénients de la méthode INDIGO, on cite le non prise en compte des processus hydrologiques au niveau du bassin versant et la négligence des thématiques spécifiques à l'élevage (bâtiment d'élevage, conduite du troupeau, etc.)

b-Méthode MASC

La méthode MASC pour *Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems*) développée par l'INRA France depuis l'année 2008 (Craheix *et al.*, 2011). Elle permet, par une approche multicritère, d'évaluer la durabilité ex-ante et ex-poste des systèmes de grande culture à la fois d'un point de vue environnemental, économique et social. Le principe de fonctionnement de la méthode MASC 2.0 est fondé sur un arbre d'agrégation hiérarchique mis en œuvre grâce au logiciel d'aide à la décision DEXi (Bohanec, 2008), ce dernier permet de décomposer tout problème décisionnel complexe en sous-problèmes plus faciles à résoudre. Chaque critère de l'arbre est exprimé de façon qualitative sous la forme « fort », « moyen », « faible ».

MASC se compose de 39 critères basiques (ou " feuilles de l'arbre "). Qui sont le résultat d'indicateurs qui permettent une évaluation des effets des systèmes de culture sur les valeurs prises par les critères renseignés et de 26 critères agrégés (ou " nœuds internes " de l'arbre). Ces critères permettent d'agréger " pas à pas " les informations comprises dans les critères de niveaux inférieurs jusqu'au critère racine intitulé « Contribution au développement durable » suivant des fonctions d'utilité régies par des règles de type " si, alors ".

Cette méthode est munie d'un calculateur (CRITER) qui calcule directement 21 critères de base de l'arbre d'évaluation multicritère MASC 2.0 à partir des données d'entrées relatives aux SdC en place. Et il contribue au renseignement d'une partie de 18 autres critères de base en calculant 18 critères utiles au renseignement des arbres satellites. CRITER fournit également les valeurs de variables intermédiaires (ou d'indicateurs de résultats courants) via 24 critères de diagnostic, afin de faciliter l'activité de compréhension, d'analyse et de

diagnostic des résultats de caractérisation obtenu de ses utilisateurs (Hirschy *et al.*, 2015; Sester *et al.*, 2015).

c- La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles)

Avec une échelle d'étude couvrant l'exploitation agricole, La méthode IDEA est construite en répondant à une demande de la direction générale de l'enseignement et de la recherche (DGER France) dont l'objectif est de mettre à la disposition de l'enseignement agricole un outil d'évaluation de la durabilité qui soit pertinent, sensible, et fiable (Briquel *et al.*, 2001). Cette méthode a été utilisée et testée dans son pays d'origine par plusieurs auteurs (Molénat *et al.*, 2007 ; Zahm *et al.*, 2007 ; Pradel et De l'Homme, 2005) et elle fait l'objet d'une adaptation à des contextes différents, en Liban, Tunisie. En Algérie cette méthode a été mobilisée par Benidir (2015), Bekhouche-Guendouz (2011), Ghozlane *et al.*, (2010), Allane (2008), Bir (2008) et Far (2007), pour évaluer la durabilité des exploitations agricoles dans des contextes pédoclimatiques et socioéconomique différents.

Cet outil rassemble 42 indicateurs et 10 composants couvrant les trois échelles de la durabilité agro-environnementale, socio-territoriale et économique (Vilain *et al.*, 2008), les 18 indicateurs de première échelle abordent trois domaines auxquels est accordée la même importance: la diversité des productions, l'organisation de l'espace et les pratiques agricoles. La dimension socio territoriale représentée par 18 indicateurs est répartie sur trois composants: la qualité des produits et du territoire, l'emploi et les services au territoire et le développement humain. En fin l'échelle économique est représentée par 6 indicateurs et 4 composantes (viabilité, indépendance transmissibilité et efficacité). Chaque indicateur est noté d'après un barème établi à dire d'experts. L'addition des notes à l'intérieur de chaque échelle génère un score, sachant que l'échelle la moins bien notée sur les trois indique le niveau de durabilité. C'est à l'évaluateur ou le conseiller agricole de discerner les points forts et les faiblesses où il doit intervenir pour améliorer la durabilité de l'exploitation (Vilain *et al.*, 2008 ; Briquel *et al.*, 2001).

1.4.2.5 Limites de l'évaluation

Le problème d'hierarchisation des objectifs et des dimensions lors d'évaluation de systèmes de culture est d'envergure : pour qu'un système de culture soit acceptable socialement, sa dimension économique à court terme revêt plus d'importance que sa dimension environnementale à long terme, alors que la capacité de production à long terme sera

négalement influencée par les enjeux environnementaux et écologiques (pollution et épuisement de sol). La répartition du poids entre et intra dimensions n'a jamais été source d'entente entre parties prenantes du secteur agricole, le temps lui seul qui annonce le verdict (Deytieux *et al.*, 2016; Bockstaller *et al.*, 2013).

Le temps disponible, les ressources financières, et humaines (compétences), les données (disponibilité et fiabilité) peuvent façonner l'opération d'évaluation, leur manque n'influence pas les finalités mais celui de l'échelle de l'évaluation. En effet les ressources ont un impact sur l'étendu (dimension spatiale), le périmètre (niveau de détail de l'information d'évaluation) et la durée. Pour l'échelle temporaire Ecker *et al.* (2000) suggèrent une moyenne d'observation de 3 ans lors de l'étude de la durabilité de l'agriculture; une période qui n'est pas facile à l'assurer.

Rosnoblet *et al.*, (2006) ont recensé plus de 150 méthodes, ce nombre pose le problème de choix par l'utilisateur de la ou les méthodes les mieux adaptées à son contexte. Ce choix est habituellement cadré par les objectifs et les finalités. Or ce dernier peut influencer sur les résultats (Deytieux *et al.*, 2016; Galan *et al.*, 2007).

2 Conception de systèmes de culture innovant : où sont les méthodes

Les moteurs de réinvention et d'évaluation des systèmes de culture en Algérie et les objectifs alloués à l'agriculture par les parties prenantes évoqués dans la première partie ce chapitre, rendent nécessaire la conception ou la reconception de SdC existants, afin de répondre aux attentes et objectifs de durabilité. Cette conception doit mobiliser toutes les démarches méthodologiques afin de répondre à des défis multiples, à la fois environnementaux (conservation du sol, réduction des émissions de gaz à effet de serre, préservation de la biodiversité, ect.) et de production (sécurisation et augmentation de la production, amélioration de la qualité des produits, adaptation à l'économie de marché, ect.), dans une optique de développement durable.

2.1 Conception des systèmes de culture

Hatchuel *et al.* (2013), définirent la conception comme la capacité du concepteur à générer des concepts qui dépassent leurs connaissances initiales et qui, pour lui, sont satisfaisantes. En production végétale, par conception de système de production on entend un processus actif, intentionnel et continu que les agronomes ou les agriculteurs mettent en œuvre par « essai-

erreur » à partir des données et informations émis de différentes sources (organismes de recherche et développement), et qui vise la génération simultanée des concepts et des connaissances qui déboucheront sur de nouveaux systèmes innovants qui répondent aux exigences des parties prenantes du secteur agricole par la mise en place des nouveaux produits et de nouvelles technologies (Meynard *et al.*, 2006 ; Loyce et Wery, 2006). Il n'existe évidemment pas de système de culture qui serait optimal pour toutes les situations de production. En conséquence, la réflexion agronomique s'est développée sur la question de la conception de systèmes de culture adaptés aux spécificités du milieu et aux objectifs particuliers qu'on se fixe à l'échelle de la parcelle mais aussi à l'échelle de l'exploitation et de territoire. La rotation qui signifie une répétition cyclique de séquences de culture à un endroit donné d'une exploitation (Leteinturier *et al.*, 2006), est un point de départ intéressant pour concevoir de nouveaux systèmes de cultures (Sébillotte, 1990).

2.2 Démarche de conception des SdC

Toutes démarches de conception doit être précédée par une phase de diagnostic agronomique et d'évaluation ex-post pour déterminer le taux de satisfaction des objectifs, les points faibles et les points forts des SdC en place (fig. 1.9). À la base de ce diagnostic la phase de génération des SdC s'enchaîne (innovation technique, ajustement de l'itinéraire technique, ect.). Les SdC conçus font l'objet d'une évaluation ex- ante. Une fois les performances de ces SdC satisferont les objectifs assignés ils seront diffusés auprès des agriculteurs (Loyce et Wery, 2006).

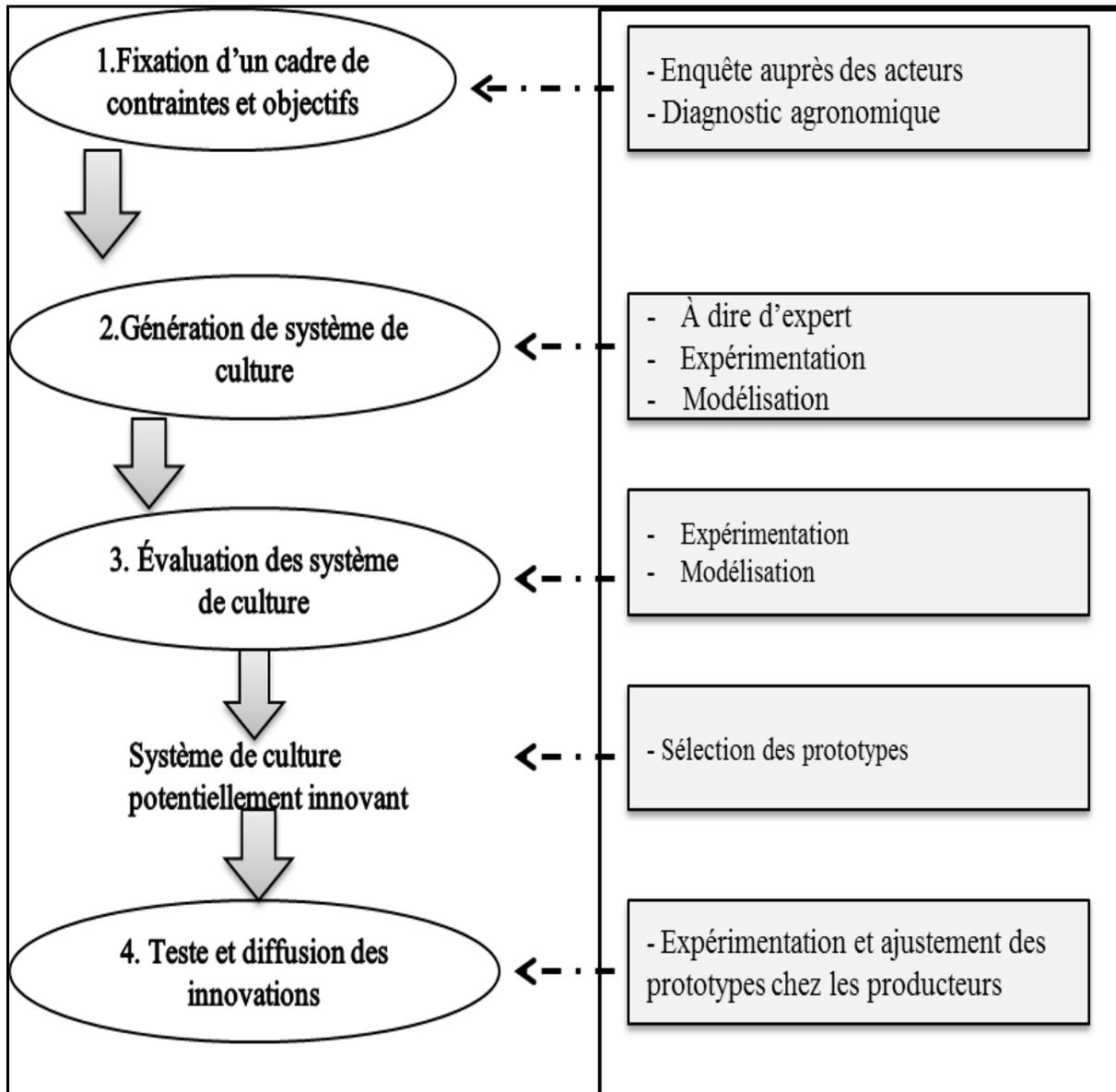


Figure 1.9 Démarche de conception de systèmes de culture et contribution des différents outils de l'agronomie systémique (Loyce et Wery, 2006).

Si les systèmes nouvellement conçus présentent des failles lors de l'évaluation ces derniers font l'objet d'une re-conception et des ajustements auront lieu (cycle de progrès). Une fois l'opération terminée, ces systèmes seront évalués à nouveau et diffusés ou ils seront réintégrés à nouveau dans le cycle de progrès (fig.10).

2.3. Améliorer l'existant ou construire de novo

D'après Meynard *et al.*, (2012) deux types de conception de systèmes agricoles peuvent être mobilisés :

2.3.1 La conception dite "pas à pas "

Elle s'attache à améliorer progressivement les systèmes existants pour les adapter aux nouveaux objectifs. Cette démarche de progrès est itérative : des changements sont apportés progressivement au système dans le cadre de boucles successives d'essai/erreur ou boucle de progrès construit de quatre étapes **i) Plan**, définir (planifier), les actions à entreprendre, les modifications des SdC à mener à bien, elle se nourrit d'un diagnostic préalable **ii) Do**, mettre ces modifications en œuvre ; **iii) Check**, évaluer les nouveaux SdC (déduire le niveau d'attente des objectifs) ; **Act**, en réalisant un diagnostic sur les raisons pour lesquelles certains objectifs n'ont pas été atteints et définir les actions à mener pour la prochaine boucle. Cette méthode simule les dynamiques d'apprentissage sur les innovations techniques introduites chaque année. Dans ce cas le travail de conception est précédé par un diagnostic qui indique les critères qui ne sont pas satisfaisants, les fonctions agronomiques et éco-systémiques mise en cause et les techniques à modifier (Reau *et al.*, 2012; Mischler *et al.*, 2011; Doré *et al.*, 2006). A la base de ce diagnostic des corrections et des améliorations seront apportées au SdC qui sera mis en œuvre, et puis, un nouveau diagnostic sera établi et le SdC continue son évolution dans une spirale d'amélioration continue. La conception pas à pas à bénéficier des progrès importants des méthodes d'analyse systémique in situ offrant ainsi un diagnostic précis et fiable. Elle présente l'avantage de s'adapter facilement aux contraintes spécifiques de chaque exploitation

2.3.2 Une conception innovante (dite "de novo")

Il s'agit ici d'ouvrir le champ des possibles afin de surmonter les limites de réalisme (« que ce soit immédiatement opérationnelle ») ou de conservatisme reproché aux démarches pas à pas, pour répondre aux objectifs fixés (Meynard, 2008; Meynard *et al.*, 2012). La conception innovante ou exploratoire nécessite une exploration très large des combinaisons, de techniques, bien au-delà de ce que les meilleurs experts connaissent, elle s'applique aux situations dont lesquelles les objectifs de la conception restent plus flous compte tenu de l'incertitude supérieure qui pèse sur l'activité de conception par rapport à un cadre de conception réglée, de ce fait, les modèles agronomiques constituent un moyen très efficace pour faire de la conception 'de novo' (Jeuffroy *et al.*, 2008). La remise en cause éventuelle des cadres d'analyse traditionnellement utilisés, la rupture forte de nouveau système par rapport à l'existant ou la prise en compte de nouveaux objectifs autour desquels peu de compétences et de connaissances sont disponibles invitent à des démarches de conception

adaptables, plus ouvertes, plus pluridisciplinaires, et plus collectives qu'en régime de conception réglée..

Que ce soit la conception pas à pas ou de la conception de novo ces deux familles de méthodes ont l'expérimentation comme point commun pour tester les performances des systèmes de culture nouvellement conçus (Novak, 2008). En zones méditerranéennes semi-arides (hautes plaines Algérienne) où l'eau est le facteur limitant de la production végétale, l'objectif de la conception des SdC innovants est de maximiser le stockage de l'eau dans le sol et améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau (Debaeke *et al.*, 2008b). Dans ces conditions restrictives, le choix d'une variété, d'une espèce cultivée, d'une succession de cultures (introduire une jachère nue pour stocker et conserver l'eau), de la date et la dose de semis sont envisageable. Un travail du sol superficiel avec mulch de résidus de culture pour limiter l'évaporation et faciliter l'infiltration en réduisant le ruissellement, constitue aussi des bonnes alternatives (Latreche et Abbas, 2018 ; Debaeke, 2008b ; Unger *et al.*, 1991).

2.4. Les ressources méthodologiques de la conception des systèmes de culture

Les systèmes agricoles innovants peuvent avoir diverses origines, parfois ils viennent des agriculteurs, parfois des organismes de recherche, parfois des organismes de développement. Le plus souvent les systèmes de culture innovant sont le résultat de la combinaison de tous efforts via une approche participative. De ce fait l'innovation dans l'agriculture, comme dans d'autres secteurs, est le plus souvent un processus collectif et interactif. Il ne doit pas être considéré comme un processus linéaire, dans lequel se succèdent des étapes de recherche, de conception, de développement, de production et de diffusion, mais comme le résultat de va-et-vient entre ces activités. Le Masson *et al.* (2006) ont montré que les capacités d'innovation d'une structure ou d'un collectif sont très conditionnées par la gestion de ses activités de conception (le «moment» où l'innovation du concept apparaît et se définit) et l'organisation de ses relations avec la recherche et le développement.

2.4.1. La conception basée sur l'expérimentation: la méthode du diagnostic agronomique

La démarche de prototypage a été mise au point initialement par Vereijken pour concevoir des systèmes de production « intégrés » ou écologiques à l'échelle de l'exploitation agricole (Novak, 2008), puis reprise dans de nombreuses expériences de conception de systèmes de culture (Salembier *et al.*, 2018 ; Blazy *et al.*, 2009 ; Rapidel *et al.*, 2009 ; Lançon *et al.*, 2007 ;

Stoorvogel *et al.*, 2004 ; Rossing *et al.*, 1997) et de système d'élevage, notamment sur l'exploitation laitière (Langeveld *et al.*, 2005).

Cette méthode comporte 5 grandes étapes :

- Détermination et hiérarchisation des objectifs à atteindre;
- La transformation de ces objectifs en paramètres et l'établissement de méthodes de gestion permettant d'atteindre les objectifs fixés;
- Conception d'un ou plusieurs prototypes théoriques de système de culture sur la base des techniques identifiées, en spécifiant l'ordre de leur mise en œuvre et leur cohérence;
- Test du prototype dans des conditions réelles, dans des fermes expérimentales ou chez des agriculteurs;
- Diffusion du prototype une fois que les objectifs ont été atteints par les fermes d'expérimentation qui peuvent servir comme fermes de démonstration, les agriculteurs servent de formateurs pour d'autres agriculteurs intéressés par le prototype.

La méthode du prototypage peut être très efficace pour faciliter l'interdisciplinarité entre des chercheurs et impliquer les agriculteurs dès le départ. Elle a l'avantage de produire rapidement des systèmes de cultures innovants et de les diffuser dans des fermes pilotes. Cependant, l'évaluation sur le terrain du prototype nécessite du temps (4 à 6 ans d'après Vereijken (1997)), et entre-temps les contextes de prix, de politique agricole ou d'innovation technologique peuvent être changés, rendant les prototypes testés caduques ou obsolètes.

2.4.2 La conception à dire d'expert

Cette méthode est fondée sur la mobilisation du savoir détenu par les chercheurs, elle s'impose lorsque la diversité des techniques à tester, est souvent déjà pratiquée par les agriculteurs et ne peut pas être prise en compte par les modèles de culture (le délintage des semences, les régulateurs de croissance et des variétés plus déterminées) (Loyce et Wary, 2006), le processus de conception se déroule en trois étapes (fig. 1.10):

La première consiste à définir un cahier des charges répondant aux enjeux et surmonte les contraintes de production à travers un diagnostic agronomique.

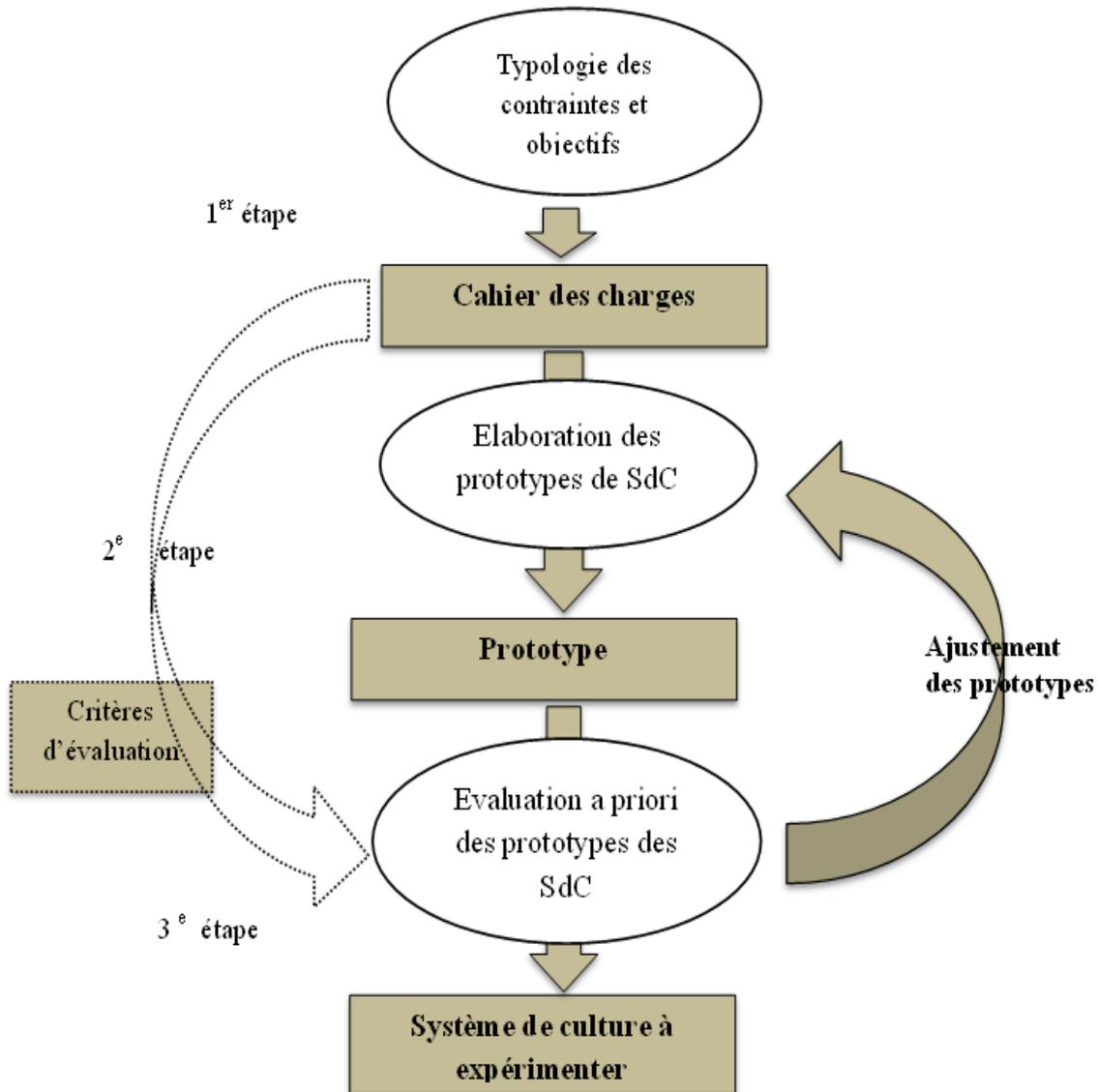


Figure 1.10 La démarche d'élaboration des prototypes à dire d'expert (Lançon *et al.*, 2008).

Le cahier de charge doit être complété par un ensemble de critères d'évaluations composés d'indicateurs mesurables. En seconde étape les experts construisent un ou plusieurs prototypes théoriquement performants et qu'ils estiment en mesure de répondre à ces enjeux. En troisième étape, une évaluation ex-ante des prototypes, afin de sélectionner, parmi les systèmes de culture imaginés les plus promoteurs avant de les expérimentés au champ (Lançon *et al.*, 2008). Après un ou plusieurs cycles d'itération entre les phases 2 et 3 on aboutit à un « prototype technique » qui peut ensuite entrer dans une phase de test plus large avec les acteurs ou servir de base à une deuxième phase de prototypage dans un réseau de fermes pilotes (Loyce et Wery, 2006).

Le choix des experts est d'importance car ils sont responsables de la réussite de la démarche de conception. Un groupe de 5 à 10 experts est alors choisi pour mobiliser une expertise au long de processus de conception (il est souhaitable de mobiliser les porteurs d'enjeux, qui assure la pertinence de l'analyse du contexte, valide les contenus du cahier des charges et confirme le choix des meilleurs prototypes à évaluer au champ) (Lançon *et al.*, 2008). La notion de prototype est naturellement liée à son évaluation au champ dans des conditions définies par le jeu de contraintes et d'objectifs, même elle est doublement justifiée (confirmer les performances de SdC fortement innovant et prévoir les risques éventuels que les agriculteurs peuvent rencontrer au cours de la mise en place de ces SdC) (Debaeke *et al.*, 2008a). La conception à dire d'expert s'intègre dans la démarche participative de conception des systèmes de culture innovants, le point fort de cette méthode est sa capacité à solliciter des chercheurs et des experts interdisciplinaires dont les points de vue peuvent être à priori divergents. Les agriculteurs sont impliqués dès le départ du processus de conception (Le Gal *et al.*, 2011; Lançon *et al.*, 2008; Novak, 2008). Cette démarche reste coûteuse et consommatrice du temps, car l'expérimentation au champ mobilise des moyens financiers et humains importants qui ne sont pas toujours disponibles.

2.4.3. La conception assistée par modèle agronomique (l'approche *in silico*)

Certaines méthodes de conception accordent une place majeure aux modèles agronomiques et ne font pas participer les acteurs. De ce fait, elles sont souvent qualifiées de 'in silico'. Les modèles de culture jouent un rôle grandissant dans la gestion des ressources et le développement durable dans divers contextes agro-écologiques et socio-économiques (Jones *et al.*, 2015). Les modèles utilisés calculent la croissance et le développement de la plante cultivée dans des conditions édaphiques, climatiques, et des modes de conduite supposés homogènes (Leenhardt *et al.*, 2012). Ces modèles permettent de simuler le fonctionnement de l'agroécosystème en fonction des systèmes de culture, d'une manière dynamique à pas de temps journalier, par exemple: DSSAT (Jones *et al.*, 2003), Cropsyst (Stöckle *et al.*, 2003), STICS (Brisson *et al.*, 2009 ; Brisson *et al.*, 2003) pour la simulation des effets des systèmes de culture sur les couverts cultivés et le fonctionnement du sol, FlorSys (Colbach *et al.*, 2014) pour la simulation des effets des systèmes de culture sur la démographie de la flore adventice, Moderato (Bergez *et al.*, 2001) pour le fonctionnement hydrique du champ cultivé et le pilotage de l'irrigation, OTELO (Attonaty *et al.*, 1991) pour la simulation de l'organisation du travail dans les exploitations de grandes cultures.

Les sorties de modèles de culture sont utilisées pour produire des références techniques directement utilisées par les agriculteurs ou les agents de développement, raisonner des pratiques jugées males effectuées (détermination de la date de semis des céréales via le modèle STICS et la dose d'azote pour la betterave par le modèle Azobil) ou ils seront incorporés dans des outils d'aide à la décision (OAD) qui seront mobilisés dans des situations de pilotage tactiques ou de planification (Jeuffroy *et al.*, 2008 ; Carberry *et al.*, 2002). Le passage du modèle aux références techniques applicables sur le terrain nécessite un paramétrage dans un large domaine des usages potentiels. Malgré le rôle important de modèles agronomiques, et les gains de ressource et du temps engendré par leur utilisation, ces derniers restent relativement peu utilisés pour la conception de systèmes de culture (Jones *et al.*, 2015). Peut-être parce que les modèles complexes manquent de capacité prédictive (Berger *et al.*, 2010 ; Jeuffroy *et al.*, 2008), ou sont jugés peu adaptés ou difficile à utiliser par d'autres que leurs concepteurs (Meynard *et al.*, 2012). Ceci est particulièrement vrai dans le domaine de la protection intégrée, car les modèles simulent les interactions entre " pratiques agricoles " et " dynamique des bio-agresseurs " dans un cadre assez restreint (Jones *et al.*, 2015). Les besoins d'outils pour concevoir et évaluer des SdC innovants favoriseront probablement le développement des modèles concernant des échelles spatiales plus larges que la parcelle et des pas de temps supérieurs au cycle de culture. De même, l'évolution des modèles conduira éventuellement à une prise en compte plus fréquente de sorties multicritères et des connaissances expertes (Jeuffroy *et al.*, 2008).

2.5 Besoin d'approches de conception à l'échelle du territoire

La plus part des méthodes de conceptions développées précédemment s'intéressent à la conception de systèmes de culture à l'échelle du champ et de l'exploitation et négligent la dimension territoriale de SdC à cet effet, elles sont incapables de répondre aux objectifs du développement durable à l'échelle locale et régionale. Les contradictions possibles entre objectifs assignés à chaque niveau d'organisation de processus de production (parcelle, exploitation, filière, territoire et région) peuvent amortir les efforts d'amélioration en proposant des solutions inadaptées, à la diversité du milieu biophysique, du contexte socio-économique et des politiques territoriales des exploitations agricoles (Dale *et al.*, 2013). Ces méthodes de conception ne prennent pas suffisamment en compte l'organisation et la nature des systèmes de culture et des systèmes de production mis en œuvre par les agriculteurs à l'échelle du territoire, alors que ces éléments conditionnent la capacité de l'agriculture à

répondre aux problématiques locales et globales. Plusieurs démarches peuvent être suivies (Lardon *et al.*, 2012):

- Le développement d'outils et de protocoles qui quantifient les flux de matières et d'énergie dans les systèmes agricoles à l'échelle de la parcelle, l'exploitation et le territoire;
- Accentue les efforts pour optimiser la gestion du SdC (par exemple, intensité de travail du sol dans le temps) et quantifier les effets de combinaisons de pratiques de gestion spécifiées sur la séquestration du carbone et les flux à grande échelle d'éléments nutritifs, d'eau et d'énergie;
- Le développement et la mise en œuvre d'incitations (et / ou réduire les obstacles) pour l'adoption de pratiques qui réduisent la pollution et conservent l'énergie, réduire le gaspillage d'engrais et d'eau, conserver l'habitat faunique et préserver les services de l'écosystème à l'échelle du champ, de l'exploitation et le territoire;
- Adoption des politiques d'intégration en favorisant des systèmes de culture qui maintiennent la durabilité au niveau des bassins versants et à l'échelle du territoire et de la région.

L'échelle du territoire doit être impliquée dans toute les démarches de conception car il représente l'endroit où les impacts agrégés de la mise en œuvre des systèmes de culture sur les parcelles se manifestent (Thieu *et al.*, 2011), et il oriente la réponse de l'agriculture aux problématiques du développement durable qui est basé sur une échelle multi-scalaire (Dale *et al.*, 2013).

2.6 Conclusion bibliographique

La question de la sécurité alimentaire est une préoccupation nationale du premier rang. À travers les efforts déployés et les politiques agricoles entreprises, les pouvoirs publics tentent sans relâche de résoudre les problèmes de ce secteur stratégique, même si les problèmes de sécurité alimentaire et de dépendance vis-à-vis des importations se posent de plus en plus avec une croissance démographique importante qui a fait diminuer la surface agricole à 0,19 h / habitant, un contexte socio-économique de plus en plus difficile (effondrement de la rente pétrolière) et une situation environnementale malsaine (érosion accrue des sols). Toutefois,

l'examen des causes de la faiblesse de l'agriculture n'est guère un consensus, mais le déséquilibre population/ ressources naturelles agricoles, le foncier agricole, terre et eau constituent les principales sources de cette faiblesse.

Un modèle de développement agricole qui soit compatible à la fois avec les enjeux de développement durable, avec les compromis politiques internes entre les acteurs mais aussi avec les contraintes agro-climatiques et capable de concilier la viabilité économique de l'activité agricole (amélioration des revenus en augmentant les rendements) avec la préservation et le respect de l'environnement, et la mise à la disposition des consommateurs de produits sains et de qualité et avec des prix raisonnables constitue une alternative aux modèles actuelles qui ont montré leur limites. Pour mieux exploiter le potentiel agricole de l'Algérie en matière de la production végétale, il est indispensable de réaliser un diagnostic agronomique et une évaluation vis-à-vis les objectifs assignés à l'agriculture. Le diagnostic constitue un préalable indispensable à des propositions d'amélioration débouchant sur la conception de nouveaux systèmes de culture. À la base de ce diagnostic agronomique, une hiérarchisation des facteurs sur lesquels un programme d'amélioration des systèmes de culture doit se focaliser, des améliorations seront proposées. Selon le degré de rupture avec les SdC existants, la conception peut être améliorante (conception pas à pas) qui génère des systèmes de culture dont le taux de rupture avec les pratiques précédentes est faible, ou créatrice (conception de *novo*) dont la rupture est grande.

L'expérimentation réelle au champ (expérimentation in situ) ou virtuelle (expérimentation in silico) par le biais de modèle de culture, constituent une grille de sélection aux SdC nouvellement conçus. Les modèles de culture avec leur capacité i) de tester des systèmes de culture et de production dans une large gamme de conditions (sol, climat, ect.) inaccessibles à l'expérimentation, et dans un délai relativement court ; ii) d'évaluer de manière ex-ante de multiples scénarii ; et iii) d'explorer la sensibilité des résultats à la fluctuation du climat ou à une évolution du contexte, offre une alternative intéressante pour la conception du système de culture innovant en zone semi- arides algériennes, caractérisée par des contextes édapho-climatiques, et socio-économiques instables et difficiles à maîtriser.

Enfin le retour à l'agronomie porteuse aujourd'hui de perspectives innovantes pour l'agriculture est indispensable. Avec la démarche systémique qu'elle adopte, la recherche en agronomie ne s'est pas contentée d'accompagner un progrès technique axé sur la productivité en tentant de le raisonner, mais qu'elle a accompli plusieurs ruptures conceptuelles : prise en

charge des enjeux du développement durable, de la multifonctionnalité, prise en compte des composantes biologiques du milieu et de leurs dynamiques, et appréhension d'entités spatiales et organisationnelles en allant de la parcelle au territoire

CHAPITRE I MATERIEL ET MEHODES

1 Problématique et objectifs de la thèse

En sortant de la période coloniale, l'Algérie est déjà un pays importateur des céréales avec 0,5 million de tonnes par an (Aït Amara, 2009). 60 ans après l'Algérie est toujours dépendante des pays exportateurs des denrées alimentaires. Malgré quelques progrès enregistrés dans la dernière décennie, les besoins en céréales, en légumes secs mais aussi en lait, sucre, huile sont loin d'être couverts. Les quantités importées sont en net augmentation et sont fonction de la production locale, cette dernière est étroitement liée aux conditions climatiques de l'année ; jugée peu favorable à la production agricole. La croissance démographique rapide, la régression progressive de la surface agricole par habitant sous l'effet de l'érosion du sol et l'urbanisation (MADR, 2006), la dégradation des agroécosystèmes et les acquis importants dans des pays voisin qui nous partageons avec eux les mêmes conditions pédoclimatiques, exercent une pression croissante pour que les pratiques agricoles évoluent afin d'assurer la ration de base de la population et préserver ainsi la durabilité de notre agriculture.

Les systèmes de production en zone semi-aride Algérienne sont peu divers, voire contrastés, en lien avec la diversité des situations de production. Les pratiques actuelles résultent d'adaptations historiques et socio-économiques qui ont pris des voies différentes en fonction des climats, des sols et traditions ce qui se traduit aujourd'hui par des régions dominées par les systèmes céréales élevage ovin et céréale jachère travaillée. Le système de culture, premier composant de système de production à base de céréales longtemps et largement pratiqués, est mis en cause, que ce soit la rotation, culture et la variété choisie ou les itinéraires techniques adoptés car ils ne répondent pas aux challenges d'une agriculture durable (économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable). Il apparaît donc nécessaire l'évaluation de ces systèmes pour connaître les points faibles et les points forts pour une éventuelle amélioration. Or, la bibliographie qui traitent l'évaluation des systèmes de culture montre un panorama de méthodes basées sur des indicateurs avec différentes échelles et objectifs pour des évaluations à priori ou à posteriori.

Après avoir connu les points faibles et points forts de nos SdC, une démarche de conception doit être entreprise soit par une réorganisation ou réajustement des pratiques ou par la proposition des SdC en rupture avec l'existant. Or, les innovations technologiques (sélection variétale l'utilisation massive des intrants de synthèse, la mécanisation) auront certainement un rôle important à jouer. Cependant, les raisonnements simples (voir simplistes) de type « un

problème à résoudre une innovation technologique pour les résoudre » ont montré leur limites (Juffroy *et al.*, 2008). Promouvoir des systèmes de culture flexibles et résilients, capables de s'adapter à des conditions de production incertaines (peu ou pas d'irrigation) dans un contexte socio- économique de plus en plus difficile, implique le suivi d'une démarche systémique ou le tout est cohérent, ce type de démarches est peu abordé dans les travaux de recherches qui aborde l'agriculture Algérienne.

La conception de nouveaux systèmes de culture durable par une combinaison logique et cohérente de techniques culturales contribuant à la satisfaction des attentes des acteurs socio-économiques (un rôle plus important de l'agriculture en matière de sécurité alimentaire, l'amélioration du cadre de vie des agriculteurs, la promotion de l'emploi et la protection des écosystèmes), nécessitent l'élaboration des compromis et l'invention des solutions nouvelles: recherche des nouveaux optima pour la gestion de la succession des cultures dans les agro-écosystèmes; des processus jusqu'ici négligés (par exemple introduction des nouvelles culture comme le colza, le dry-farming et les cultures intermédiaires, choix des variétés à faible rendement mais à bonne tolérance aux variations climatiques).

Nous faisons en effet l'hypothèse qu'il est possible de produire mieux et durablement dans les mêmes situations de production imposées par le contexte semi-aride Algérien , il suffit uniquement de penser d'une manière globale en appliquant les principes de l'agriculture systémique (réajuster et réorganiser les pratiques existantes, recherche des nouvelles combinaisons). La problématique de la thèse est divisée en deux sous-questions, dont l'articulation sera présentée dans la figure (2 4). Ces deux questions sont les suivantes :

Question 1 : les systèmes de culture actuels sont largement déterminés par les situations de production et généralement acceptés les agriculteurs, mais certes ces systèmes ne sont pas les mieux adaptés à ce contexte de production ; alors, comment peut-on argumenter sur la base d'une démarches scientifiques rigoureuses cette hypothèse?

Question 2 : Dans les mêmes situations de production quelles sont les pistes à suivre pour concevoir des systèmes de culture plus performants que ceux existants, répondant aux attentes des parties prenantes (agronomes, chercheurs, décideurs et agriculteurs) et sans contraste avec les différents axes de la durabilité.

Les objectifs de la thèse sont les suivants :

- **Le premier objectif** consiste à réaliser une typologie suivie par une évaluation à priori (*ex poste*) des systèmes de culture dans la zone médiane de la région de Sétif et Souk-Ahras cette évaluation se fera à l'aide d'indicateurs de durabilité en vue de déterminer les points forts et les points faibles de ces systèmes;

- **Le deuxième objectif** concerne la conception des SdC innovants sur la base de l'évaluation effectuée. Deux démarches de conception seront adoptées il s'agit de co-conception avec les acteurs (agriculteurs et agronomes) et la conception *in silico* par le modèle de culture STICS (simulateur multidisciplinaire des cultures standards);

- **Le troisième objectif** porte sur une évaluation à priori (*ex ante*) des systèmes de culture innovants pour tester leurs performances économiques et leur faisabilité technique ;

-**Le quatrième objectif** de cette thèse porte sur la construction d'un outil d'aide à la décision pour l'installation des céréales en zone semi-aride (l'outil INSCER).

2 Choix de la zone d'étude

Certaines zones céréalières participent à l'essentiel de la production nationale en particulier les hautes plaines de l'Est Algérien dont celles de Sétif et de Souk-Ahras, ces dernières ont été retenues pour cette étude. Ces plaines s'étendent sur une surface agricole totale de 676405 ha réparties sur 65438 exploitations agricoles (DSA, 2014; 2016) où se développe une agriculture extensive dominée par le système céréale élevage ovin, et une agriculture intensive qui englobe presque toutes les spéculations de la production végétale: céréales irriguées, légumes secs, production fourragères, maraichage, cultures industrielles et l'arboriculture fruitière.

Cinq raisons majeures motivent notre choix de la zone médiane des hautes plaines de Sétif et Souk-Ahras (fig. 2.2) comme champs d'étude: **i)** Les contraintes climatiques sont moins prononcées du fait que ces zones reçoivent des précipitations annuelles comprises entre 450 et 600 mm ; quantité suffisante pour la production des céréales et légumes secs en pluviale, la création d'un périmètre d'irrigation permet l'épanouissement des cultures maraichères et la culture de pomme de terre. **ii)** la zone médiane de la région de Sétif et Souk-Ahras présente une diversité d'exploitations agricoles (EA); de grandes cultures, de polyculture-élevage, des

cultures maraichères, et de facteurs territoriaux, dont nous faisons l'hypothèse qu'elle peut entraîner une diversité de pratiques. Cette diversité sera exploitée dans la démarche de conception des SdC. **iii)** de nombreuses données sont disponibles et plusieurs collaborations ont été possibles sur cette zone (fermes pilotes et réseau d'agriculture). **iv)** la diversité des pratiques impactent des enjeux agro-écologiques et socio-économiques localement importants, dont les effets à moyen et à long terme sont mal connus de toutes les parties prenantes du secteur agricole. **v)** le besoin accru d'études scientifiques qui traitent la question de la durabilité et de conception des SdC innovant dans les zones fragiles tel que la nôtre ; caractérisées par le manque de travaux de recherche qui peuvent être utilisés comme base dans l'établissement des différents programmes de développement et d'outil d'aide à la décision.

3 Description de la zone d'étude

3.1 Un climat de type continental à influence méditerranéenne soumis à des grandes variations

Selon les données climatologiques de Seltzer *et al.* (1946), le climat de la région d'étude est continental à influence méditerranéenne et désertique, appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride (Khoualdia et Yahia, 2017 ; Bounechada et Fenni, 2012). La pluviométrie varie entre 250 à 1000 mm/an pour la région de Souk-Ahras, et de 200 à 700 mm pour Sétif, mais inégalement réparties dans le temps et dans l'espace. À Souk-Ahras le gradient pluviométrique Nord Sud fait apparaître 8 zones isohyétiques dont les plus dominantes sont l'isohyète 250mm au Sud, 500mm au centre et l'isohyète 600 mm au Nord (ANRH, 2013). Pour la zone de Sétif on distingue trois étages climatiques: le semi-aride supérieur (SAS), qui reçoit 400 à 500 mm/an, le semi-aride central (SAC): 300 à 400 mm/an et le semi-aride inférieur (SAI): 200 à 300 mm/an (Benniou *et al.*, 2014). Bien que les deux régions de la zone d'étude se situent à la même distance de la mer, le cumul annuel moyen des précipitations de la période 1995 à 2016 affiche un écart de 475,6 mm en faveur de la région de Souk-Ahras (828 mm pour Souk-Ahras et 352,4mm pour Sétif).

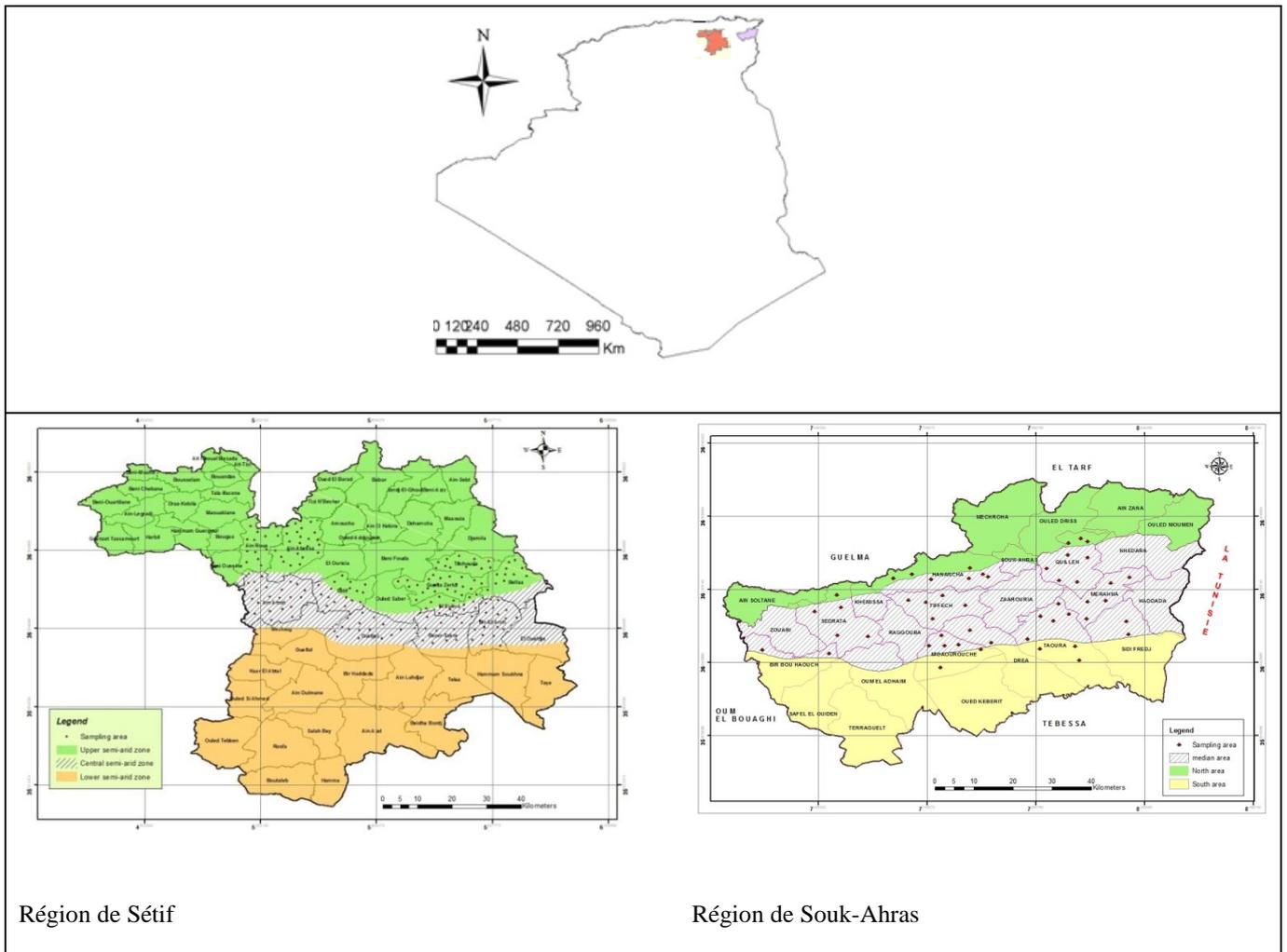


Figure 2.1 Localisation de la zone d'étude.

L'orientation et l'altitude du relief de la région de Sétif (montagne de Babor) à particulièrement de lourdes conséquences en provoquant le blocage des influences maritimes venant du Nord et par conséquent une diminution des précipitations. Cet effet est moins prononcé dans la région de Souk-Ahras. À l'échelle temporelle le mois de janvier est le plus pluvieux avec une moyenne de 138,2mm par ans pour Souk-Ahras et 45,6mm pour Sétif, suivi par les mois de décembre et février. La période estivale est la plus sèche et chaude avec des précipitations qui ne dépassent guère les 20 mm, le mois de juillet enregistre la quantité la plus faible des pluies avec une moyenne de 11 et 5.6mm pour Sétif et Souk-Ahras respectivement (fig. 2.2). Les températures suivent la tendance du climat continental, l'écart entre les deux régions de la zone d'étude est faible (moins de 2C°). Le mois de juillet est le plus chaud durant toute l'année, la moyenne des températures maximales de la période allant de 1995 au 2016 affiche une température de l'ordre de 34 et 33°C en mois de juillet et août (fig. 2.2), par contre en hiver les températures peuvent descendre au-dessus de 0°C. Pour les températures minimales, les mois de décembre, janvier et février enregistrent les températures

les plus basses de toute l'année avec des moyennes de l'ordre de 4 ; 4,3 et 5,3 °C respectivement pour la région de Souk-Ahras et des températures de l'ordre de 2,7 ; 1,9 et 2 °C pour la région de Sétif (ONM Souk-Ahras 2017 ; ONM Sétif 2016 ; ANRH, 2013).

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen calculé pour la période allant de 1995 à 2016, montre l'existence d'une saison humide et relativement froide qui s'étend sur sept (07) mois (du mois d'octobre au mois d'avril) et d'une saison sèche et chaude dans le reste de l'année. La période sèche est le plus souvent coïncide avec des stades sensibles des cultures (remplissage des grains pour les céréales, grossissement des tubercules pour la pomme de terre et formation des fruits pour les cultures maraichères). Les dommages engendrés sont fonction de l'intensité de déficit hydrique. Les effets de la période sèche passent de la plante vers le sol en provoquant la salinisation de ce dernier par excès d'évaporation.

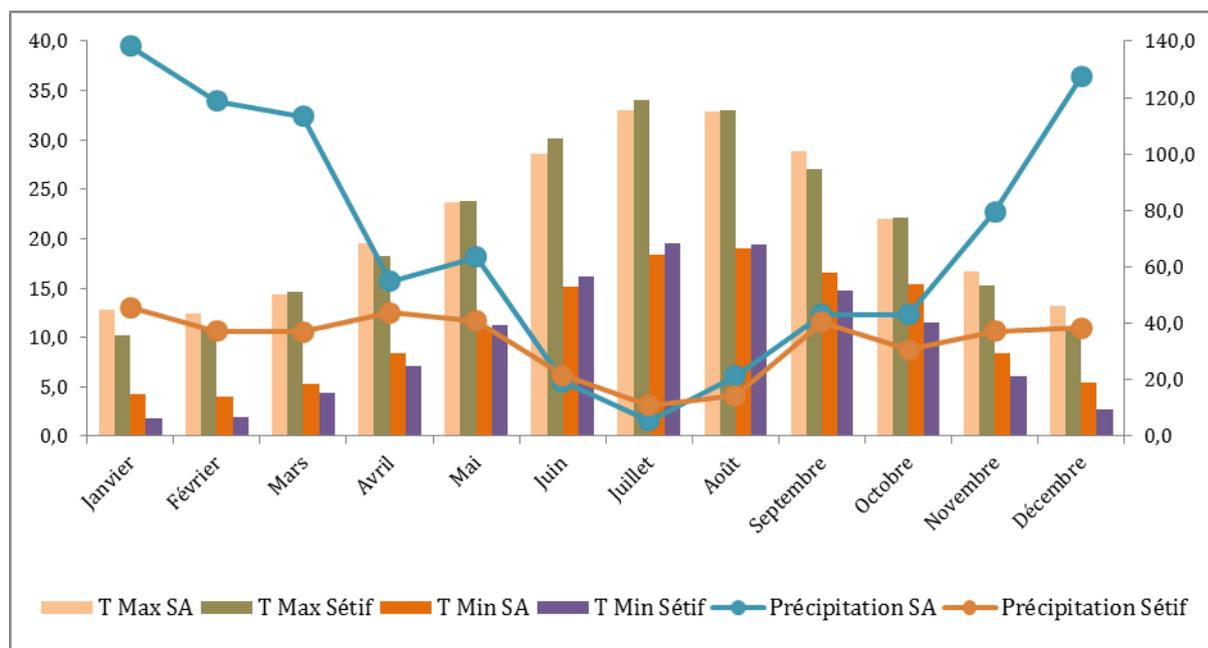


Figure 2.2 Données climatiques moyennes mensuelles de la zone d'étude (1995-2016).

(Source : ONM, 2017).

Durant la période estivale (mois de juillet et août) les deux régions (Souk-Ahras et Sétif) sont balayées par des orages violents qui sont devenus de plus en plus fréquents (Nouaceur *et al.*, 2013), affectant ainsi les cultures, le sol, l'animal et même l'homme.

3.2 Une évapotranspiration réelle (E.T.R.) qui s'ordonne inversement à la précipitation

Dans les hautes plaines algériennes, le profil de l'E.T.R. contredit sensiblement celui des précipitations. L'E.T.R. qui exprime la quantité d'eau réellement évapotranspirée en fonction de la demande (l'E.T.P.) et de l'offre (pluie et réserve facilement utilisable du sol (RFU)) affiche des valeurs qui dépassent largement les quantités précipitées. Durant les mois d'avril, mai et juin le cumul de précipitation est de 137 et 106 mm pour Souk-Ahras et Sétif respectivement (moyenne de la période 1995-2016) alors que l'évapotranspiration potentielle dépasse les 300mm (Latreche, 2011), cette demande est conjuguée avec une demande évaporatoire de l'atmosphère élevée (augmentation des températures) et une transpiration maximale des cultures (Kc maximal). Les plantes ont recours au RFU pour s'alimenter en eau, ce dernier commence de s'épuiser et le stress hydrique s'installe progressivement dès la fin février (Mekhlouf *et al.*, 2012).

3.3 Des gelées printanières à craindre les mois d'avril et mai

Les risques de gel commencent dès que les températures minimales sont inférieures à 4°C. En hiver le gel n'a pas d'effet négatif sur les productions végétales car les cultures dominantes (céréales) se trouvent au stade 4-5 feuilles, où la résistance au froid est optimale, (Soltner, 2012). Avec une fréquence d'apparition faible, les gelées printanières du mois d'avril et mai sont à craindre car ils coïncident généralement avec les stades sensibles des cultures (montaison, épiaison ou floraison) (Mekhlouf *et al.*, 2012). Les dégâts dépendent du stade de la culture et de l'intensité de gelée et de la résistance variétale. Sur céréales les gelées printanières provoquent la régression des tiges les plus avancées (maître brin), la baisse de fertilité des épis (cou lure) et un dessèchement des épillets et une diminution de nombre de grain par épi (Soltner 2012 ; Gate, 1995).

3.4 Le sol de la zone d'étude

Dans les hautes plaines Souk-Ahrassiennes, l'interaction entre les facteurs lithologique, climatique, hydrologique et même anthropiques engendre une grande diversité du sol. Une étude agro pédologique réalisée par l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH), en 1969 révèle la dominance des sols calcimagnésiques de différents sous types: bruns calcaires encroûtés, bruns calcaires xériques. Ils se localisent sur les hautes plaines du centre et du Sud (fig.2.3a). Les sols isohumiques dans leur variance : marron modaux, marron à encroûtement marquent leur présence dans la zone Sud-est, alors que les sols calcaires se retrouvent sur la

bande Nord. Les sols peu évolués d'apport alluvial, non salins localisés le long des cours d'eau: Oued Mellègue, Oued Medjerda, Oued Hamimine, Oued Ghedrane. Les sols hydromorphes localisés en zones dépressionnaires de type Merdja.

Pour les hautes plaines Sétifiennes, la partie Nord est couverte par des sols calcaires (figure 2.3b) à texture argileuse à argilo-limoneuse souvent pauvre en humus, les sols alluviaux très profonds se répartissent dans la commune de Guellal, le Sud des communes de Guedjel et Bazer Sakhra. Les sols calciques se répartissent dans la région Sud de la wilaya de Sétif (Aïn Oulemene, Hammam Sohkna, ect). L'extrême Nord-est est couvet par des sols podzoliques. En outre, les sols salés se trouvent dans les dépressions (chotts) de la région Sud-est. Bien que, les sols hydro morphes aient une extension très limitée dans la région, leur présence est signalée uniquement dans les prairies et les lits des Oueds.

La présence des sols à faible valeur agricole engendré par un taux de calcaire élevé et un stock en matière organique faible constitue un handicap à l'intensification des productions végétales. Certaines pratiques agricoles mal menées (labour profond), le non adoption des techniques de semis direct et le raisonnement simple voire simpliste des agriculteurs vont certainement influencer la capacité de production à long terme des systèmes de culture en place.

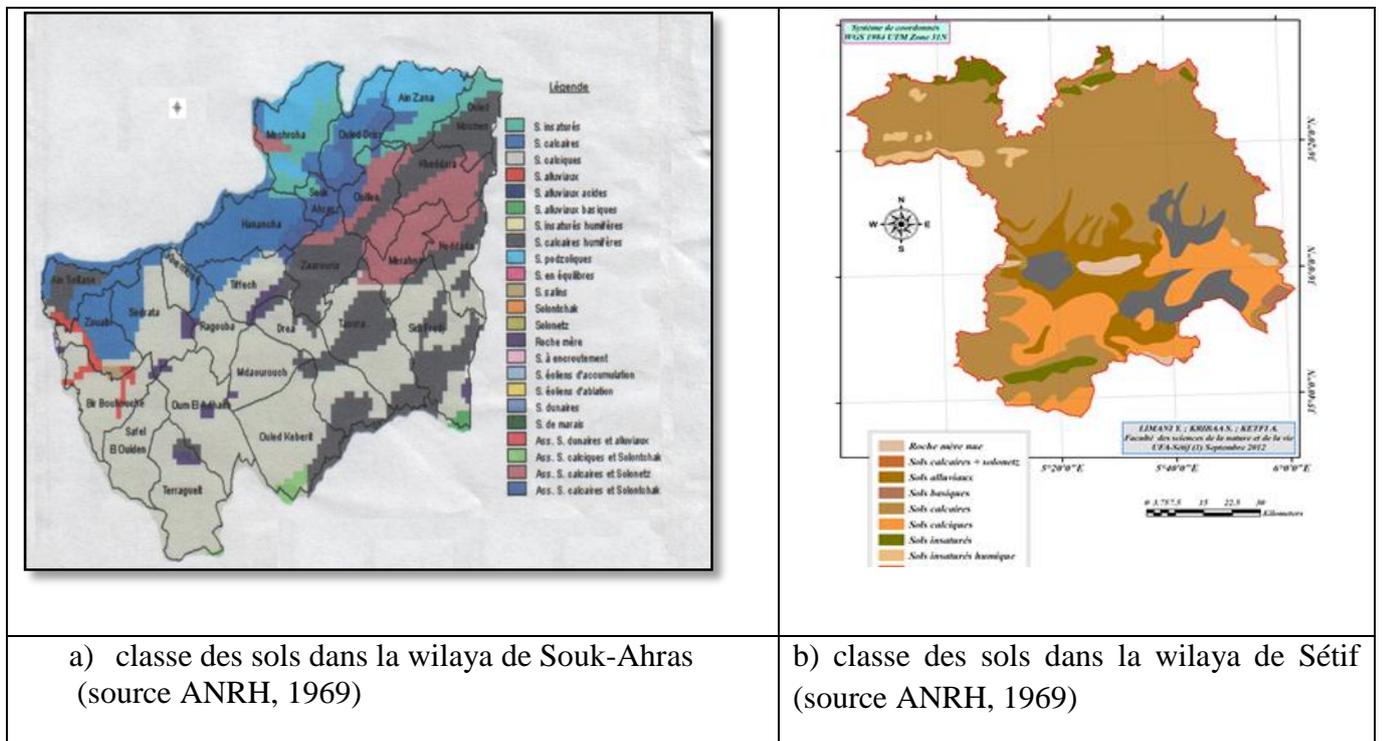


Figure 2.3 Classification des sols dans la région d'étude.

4 Méthode et démarche générale retenue pour la thèse

Rappelons que le premier objectif de la thèse consiste à réaliser une évaluation ex-poste des systèmes de cultures pratiqués dans les hautes plaines (zone médiane de la région de Sétif et Souk-Ahras), en prenant en compte la diversité des situations de production de ces territoires. La démarche envisagée pour atteindre cet objectif comporte 4 grandes étapes (fig. 2.4).

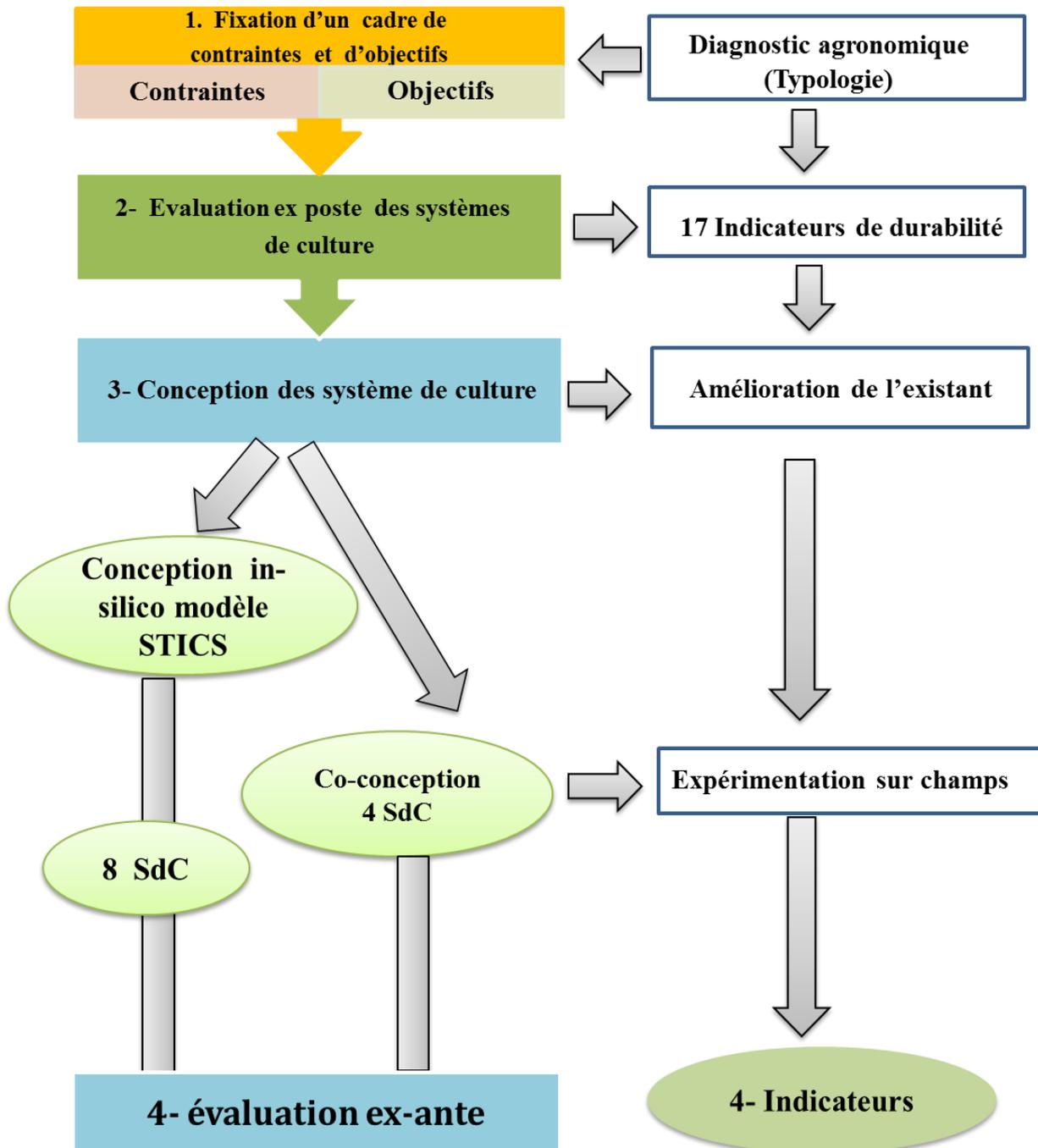


Figure 2.4 Démarche générale de la thèse.

La première étape consiste à caractériser la diversité des systèmes de culture dans la région considérée et l'élaboration d'une typologie des exploitations où se pratiquent ces systèmes. La deuxième étape consiste en une évaluation des systèmes de culture actuels sur la base d'une batterie d'indicateurs, puis une conception de système de culture innovant (SdCi) et leur réévaluation.

4.1 Élaboration d'une typologie des exploitations et des SdC

Une typologie structurale des exploitations enquêtées sera faite. Les critères discriminants sont choisis un à un de façon graduelle. Pour la typologie structurale en commençant par la taille économique des exploitations représentant le facteur le plus discriminant, suivi par la répartition des exploitations (nombre et surface des parcelles), puis par l'orientation technico économique (OTEX) qui est déterminé en fonction de la contribution de la marge brute de chaque culture (MBc), dans la marge brute totale (MBt) de SdC. l'OTEX est déterminée selon la culture dont la part de la marge brute est importante. L'âge et le niveau d'instruction de l'agriculteur et l'autonomie en matériel font partie de cette typologie. La typologie fonctionnelle des SdC concerne la succession et la surface allouée à chaque culture, la maîtrise des itinéraires techniques et les innovations techniques apportées par les agriculteurs durant les 10 dernières années. Le blé dur d'hiver est l'unique culture concernée par cette typologie du fait que 95% des exploitations pratiquent cette culture.

4.2 L'évaluation ex-poste des systèmes de culture

L'évaluation a été précédée par un travail préalable de synthèse de différentes contraintes et objectifs en concertation avec les parties prenantes; de ce fait des entretiens avec 26 chercheurs, agronomes, écologues et décideurs ont été faits. À cela s'ajoute les enquêtes réalisées auprès de 260 agriculteurs dont une partie du questionnaire est réservée à l'investigation des contraintes de production ainsi que les objectifs tracés par les agriculteurs (Annexe I), en suite une évaluation des systèmes de culture est entamée afin de déterminer la contribution de ces derniers au développement durable en mobilisant 17 indicateurs .

4.2.1 Le choix des indicateurs

Les indicateurs choisis couvrent les différents volets de la durabilité (Tableau 2.1), en prenant soin de n'utiliser que des indicateurs pertinents, faciles à obtenir, compréhensibles et non redondants ; en réponse à ces exigences les 17 d'indicateurs ont été inspirés de trois méthodes d'évaluation de la durabilité; deux méthodes INDIGO (pour Indicateurs de Diagnostic Global

à la parcelle (Bockstaller et Girardin, 2006) et MASC (pour Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping Systems (Craheix *et al.*, 2011) ont la parcelle comme échelle d'étude et de collecte des données, la troisième méthode IDEA (pour Indicateur de Durabilité de l'Exploitation Agricole (Vilain, 2008) dont l'échelle d'étude est l'exploitation agricole.

L'indicateur azote (I_N) qui évalue le risque potentiel des pratiques culturales sur la qualité des eaux souterraines (au travers du lessivage des nitrates, NO_3), de l'air (par les émissions du protoxyde d'azote, N_2O) et sur le sol et la biodiversité (de manière indirecte par la volatilisation de l'ammoniac, NH_3 , source de retombées atmosphérique), bien qu'il est omniprésent dans les méthodes d'évaluations de la durabilité des systèmes de production tel que MASC, INDIGO, IDEA, et dans les travaux qui mobilisent des indicateurs libres (Deytieux *et al.*, 2016; Castoldi et Bechini, 2010), n'a pas été retenue dans la liste des indicateurs mobilisé dans cette thèse pour plusieurs raisons : i) le faible taux de matières organiques conjugué avec une sous-fertilisation azotée (pas ou peu d'azote) et une sole réduite des cultures fixatrices d'azote atmosphérique, éliminent ainsi tous risque liée à une sur fertilisation; ii) la complexité d'estimation de cet indicateur car il est construit de 3 modules et nécessite des mesures directes alors que les indicateurs qui nécessitent des mesures directes sur le sol, l'eau ou la plante ont été exclus.

L'échelle spatiale de collecte des données est la parcelle. En ce qui concerne l'échelle temporelle, Eckert *et al.*, (2000) recommandent une période d'observation de 3 ans, les indicateurs d'évaluation sont calculés pour une parcelle, pour une moyenne de 3 ans et plus afin de prévoir d'éventuels effets cumulatifs. Dans le cas du blé, le rendement est moyenné pour chaque culture en considérant les années et les différentes parcelles. On conserve cependant la possibilité de distinguer le rendement moyen par type de précédent. Pour les indicateurs qui ont un effet additif : diversité des cultures, diversité des familles de culture, succession et rotation, les valeurs des critères ont été cumulées sur la durée de la rotation.

Tableau 2.1. Indicateurs retenus pour l'évaluation des systèmes de culture.

| Thématique | Critères | Méthodes |
|---|--|--|
| Durabilité économique | | |
| | Produit brute PB (D /ha) | Rendement * prix + aide |
| | Charge totale CT (semences, engrais, traitement location de terre et charge de mécanisation) | renseigné par le questionnaire d'enquête |
| | Marge brute MB (D /ha) | PB-CT |
| | Efficiency économique EFF % | MB/PB |
| Durabilité agri-environnementale | | |
| Biodiversité | Successions culturales (SC) | méthode INDIGO |
| | Diversité des cultures (Div) | renseigné par le questionnaire d'enquête |
| | Diversité des familles des cultures (DFC) | renseigné par le questionnaire d'enquête |
| | Assolement (Ass) | méthode INDIGO |
| Sol | Maitrise de la matière organique dans le sol (MO) | méthode INDIGO |
| | Taux de couverture du sol (CS) | méthode MASC |
| Énergie | Consommation énergie (En) | méthode INDIGO |
| | Indice énergétique (IE) | méthode MASC |
| Pression phytosanitaire | Indice de fréquence de traitements (IFT) | méthode INDIGO |
| | Gestion de la ressource en eau | méthode IDEA |
| Durabilité sociale | | |
| | Contribution à l'emploi (EMP) | méthode MASC |
| | Complexité des interventions culturales (CIC) | méthode MASC |
| | Qualité sanitaire des produits (QS) | méthode IDEA |

Pour concrétiser ces deux objectifs : caractérisation et évaluation a posteriori des SdC, une phase de collection des données est entreprise en commençant par les institutions étatiques (direction des services agricoles, chambre d'agriculture et subdivision agricole), le but est d'avoir des données statistiques concernant la filière de production végétale dans les régions d'étude (SAU, nombre et statut juridiques d'exploitation, les rendements de chaque culture par commune...) et d'établir la liste des agriculteurs à enquêter dans une deuxième phase.

4.2.2 Choix des exploitations enquêtées

Le choix de l'échantillon a porté sur 140 exploitations pour la région de Souk-Ahras et 120 pour la région de Sétif sur la base des critères suivants :

- Exploitations spécialisées en production végétale (céréale, fourrages, pomme de terre, maraichage) ;

- Disponibilité et coopération de l'agriculteur ;
- L'appartenance à la zone médiane avec une ancienneté dans le domaine.

Le choix a été également basé sur le souci d'une large diversité en termes des surfaces agricoles, de statut foncier, la disponibilité des moyens de production, de la diversité des méthodes de productions et la technicité.

4.2.3 Le questionnaire

La collecte des données nécessaires à la caractérisation des exploitations, la typologie et l'évaluation des SdC est fait de 126 questions réparties sur 21 items (Annexe I) décrivent les différents aspects relatifs à l'organisation et le fonctionnement des exploitations agricoles, et d'autre part servir au calcul des indicateurs pour évaluer la durabilité des systèmes de culture. Une partie du questionnaire est réservée au dénombrement des contraintes de production et à la description des aspects techniques, économiques et décisionnels au niveau de l'exploitation. Le document fourni aussi des données sur :

- La structure des exploitations; statut foncier, répartition des cultures et parcelles dans l'exploitation;
- L'aspect humain; âge niveau d'instruction de l'agriculteur, le nombre d'UTH familiales et salariées de l'exploitation;
- Fonctionnement du système de culture; des règles de décision pour le choix de culture, de la sole, en passant par l'itinéraire technique détaillé de chaque culture et les données liées à la gestion des résidus des cultures ;
- L'historique de l'exploitation représenté par les événements majeurs qu'a connue l'exploitation sur l'aspect fonctionnel, organisationnel et technique.
- Les performances économiques de chaque système de culture; du prix de location des terres pour les agriculteurs locataires, les charges de chaque intervention jusqu'aux revenus issues de la vente de différents produit agricoles.

4.2.4 Déroulement des enquêtes

Les enquêtes ont été menées durant l'année 2014 et la moitié de l'année 2015 pour la région de Sétif, et durant l'année 2016 et la première moitié de l'année 2017 pour la région de Souk-Ahras. La diversité des itinéraires techniques appliqués aux parcelles de la même exploitation implique la visite de toutes les parcelles afin de réaliser un diagnostic des champs cultivés et estimer les effets des pratiques culturales sur la culture en place, ce diagnostic

porte sur le stade phénologique, l'homogénéité et la vigueur des plantes. Pour renseigner les pratiques culturales réalisées après la visite pour les enquêtes réalisées avant l'achèvement des pratiques agricoles, des conversations téléphoniques avec les agriculteurs ont été effectuées. L'objectif de ces conversations est la collecte des données concernant le reste des interventions: le deuxième apport d'engrais azoté (date et dose) s'il y a lieu, la lutte phytosanitaire contre les maladies et les ravageurs (produit, dose et stade d'application, coût) et le rendement (grain et paille).

Nous avons procédé à l'enregistrement de certaines enquêtes dont nous jugeons difficile la saisie de toutes les informations fournies par l'agriculteur. À la fin de chaque enquête, une évaluation globale de l'exploitation a été faite en classant les exploitations en quatre groupes (très bonne, bonne, moyenne et faible).

5. La conception des systèmes de culture innovant: Un deuxième volet de notre travail

Pour chaque type de situation de production identifiée dans la partie évaluation des SdC, nous proposons des innovations au niveau des systèmes de culture existants pour surmonter les contraintes et répondre aux objectifs généraux de la durabilité. Il s'agit de construire des SdC innovant durable, qui s'adapte à une disponibilité limitée en eau, et qui optimisent le rendement des cultures sans nuire aux règles agronomiques et environnementales. On tient compte alors des cultures précédentes, de l'estimation des performances agronomiques de chaque culture dans ce contexte, et de la variabilité de ces performances. Ensuite, on génère des systèmes de culture sur la base des itinéraires techniques issues de la typologie de SdC. Cette démarche de génération de systèmes de culture repose sur deux hypothèses. La première hypothèse stipule que le choix d'une variété, d'une espèce cultivée, d'une succession de cultures sont des déterminants clés de la résilience des SdC au déficit hydrique et la rentabilité économique dans le contexte semi-aride algérien. La deuxième hypothèse prédit que la viabilité économique est un critère de décision majeur orientant les choix stratégiques et techniques des agriculteurs. Ce critère est largement conditionné par le rendement des cultures, ce dernier dépend des conditions climatiques de la région, caractérisée par des ressources hydriques limitées. Raisonner des systèmes de culture à base de céréales pour faire face à un déficit hydrique plus ou moins chronique est donc indispensable pour vérifier l'hypothèse.

5.1 Démarche de conception

Deux approches de conception ont été suivies :

5.1.1 La co-conception

Cette co-conception est organisée avec 2 agriculteurs et deux ingénieurs agronomes (subdivision de Taoura et M'daourouch). Un atelier de conception est organisé le 19/09/2016, il porte sur la conception des SdC qui s'adaptent le mieux au déficit hydrique. Après un long débat des innovations ont été proposées. 4 systèmes ont attiré notre attention, ces derniers ont été testés chez 3 exploitations (ferme pilote de Taoura, 2 exploitations agricoles privées à Hanancha et M'daourouche). La largeur des parcelles est de 6m (égale à celle de pulvérisateur) une fiche technique détaillée de chaque système est délivrée aux agriculteurs, faute de temps, la tenue d'autres réunions a été très difficile. Ces dernières ont été remplacées par des visites individuelles et des conversations téléphoniques pour le suivi des systèmes de culture expérimentés.

5.1.2 Conception *in silico* par le modèle STICS

Cette deuxième approche fait appel au modèle de culture STICS, un paramétrage du modèle a été nécessaire.

5.1.2.1 Paramétrisation de base de STICS

Le modèle STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour les Cultures Standard), développé à l'INRA depuis 1996, décrit un grand nombre de processus éco-physiologiques et agronomiques en interaction avec les conditions pédoclimatiques et les itinéraires techniques les données d'entrée sont liées au climat, le sol et le système de culture, les données de sortie portent sur le rendement en terme quantitatif et qualitatif, et des grandeurs environnementales liées au bilan hydrique, et azoté (fig. 2.5). Ce modèle dynamique à pas de temps journalière simule le fonctionnement de la plupart des espèces cultivées, en grande partie annuelles pendant un ou plusieurs cycles (Brisson *et al.*, 2003; Brisson *et al.*, 2002; Brisson *et al.*, 1998).

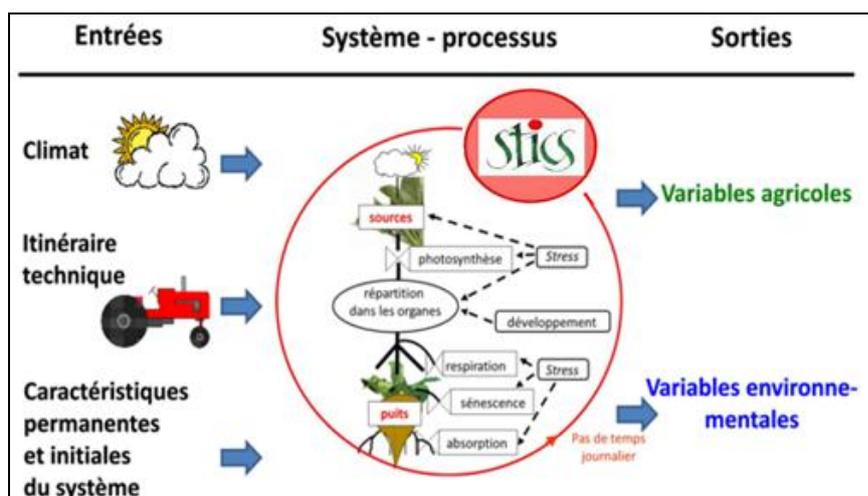


Figure 2.5 Principe de fonctionnement de modèle STICS (Brisson *et al.*, 1998).

Le premier paramétrage du modèle STICS pour les conditions semi-arides algériennes a été fait à l'INRA de Toulouse (unité mixte de recherche UMR. AGIR) en 2013, dans le cadre d'un stage de courte durée. Les données nécessaires pour ce paramétrage ont été collectées sur le blé dur d'hiver (variété Waha) durant la saison agricole 2008/2009. Les résultats font l'objet d'une communication orale intitulée « *l'utilisation des modèles de cultures STICS et BUDGET pour suivre le comportement de la culture du blé dur en zone semi-aride Algérienne* ». Un deuxième paramétrage a eu lieu à l'INRA de Laon (UMR Agro Impacte) en 2015 en utilisant la variété Gta dur ; largement cultivée dans la région de Souk-Ahras.

La plus part des données utilisées pour le deuxième paramétrage sont issue d'une campagne de mesure qui avait pour objet l'étude de l'efficacité d'utilisation de l'eau par deux variétés de blé dur (Gta dur et Simito) sous l'effet de précédent cultural. Les données mobilisées sont synthétisées dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2 Synthèse des données mesurées durant l'expérience à la zone de Taoura (2014/2015).

| Données liée au sol et au climat | Donnée liée à la culture de blé dur |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Analyse du sol - Données climatiques standard - Humidité du sol | <ul style="list-style-type: none"> - Durée des stades phénologiques - Évolution de la biomasse - Le rendement et indice de récolte |

Pour le module climat, un fichier climat-Stics a été créé à partir des données climatiques journalières fournies par la station météorologique de Souk-Ahras pour la saison agricole

2014/2015 et 2015/2016. Une mise en format csv du fichier climatique est nécessaire. Les données nécessaires à la création du module sol ont été tirées de l'analyse de 17 échantillons collectés de 5 communes (Taoura, M'daourouch, Sedrata, Ouillen et Bir Bouhouche). Ces données sont relatives à la granulométrie du sol, en particulier le taux d'argile, de limon, du sable et du pH.

Le sol est argileux dans 3 sites d'étude (48% en moyenne d'argile dans le site de Taoura, 44,7% d'argile dans la zone de M'daourouch et 43 à Ouillen), limoneux argileux à Sedrata (48% de limon et 36,3% d'argile) et limono sableux à Bir Bouhouche (64% de limon 24% de sable). Le pH est alcalin dans l'ensemble des échantillons analysés (Annexe II). Ses différentes caractéristiques telles que nous les avons fournies à STICS, sont résumées dans le tableau 2.3.

En ce qui concerne le module plante, le paramétrage nécessite des données qui ne sont pas faciles à acquérir par expérimentation dans nos conditions (effet de la concentration de CO₂ atmosphérique sur le rendement, évolution de la biomasse racinaire, la sensibilité au gel des différents stades phénologiques, la répartition de la biomasse dans les organes, la conversion de biomasse en rendement en grain, les indices de stress hydrique et azoté ...etc.). Deux approches ont été suivies ; le recours aux données bibliographiques fourni par les instituts techniques (ITGC et ICARDA) et dans le cas des données manquantes (effet de l'azote sur le nombre des grains, la teneur en protéines des grains, l'interception des rayons à différents stades), le paramétrage initial du modèle est maintenu.

Tableau 2.3 Données de paramétrage de module sol dans le modèle STICS.

| Paramètres | Valeurs | Source des données |
|---|---------|--------------------|
| Taux d'argile | 48 | Résultat analyse |
| Humidité à la capacité au champ | 35 | Mesure |
| Humidité au point de flétrissement | 18 | Mesure |
| Humidité relative le jour de semis | 30,1 | Mesure |
| pH | 7,8 | Mesure |
| Albédo de la surface à l'état sec | 0,15 | Bibliographie |

Le manque des données pour les cultures de lentille et du colza (cycle biologique, variétés), qui sont peu cultivées en Algérie nous amène à maintenir le paramétrage fourni par le modèle pour le module plante, les sorties fournies par le modèle STICS sont nombreuses et c'est à l'utilisateur de sélectionner le jeu de données adapté au contexte de sa recherche. Dans notre

situation, la date de récolte, le rendement en grain, l'indice de récolte, la durée des stades phénologiques ont été recherchés pour une évaluation *ex ante* des SdC conçus.

La diversité de situation de production qui est caractérisée par un ensemble de descripteurs du milieu, du contexte socio-économique, et par un jeu de contraintes détermine plusieurs SdC qui peuvent être générés par le modèle STICS. La faisabilité technique, la cohérence agronomique et la contribution au développement durable constituent les éléments du choix des combinaisons qui font l'objet de simulation par le modèle STICS. La figure (fig. 2.6) illustre les différentes combinaisons utilisées pour la conception des systèmes de culture.

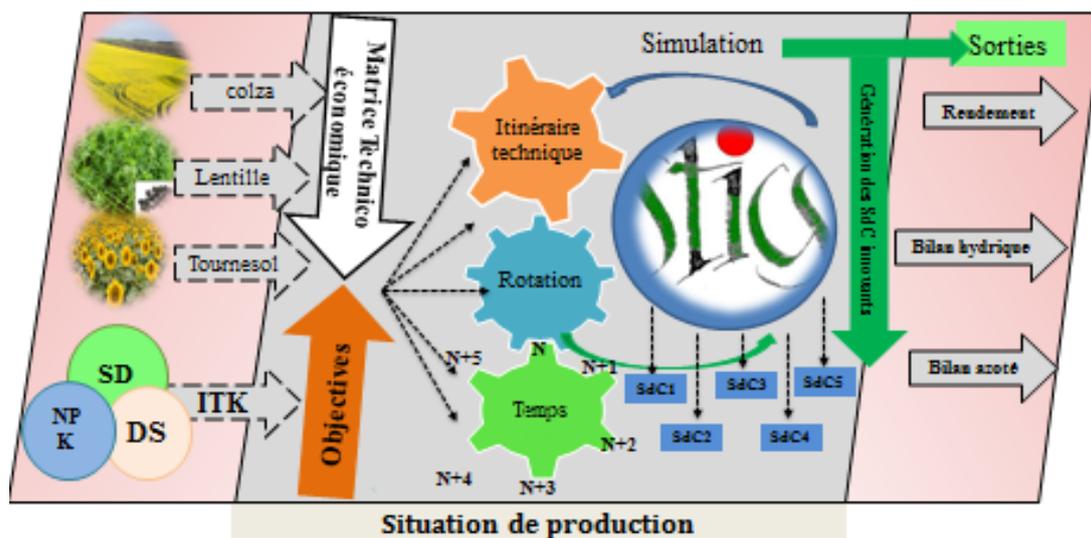


Figure 2.6 Démarche de génération et d'évaluation *ex ante* des systèmes de culture innovants adopté dans la thèse.

5.2 L'évaluation à priori (*ex ante*) des systèmes de culture innovants issus et d'expérimentation sur champs et de la simulation par STICS

Les 12 systèmes de culture innovants issus de la co-conception ou de la conception *in silico* à l'aide du modèle STICS font l'objet d'une évaluation *ex ante*. Cette évaluation porte sur les indicateurs dont la contribution au développement durable est faible, un calcul de la durabilité globale (D_g) sera fait pour comparer les performances des nouveaux SdC avec les systèmes déjà en place.

5.3 Traitements statistiques et analyse des données

Les données collectées font l'objet d'une série de traitements puis d'analyses statistiques. En raison de la taille des données collectées et de la nature des variables étudiées (quantitative, qualitative, ordinale et binaire), des analyses factorielles des correspondances multiples

AFCM (CORMU) suivies d'une Classification Hiérarchique Ascendante(CHA) ont été effectuées à l'aide du logiciel SPAD version 5.5, en vue de construire une typologie des exploitations et des systèmes de culture du point de vue de leur structure et fonctionnement. Le teste de normalité (test de Shapiro-Wilk), les analyses de la variance (ANOVA) ont été établies par le logicielle SPSS v20.0 (Statistical Package for Social Sciences). L'analyse de la variance pour les distributions empiriques des données non paramétrique a été effectué par le teste de Kolmokorov-Smirnov.

6 Conception d'un outil d'aide à la décision pour l'installation des céréales INSCER.

Le présent travail est chapeauté par la conception d'un outil d'aide à la décision (OAD) nommé INSCER (INStalation des CEReales) pour mieux gérer les systèmes de culture céréalières en zone semi-aride Algérienne. Il est basé sur des règles de décision (RDD) simple de type Si... alors.... Si non, ce modèle vise l'exploitation des bases de données issues de différentes sources :

- Données issues de 260 enquêtes (140 dans la région de Souk-Ahras et 120 dans la région de Sétif ;
- Données fournies par les fiches du suivi de 18 parcelles pendant 15 ans fournies par un ingénieur agronome (Sétif).
- Données fournies par deux fermes pilotes (Taoura et M'daourouch) portent sur le précédent cultural, itinéraires techniques et le rendement des céréales ;
- Données climatiques fournies par la station de Souk-Ahras et de Sétif (moyenne mensuelle pour 20ans) ;
- Données d'analyse de cartographie des sols ;
- Guides des principales variétés cultivées élaborés par les instituts techniques.

CHAPITRE II : TYPOLOGIE ET ANALYSE DES SYSTEMES DE PRODUCTION ET DES SYSTEMES DE CULTURE

Introduction

La première partie de ce chapitre est consacrée à la réalisation d'une typologie des exploitations agricoles, en cherchant à constituer des classes d'exploitations selon les critères discriminants suivants : la surface agricole utile, l'âge, le niveau d'instruction, la pluridisciplinarité de l'agriculteur, l'unité de travail humain, l'orientation technico économique, le statut juridique des exploitations et l'autonomie en matériel agricole. Le système de production et les contraintes de production font partie des critères utilisés dans la typologie des exploitations.

La deuxième partie de ce chapitre a pour objectif l'analyse approfondie du fonctionnement des systèmes de culture à travers ces trois composantes : rotation, assolement et itinéraire technique. Une typologie des itinéraires techniques par la construction des classes d'ITK pour décrire la diversité des conduites des céréales et déterminer le niveau d'intensification des SdC dans les deux régions d'étude sera fait. À la fin de ce chapitre un diagnostic des systèmes de culture en place sera établi et il fera la base, avec les résultats du chapitre 3 (évaluation de la durabilité des systèmes de culture) de la conception des systèmes de culture innovants qui sera traité dans le chapitre 4.

1 Analyse descriptive des exploitations agricoles enquêtées

L'analyse descriptive des exploitations a concerné l'ensemble des 260 exploitations enquêtées. Elle a nécessité le traitement de 12 variables dont 5 quantitatives et 7 variables qualitatives.

1.1 Âge de l'agriculteur

L'âge des agriculteurs varie de 24 à 83 ans avec une moyenne de 53 ans \pm 11,7. Les deux régions d'étude ne se différencient pas significativement pour cette variable ($P = 0,14$). Avec une moyenne de 51,9 \pm 11,4 et 53,8 \pm 11,9 ans respectivement pour Sétif et Souk-Ahras, les agriculteurs de la zone de Souk-Ahras sont plus âgés que ceux de Sétif. La catégorie d'âge de plus de 60 ans est la plus représentée 30,3% de l'échantillon d'étude ; trois agriculteurs dépassant l'âge de 80 ans à Souk-Ahras, alors qu'aucun ne dépasse cet âge à Sétif (fig. 2.7).

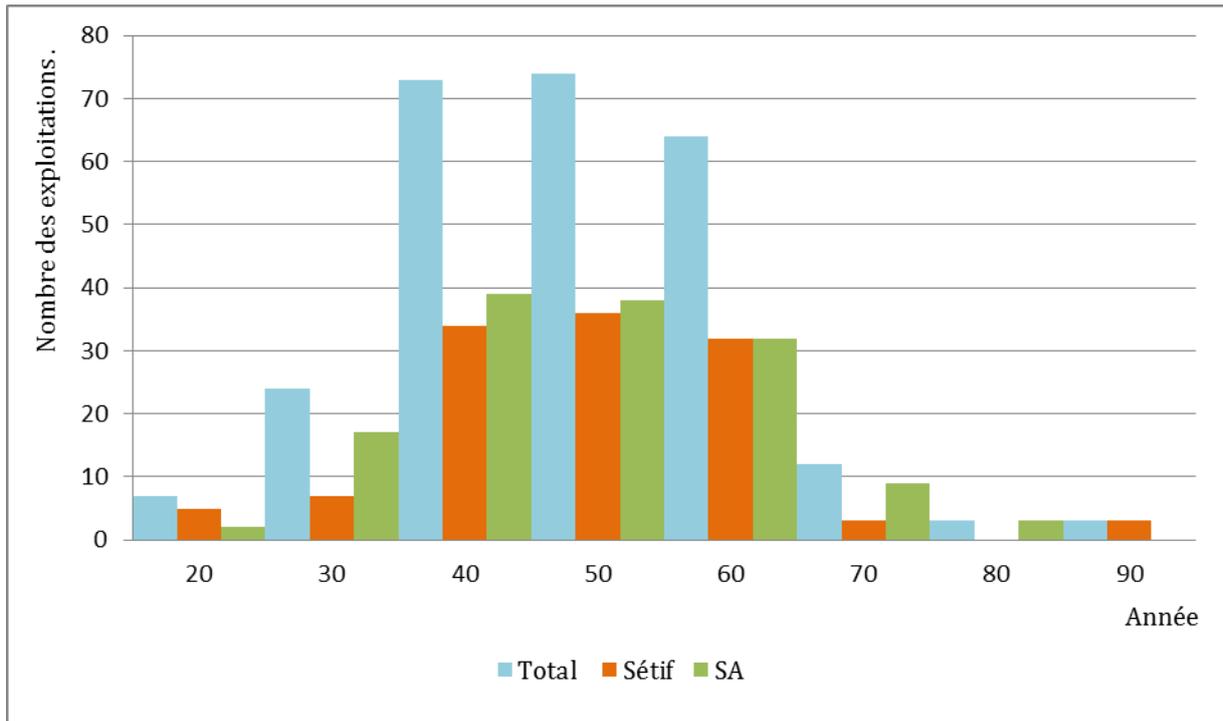


Figure 2.7 Distribution de l'âge des agriculteurs.

1.2 Effectifs humains (UTH)

L'unité de travail humain (UTH) est calculée par la somme des UTH salariées de l'exploitation composées de travailleurs qui participent à la réalisation des travaux que ce soit permanents ou saisonniers et y inclue la main d'œuvre familiale. L'effectif humain de l'ensemble des échantillons étudié est en moyenne de $2,4 \pm 1,9$ (fig. 2 .8). La comparaison de moyenne pour cette variable entre les deux régions affiche une différence non significatif ($P=0,12$) ; cependant les exploitations de Souk-Ahras emploient plus de main d'œuvre que celles de Sétif avec une moyenne de $2,5 \pm 1,3$ contre $2,3 \pm 2,4$ UTH / exploitation pour Sétif. Trois exploitations de Sétif emploient plus de 10 UTH dont une emploie 17 personnes. La taille des exploitations et le type de culture peuvent expliquer cette variabilité.

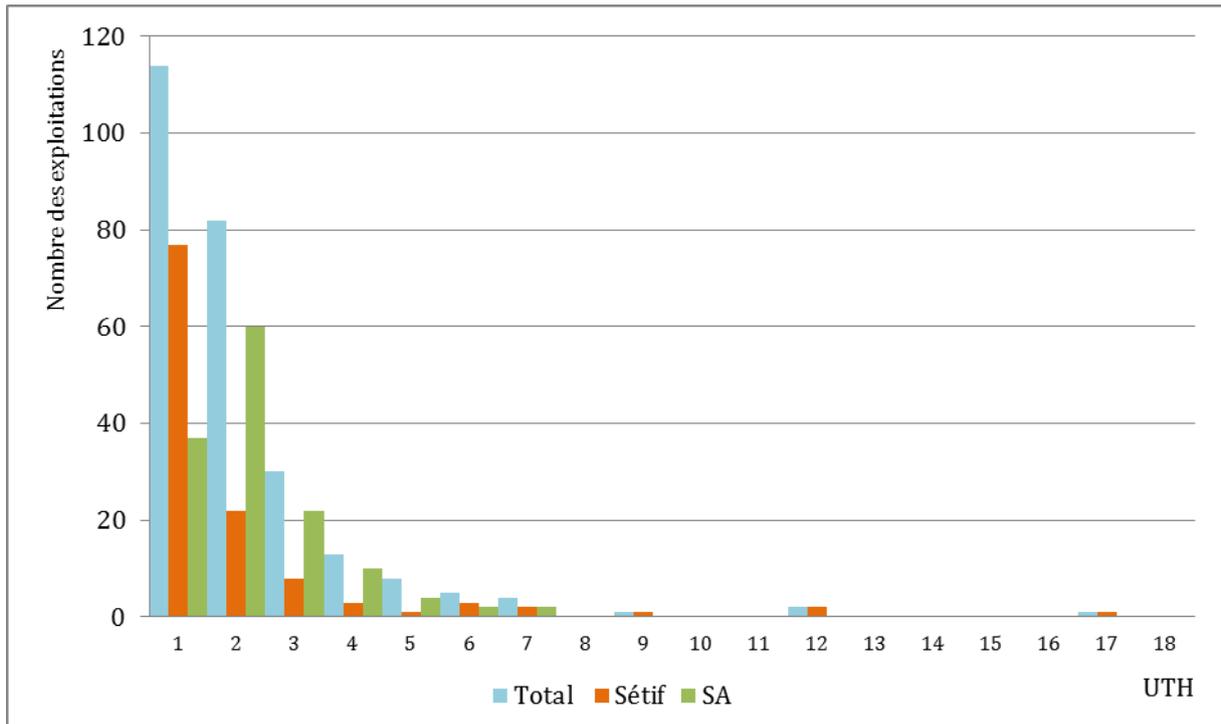


Figure 2.8 Distribution générale et selon les régions des effectifs humains. (UTH).

1.3 Surface agricole utile (SAU)

Les exploitations agricoles objet de l'enquête couvrent une surface agricole utile (SAU) de 14398 ha soit 2,3% de la SAU totale de la zone d'étude. Pour la région de Souk-Ahras la surface des exploitations visitées représente 4,2% de la surface agricole totale (10688 ha sur 253606 ha), avec une étendue de 478 et un coefficient de variation de 110 %. La taille des exploitations varie d'une commune à autre. Les exploitations qui ont une surface comprise entre 5 et 20 ha représentent la majorité avec un taux de 32%, alors que les petites exploitations (surface inférieure à 5 ha) sont moins présentes avec un pourcentage de 5,7 % (fig. 2.9). Les grandes exploitations (supérieur à 100 ha) représentent 25% des exploitations enquêtées ; ce taux est le résultat de la présence de grands propriétaires des terres d'un côté et de la location des terres par un grand nombre d'agriculteurs d'un autre côté.

Pour la région de Sétif la situation est différente ; les exploitations dont la taille est comprise entre 5 et 60 ha constituent presque la moitié des exploitations, les petites exploitations dont la taille est inférieure à 5 ha représentent 14%, les exploitations à surface comprise entre 20 et 50 ha sont présentes à hauteur de 36% tandis que la part des grandes exploitations est faible, elle est uniquement 5%. De toutes les exploitations visitées, celles dont la taille est comprise

entre 5 et 50 ha (faible à moyenne exploitation) est dominante avec un pourcentage de 63% (fig. 2.9).

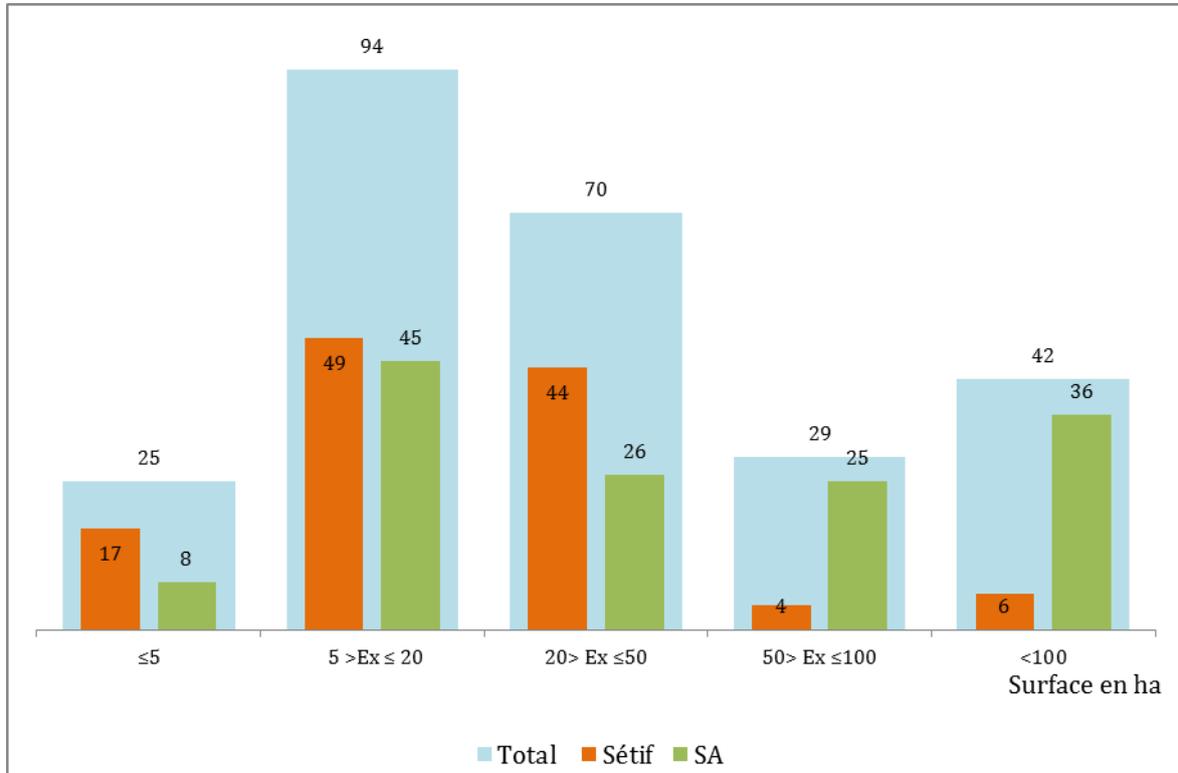


Figure 2.9 Répartition des exploitations selon la taille.

1.4 Répartition des exploitations (RE) (nombre de parcelle par exploitation)

Le nombre de parcelles constituant une exploitation a une signification agronomique importante, que ce soit sur le plan technique ou organisationnel. Dans la région d'étude 19,8 % des exploitations sont composées de 2 parcelles et 20,7% se répartissent en 3 parcelles. Les exploitations qui se composent de plus 5 parcelles sont présentes à hauteur de 29.6% (77 exploitations). En ce qui concerne les régions, 64 (45.7%) exploitations de la région de Souk-Ahras sont composées de plus de 5 parcelles et 15% se répartissent en 4 parcelles. La région de Sétif est dominée par les exploitations dont le nombre de parcelles est de 2 ou 3 (30% chaque répartition). 15 des 120 exploitations objet d'enquête dans la région de Sétif se composent uniquement d'une parcelle (fig. 2.10).

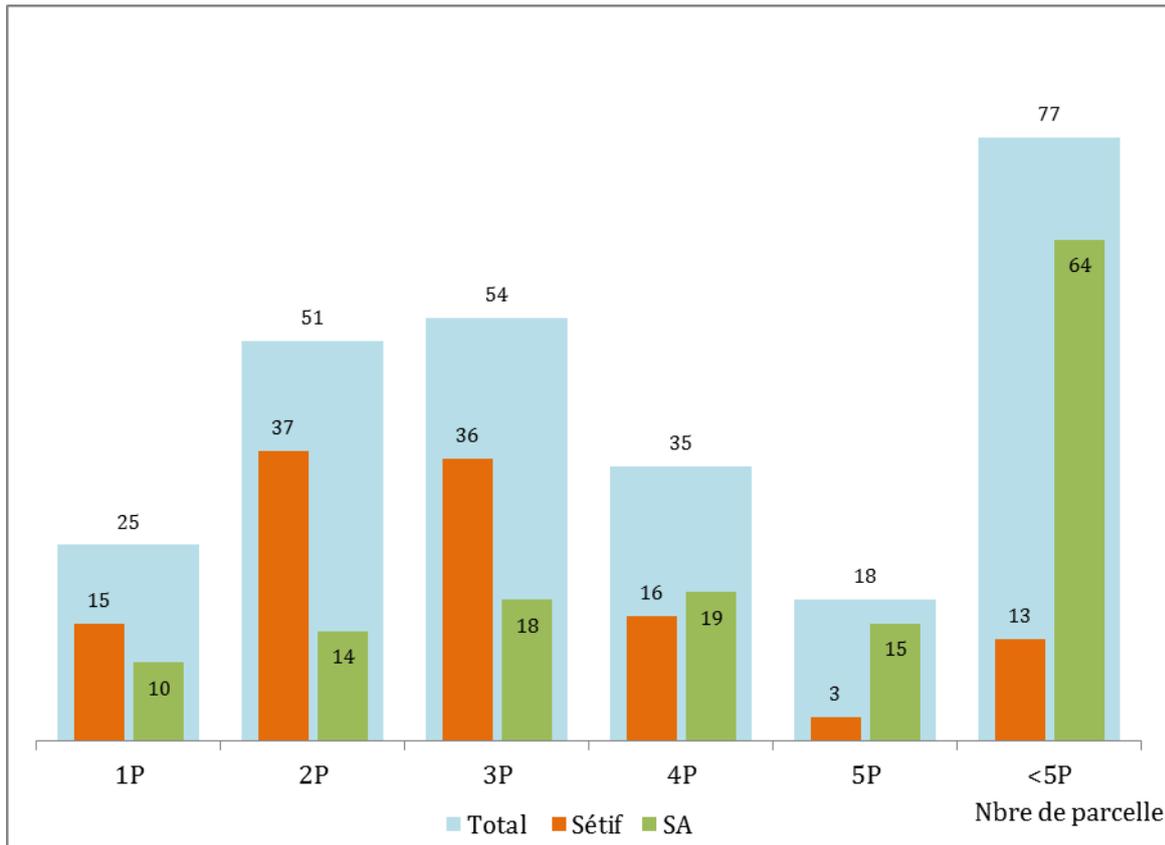


Figure 2.10 Distribution des exploitations selon le nombre de parcelles

1.5 Statut juridique des exploitations (SJ)

Les deux grandes ruptures dans la gestion du foncier agricole qu'a connues notre pays durant son histoire : rupture lors de la colonisation et lors de l'indépendance font de l'Algérie l'un des rares pays où la terre a été l'objet de tant de convoitise. La succession des lois telles que l'expropriations, cantonnement, réforme, restructuration ont entraîné à chaque fois une déstructuration et restructuration des structures foncières. Cette grande instabilité du foncier agricole a augmenté la compétition pour accéder à la terre et créant une catégorie des agriculteurs sans terre dépourvue de leur droit pour l'accès aux crédits bancaires ou autre forme de soutien.

Les exploitations visitées lors de notre enquête sont régies par quatre statuts juridiques : terres privées (EAP), exploitation agricole individuelle (EAI), exploitation agricole collectives (EAC) et terre d'Arche. Les exploitations agricoles privées sont dominantes avec 185 exploitations suivies par les EAI avec 47 exploitations, les terres Arches avec 17 exploitations et enfin les EAC avec seulement 11 exploitations. Il faut savoir que ces derniers sont en cours de division (loi de concession des terres). Entre régions ce classement est toujours maintenu à l'exception de l'absence des terres arches dans la région de Sétif (fig. 2.11).

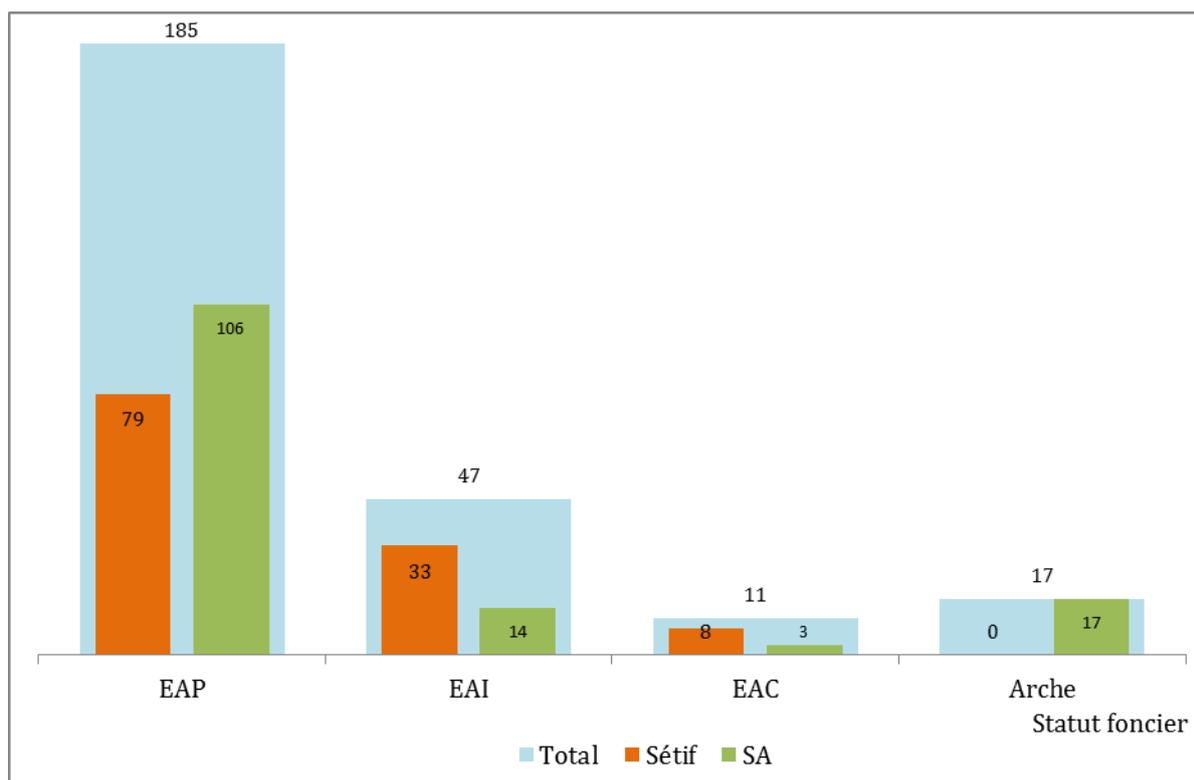


Figure 2.11 Répartition des exploitations selon le statut juridique (EAP ; exploitation agricole privée, EAI ; exploitation agricole individuelle, EAC ; exploitation agricole collective).

1.6 Orientations technico-économiques des exploitations agricoles (OTEX)

L'OTEX est un indicateur précieux pour comprendre la spécialisation économique des exploitations agricoles. Calculé sur la base de la contribution de chaque culture au produit brute réalisé par l'exploitation, cet indicateur offre une typologie intéressante et explique largement le mode de fonctionnement et l'évolution de ces appareils de production. 144 exploitations des 260 constituants l'échantillon d'étude sont orientées vers la production des céréales toutes espèces confondues et couvrent 51% de la surface agricole utile (tableau 2.4). Selon les régions, 73 exploitations de Sétif et 71 de Souk-Ahras sont spécialisées en céréaliculture. La combinaison entre la céréaliculture et l'élevage est l'orientation de 90 exploitations (50 pour SA et 40 pour Sétif). Au nombre de sept, les exploitations spécialisées en cultures maraîchères, fruitières et horticoles s'avèrent peu nombreuses, alors que les exploitations orientées vers les polycultures (lentille, pois chiche, petit pois, fève et culture fourragère) représente 7% des exploitations étudiées. Selon les régions, Souk-Ahras est dotée de 16 exploitations à orientation technico-économique en polyculture, alors que l'échantillon de Sétif est doté de 5 exploitations. L'absence des exploitations à orientation technico-économique élevage est justifiée par le choix sélectif des exploitations, pour traiter notre

thématique qui porte sur l'évaluation et la conception des systèmes de culture, les exploitations à orientation technico-économique élevage sont exclues de notre étude.

Tableau 2.4 Orientation technico économique des exploitations étudiées.

| | Sétif | | Souk-Ahras | | Total | |
|---|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|
| | Nombre des exploitations | SAU (ha) | Nombre des exploitations | SAU (ha) | Nombre des exploitations | SAU (ha) |
| OTEX | | | | | | |
| Cultures céréalières | 73 | 2168 | 71 | 5202 | 144 | 7372 |
| Cultures maraîchères et fruitières | 4 | 19 | 3 | 140 | 7 | 159 |
| Élevage | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Association production végétale et animale | 38 | 1486 | 50 | 4364 | 88 | 5850 |
| Polyculture | 5 | 35 | 16 | 982 | 21 | 1017 |
| Total | 120 | 3708 | 140 | 10688 | 260 | 14396 |

2 Typologie des exploitations

Ces dernières années, un intérêt grandissant est accordé à la typologie et l'étude des exploitations agricoles dans leur aspect organisationnel et fonctionnel pour comprendre les stratégies et les logiques de production adoptées par les agriculteurs. Landais (1996), rappelle que les typologies des exploitations agricoles dans une région donnée, basées sur des analyses statistiques multidimensionnelles, permettent d'esquisser une image fidèle de la réalité des pratiques qui y s adoptent. Le rôle de ces typologies dépasse la parcelle et la ferme pour être impliqué dans l'aide à la décision et l'établissement des politiques de développement agricole à l'échelle locale et régionale (Andersen *et al.*, 2007 ; Köbrich *et al.*, 2003). À cet effet, nous nous proposons d'établir une typologie des 260 exploitations étudiées en fonction de leur structure, du foncier, de l'occupation du sol, du niveau d'instruction de l'agriculteur et de la gestion économique. Onze variables quantitatives et qualitatives réparties en trente-huit

modalités ont été choisies. Les variables quantitatives (tableau 2.5) portent sur la surface agricole utile (SAU), la répartition de l'exploitation (RE), l'âge de l'agriculteur et l'unité de travail humaine (UTH).

Tableau 2.5 Les variables quantitatives et leurs modalités.

| Variable | Modalité | Effective Sétif | Effective Souk Ahras | Effectif total |
|-------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Localité (Loc) | | Aïn Oulmene = 12(10%) | Serdrata=12 (8.5%) | Sétif 120 (46%) |
| | | Guelte Zerga=13 (11%) | Ragouba= 12 (8.5%) | |
| | | El Eulma= 9 (7.5%) | M'darouche= 15(10.7%) | |
| | | Sétif =12 (10%) | Drea = 10 (7%) | |
| | | Bellaa= 7 (6%) | Zaouabi =9 (6.4%) | |
| | | Bazer Sakhra =8 (6.5%) | Bir Bouhouche= 8 (5.7%) | |
| | | Bir El Arch =11(9%) | Merahan=12 (8.5%) | Souk-Ahras 140 (54%) |
| | | H. Sokhna =9 (7.5%) | Ouillen = 12(8.5%) | |
| | | Tachouda=10 (8.3%) | Taoura= 15 (10.7%) | |
| | | Ain Eroua=10 (8.3%) | Zaarouria= 8 (5.7%) | |
| | | Ain Abbessa=11(9%) | Hannacha= 12 (8.5%) | |
| | | Ain Arnet=8 (6.5%) | Tiffeche= 15 (10.7%) | |
| Surface agricole utile SAU | Sur1 =<50ha | 103 (86%) | 76 (54%) | 179(69%) |
| | Sur2 >50=>=100ha | 11 (9%) | 27 (19%) | 38 (15%) |
| | Sur3>100ha | 6 (5%) | 37 (26%) | 43 (17%) |
| Répartition de l'exploitation | Rep1= une parcelle | 16 (13%) | 13 (10%) | 29 (11%) |
| | Rep2= 2 parcelles | 45 (37%) | 21 (15%) | 66 (25%) |
| | Rep3= 3 parcelles | 38 (31%) | 21 (15%) | 59 (23%) |
| | Rep4 <=4 parcelles | 21 (17%) | 85 (60%) | 106 (41%) |
| Âge de l'agriculteur | AG1 (<30) | 1 (1%) | 2 (1%) | 3 (1%) |
| | AG2 > =30 <50 | 45 (38%) | 58 (42%) | 103 (40%) |
| | AG3 > 50 | 74 (72%) | 80 (57%) | 154 (59%) |
| Unité de travail humaine UTH | UTH1 1 – 4.99 | 110 (92%) | 129 (92%) | 239 (92%) |
| | UTH2 5 – 9,99 | 7 (6%) | 11 (8%) | 18 (7%) |
| | UTH3 >= 10 | 3 (2%) | 00 (0%) | 3 (1%) |

Les sept variables qualitatives sont réparties en 25 modalités et portent sur le type de système de production, le statut juridique des exploitations (SJ) le niveau intellectuel de l'agriculteur, la pluriactivité (présence d'une autre activité), l'autonomie en matériel, l'orientation technico-économiques des exploitations et les contraintes de production (tableau 2.6).

Tableau 2. 6 Les variables qualitatives et leurs modalités.

| Variable | Modalité | Effectif Sétif | Effectif Souk Ahras | Effectif total |
|---|----------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| Système de production | SdC= système de culture | 55 (46%) | 35 (25%) | 90 (35%) |
| | SdE= système d'élevage | 00 (00%) | 00 (0%) | 0 (0%) |
| | Mixt | 65 (54%) | 105 (75%) | 170 (65%) |
| Statut Juridique des terres | SJ1= Privé | 38 (32%) | 38 (27%) | 76 (29%) |
| | SJ2= EAI | 38 (32%) | 11 (8%) | 49 (19%) |
| | SJ3= EAC | 8 (7%) | 3 (2%) | 11 (4%) |
| | SJ4= Loc | 16 (13%) | 7 (5%) | 23 (9%) |
| | SJ5= autre | 20 (17%) | 81 (58%) | 101 (39%) |
| Niveau. Intellectuel | NV1= faible | 30 (25%) | 27 (19%) | 57 (22%) |
| | NV2 = moyen | 43 (36%) | 32 (23%) | 75 (29%) |
| | NV3= bon | 47 (39%) | 81 (58%) | 128 (49%) |
| Présence d'autre activité | Oui = Act1 | 38 (32%) | 16 (11%) | 54 (21%) |
| | Non= Act0 | 82 (68%) | 124 (89%) | 206 (79%) |
| Autonomie en matériel | autonomie total =AMT | 19 (16%) | 45 (32%) | 64 (25%) |
| | AMP autonomie partielle | 46 (38%) | 58 (41%) | 104 (40%) |
| | AML = location | 55 (46%) | 37 (26%) | 92 (35%) |
| Orientation technico-économique des exploitations | OTEX1 : Céréales | 73 (61%) | 71(51%) | 144 (55%) |
| | OTEX 2 : Céréales Élevage | 39 (33%) | 50 (36%) | 90 (35%) |
| | OTEX3 :Polyculture | 3 (3%) | 3 (2%) | 6 (2%) |
| | OTEX4: Maraichage AF | 5 (4%) | 16 (11%) | 20 (8%) |
| Contraintes de production des exploitations | Cnat : naturelle | 59 (49%) | 65 (46%) | 124 (48%) |
| | Ctec : technique | 13 (11%) | 7 (5%) | 20 (8%) |
| | Ceco : économique | 32 (27%) | 49 (35%) | 81 (31%) |
| | Cfon : contrainte foncière | 11 (9%) | 16 (11%) | 27 (10%) |
| | Cnul : pas de contrainte | 5 (5%) | 3 (2%) | 8 (3%) |

2.1 Description des axes factoriels

Les cinq premiers axes de l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) expliquent près de 60% de la variation et les deux premiers axes plus de 10% de la variation.

Axe 1

Il explique un peu plus de 6% de la variation totale. Il caractérise les exploitations du point de vue contraintes dont les contraintes climatiques (Cnat), à surface inférieur à 50 ha (Sur1) et

répartie dans une parcelle (rep1). Ces exploitations se localisent dans les communes de Sétif, Bir Elarche dans la région de Sétif. Cet axe caractérise aussi les exploitations dont le statut juridique se répartie entre propriété privée et location et/ou association (SJ5) à orientation technico économique polyculture (OTEX3), souffrant de contraintes économique (Ceco). Ces exploitations se répartissent dans les communes de Zouabi et Taoura dans la région de Souk-Ahras.

L'axe 1 oppose aux exploitations situées dans les communes de Aïn Abbessa, Bazer Sakhra et Guelta Zergha dans la région de Sétif. Ces exploitations se caractérisent par la dominance des contraintes foncières (Cfon) avec une autonomie en matériel très faible (AML) et répartissant en trois parcelles. Cet axe oppose aussi les exploitations situées dans la région de Souk-Ahras (commune de Drea, Zaoubi et Ragouba) où l'agriculture est la seule activité de l'exploitant (Act0). Ces appareils de production sont caractérisés par des contraintes naturelles, un bon niveau intellectuel (NV3) de l'agriculteur et une autonomie totale en matériels (AMT).

Axe 2

L'axe 2 exprime 4,23% de la variabilité. Il caractérise les exploitations, selon leur orientation technico-économique (OTEX1), l'âge de l'agriculteur (AG2), les contraintes (Ctech) et l'autonomie en matériel (AMP). Ces exploitations sont des EAC (SJ3) ou de location (SJ4) spécialisé en production végétale (SdC) situées dans les communes de Bir Hdada et Tachouda pour la région de Sétif et Sedrata et Hnancha pour la région de Souk-Ahras.

Ce deuxième axe oppose des exploitations qui ont une orientation technico-économique céréales élevage (OTEX2) et un système de production mixte et dont l'âge de l'agriculteur oscille entre 30 et 50 ans. Ces exploitations se localisent dans la commune de Merahna, M'daourouche et Ouillen dans la région de Souk-Ahras.

La Figure 2.12 montre le positionnement sur ces deux premiers axes des variables utilisées dans la classification des exploitations dans la zone d'étude. Il apparaît que la surface, le statut juridique, la répartition des exploitations, les contraintes de production, l'orientation technico-économique, le niveau d'instruction des agriculteurs et l'âge sont les critères discriminants entre les exploitations. Entre région, les contraintes climatiques, l'âge avancé AG3, caractérisent les exploitations de Hanencha, Bir Bouhouche et Zaoubi. Les exploitations agricoles individuelles (SJ2) à taille faible (SUR1) et à surface réduites (Rep3) avec système de production basé sur la production végétale (SdC) caractérisent les exploitations de

Sedrata. À M'daourouche et Zaoubi, ces exploitations ont comme point commun le statut juridique (SJ1 et SJ3) et une OTEX2 (céréales-élevage).

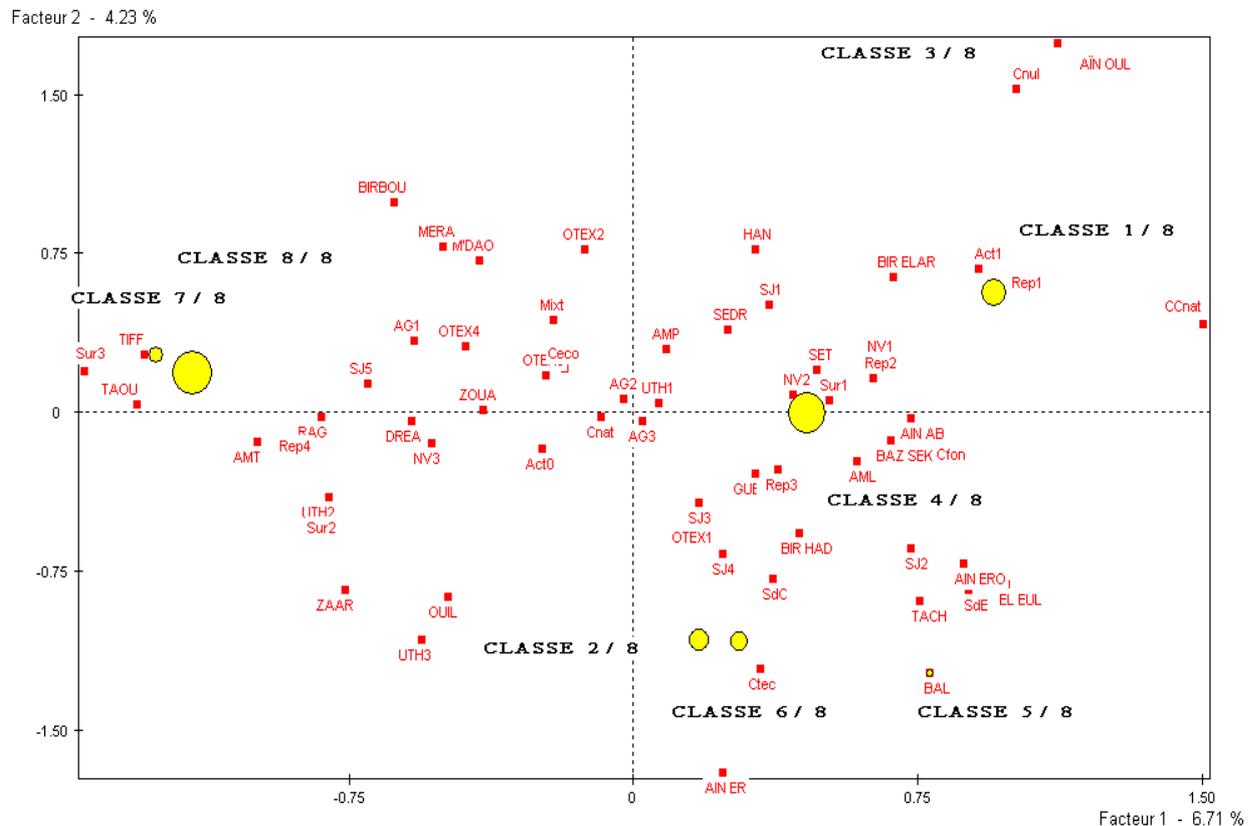


Figure 2.12 Positionnement selon les deux premiers axes des variables utilisées dans la zone d'étude.

2.1.2 Classification

Une classification hiérarchique ascendante (CHA) a été réalisée en prenant en compte les deux premiers axes factoriels afin de constituer des groupes des exploitations ayant des caractéristiques semblables de point de vue de la structure de l'exploitation et de leur aspect socioéconomique. L'analyse a permis d'identifier une seule répartition de 8 classes (fig. 2.13).

Afin de réaliser une comparaison des exploitations entre les deux régions d'étude nous étions dans l'obligation de jumeler la totalité des exploitations en une seule analyse, cela a créé une forte densité et une superposition des variables vue le nombre élevé des exploitations.

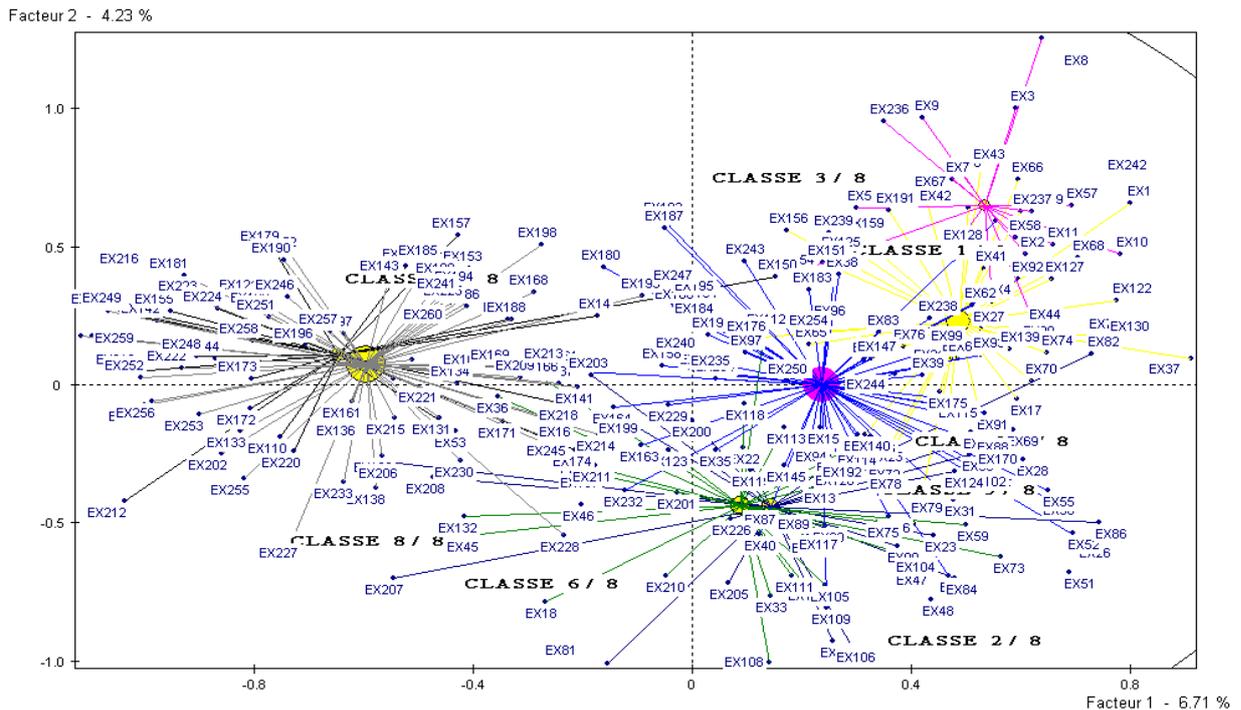


Figure 2.13 Positionnement selon les deux premiers axes des variables utilisées dans la typologie pour la zone d'étude.

Les 8 classes des exploitations agricoles diffèrent entre elle par la surface agricole utile, la répartition (Rep), l'effectif humain employé, l'âge de l'agriculteur, le statut juridique des terres et l'autonomie en matériel (tableau 2.7 et 2.8).

Tableau 2.7 : Moyennes et écarts type des moyennes (entre parenthèses) des variables quantitatives selon les huit classes d'exploitations (Les valeurs portant des lettres communes ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%).

| Type | A | | | | B | | C | | Moyenne |
|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | C1 | C2 | |
| effectif | 39 | 28 | 17 | 7 | 60 | 25 | 20 | 64 | 260 |
| SAU | 20,7a (18,9) | 24,40b (21,80) | 23,5b (23,5) | 19,1a (5,6) | 37,27c (30,03) | 34,08c (24,05) | 162,90d (107,5) | 98,80e (68,37) | 55,05 (11,69) |
| Age | 50,49a (11,18) | (54,43)b (11,73) | 50,53a (11,57) | 51,86b (11,77) | 54,37b (11,83) | 52,64ab (10,8) | 55,15c (13,24) | 52,13ab (12,18) | 53,05a (11,69) |
| UTH | 1,79a (1,83) | 3,03b (3,03) | 1,86c (1,21) | 1,21c (0,23) | 2,47d (1,94) | 2,49d (1,49) | 2,72d (1,80) | 2,70d (1,63) | 2,41d (1,91) |
| Rep | 2,54a (1,48) | 3,57b (1,69) | 3,00b (1,62) | 2,57a (1,27) | 3,33b (1,56) | 4,08bc (1,50) | 5,30c (1,53) | 4,84c (1,45) | 3,74 (1,77) |

Les classes 1, 2, 3 et 5 constituent le groupe A composé de quatre types A1, A2, A3, A4 ce groupe caractérise beaucoup plus les exploitations de la région de Sétif dont la taille est

comprise entre 19,1 et 24,4 ha et qui se diffère par leurs statuts juridiques, leurs orientations technico-économiques et la pluriactivité de leur propriétaire.

Tableau 2.8 : Distribution (nombre et pourcentage) des modalités des variables qualitatives selon les huit classes d'exploitation au niveau de Sétif et Souk-Ahras.

| Type | | A | | | | B | | C | |
|---------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Variable | Classes modalités | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | C1 | C2 |
| Système de production | SdC | 20 (51%) | 11 (39%) | 3 (18%) | 5 (71%) | 20 (33%) | 13 (52%) | 4 (20%) | 14 (22%) |
| | SdE | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| | Mixt | 19 (49%) | 17 (61%) | 14 (82%) | 2 (29%) | 40 (67%) | 12 (48%) | 16 (80%) | 50 (78%) |
| Statut juridique | SJ1 | 18 (46%) | 4 (14%) | 10 (59%) | 0 (0%) | 18 (30%) | 4 (14%) | 4 (20%) | 16 (25%) |
| | SJ2 | 6 (15%) | 2 (7%) | 2 (12%) | 5 (71%) | 18 (30%) | 5 (20%) | 1 (5%) | 5 (8%) |
| | SJ3 | 1 (3%) | 1 (3%) | 1 (6%) | 0 (0%) | 4 (7%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 3 (5%) |
| | SJ4 | 2 (5%) | 17 (60%) | 1 (6%) | 0 (0%) | 5 (8%) | 7 (28%) | 0 (0%) | 2 (3%) |
| | SJ 5 | 12 (31) | 4 (14%) | 3 (18%) | 2 (29%) | 15 (25%) | 9 (36%) | 5 (25%) | 38 (59%) |
| Niveau instinctuel | NV1 | 8 (21%) | 7 (25%) | 6 (35%) | 0 (0%) | 16 (27%) | 8 (32%) | 2 (10%) | 14 (22%) |
| | NV2 | 15 (38%) | 6 (21%) | 8 (47%) | 3 (43%) | 22 (37%) | 4 (16%) | 5 (25%) | 3 (5%) |
| | NV3 | 16 (41%) | 15 (54%) | 3 (18%) | 4 (57%) | 22 (37%) | 13 (52%) | 13 (65%) | 47 (73%) |
| Autre activité | Act1 | 16 (39%) | 25 (89%) | 5(30%) | 0 (0%) | 11 (18%) | 5 (20%) | 1 (5%) | 1 (2%) |
| | Act0 | 23 (61%) | 3 (11%) | 12 (70%) | 7 (100%) | 49 (82%) | 20 (80%) | 19 (95%) | 63(98%) |
| Autonomie matériel | AMT | 3 (8%) | 6 (21%) | 2 (12%) | 2 (29%) | 9 (15%) | 8 (32%) | 12 (60%) | 25 (39%) |
| | AMP | 17 (44%) | 10 (36%) | 10 (59%) | 0 (0%) | 25 (42%) | 4 (16%) | 5 (25%) | 27 (42%) |
| | AML | 19 (49%) | 12 (43%) | 5 (29%) | 5 (71%) | 26 (43%) | 13 (52%) | 12 (52%) | 12 (19%) |
| Orientation technico économique | OTEX1 | 20 (51%) | 21 (78%) | 5 (29%) | 3 (43%) | 19 (32%) | 20 (80%) | 9 (45%) | 31 (34%) |
| | OTEX 2 | 12 (31%) | 4 (12%) | 11 (65%) | 2 (29%) | 39 (65%) | 4 (16%) | 10 (50%) | 22 (48%) |
| | OTEX3 | 1 (3%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 1 (2%) | 1 (4%) | 0 (0%) | 8 (13%) |
| | OTEX4 | 6 (15%) | 3 (11%) | 1 (6%) | 2 (29%) | 1 (2%) | 0 (0%) | 1 (5%) | 3 (5%) |
| Contraintes | Cnat | 17 (44%) | 17 (61%) | 7 (41%) | 2 (29%) | 38 (63%) | 13 (57%) | 11 (55%) | 35 (55%) |
| | Ctec | 3 (8%) | 2 (7%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 5 (8%) | 6 (24%) | 1 (5%) | 2 (3%) |
| | Ceco | 13 (33%) | 7 (25%) | 5 (29%) | 2 (29%) | 16 (27%) | 6 (24%) | 8 (40%) | 3 (5%) |
| | Cfon | 5 (13%) | 1 (4%) | 0 (0%) | 3 (34%) | 1 (2%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 23 (36%) |
| | Cnul | 1 (1%) | 1 (4%) | 5 (29%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 1 (5%) | 1 (2%) |
| Sétif | Nb | 31 (79%) | 16 (57%) | 9 (53%) | 7 (100%) | 32 (53%) | 12 (84%) | 2 (10%) | 11 (17%) |
| SA. | Nb | 8 (21%) | 12(43%) | 8 (47%) | 0 (0%) | 28 (47%) | 13 (52%) | 18 (90%) | 53 (83%) |

Les classes 4 et 6 correspondant au groupe B composé de deux sous types B1 et B2 appartenant aux deux zones orientées vers la céréaliculture et se diffèrent par le niveau d'instruction et les contraintes techniques. Les classes 7 et 8 constituent le groupe C (C1 et

C2) associent céréaliculture et élevage (système de production mixte) et se diffèrent par l'unité de travail humain, ce type domine la région de Souk-Ahras (fig. 2.14).

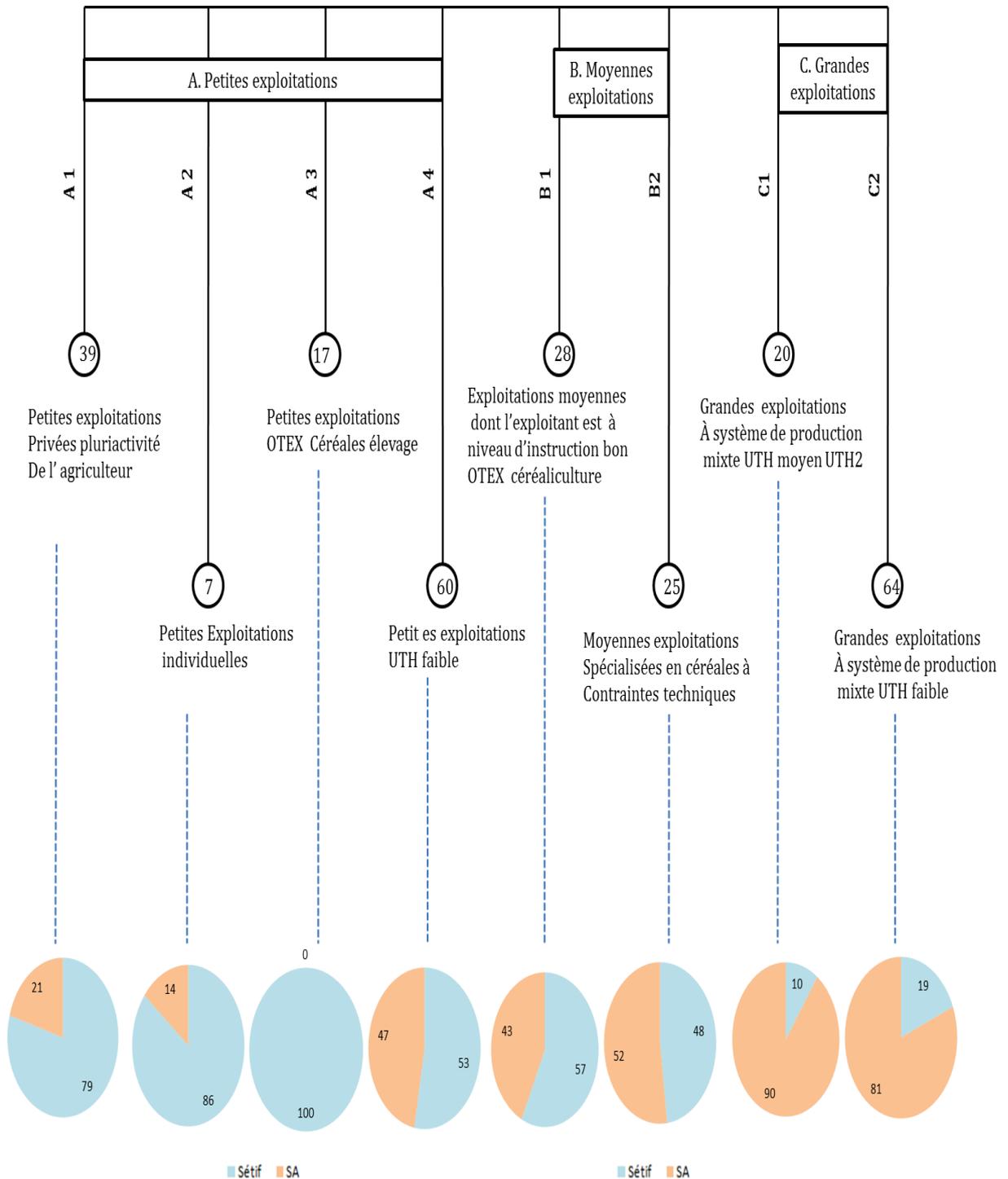


Figure 2.14 Représentation schématique des huit types d'exploitation.

A/ Petites exploitations

En présence forte dans la région de Sétif, ce premier groupe se compose de 84 exploitations réparties en 4 types. La moyenne de la surface agricole utile de ce groupe est de $22,26 \pm 19,95$

ha. Les exploitations de ce type se différencient par le statut juridique et l'orientation technico-économique.

A1/Petites exploitations privées à vocation céréalière

La surface moyenne est de 20,76 ha où 79% d'entre elles sont situées dans la région de Sétif (commune de Bir Elarche et Tachouda). 61 % des propriétaires de ces exploitations cumulent une autre fonction (act1). En ce qui concerne l'autonomie en matériel 93% des exploitations sont totalement (AML) ou partiellement (AMP) dépendantes des locataires du matériel, ce qui explique le nombre de passage faible (un seul passage Pas1) dans 71% des exploitations.

A2/ Petites exploitations construites de terres de location

Ces exploitations sont présentes à hauteur de 60%, la SAU moyenne est de 23,5 ha spécialisées dans la production végétale (SdC). 78,57 % de ces exploitations ont la céréaliculture comme orientation technico-économique. Le blé dur constitue la principale sole suivi par le blé tendre. 45 % de ces exploitations sont localisées dans la commune de Bir Haddada et d' Ain Erwa à Sétif. 14% de ce type appartient à la région de Souk-Ahras. Les propriétaires de ce type d'exploitations se caractérisent par un niveau intellectuel bon (NV3).

A3/ petites exploitations privées à vocation céréales-élevage

Elles sont réparties en deux parcelles pour 65 % des cas. Ce type avec 17 unités de production se localise principalement dans la commune de Aïn Oulmene (59 %). 70% des exploitants combinent une autre fonction avec l'activité agricole

A4/ Petites exploitations dont le statut juridique est de type EAI

Ces exploitations sont exclusivement situées dans la commune de Bellaa (Sétif). Ce type d'exploitations est le moins représenté avec 7 exploitations et dont la moyenne des SAU est de $19,1 \pm 5,6$ ha. Les 7 exploitations constituant ce groupe appartiennent à la commune de Bellaa à Sétif. Ce type a en commun le statut juridique des terres (100% EAI). Ces exploitations sont exposées aux contraintes foncières (Cfon) car elles sont toujours dans l'indivision.

B/ Exploitation à taille moyenne

Ce groupe comprend des exploitations à taille moyenne, présentes dans les deux régions d'étude. Deux types ont été identifiés dans ce groupe :

B1 / Moyenne exploitation à unité de travail faible (UTH 1)

La surface moyenne de ces exploitations est de 37,27 ha répartie presque en égalité entre les deux régions. 65% de ces exploitations combinent entre l'élevage et la céréaliculture. 82% des exploitants pratiquent uniquement l'activité agricole. L'autonomie en matériel de ces exploitations est faible (AMP).

B2/ Moyennes exploitations à vocation céréalière et maraichère

Représentées par 12 exploitations à Sétif et 13 à Souk-Ahras. La moyenne de la surface agricole utile de cette classe est de 34,08 ha répartie en trois parcelles (Rep3). Plus de la moitié (52%) des exploitations de cette classe font recours à la location du matériel pour réaliser les différentes pratiques agricoles. 32% de ces exploitations sont exposées à des contraintes naturelles.

C/ Grandes exploitations à dominance céréales-élevage

Ce groupe rassemble 32,3% de l'effectif total des exploitations étudiées dont la taille moyenne des exploitations est supérieure ou égale à 98 ha avec un système de production mixte (céréales élevage). Ce groupe se répartie dans la région de SA à hauteur de 85,1% et se compose de deux types qui ont la surface comme point commun et se diffère par l'UTH et l'autonomie en matériel.

C1/ grandes exploitations à autonomie totale en matériel et à UTH moyenne (UTH2)

Concerne 20 exploitations agricoles dont la surface des 75% d'entre elles dépassent les 100 ha. La surface moyenne des exploitations constituant ce groupe est égale à 162,90 ha. Ce type englobe les exploitations qui ont une autonomie totale en matériel agricole (AMT). 65% de l'effectif de ce groupe se localise dans les communes de Taoura, M'daourouche et Zaoubi (région de Souk-Ahras) où les contraintes naturelles sont plus ou moins prononcées (Cnat). 95% des exploitants ont l'agriculture comme l'unique activité (act0).

C2/ Grandes exploitations à unité de travail humain faible (UTH1)

Elles sont représentées par 64 exploitations (24,62% de l'échantillon). Ce type se diffère du type C1 par la taille moyenne des exploitations (98,80ha contre 162,9 ha) et l'effectif humain employé (UTH1 contre UTH2 pour le C1). Ces exploitations se composent d'un mélange de statuts juridiques (SJ5 : privées et location et/ou association). Les exploitants qui

gèrent ces appareils de production ont un niveau intellectuel bon dans 73% des cas. L'agriculture est la seule activité de 98% des exploitations visitées.

2.3 Analyse et discussion

2.3.1 Analyse descriptive des exploitations

2.3.1.1 Âges et main d'œuvre

L'analyse des résultats montre qu'au niveau des deux régions l'âge moyen est de 53,05 ans. Selon l'OMS cet âge est transitionnel entre la phase de maturité et le vieillissement. La tranche d'âge comprise entre 30 ans (phase de maturité) et 60 ans (âge de transition) représente 65% de l'échantillon étudié. 30% des exploitants ont un âge supérieur à 60ans. La frange d'âge inférieure à 30 ans ne représente que 5% des agriculteurs visités. Ce résultat montre que le secteur agricole est moins attirant aux jeunes par rapport à d'autres secteurs (services et bâtiment). Cette situation plonge ainsi ce secteur dans une crise permanente où des récoltes ont pourri sur champs faute de main d'œuvre (Benyoucef, 2016).

Au Maroc, L'âge moyen des exploitants est d'environ 52 ans, en Tunisie la situation est pareille, 46% des exploitants dépassent l'âge de 60ans (Khaldi *et al.*, 2010 ; MARHP 2006). Par contre en France moins de 20 % des exploitants ont plus de 60 ans (Desriers, 2007). En termes de main d'œuvre, l'analyse des résultats indique qu'une unité de travail humaine (UTH) s'occupe en moyenne de 26,16 ha. Un coefficient de variation de 168% et une différence très hautement significative entre les deux régions d'étude ($P < 10^{-3}$) ont été enregistrés. À Souk-Ahras 36,6 ha en moyenne sont occupé par une UTH contre 12,8 à Sétif. Les résultats des travaux réalisés dans la région semi-aride de l'Algérie révèlent une hétérogénéité quant au nombre d'hectares dont une UTH peut s'occuper selon les types de cultures existantes et l'étage climatique de la région ; ce nombre varie de 1,7 ha/UTH jusqu'à 35,5 ha/UTH pour des surfaces agricoles comprises entre 7 ha et 155 ha. (Hattab et Gaouar, 2016 ; Bekhouche, 2011). La corrélation négative entre l'augmentation de la surface des exploitations et l'unité de travail humain est due à la mécanisation adaptée aux grandes surfaces qui se fait au détriment de la main d'œuvre et donc à sa réduction.

2.3.1.2 Surface agricole utile

La surface agricole utile des exploitations visitées affichent une moyenne de 55 ha, une étendue de 478 ha et un coefficient de variation de 128%. 10% des exploitations objet de l'enquête ont une surface de moins de 5 ha. Les exploitations bénéficiant d'une assiette

foncière comprise entre un et 20 ha sont dominantes (35,5%), pour la zone de Sétif ce taux s'élève à 55%. Les résultats d'une étude récente menée par Bir *et al.*, 2014 portant sur 128 exploitations de la région de Sétif confirment la faiblesse de la dimension foncière avec la dominance (61,7%) des classes d'exploitations dont la surface est comprise entre 1-20 ha. Benniou et Brinis (2006) rapportent dans leur étude qu'environ 40 % des 120 agriculteurs enquêtés dans la région de Sétif exploitent moins de 20 hectares de surface agricole totale (SAT) et 10 hectares de SAU. Ghazlane et al (2003) dans une étude sur 56 exploitations dans le massif du Dahra (Chélif) au nord-est du pays confirme aussi la faiblesse de la taille des exploitations où la taille dominante est celle comprise entre 1-10 ha et 11-20 ha. À l'échelle nationale, les petites exploitations représentent 70% avec moins de 10 ha (RGA, 2001). La vocation céréalière, le recours massif aux locations des terres agricoles et l'établissement des associations avec les agriculteurs propriétaires des terres fait que les agriculteurs de Souk-Ahras exploitent plus de terre.

L'Algérie ne constitue pas une exception pour la taille des exploitations ; les trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie) cumulent 66% des exploitations de moins de 5 ha et 18 % des exploitations ont une taille qui oscille entre 5 et 10 ha. Ces deux catégories contrôlent 33,3% de la SAU. Pour la Tunisie, 75% des exploitations ont moins de 10 ha (Bessaoud et Montaigne, 2009) L'héritage et la succession fait que la part des petites exploitations est toujours en hausse, entravant ainsi l'application d'une agriculture intensive dans les régions favorable à la production agricole.

2.3.1.3 Répartition des exploitations

La surface moyenne des parcelles visitées est de l'ordre de 11,4 ha (11 ha pour la région de Sétif et 11,7 ha pour la région de Souk-Ahras). Cette surface est peu favorable au développement de la céréaliculture de point de vue technique (ne permet pas l'application de l'itinéraire technique approprié basé sur la mécanisation), et de point de vue économique elle n'assure pas un revenu acceptable pour l'agriculteur, du fait que le seuil de rentabilité de céréale (blé dur) est de 10 q/ ha en moyenne. Ce rendement est n'est pas loin de la moyenne nationale. La corrélation positive entre le nombre et la taille des parcelles n'est pas toujours vérifiées. La valeur agronomique des terres qui était la base de la répartition des EAC a été respectée lors de division de ces derniers en concession. Le problème d'éloignement des parcelles et d'accessibilité à la terre sont devenue des handicaps à l'application d'un itinéraire technique approprié (Abbes, 2004). Dans notre échantillon 48 agriculteurs ont des

parcelles éloignées de leurs maisons, 176 ont des parcelles loin et autres près de leurs maisons et 103 (39%) possèdent des parcelles près de leurs maisons.

3% des exploitations visitées se composent de plus de 20 parcelles réparties dans plusieurs communes. La région de Souk-Ahras englobe la majorité de ces exploitations. La dispersion des parcelles et le morcellement de terres arables est un problème majeur. La limitation du morcellement a constitué une constante de la politique foncière de l'Algérie. Ce problème trouve son essor dans l'adoption des nouvelles lois régissant les modalités d'héritabilité des exploitations par les descendants pour les exploitations privées et l'orientation foncière pour les autres catégories.

2.3.1.4 Statut foncier des exploitations

L'analyse de la nature juridique des 260 exploitations enquêtées montre la dominance des exploitations privées avec 71% en moyenne. Ce pourcentage s'élève à 75% pour Souk-Ahras. À Sétif les résultats trouvés (65% des exploitations sont des EAP) se concordent avec ceux trouvés par Bir et al (2014) (60%) et par Benniou et Brinis (2006) qui ont rapporté un pourcentage de 70% des exploitations privées pour un échantillon de 120 exploitations enquêtées dans la zone de Sétif, les EAI représentent 18%. Parmi les 140 exploitations visitées à Souk-Ahras 6,5% d'entre elles appartiennent au Arch, les exploitations agricoles collectives (EAC) représentent un taux de 4%. Cependant, parmi les 14020 exploitations que compte la région de Souk-Ahras, parmi les 14020, 87% sont des EAP, 10,6% sont des EAI et environ 2% sont des EAC (DSA Souk-Ahras 2015). Le recensement de 2001 donne une répartition à l'échelle nationale des exploitations selon leur statut juridique comme suit : 6% d'EAC, 11% d'EAI et 73% d'EAP.

2.3.1.5 Orientation technico-économique des exploitations

La majorité des exploitations enquêtées (55%) ont une OTEX céréalières, celles qui combinent les céréales et élevage représentent 35%. Les exploitations dont l'orientation technico-économique est les cultures maraichères et l'arboriculture fruitière représentent 7% de l'échantillon. Les exploitations spécialisées en polyculture représentent 2,5%. La vocation des régions semi-arides est depuis l'antiquité une association entre la céréaliculture et l'élevage ovin, ce système jugé pertinent dans les années passées et actuellement sujet à un grand débat avec l'apparition de la limite de ce système en la matière de la satisfaction des besoins alimentaire de la population. Le faible taux des exploitations dont le système de

production est mixte (céréales-élevage) est le résultat de la sélection des exploitations (la priorité est donnée aux exploitations spécialisées en production végétale). Dans une étude réalisée sur 260 exploitations à Sétif, Rouabhi *et al.*, (2016a) ont rapporté que l'orientation technico-économique est fonction de l'étage bioclimatique et que la combinaison céréales-élevage est nécessaire pour améliorer les performances économiques de la ferme et surmonter les contraintes climatiques.

3 Caractérisation et typologie des systèmes de culture

Les systèmes de culture pratiqués dans les hautes plaines Sétifiennes et Souk-Ahrasiennes ont fait l'objet d'une description détaillée concernant les trois composants du système à savoir, la succession des cultures, l'assolement et l'itinéraire technique.

3.1 Assolement et succession des cultures

Les céréales d'hiver (blé dur, blé tendre et orge) sont omniprésentes dans les parcelles enquêtées avec au total 86% pour le blé dur, 36% pour le blé tendre et 62% pour l'orge (Tableau 2.9). Parmi les 671 parcelles enquêtées dans la région de Souk-Ahras 97,14% d'entre eux pratiquent la culture de blé dur (Bd), 56,43% la culture de blé tendre (Bt) et 76,43% l'orge. Pour la zone de Sétif, parmi les 354 parcelles enquêtées, 72,50% pratiquent la culture de blé dur mais uniquement 14,17% des parcelles sont emblavées de blé tendre et 45% pour l'orge.

La culture de Tabac persiste dans la région de Sétif alors qu'elle est absente à Souk-Ahras. La culture de melon et pastèque est totalement absente à Sétif alors qu'elle est très répandue à Souk-Ahras. Le melon de la commune Zouabi et la pastèque de M'daourouche sont des labels qui nécessitent une valorisation.

Tableau 2.9 Fréquence des espèces cultivées dans les champs enquêtés.

| Espèces | % des parcelles enquêtées | | |
|-------------------------------------|---------------------------|------------|-------|
| | Sétif | Souk-Ahras | Total |
| Blé dur (Bd) | 72,50 | 97,14 | 85,77 |
| Blé tendre (Bt) | 14,17 | 56,43 | 36,92 |
| Orge (Or) | 45,00 | 76,43 | 61,92 |
| Lentille (Len) | 5,00 | 14,29 | 10,00 |
| Pois chiche (PoCh) | 11,43 | 2,50 | 7,31 |
| Fourrage (Fog) | 35,83 | 21,43 | 28,08 |
| Maraichère (Mar) | 6,67 | 12,86 | 10,00 |
| Pomme de terre (PT) | 7,50 | 5,00 | 6,15 |
| Arboriculture fruitière (AF) | 5,83 | 22,14 | 14,62 |
| Melon (Mel) | 0,00 | 12,14 | 6,54 |
| Tabac (Tab) | 5,83 | 0,00 | 2,69 |
| Autres | 5,00 | 8,57 | 6,92 |

3.1.1 Nombre de cultures par système de culture

13 cultures ont été identifiées dans 1025 parcelles enquêtées durant la période d'étude : blé dur, blé tendre, orge, lentille, pois-chiche, fève, petit-pois, cultures fourragères (vesce-avoine bersim et luzerne), cultures maraichères (courgette, haricot, piment et poivron), cultures industrielles (tomate et tabac) pomme de terre, melon et pastèque.

Le nombre maximal de culture pratiquée par système de culture est de 7 (fig. 2.15), il se pratique chez 0,77 % d'exploitations enquêtées (1.43% pour les parcelles de Souk-Ahras alors qu'à Sétif aucun système ne regroupe ce nombre de culture). Les cultures sétifiennes sont peu diversifiées (dominances des SdC qui pratiquent une ou deux cultures à 70%). Par contre les systèmes de culture recensé dans la région de Souk-Ahras montrent une diversité de culture plus importante où 38,57% des systèmes pratiquent 3 cultures, 14,29% pratiquent 4 cultures et 10,71 pratiquent 5 cultures (fig.2.15).

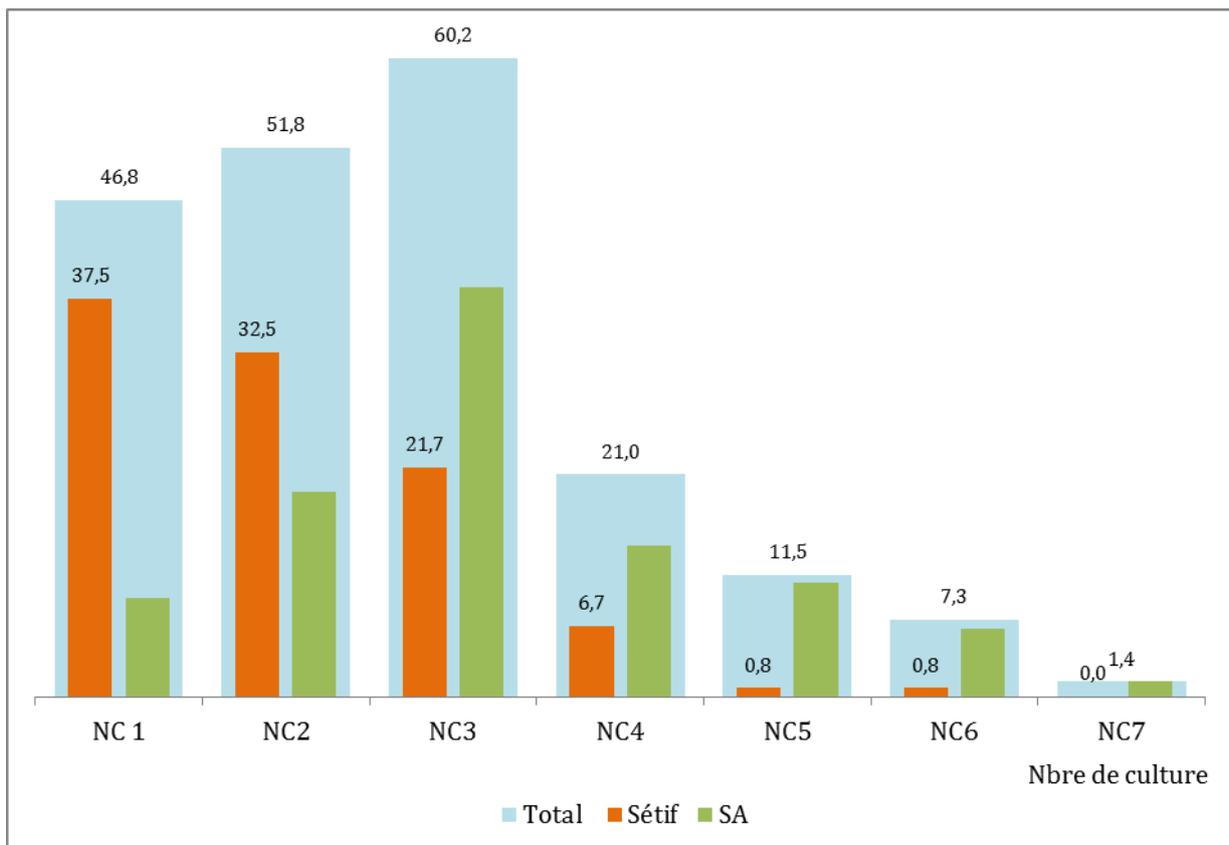


Figure 2.15 Distribution des cultures par exploitation.

3.1.2 La surfaces allouées aux différentes cultures (assolement)

La sole de blé dur détient la plus grande place avec une surface avoisinant les 7300 ha (fig. 2.16) suivie par l'orge et le blé tendre pour des surfaces de l'ordre de 1650 ha pour chacune. La sole réservée aux légumes secs (lentille et pois chiche) reste faible, elle avoisine 70ha pour la région de Sétif et 200 ha pour la région de Souk-Ahras. La sole réservée à la lentille dans la zone de Souk-Ahras est supérieure à celle réservée au pois chiche, du fait que les agriculteurs sont plus familiarisés avec la culture de lentille que le pois-chiche, ce dernier exige une conduite rigoureuse du semis à la récolte. La sensibilité des variétés du poids chiche cultivées à l'antracnose constitue un handicap au développement de cette culture en Algérie

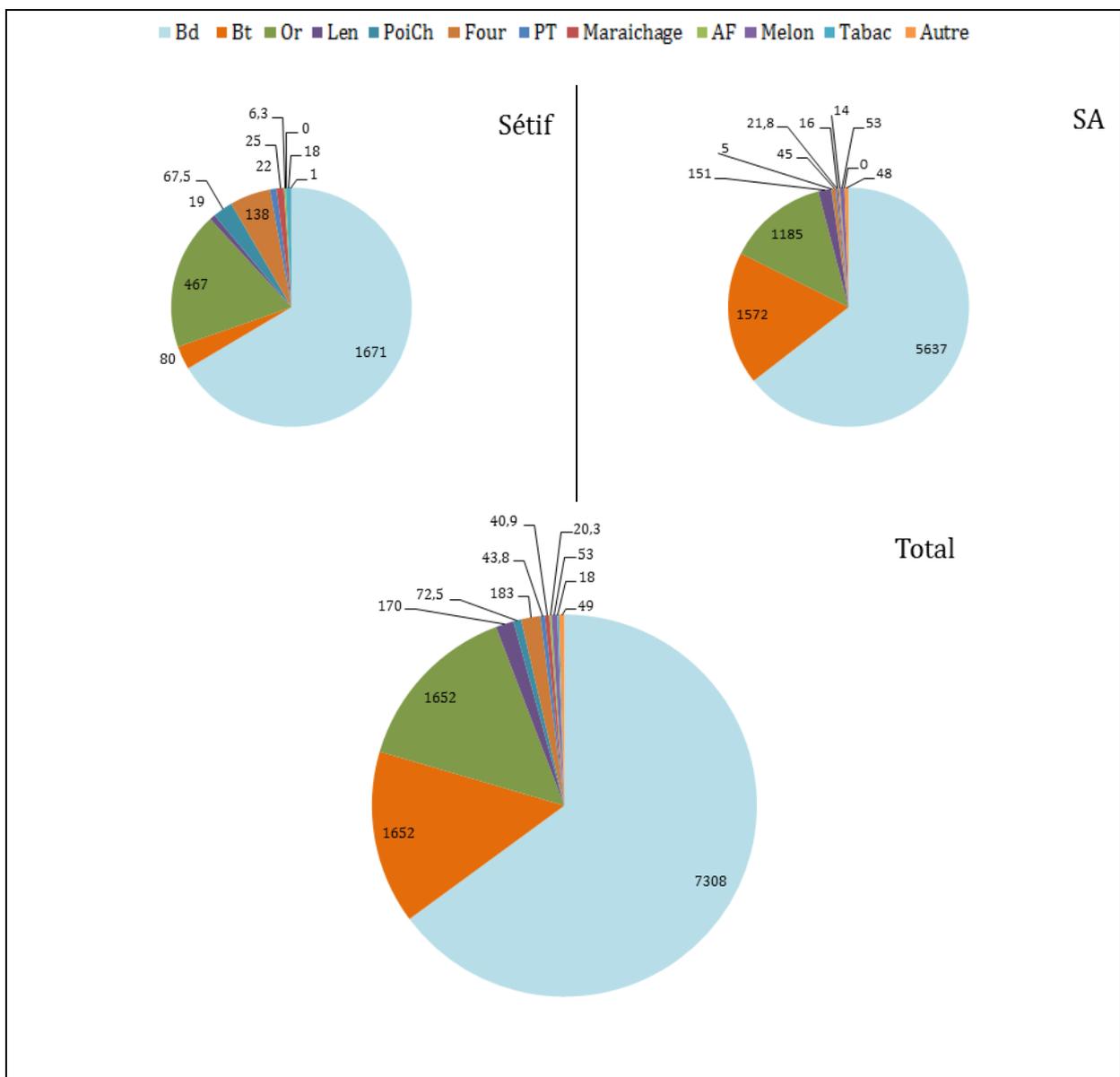


Figure 2.16 Surfaces allouées à chaque culture dans les zones d'étude.

Les cultures fourragères, base de l'alimentation animale, occupe une surface marginale dans les exploitations enquêtées. La sole fourragère occupe une surface de 183 ha (138 pour Sétif et 45ha pour Souk-Ahras), hors ces deux régions figurent en premier rang parmi les 22 bassins laitiers que compte le pays. La vesce avoine représente 89% de la sole fourragère et la luzerne 3,5%. Le tiers des agriculteurs enquêtés dans la région de Souk-Ahras et 10% de de la région Sétif pratiquent les cultures fourragères à des fins commerciales, le foin de la vesce-avoine est le produit fini mis sur le marché.

La culture de la pomme de terre bien que développée dans les zones où l'accès à l'eau est possible, elle se pratique dans la région de Souk-Ahras par des locataires hors région, possédant le matériel agricole et la technicité nécessaire à sa production et par les autochtones pour la région de Sétif. Les surfaces occupées par cette spéculation restent faible 22,5 ha pour la zone de Souk-Ahras et 93 ha pour la zone de Sétif. L'eau, la cherté de la semence et les fluctuations des prix constituent des facteurs limitant au développement de cette culture dans les hautes plaines de Sétif et de Souk-Ahras. Les cultures maraichères occupent une surface de 40 ha répartie entre tomate, poivron, laitue, betterave, artichaut et oignon pour la région de Sétif et tomate, piment, poivron, carotte et haricot pour la région de Souk-Ahras. Les périmètres irrigués de Sedrata, et les rives d'Oued El Cheref à Zouabi englobent la grande partie de la sole maraichère dans la région de Souk-Ahras. À Sétif les cultures maraichères sont réparties dans les communes d'Aïn Ernet, Aïn Abbassa et Guelta Zergua. Les cultures industrielles représentées par la culture de tabac et de tomate ont été recensées uniquement dans la commune d'Aïn Oulmene (Sétif) et Zouabi à Souk-Ahras.

Dans les deux régions visitées, les cultures pérennes sont très peu présentes (20 ha). L'amandier et l'olivier connues par leur grande rusticité constituent la majeure partie des vergers recensés à SA. Ces vergers sont implantés sur des sols dont l'accessibilité est difficile, ou des terres à valeur agronomique faible. La conversion des soles céréalières en verger oléicole est une pratique qui est mal appréhendée par les agriculteurs. Des 260 agriculteurs enquêtés, 2 uniquement ont converti 4 ha de leur sole céréalière en olivier. Dans la zone médiane de Sétif l'arboriculture fruitière est répartie en petits vergers souvent destinées à la consommation domestique, le pommier, le poirier et l'abricotier sont les espèces dominantes dans les vergers recensés.

3.1.3 La rotation (Succession des cultures)

La succession des cultures composantes principale de système de culture est déterminée sur 5 ans sinon sur trois. La disponibilité et la fiabilité de l'information constituent les facteurs limitant pour la caractérisation de la succession culturale au sein de SdC sur une longue période vue le manque des fiches de suivi des champs. Les céréales tous types confondus avec les autres cultures forment 25 successions.

Les céréales sont présentes dans 99% des parcelles, des 25 successions recensées 23 d'entre elles incluent au moins une céréale (blé tendre, blé dur ou orge). La rotation biennale blé jachère avec ces trois types : pâturée travaillée ou cultivée, est présente chez 89% et 78% des parcelles enquêtées dans les zones de Sétif et de Souk-Ahras respectivement (tableau 2.10).

Tableau 2.10 Distribution de la succession des cultures dans la zone d'étude.

| Groupe | Type de la succession culturale | Exemple | Fréquence | | |
|--------|----------------------------------|---|-----------|------------|-------|
| | | | Sétif | Souk-Ahras | Total |
| 1 | Céréale jachère | Bd-JW-Bd-JW-Bd, Bt-JW-Bt-JW-Bt, Bd-JW-Bd-JW-Bd, | 25% | 36% | 31% |
| | | Bd-JP-Bd-JP-Bd, Bt-JP-Bt-JP-Bt | 59% | 19% | 38% |
| | | Bd-JC-Bd-JC-Bd, Bt-JC-Bt-JC-Bt, | 5% | 23% | 15% |
| 2 | Monoculture de céréales | Or-Or-Or-Or | 9% | 10% | 4,6% |
| | | Bd-Bd-Bd -JW Bd-Bt-Or-Bd | 1% | 12% | |
| 3 | Céréale fourrage | Bd-Bd-CF-Bd | | | |
| | | Or-Bd-CF | 11% | 2% | 6% |
| 4 | Céréales légumes secs | Bd - Fev - Bd, Bd -Pp - Bd, Or-Pp-Or | >1% | >1% | >1% |
| | | Bd-Len-Bd-JP | 4% | 13% | 9% |
| | | Bd-PoCh-Bd-JP | | | |
| 5 | Céréale pomme de terre | Bd-PT- Bd-Bd-JW | 1% | 5% | 2% |
| | | Bd-PT- Bd-Bd-JW Bd-PT-CF-Bd | | | |
| 6 | Céréale maraichère | Bd-On-Bd-Bd -JW | 9% | 3% | 6% |
| | | Bd-Tom-Bd-Bd Bd-Me -Bb-Me-JW Bd-Per-JP, Bd-Per-Bd | | | |
| 7 | Cultures diversifié sans céréale | Poi-har- Pest Tom-poi-Oig Car- Melon | >1% | >1% | >1% |

Bd (blé dur) ;Bt (blé tendre) ; Or (orge) ; PT (pomme de terre) ; Jw (jachère travaillée), JP (jachère pâturée) ; JC (jachère cultivée) ; Pp (petit pois) ; Fev(Fève) ; Len (Lentille) ; PoCh (pois Chiche) ; Oig (Oignon) Tom (Tomate); Poi (Poivron) ; Har (Haricot) ; Past (Pastèque), Me (Melon) ; Per (Persil). (Car) ; carotte

4 Typologie fonctionnelle des systèmes de culture

4.1 Typologie des itinéraires techniques

Les itinéraires techniques des systèmes de culture en place font l'objet d'une typologie portant sur 8 variables qualitatives et 3 variables quantitatives (tableau 2.11). Les variables qualitatives décrivent les différentes pratiques agricoles, elles englobent les opérations de poste récolte de la culture précédente (déchaumage) jusqu'à la récolte de la culture de l'année en cours.

Tableau 2.11 Variables qualitatives et leurs modalités.

| Variable | Modalité | Effective Sétif | Effective Souk Ahras | Effectif total |
|------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------|
| Localité (Loc) | | Aïn Oulmene = 12(10%) | Serdrata=12 (8.5%) | Sétif 120 (46%) |
| | | Guelte Zerga=13 (11%) | Ragouba= 12 (8.5%) | |
| | | El Eulma= 9 (7.5%) | M'daourouche= 15(10.7%) | |
| | | Sétif =12 (10%) | Drea = 10 (7%) | |
| | | Bellaa= 7 (6%) | Zaouabi =9 (6.4%) | |
| | | Bazer Sakhra =8 (6.5%) | Bir Bouhouche= 8 (5.7%) | |
| | | Bir El Arch =11(9%) | Merahan=12 (8.5%) | |
| | H. Sokhna =9 (7.5%) | Ouillen = 12(8.5%) | Souk-Ahras 140 (54%) | |
| | Tachouda=10 (8.3%) | Taoura= 15 (10.7%) | | |
| | Ain Erwa=10 (8.3%) | Zaarouria= 8 (5.7%) | | |
| | Ain Abbessa=11(9%) | Hanancha= 12 (8.5%) | | |
| Ain Arnet=8 (6.5%) | Tiffeche= 15 (10.7%) | | | |
| Déchaumage | DECH1=Oui | 02(2%) | 17 (12%) | 19 (7%) |
| | DECH0=Non | 118 (98%) | 123 (88%) | 241 (93%) |
| Labour | Lab1 =Oui | 111(92%) | 132 (90%) | 243 (93%) |
| | Lab0=Non | 09 (8%) | 08 (10%) | 17 (7%) |
| Engrais de fond | EnF1= apport | 46 (38%) | 119 (85%) | 165 (63%) |
| | EnF0 = pas d'apport | 74 (62%) | 21 (15%) | 95 (37%) |
| Semis | SD =direct | 03 (3%) | 00 (00%) | 3 (1%) |
| | SL= ligne | 100 (83%) | 111 (79%) | 205 (79%) |
| | SV= à la volée | 17 (14%) | 29 (21%) | 52 (20%) |
| Engrais de couverture | No = apport | 65 (54%) | 120 (86%) | 188 (72%) |
| | Non = pas d'apport | 55 (46%) | 20(14%) | 72 (28%) |
| Désherbage | Desh1= Oui | 44(37%) | 108 (77%) | 151 (58%) |
| | Desh0=Non | 76 (63%) | 32 (23%) | 108 (42%) |
| Irrigation | Irrigo = Oui | 21(18%) | 16 (13%) | 37 (14%) |
| | Irrign =Non | 99 (82%) | 124 (87%) | 223 (86%) |
| Lutte phytosanitaire | Tphyto1= Oui | 4 (4%) | 16 (10%) | 20 (8%) |
| | Tphyto=Non | 116 (96%) | 124 (90%) | 240 (92%) |

Les variables quantitatives (tableau 2.12) portent sur le nombre de cultures pratiquées par système de culture, le temps de retour des cultures et le nombre de passages lors de préparation du lit de semis (l'opération de labour est exclue de cette variable).

Tableau 2. 12 Variables quantitatives et leurs modalités.

| variable | modalités | Sétif | Souk-Ahras | Total |
|--------------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Nombre de culture | NC1= une cultures | 33(28%) | 13(2%) | 46(18%) |
| | NC2= 2 cultures | 47(39%) | 26(19%) | 73(28%) |
| | NC3= 3 cultures | 27(23%) | 53(38%) | 80(31%) |
| | NC4= 4 culture est plus | 13(11%) | 48(34%) | 61(23%) |
| Temps de retour de la culture | Tr1 =< 0,5 | 42(35%) | 114 (81%) | 156 (60%) |
| | <0,6 Tr2=<1 | 62 (52%) | 21 (15%) | 83 (32%) |
| | Tr3 >1 | 16 (13%) | 5 (4%) | 21 (8%) |
| nombre de passage | PAS1 | 21(17%) | 14(10%) | 35(13%) |
| | PAS2 | 62 (51%) | 50 (36%) | 112 (43%) |
| | PAS3 | 26 (22%) | 40 (29%) | 66 (25%) |
| | PAS>=4 | 11 (9%) | 36 (26%) | 47 (18%) |

Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) permettent d'identifier deux partitions : (4 classes et 8 classes) celles à 8 classes a attiré notre attention. Les deux premiers axes de cette partition expliquent plus de 24% de la variabilité.

Axe 1

Cet axe caractérise les systèmes de culture céréalière extensifs caractérisés par l'absence de toutes opération poste récolte (DECH0) dont l'itinéraire technique est basé sur un labour (Lab1) et trois passages par un outil à dent ou à disque et qui ne font pas le recours aux engrais de fond et au désherbage.

L'axe 1 oppose les systèmes de culture où l'intensification des itinéraires techniques est marquée par le déchaumage, le semis en ligne, l'application des engrais de fond et le désherbage.

Axe2

L'axe 2 exprime un peu plus de 8 % de la variation totale. Il caractérise les itinéraires techniques de point de vue irrigation et temps de retour de la culture. Cet axe oppose les systèmes de culture pratiquant trois cultures avec un nombre de passage de 4. La Figure 2.17 montre le positionnement sur ces deux axes des variables utilisées dans la classification des

systèmes de culture. De cette représentation il ressort que l'itinéraire technique ne se diffère pas d'une région à l'autre et le facteur région est un facteur non discriminant.

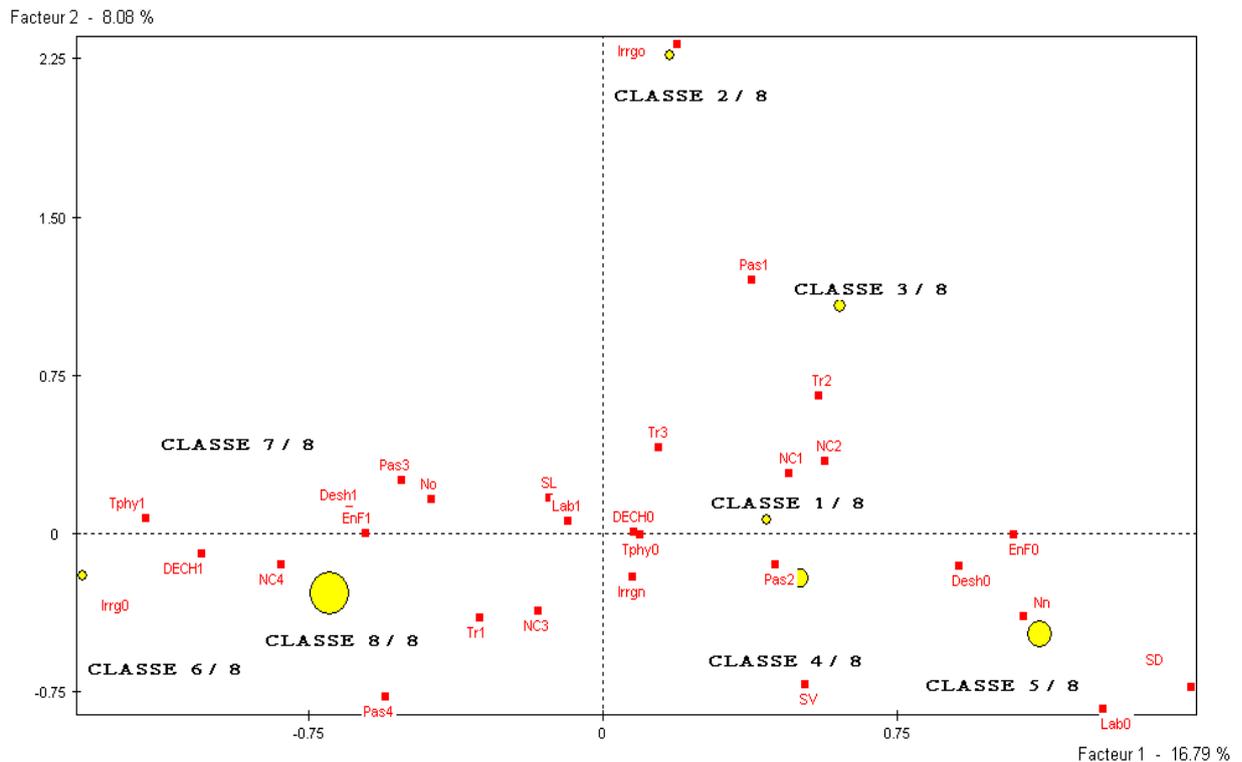


Figure 2.17 Positionnement selon les deux premiers axes des variables utilisées dans la typologie des systèmes de culture.

4.2 Classification

La typologie des systèmes de culture est suivie par une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) en prenant en compte les deux premiers axes factoriels afin de constituer des groupes de SdC ayant des caractéristiques semblables de point de vue de mode de conduite de culture et des pratiques culturelles adoptés pour la culture des céréales. Deux partitions à 4 et à 8 classes ont été identifiées, celle à 8 classes a été retenue (fig. 2.18). À l'exception du nombre de passage pour la préparation de lit de semis, les dates, les modes et les modalités de réalisation des pratiques culturelles ne seront pas pris en compte dans cette classification. Une typologie assez détaillée des itinéraires techniques abordera ces modalités

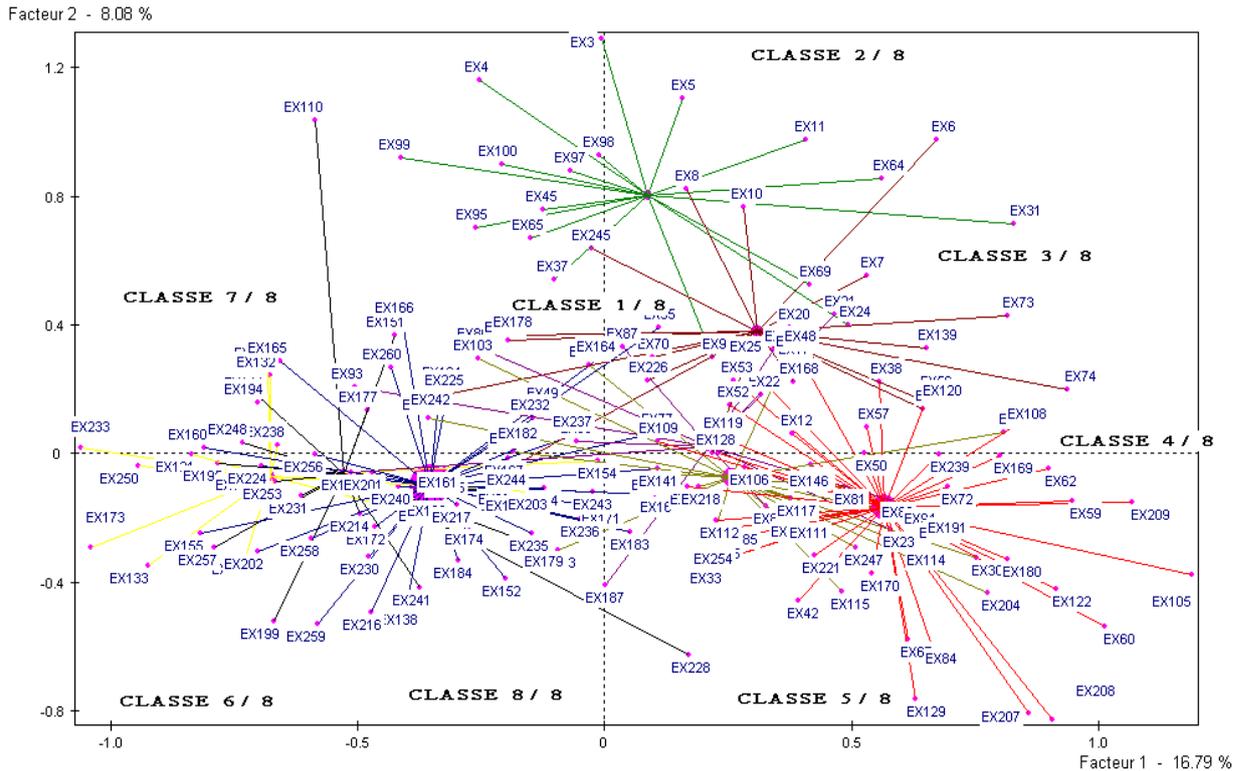


Figure 2.18 Représentation sur les deux premiers axes des huit types des systèmes de culture en relation avec leurs caractéristiques.

Les 8 classes de SdC identifiées par analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) se caractérisent par :

Classe 1 : Regroupe les systèmes de culture qui se caractérisent par un temps de retour de culture supérieur à 1 (tr3). Cette classe englobe 5,77 % des exploitations enquêtées.

Classe 2 : Concerne 6,5 % des unités de production visitées. Ces dernières ne pratiquent pas l'irrigation (irrigo) et ont un temps de retour de culture inférieur à 0,5(Tr1).

Classe 3 : Cette classe regroupe 22 SdC qui ont comme point commun le nombre de passages (Pas1) et qui ne pratique pas la fertilisation azotée (Nn).

Classe 4 : Caractérise les SdC de point de vue diversité des cultures, nombre de passage et irrigation. Une seule culture en pluviale avec deux passages pour la préparation de lit de semis sont les principales caractéristiques des SdC dominants dans 32 exploitations visitées

Classe 5 : Cette classe de SdC domine dans 20,77% des exploitations objet de l'enquête dans les deux régions d'étude. Elle caractérise les SdC de point de vue travaux poste récolte (DECH0), fertilisation (fond et couverture), le désherbage (Desh0), l'irrigation (Irrigo), le

nombre de culture (NC2), le nombre de passage (Pas2) et le temps de retour de la culture (Tr2). De point de vue technique ces systèmes caractérisent l'agriculture extensive largement pratiquée dans les hautes plaines algériennes.

Classe 6 : Les 15 systèmes de culture de cette classe ont deux points communs, l'application de l'azote (No) et le non recours à l'irrigation (Irrigo).

Classe 7 : L'apport des engrais de fond et le désherbage caractérisent les systèmes de culture de cette classe qui a une part de 5,77% de l'effectif total.

Classe 8 : C'est la plus importante de point de vue effectif (89 SdC) ces systèmes ont en commun le labour (Lab1) sans recours aux travaux de poste-récolte (DECH0), l'apport des engrais de fond (EnF1) et de couverture (No) mais sans recours à l'irrigation (Irrg0). De point de vue agronomique ces systèmes sont dits de semi-intensifs pratiqués dans 34% des exploitations visitées.

4.3 Typologie des itinéraires techniques des principales cultures (les céréales)

L'itinéraire technique qui est le troisième composant de système de culture se détermine à partir de la suite des opérations techniques observées, cet itinéraire comporte toutes les interventions menées par l'agriculteur après la récolte de la culture précédente jusqu'à la récolte de la culture en place (Sébillotte, 1990). La conjonction des pratiques agricoles avec le milieu physique détermine une situation de production (SP) qu'on peut la caractériser de point de vue cohérence agronomique des actions et de la faisabilité technique à l'échelle de la sole (culture et parcelle) puis à l'échelle de l'exploitation.

Décrire un itinéraire technique consiste à mettre en lumière les modalités de chaque pratique : opérations poste-récolte de la culture précédente, préparation du sol, semis, entretien de la culture et enfin la récolte (fig. 2.19).

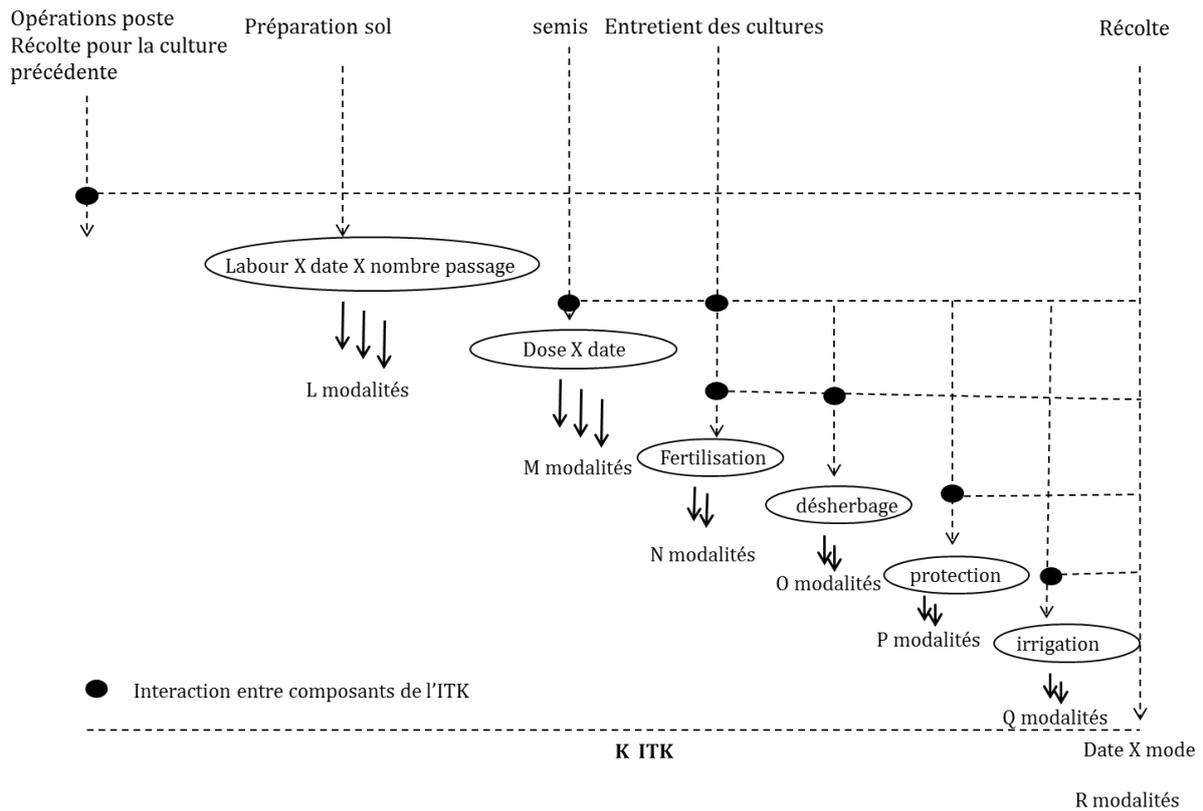


Figure 2.19 Composants de l'itinéraire technique des céréales en zone semi-aride.

La position temporelle des pratiques, conjuguées avec un degré d'intensification qui se diffère d'un agriculteur à un autre et des modalités de réalisation des interventions (opérations élémentaires) pour l'ensemble des parcelles visitées, élèvent le nombre de combinaison théorique à 3072. Ce nombre de combinaison sera réduit en agrégeant l'échelle temporaire pour le semis en 3 modalités (précoce, semi-précoce et tardif) aussi les quantités d'engrais apportées seront groupées en classe. Le troisième critère de réduction du nombre de combinaison et la cohérence agronomique des pratiques, il ne sera retenu que les itinéraires qui présentent une cohérence agronomique satisfaisante. Le dernier critère de réduction est la répartition spatiale (il ne sera retenu que les itinéraires pratiqués sur des grandes échelle)

4.3.1 Opérations poste-récoltes de la culture précédente

Ces opérations sont liées à la gestion des résidus de la culture précédente, soit par l'enfouissement dans le sol (déchaumage), le ramassage ou la destruction par le feu. Le ramassage et le conditionnement en bottes est la pratique dominante chez 85% des exploitations visitées. Le déchaumage ne concerne que 22 exploitations et la destruction par le feu est moins pratiquée (5% des agriculteurs uniquement) (fig. 2.20).

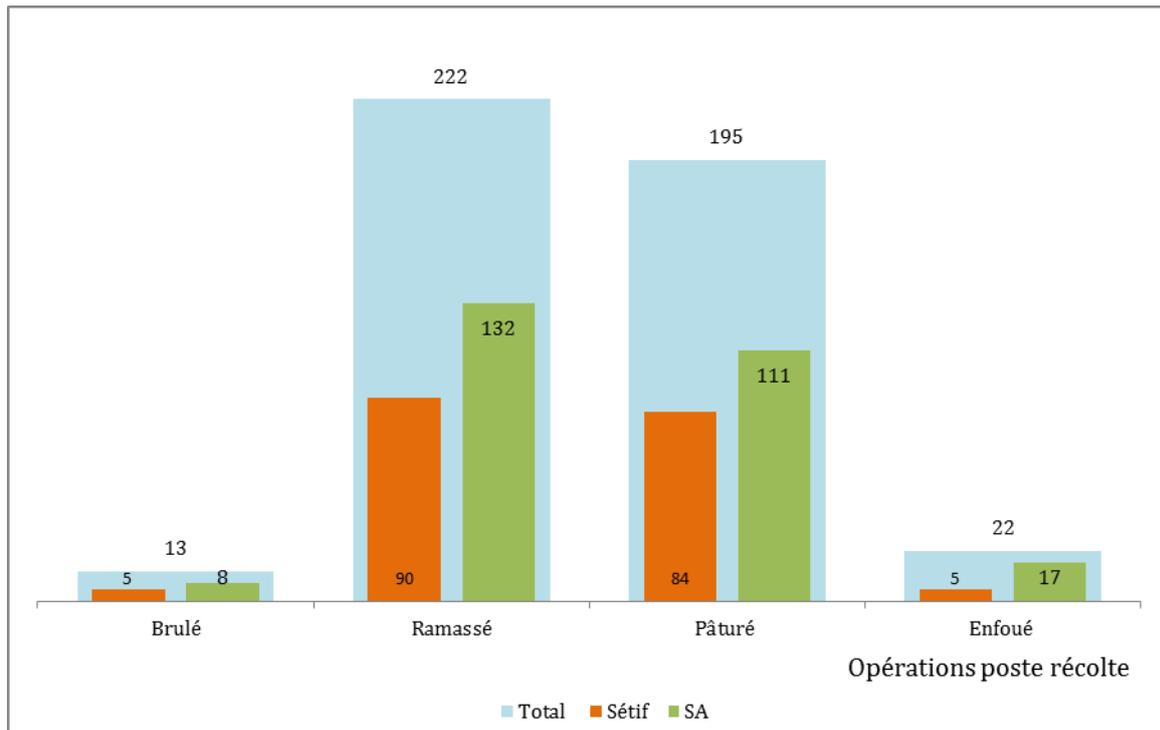


Figure 2. 20 Répartition des opérations poste-récoltes.

Le déchaumage est pratiqué par des agriculteurs qui ne disposent pas d'élevage et pratiquent la monoculture des céréales. Le pâturage comme pratique ancestrale est toujours ancré dans la tradition des zones semi-aride où 75% des fermes enquêtées font recours à cette pratique pour satisfaire une partie des besoins alimentaires de leur cheptel. Après le ramassage de la paille, commence une de pâturage des chaumes par les ovins dont la période et la durée sont mal maîtrisées.

4.3.2 Travail de sol

La préparation de sol a une grande importance, car elle conditionne la réussite et l'homogénéité de la levée. Ainsi, on peut trouver plusieurs modalités et tous les intermédiaires possibles depuis le travail conventionnel à base de labour au semis direct, en passant par le pseudo labour, le décompactage ou encore les techniques culturales simplifiées (TCS). L'étalement des opérations de préparation de sol qui est le résultat de la pratique de la jachère rend difficile le positionnement de cette opération au cours de la description des itinéraires techniques durant une agricole.

La Figure 2.21 montre l'étalement de labour des terres dans les parcelles inventoriées. Cette opération commence le mois de mars et s'achève le mois d'octobre avec une concentration au mois d'octobre et avril pour un total de 277 et 174 parcelles respectivement. Peu

d'agriculteurs travaillent leurs terres dans les mois de mars et août (14 et 25 parcelles respectivement).

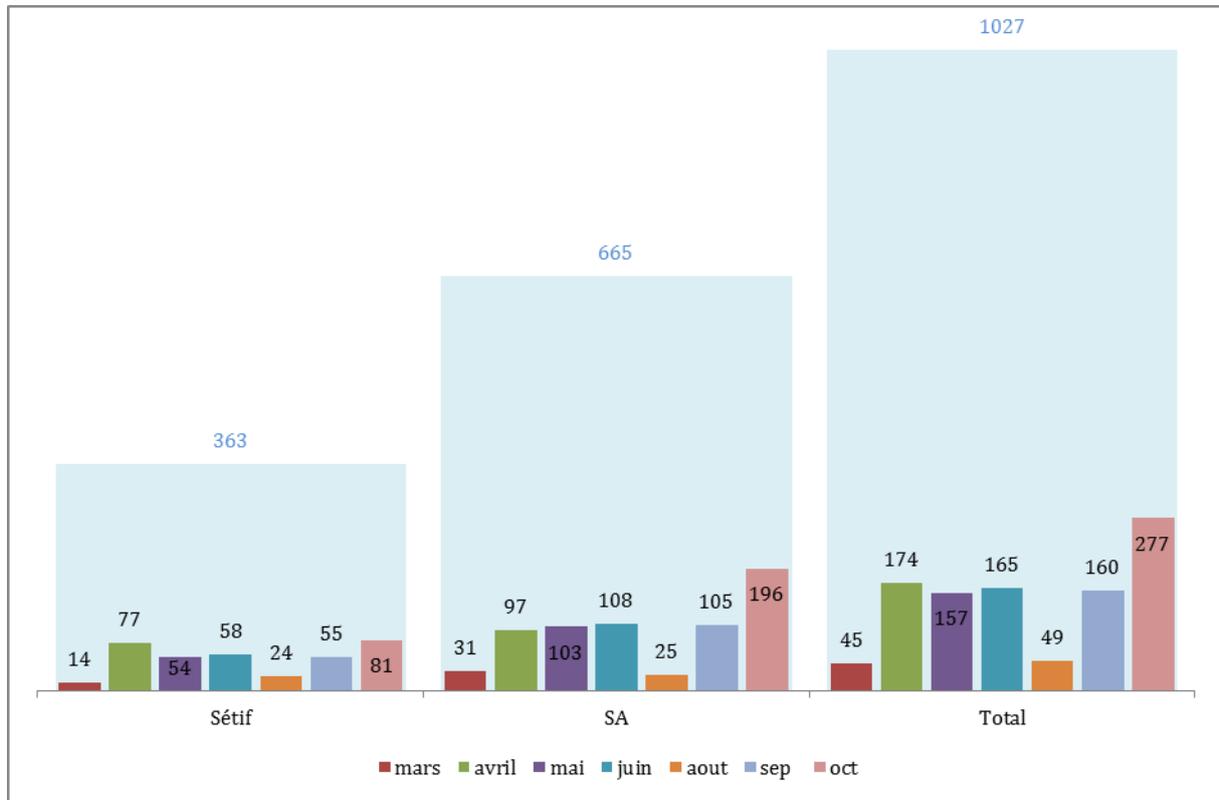


Figure 2.21 Distribution des dates de labour.

A ces moments de l'année l'accessibilité des terres est faible voire impossible pour le premier mois et très exigeant en matière de puissance pour le deuxième mois. Le système céréale élevage largement pratiqué dans ces zones a une grande influence sur la date de labour, cette dernière est raisonnée à la faveur du cheptel ovin. Les parcelles labourées tardivement (octobre) comprennent des surfaces en jachères utilisées comme pâture ou ils se situent dans des grandes exploitations dépassées par le calendrier des travaux.

4.3.2.1 L'outil de travail de sol

Pour le matériel de labour, la charrue à soc (CS) domine le choix des agriculteurs dans les deux régions d'étude où 61% des exploitations labourent leurs terres à l'aide de la CS. La Charrue à disque (CD) est moins utilisé (28% des exploitations visitées). Environ 10% des exploitations combinent entre la charrue à soc et la charrue à disque. La disponibilité de matériel, la profondeur de labour et la qualité de sol conditionne le choix des outils par les agriculteurs, ces derniers sont plus attachés au CS qui assure un travail profond du sol.

Les façons superficielles dont l'objectif est de créer les conditions du sol qui facilitent le semis et favoriseront l'installation de la culture, se différencient du labour conventionnel par les effets engendrés, les outils utilisés et l'énergie consommée. Dans notre étude les travaux superficiels sont réalisés soit à l'aide d'un cover-crop, un scarificateur, une herse ou une combinaison herse-scarificateur (fig. 2. 22). L'autonomie en matériel et le type de sol jouent un rôle important dans le choix de l'outil mobilisés. Le cover-crop (CC) est l'outil préféré pour la réalisation des re-coisements où 63% des exploitations visitées l'utilisent. Le scarificateur (SC) occupe la deuxième place avec un pourcentage de 18% (14 et 23% pour Sétif et SA respectivement). La herse est mobilisée par 21 agriculteurs, alors que la combinaison scarificateur herse (SC- herse) est présente à hauteur de 10%. Entre région, le CC domine les outils de réalisation des travaux superficiels à Sétif avec un pourcentage de 75% contre un pourcentage de 52% pour la région de Souk-Ahras (fig.2.22). Pour les autres outils (SC, herse et combinaison SC –herse), la région de SA affiche des pourcentages supérieur à celle de Sétif (+9, +4 et +10% pour les trois outils consécutivement).

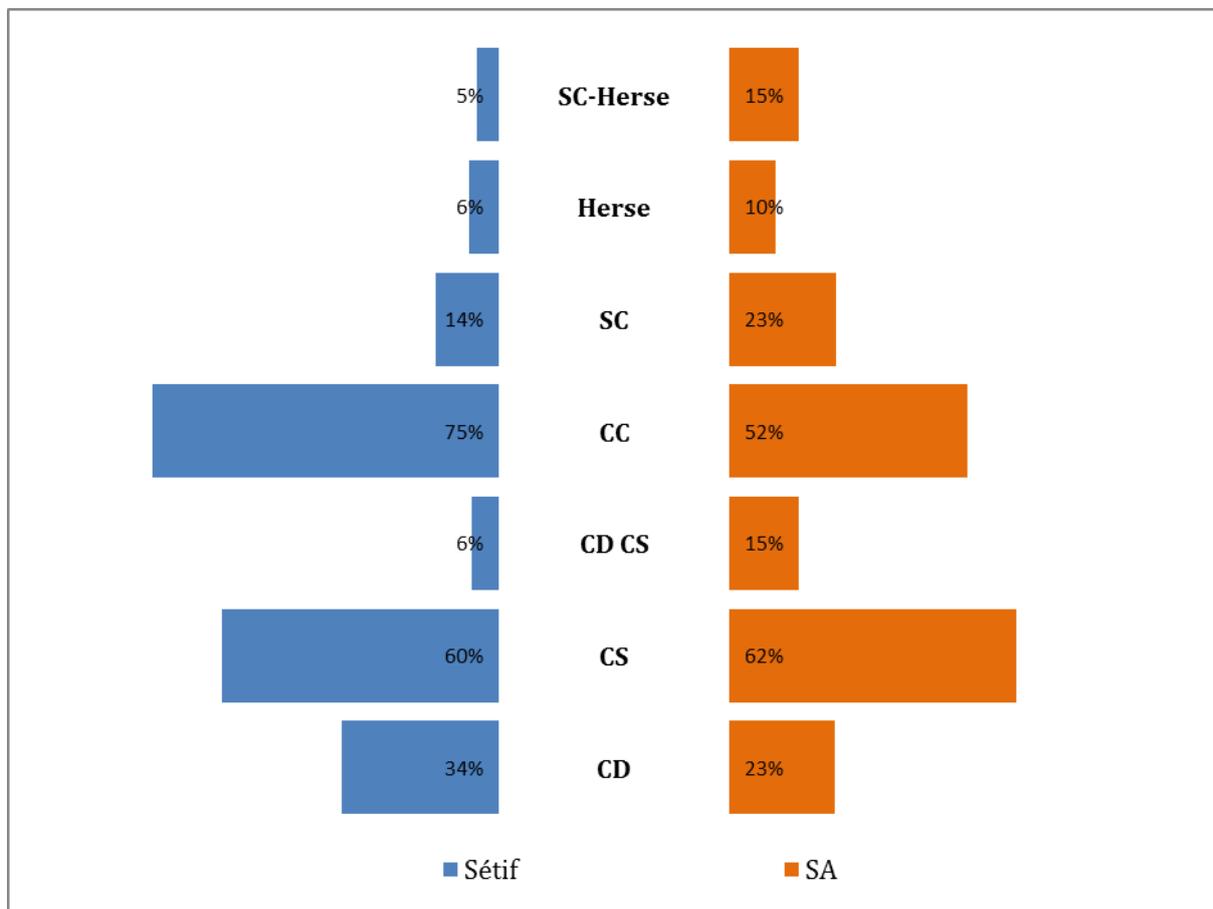


Figure 2.22 Comparaison entre les deux régions selon le matériel de travail du sol.

4.3.2.2 Le nombre de passage

La qualité du lit de semis est le résultat de la qualité physique de sol, la teneur en humidité le jour de l'intervention, l'effet de la culture précédente, l'outil mobilisé et le nombre de passage. Ce dernier oscille entre un minimum de 1 et un maximum de 5 passages (fig. 2.23). 35 exploitations visitées effectuent un seul passage, 43% réalisent deux passages soit par un CC, un SC, une herse ou une combinaison entre outils. 66 exploitations réalisent 3 passages, 27 exploitations affinent le lit de semis par 4 passages et 19 réalisent 5 passages (le roulage est inclus). Entre les régions étudiées, Sétif détient plus d'exploitations qui réalisent 1 et 2 passages (21 et 62 exploitations consécutivement) et moins d'exploitations qui réalisent 3 passages et plus. De l'autre côté, la région de Souk-Ahras occupe la première place pour les exploitations qui effectuent 3, 4 et 5 passages (fig. 2. 23). L'autonomie en matériel et la performance des outils de travail de sol conditionnent le nombre de passage et par conséquent la qualité du lit de semis.

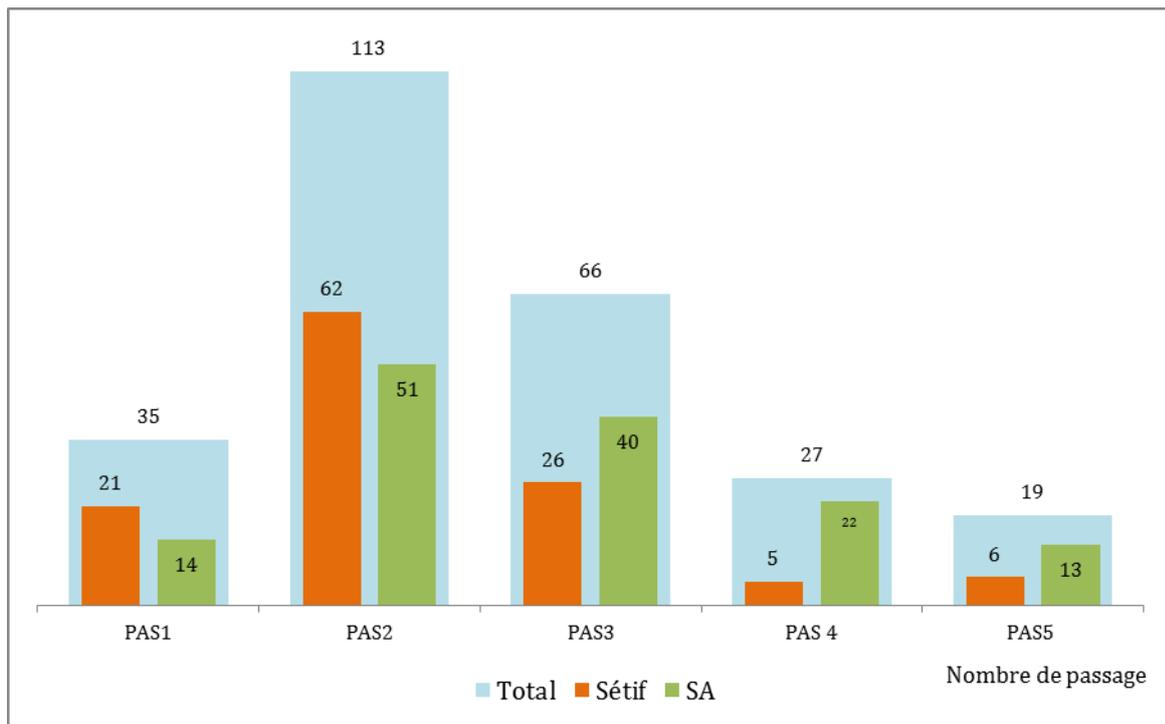


Figure 2.23 Distribution du nombre de passage des outils de travail superficiel.

L'analyse des données liée au travail du sol nous a permis de réaliser une typologie, selon plusieurs modalités et de grouper ces modalités en « kits » de travail du sol. Ces kits constituent le premier maillon de la typologie de l'itinéraire technique suivi pour la

production des céréales dans les hautes plaines sétifiennes et souk-ahrasienne. Les critères retenus dans cette typologie sont:

- Le mode de préparation du sol : labour, techniques culturales simplifiées (TCS) ou semis directe (SD) ;
- La période de labour, trois grandes périodes vues précédemment: le labour de printemps, le labour d'automne et le labour tardif ;
- Le nombre de passages : ce paramètre englobe 5 modalités ;
- L'outil de travail (pour le labour et les façons superficielles, ce paramètre est réparti en trois modalités pour le labour et 4 pour le travail superficiel.

La combinaison de tous ces critères nous a permis d'identifier 13 kits de préparation de sol (tableau 3.10) :

Kit WS1 : C'est le kit standard, il se base sur un labour de printemps ou d'automne et un seul passage par le cover crop ;

Kit WS2 : Pour ce mode, le labour estival est réalisé le mois de juin suivi par deux passages par le cover crop et le scarificateur ;

Kit WS3 : Pour ce kit le travail conventionnel de sol commence par un labour automnal en utilisant la charrue à soc ou à disque suivi par 2 ou 3 passages par le cover crop ;

Kit WS4 : La préparation du sol est en mode TCS (techniques culturales simplifiées), la pratique de labour est absente et le nombre de passage superficiel est maximum (trois et plus). Le Cover crop, le scarificateur, la herse ou une combinaison herse scarificateur assure la préparation du lit de semis ;

Kit WS5 : Ce kit est réparti uniquement dans la région de Sétif où un labour estival à l'aide d'un CD ou un CS est suivi par deux passages par le CC ;

Kit WS6 : Ce kit se différencie du kit 5 par le nombre de passages (3 au lieu de 2) et l'utilisation de la herse ;

Kit WS7 : La préparation du lit de semis est basée sur un labour printanier suivi par deux passages par le CC puis 3 autres passages en automne, le dernier passage est assuré par la combinaison scarificateur herse ;

Tableau 2.13 Répartition des modalités de préparation de sol dans la zone d'étude.

| | Labour et façons superficielles | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Kits | Nombre parcelle |
|-------------------|---------------------------------|----|----|----|-------|------|-----|----|----|----|---------|------|----|----|----|----|-------|------|----|----------|--------------------|
| | Printemps | | FS | | | | Été | | | | Automne | | | | | | | | | | |
| | CS | CD | CC | SC | Herse | SC-H | CS | CD | CC | SC | Herse | SC-H | CS | CD | CC | SC | Herse | SC-H | | | |
| Souk-Ahras | PAS1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1, 2, 3 | 23 |
| | PAS2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1, 2, 3 | 67 |
| | PAS3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 1, 2, 3 | 26 |
| | PAS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1, 2, 3 | 6 |
| | PAS5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1, 2, 3 | 5 |
| | TCS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PAS2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 20 |
| | PAS3 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 16 |
| | PAS4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 |
| | SD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SD | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Sétif | PAS1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1, 8, 9 | 14 |
| | PAS2 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 5, 2, 3 | 73 |
| | PAS3 | 0 | 6 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 | 0 | 2, 6, 10 | 58 |
| | PAS4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1,3 | 19 |
| | PAS5 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 7, 11 | 11 |
| | TCS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PAS2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 12 | 8 |
| | PAS3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 4 | 2 |
| SD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SD | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13 | 4 | |

FS : façon superficielle ; CS : charrue à soc, CD : charrue à disque, CC : cover-crop, SC : scarificateur, TCS : technique culturales simplifiées, SD : semis direct, PAS : passage

Kit WS8 : Ce kit est caractérisé par un labour estival à l'aide de la charrue à disque et deux passages par le CC ;

Kit WS9 : Il se diffère du kit 8 par la période de labour (été) et l'outil (CC ou CS) et le nombre de passage (5 passages), il concerne la région de Souk-Ahras uniquement ;

Kit WS10 : Ce kit mobilise la charrue à soc pour le retournement de sol avec 3 passages par le CC, le scarificateur et la herse ;

Kit WS11 : Ce kit assure une préparation assez sommaire du lit de semis avec un labour automnal (CS) et deux passages par le cover crop ;

Kit WS12 : Ce kit se diffère du kit 11 par l'outil de labour (charrue à disque) ;

Kit WS13 : Le dernier kit regroupe les parcelles dont la préparation du lit de semis est assurée par le semoir de semis directe il concerne 4 parcelles réparties dans la région de Sétif uniquement.

4.3.3 Le semis

Le semis est caractérisé par le positionnement temporel (dates) et les modalités, ces dernières comprennent la dose, le mode (volée, ligne, ou direct), la profondeur de semis. Les variétés utilisées caractérisent aussi l'opération de semis.

4.3.3.1 Date de semis

L'opération de semis dans les exploitations objet de l'enquête, s'échelonne sur 4 mois, elle anticipe la date officielle de campagne labour semailles fixé le 15 octobre. Elle commence le début d'octobre pour l'orge, et elle s'achève le mois de janvier (fig. 2. 24). Trois périodes de semis ont été constatées: début octobre mi-novembre (précoces), de mi-novembre à la mi-décembre (normale), après le 15 décembre (tardifs). Selon ce classement la majorité des agriculteurs (69%) réalisent un semis normal. La teneur en eau des sols et la disponibilité des semences font que la période du 15 novembre au début décembre est considérée comme la période propice pour la réalisation de l'opération de semailles. Le semis précoce ne concerne que 31 exploitations (17 pour la région de Souk-Ahras et 14 pour Sétif). Bien que le semis précoce soit conseillé en agriculture pluviale, l'humidité de sol est un facteur limitant à son réussite.

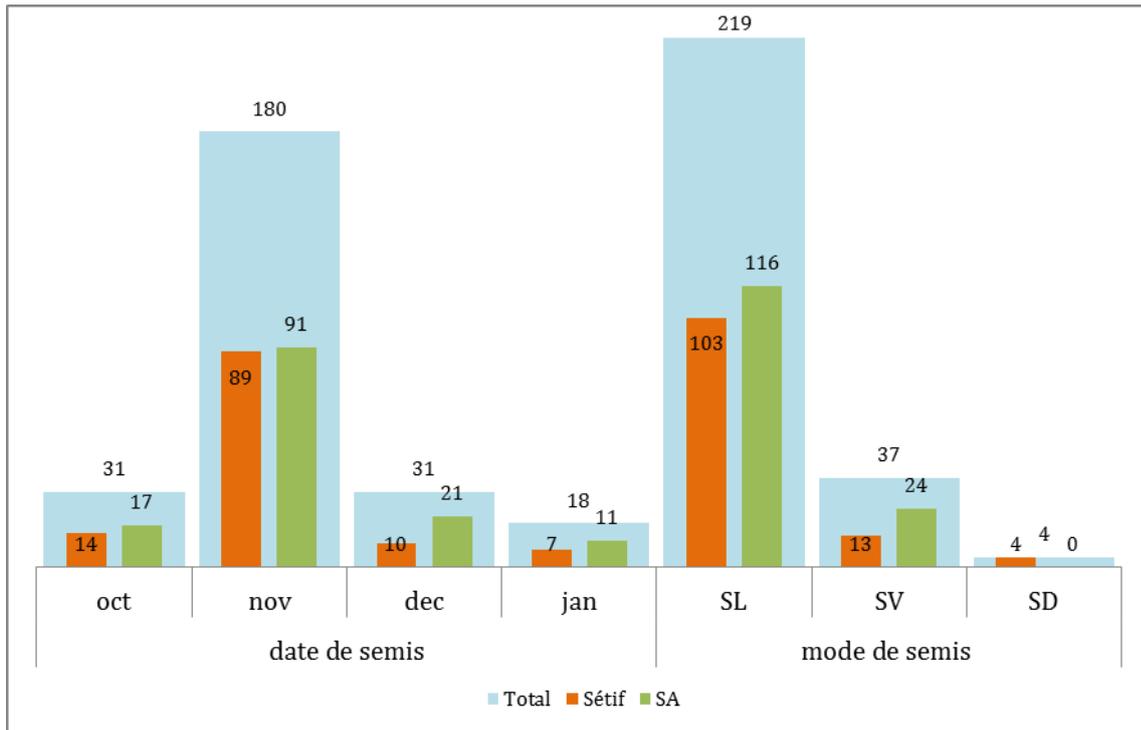


Figure 2.24 Distribution de la date et du mode de semis des exploitations visitées. (SL= semis en ligne ; SV= semis à la volée ; SD= semis directe)

Les exploitations qui procèdent au semis tardif sont au nombre de 18. Entre régions, les mêmes tendances sont conservées sauf pour le semis tardif où 21 agriculteurs de la région de Souk-Ahras réalisent un semis tardif contre 10 agriculteurs pour la région de Sétif.

4.3.3.2 Mode de semis

Pour le mode de semis, le semis en ligne est dominant avec 211 exploitations suivi par le semis à la volée pour 42 exploitations et enfin le semis directe avec trois exploitation situées dans la région de Sétif (fig. 2. 24). La taille, la topographie des parcelles et l'attachement aux traditions expliquent la persistance du semi à la volée.

4.3.3.3 Dose de semis

Le raisonnement de la dose de semis est régi par des lois agronomiques (espèce, variété, date de semis, fertilité de sol, poids de mille grains et la faculté germinative) dont l'objectif est d'avoir une densité de peuplement capable de satisfaire l'objectif de rendement assigné par l'exploitant.

Pour les parcelles objet d'enquête la dose de semis moyenne (moyenne pondérale) est de 142 kg/ha (toutes céréales confondues). Par espèce, le classement suivant est vérifié : orge, blé dur

et blé tendre pour des doses de semis de 148,7 138,2 et 136,5 kg/ha consécutivement (tableau 2.14). 65% des parcelles appliquent une dose de semis comprise entre 130 et 145 kg/ha.

Tableau 2.14 Distribution de la dose de semis par espèce et par zone.

| Dose de semis kg/ha | Sétif | | | | Souk-Ahras | | | | Grand total |
|---------------------|---------|----|------|-------|------------|-----|------|-------|-------------|
| | Espèces | | | | | | | | |
| | BD | BT | ORGE | Total | BD | BT | ORGE | Total | |
| 110 | 4 | 0 | 1 | 5 | 1 | 3 | 0 | 13 | 18 |
| 120 | 27 | 15 | 6 | 48 | 6 | 23 | 25 | 56 | 104 |
| 130 | 15 | 0 | 9 | 24 | 9 | 33 | 9 | 59 | 83 |
| 135 | 46 | 26 | 3 | 75 | 3 | 68 | 30 | 140 | 215 |
| 140 | 13 | 27 | 7 | 47 | 7 | 97 | 25 | 127 | 175 |
| 145 | 47 | 17 | 2 | 66 | 2 | 63 | 22 | 105 | 171 |
| 150 | 12 | 6 | 17 | 35 | 17 | 18 | 17 | 88 | 123 |
| 160 | 9 | 7 | 24 | 40 | 24 | 3 | 5 | 49 | 89 |
| 180 | 2 | 0 | 4 | 6 | 4 | 7 | 0 | 19 | 25 |
| 200 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 5 | 7 |
| Total | 175 | 98 | 75 | 348 | 315 | 132 | 214 | 661 | 1009 |

Un des évènements majeurs qu'ont subi les systèmes de culture au cours des 10 dernières années est l'augmentation de la dose de semis, cette dernière est passée de 110 kg/ ha à 130kg/ha puis elle a grimpée à 135 kg/ha pour atteindre finalement les 140 puis les 145 kg/ha. La dose de 135 kg /ha est la plus rependue suivie par la dose 140 et 145 kg/ha. 24% des parcelles visitées ont une dose de semis supérieur à 150 kg/ha, cette dernière est réservée à l'orge en premier lieu où 76% des parcelles emblavées d'orge ont une dose qui dépasse les 145 kg/ha. Pour l'orge destinée à l'affouragement en vert (gsil), cette dose peut atteindre les 200 kg/ha chez certains agriculteurs.

Pour les céréales toutes espèces confondues, la région de Souk-Ahras ($141,7 \pm 4,8$ kg/ha) diffère significativement ($P= 0,02$) de la région de Sétif ($140, 5 \pm 4,6$ kg/ha). Une différence non significative a été trouvée ($P= 0,12, 0,5$ et $0,06$ pour le blé dur le blé tendre et l'orge consécutivement).

4.3.3.4 Les variétés cultivées

Le choix de l'espèce et de la variété cultivée est fonction des caractéristiques techniques et de l'adaptabilité au milieu physique. Ce choix peut être influencé par d'autres facteurs tels que la disponibilité des semences, le choix des variétés à chaume longues pour l'alimentation de troupeau. Une large gamme de variété des céréales a été recensés dans la zone d'étude, il

s'agit 10 variétés pour le blé dur 4 variétés le blé tendre et 3 pour l'orge. Pour le blé dur la variété Gta dur et la plus répandue à Souk-Ahras suivi par la variété Semito et Vitron alors qu'à Sétif les emblavures de blé dur sont dominées par les variétés MBB (Mohamed Ben Bachir), Bousselam et en moindre mesure Semito et Waha

La combinaison des modalités de semis (date, mode et dose) fait ressortir 13 kits (fig. 2.25)

- Kit 1 SEM1** : semis précoce à la volée dose faible ;
- Kit2 SEM2** : semis précoce en ligne dose faible ;
- Kit3 SEM3** : semis semi-précoce en ligne dose moyenne ;
- Kit4 SEM4**: semis semi-précoce à la volée dose faible ;
- Kit5 SEM5** : semis semi-précoce en ligne dose faible ;
- Kit6 SEM6** : semis semi-précoce à la volé dose moyenne ;
- Kit7 SEM7**: semis précoce en ligne dose moyenne ;
- Kit8 SEM8** : semis semi-précoce à la volé dose élevée ;
- Kit9 SEM9**: semis semi-précoce en ligne dose élevée ;
- Kit10 SEM10** : Semis tardif en ligne dose faible ;
- Kit11 SEM11** : Semis tardif en ligne dose moyenne ;
- Kit12 SEM12**: semis direct semi-précoce dose moyenne ;
- Kit 13-SEM13** : semis direct semi-précoce dose élevée

La distribution des kits de semis entre régions d'étude montre quelques différences. À Souk-Ahras peu d'agriculteurs font recours aux kits 1 et 4. Les kits 12 et 13 (semis direct) sont présents à Sétif uniquement avec une fréquence de 0,1 %.

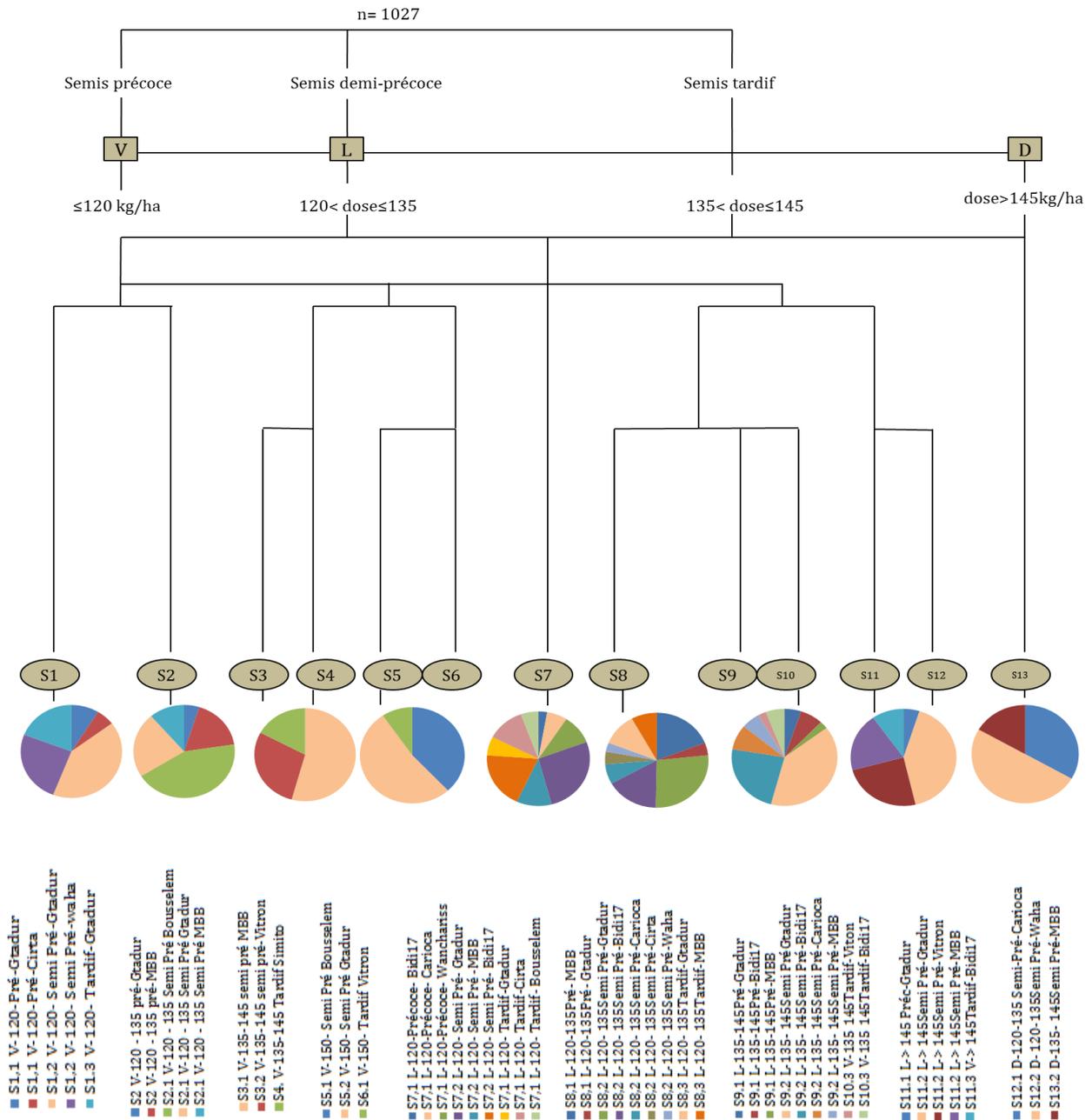


Figure 2.25 Typologie de l'opération de semis (L = ligne, =, V= volée D= directe MBB =Mohamed Ben-Bachir).

4.3.4 Typologie des modalités d'installation des céréales d'hivers

L'objectif de cette typologie est de grouper les modalités de travail de sol et de semis dans des kits d'installation des céréales. Certaines combinaisons à faible fréquence et à faible performance agronomique ont été exclues de cette typologie. L'exploration des résultats donnés par le tableau 2.13 et 2.14 et la figure 2.25 qui résume les modalités de préparation du sol (positions temporelles et modalités, avec 13 kits) et de semis des céréales (positions

temporelles, modalités et doses de semis avec 13 kits) a fait ressortir 8 grands paquets qui se distinguent l'un de l'autre (tableau 2.15).

Tableau 2.15 Distribution des paquets d'installation des céréales

| kit Ws | kits semis | paquet | fréquence % |
|---------------|-------------------|---------------|--------------------|
| WS1 | SEM3 | INSCER1 | 5 |
| WS3 | SEM2 | INSCER2 | 10,5 |
| WS3 | SEM3 | INSCER3 | 35,5 |
| WS4 | SEM7 | INSCER4 | 15,5 |
| WS10 | SEM11 | INSCER5 | 13 |
| WS11 | SEM6 | INSCER6 | 9,5 |
| WS5 | SEM6 | INSCER7 | 5 |
| WS13 | SEM13 | INSCER8 | 1 |

À Souk-Ahras 6 paquets sont identifiés dont le plus abandon (42%) est le paquet qui combine un travail de sol sommaire avec un labour en automne (le plus souvent réaliser par une charrue à soc) suivi par deux passages par un outil de travail superficiel. Le paquet INCER4 qui combine les kits WS4 et SEM7 occupe la deuxième place avec un pourcentage de 18%. La persistance de semis à la volé (SEM6) dans les exploitations à faible taille et à autonomie en matériel nulle (location de matériel) est toujours conjuguée avec un travail de sol sommaire (kit WS11), cette combinaison caractérise les systèmes de culture extensifs. À Sétif en plus des 6 paquets rencontrés dans la région de Souk-Ahras deux autres paquets typiques ont été révélés. Le premier est le paquet 7 qui est le résultat de la combinaison du kit WS5 du travail de sol et le kit de semis SEM6. L'autre est le paquet 8 réservé au semis direct, ce paquet et moins répondu il concerne 1% des parcelles visitées à Sétif (fig. 2.26).

Plusieurs modalités liées au semis ont été exclues lors de l'établissement de cette typologie, la dose (dose faible) et la date (semis tardive) et des modalités de préparation qui n'assurent pas une bonne levée de céréales sont aussi exclues.

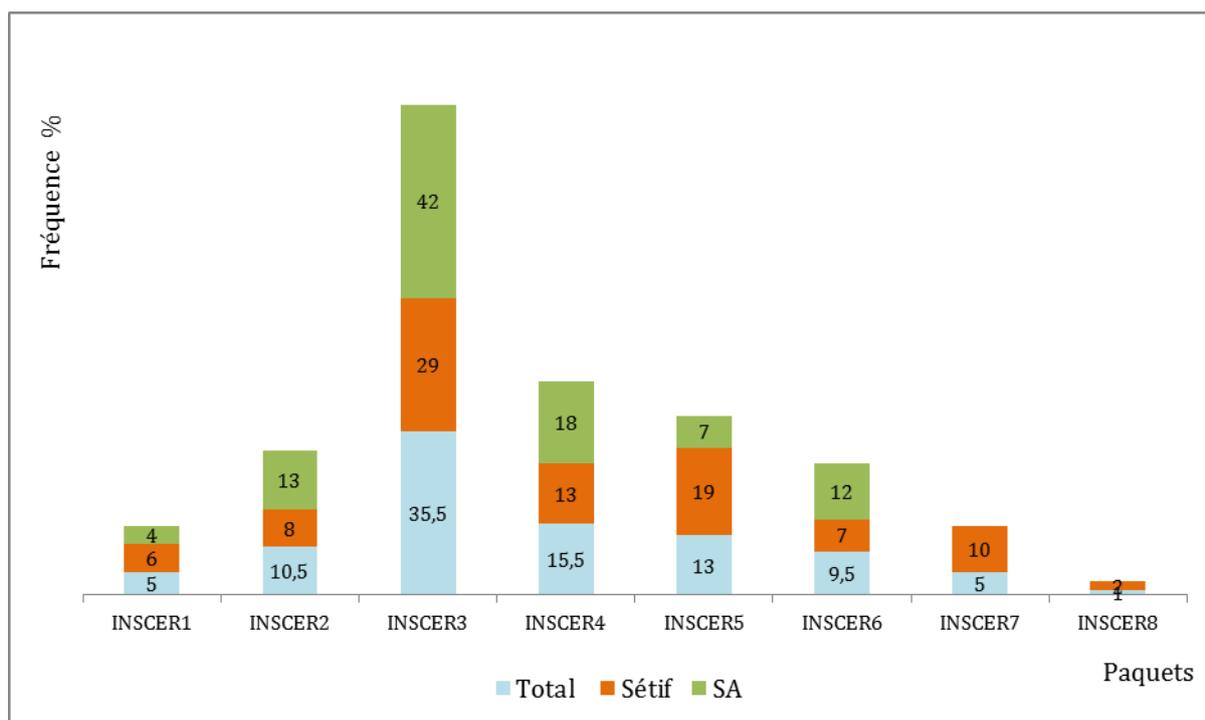


Figure 2.26 Distribution des paquets d’installation des cultures entre régions d’études.

4.3.5 L’entretien de la culture

Les opérations d’entretien des cultures commencent après la levée voir même avant pour le fumier de fond ou les amendements organiques. Ces opérations sont considérées comme signe d’intensification des productions végétales en générale et céréalière en particulier. Quatre pratiques (fertilisation, désherbage, lutte phytosanitaire et l’irrigation) font l’objet d’une typologie.

4.3.5.1 Gestion de la fertilisation minérale et organique

Le recours à la fertilisation et aux amendements organiques a pour rôle l’amélioration des propriétés physique, chimique et biologique du sol. Cette pratique est parmi les opérations considérées comme les plus déterminantes dans les pratiques de l’intensification agricole du fait qu’elle rapporte des gains de rendement considérable si elle est bien menée. Dans les régions d’étude, l’épandage d’engrais phosphaté est pratiqué par 131 exploitations, alors que la fertilisation azoté et pratiquée par 170 exploitation (fig. 2. 27). Le recours aux amendements organiques est faible, il est pratiqué par 20% des exploitations étudiées. Il est réservé généralement à la sole maraichère, à la pomme de terre et aux parcelles qui encerclent la maison de l’exploitant emblavées généralement d’orge pour l’affouragement en vert du cheptel.

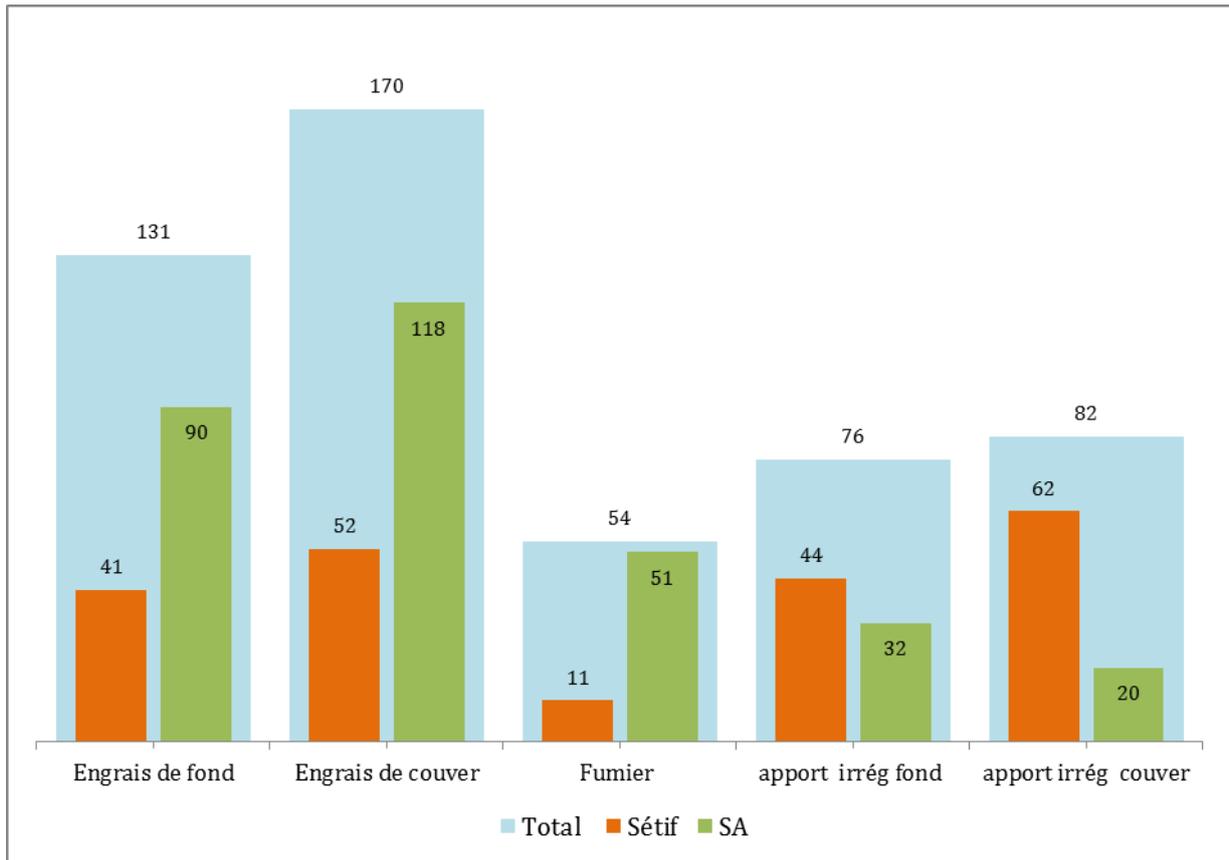


Figure 2. 27 Distribution des modalités de la fertilisation minérale et organique.

Entre régions, les exploitations qui font recours aux amendements à base de Mono-ammonium de phosphate (MAP) ou de triple super phosphate (TSP) représentent 32% des exploitations, objet de l'enquête, dans la région de Sétif et 66% des exploitations de Souk-Ahras. La fertilisation azotée est pratiquée par 75% et 43% des exploitations de SA et Sétif consécutivement. La pratique de la fertilisation présente une grande fluctuation d'une année à une autre. Des 170 exploitations pratiquant la fertilisation azotée 62% d'entre elles appliquent l'azote d'une manière irrégulière (une année sur deux ou sur trois). La disponibilité des engrais et les conditions climatiques conditionnent la régularité des amendements azotés.

L'efficacité d'un apport est conditionnée par plusieurs facteurs dont l'humidité du sol, la date et le mode d'application et le stade de développement de la culture. En zone semi-aride où les périodes de sécheresse sont imprévisibles, les apports azotés peuvent entraver le développement de la culture donc le choix de la date et de la dose est primordial pour une efficacité d'utilisation de l'azote maximale. La combinaison de toutes les modalités, à l'exception du mode d'apport que nous jugeons moins influençant sur l'efficacité d'utilisation des engrais, lié à la fertilisation des céréales dans la zone enquêtée, révèle l'existence de 7 kits de fertilisations (fig.2.28).

FERT1 : Ce kit englobe les systèmes de culture qui pratiquent la fumure de fond et de couverture d'une manière régulière à raison de 100 kg de MAP et 100kg de l'urée 46% apporté une seule fois ;

FERT2 : Ce kit se diffère du premier par la dose appliquée il est toujours inférieur à 100 kg pour les deux types d'engrais ;

FERT3 : De point de vue agronomique ce kit englobe les pratiques de la fertilisation les plus intensives avec un engrais de fond apporté régulièrement et un engrais de couverture d'une dose comprise entre 150 et 200 kg/ha le plus souvent fractionnée en deux ou en trois apports, l'application de l'azote liquide est une pratique courantes pour les SdC qui appartient à ce kit ;

FERT4 : Ce kit est caractérisé par l'apport de la fumure de fond (MAP ou TSP) à raison de 100 kg et un engrais de couverture (plus de 100 kg) apporté en deux fractions ;

FERT5 : Dans ce kit la fertilisation est basée uniquement sur l'engrais de couverture (Urée 46% ou sulfazote) dont la dose est inférieure ou égale 100 kg/ha ;

FERT6 : La fertilisation dans ce kit est caractérisée par un engrais de fond appliqué d'une manière régulière et une fertilisation azotée irrégulière ;

FERT7 : Ce kit est le moins intéressant du point de vu agronomique il caractérise les SdC qui pratiquent uniquement la fertilisation azotée mais d'une manière irrégulière,

La fumure organique est exclue de cette typologie vue qu'il concerne uniquement des petites surfaces réservées à l'orge, à la pomme de terre ou aux cultures maraichères. L'application de fumure organique sur des grande surfaces est difficile (problème de disponibilité). La pratique de la fertilisation qui est une pratique agronomique signe d'intensification, reste tributaire des facteurs socioéconomiques et de la disponibilité des engrais. Le peu de quantités apportées doit être valorisé au maximum, de ce fait le choix du type d'engrais et de la date d'apport revêt d'une importance majeure. Le choix des variétés à cycle court constitue une solution pour une bonne valorisation des engrais surtout azotés qui nécessitent une certaine humidité dans le sol pour qu'ils puissent être absorbés.

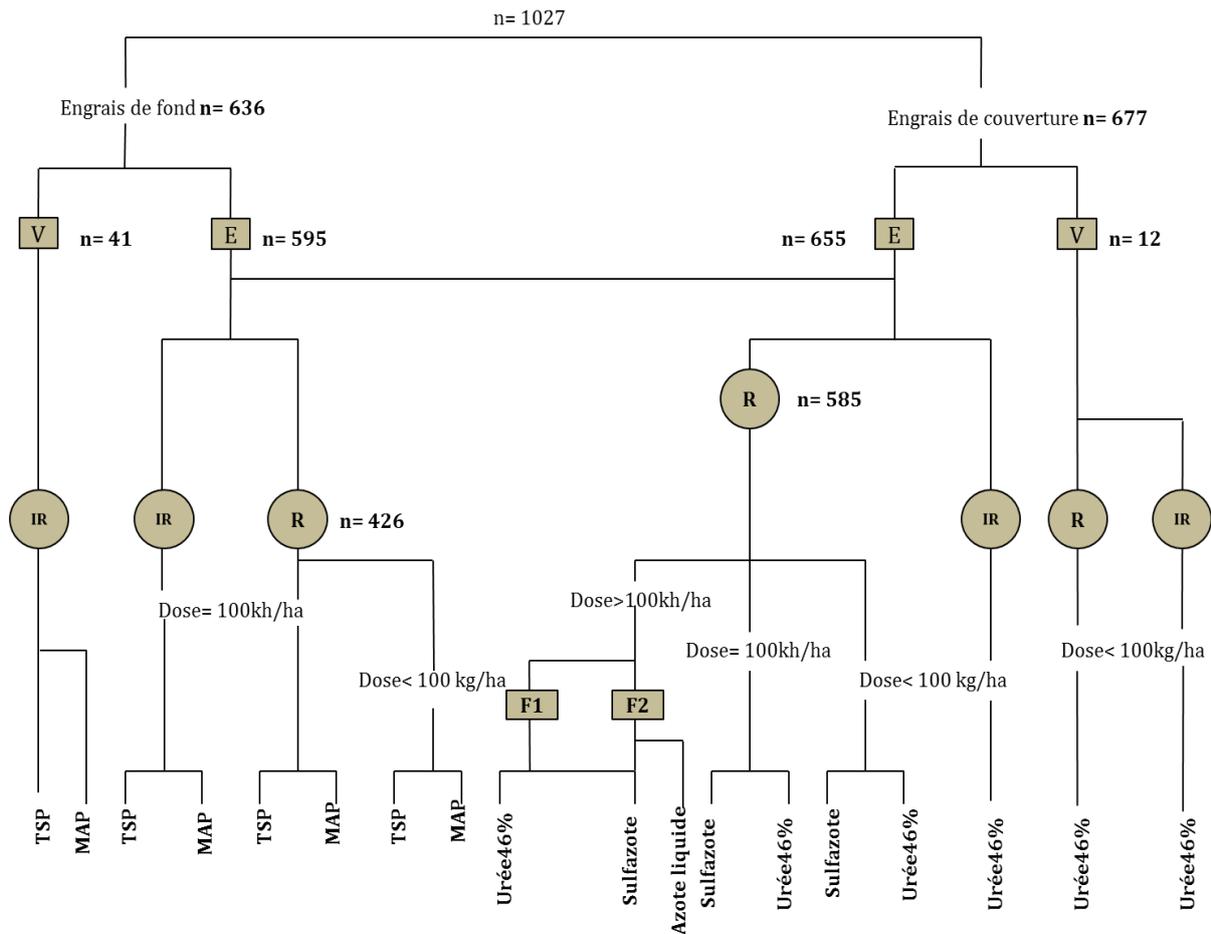


Figure 2.28 Typologie des modalités de fertilisation dans les deux zones d'étude.
 (N= azote ; E= semis en ligne ; V= semis à la volé ; R= régulier ; IR= irrégulier ; F1= un apport ; F2= deux apports)

4.3.5.2 Le désherbage

En Algérie, les pertes de rendement liées aux plantes messicoles sont importantes, néanmoins le recours aux herbicides reste modéré. 48% des exploitations visitées font recours aux herbicides au moins une fois chaque deux ans (fig. 2.29). Parmi les 116 exploitations qui font appel à la lutte chimique contre les mauvaises herbes, 53% le font d'une manière irrégulière et elle est réservée pour lutter contre les messicoles de blé dur et tendre. En ce qui concerne la fréquence d'utilisation, 9 exploitations réalisent deux passages, ce sont des exploitations spécialisées en multiplication de semences et qui travaillent selon un cahier des charges imposé par la coopérative des céréales et légumes secs (CCLS).

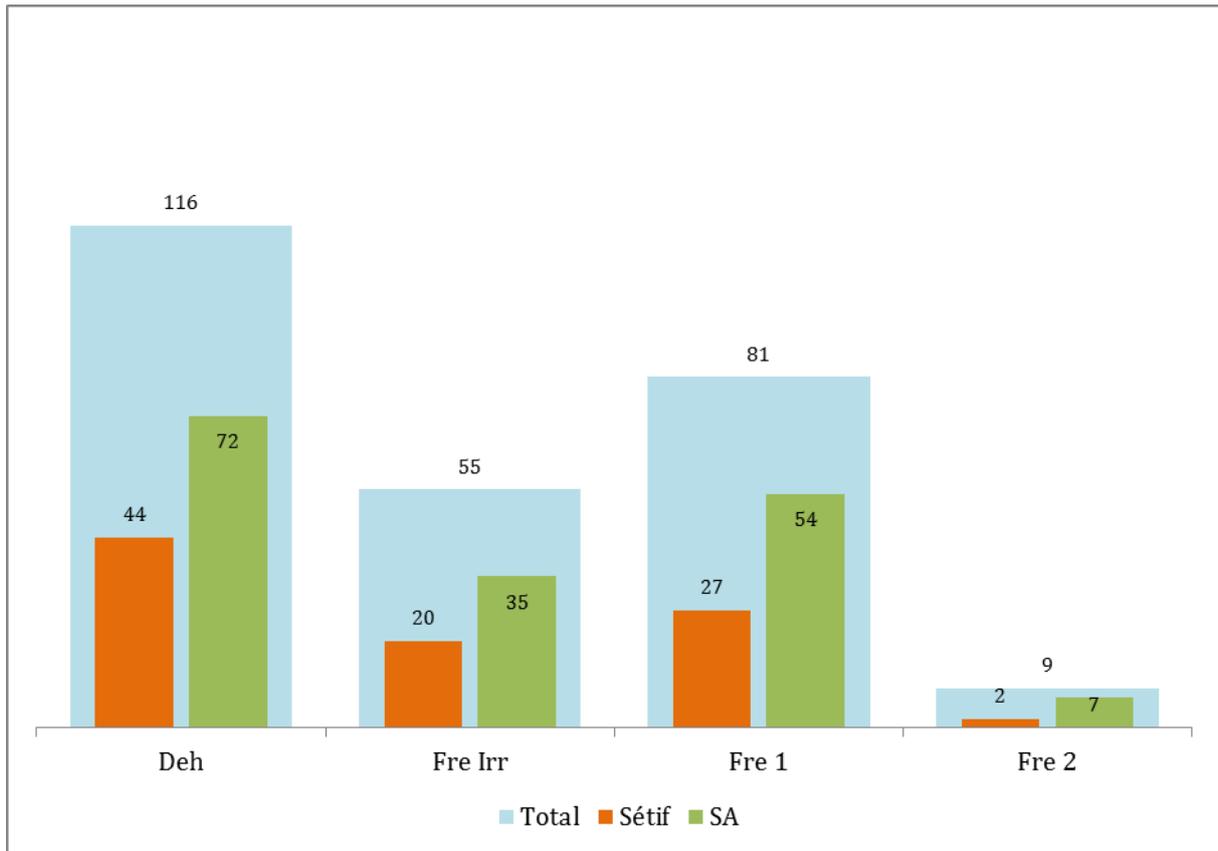


Figure 2.29 Distribution des modalités liées au désherbage. (Deh =désherbage ; Fre Irr = fréquence irrégulière ; Fre1 = un passage ; Fre2 =deux passages)

Entre régions, 51,4% des exploitations de la région de Souk-Ahras pratiquent le désherbage dont 55% d'une manière irrégulière. Par contre à Sétif uniquement 36,6 % des agriculteurs pratiquent une lutte chimique contre les mauvaises herbes dont 20% d'une manière irrégulière. Les exploitations qui réalisent deux passages par le pulvérisateur à Souk-Ahras suivent un cahier des charges qui cadre l'opération de multiplication de semences.

Les modalités de désherbages (type d'herbicide, fréquence et date d'application) sont groupées en 5 kits de désherbage.

DESHE 1 : Ce mode est caractérisé par l'utilisation d'un herbicide total ou combinaison de deux herbicides pour assurer une couverture totale des adventices. Avec un seul passage au stade 3 feuilles ;

DESHE 2 : Ce kit est le résultat de l'utilisation d'un herbicide anti-monocotylédones d'une manière régulière au stade début tallage ;

DESHE 3 : Ce mode est caractérisé par un passage irrégulier par un herbicide anti-monocotylédones et anti-dicotylédones au stade tallage ;

DESHE 4 : Ce kit assure une couverture optimale des mauvaises herbes par un double passage de pulvérisateur, le premier poste levé et le deuxième au stade montaison ;

DESHE 5 : Ce mode est le moins intensifié, il résulte de l'application d'un herbicide anti mono ou anti dicotylédones d'une manière irrégulière au stade montaison.

En termes d'abondance, le kit DESHE1 est le plus présent (51%) suivi par le kit 3 avec un pourcentage de 23%. Le mode DESHE4 est assez répandue dans la région de Souk-Ahras (7% des exploitations adoptent ce kit) contre 2,5 % pour la région de Sétif. Le kit 5 (DESHE5) est bien répondu à Sétif (9%), mais peu présent à Souk-Ahras (fig. 2.30).

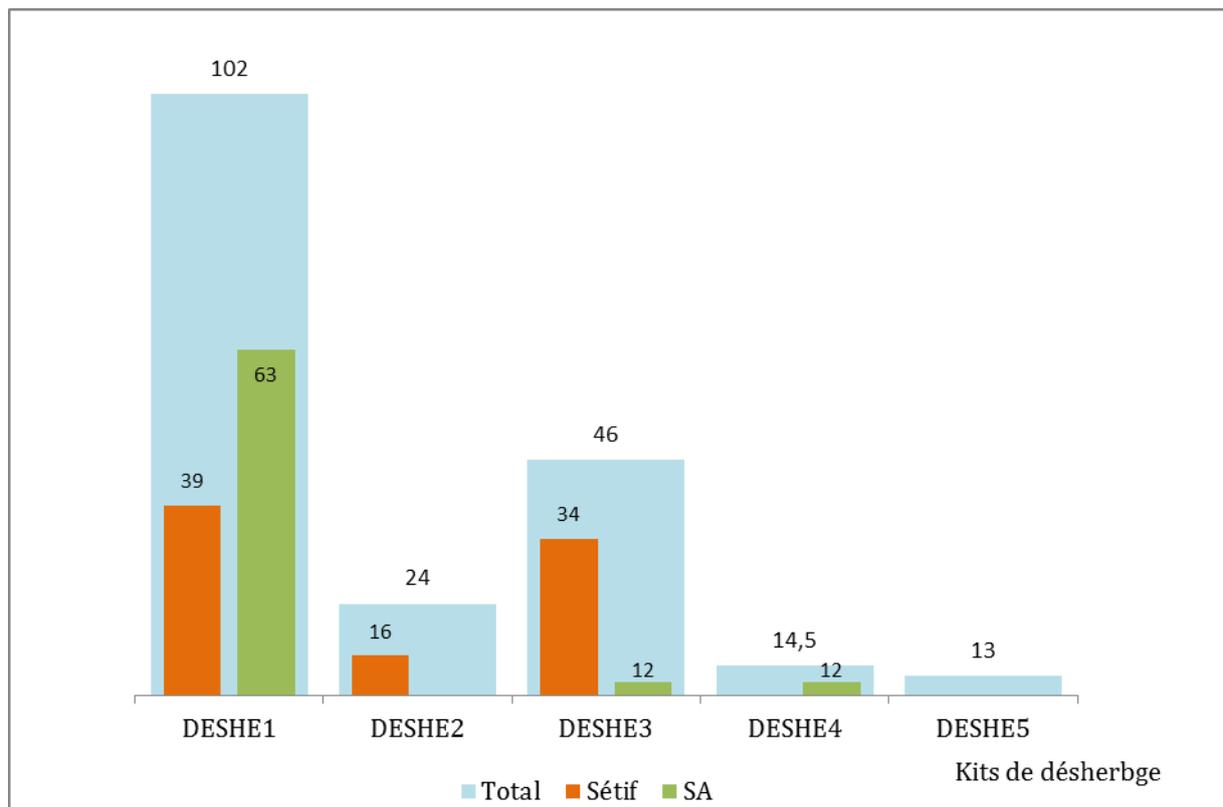


Figure 2.30 Distribution de 5 kits de désherbage ente région d'étude.

La pratique de désherbage reste tributaire de plusieurs facteurs dont la disponibilité des ressources financières, le niveau d'instruction de l'agriculteur et l'efficacité des produits.

4.3.5.3 La lutte phytosanitaire et les régulateurs de croissance

Les dégâts causés par les maladies cryptogamiques et les attaques des ravageurs dépendent du taux d'infestation, de la sensibilité de la variété, des conditions climatiques et de l'itinéraire technique suivi. Le recours au traitement phytosanitaire est une pratique peu répandue dans les régions d'étude où uniquement 7% des exploitants font recours aux traitements

phytosanitaires d'une manière irrégulière (fig. 2.31). Amistar et Tilt sont les deux fongicides les plus utilisés par les agriculteurs pour lutter contre la rouille jaune et l'oïdium des céréales. Ces traitements comme le désherbage sont réservés uniquement au blé dur et/ou tendre. Pour les régulateurs de croissance leur utilisation est encore faible. Constitués d'acides aminés ou hormones végétales, ces intrants optimisent l'architecture de la plante ainsi que son potentiel de rendement et la qualité. Parmi les 260 exploitations enquêtées, moins de 2% utilise un régulateur de croissance et d'une manière irrégulière. Ce sont généralement les exploitations spécialisées en multiplication de semences.

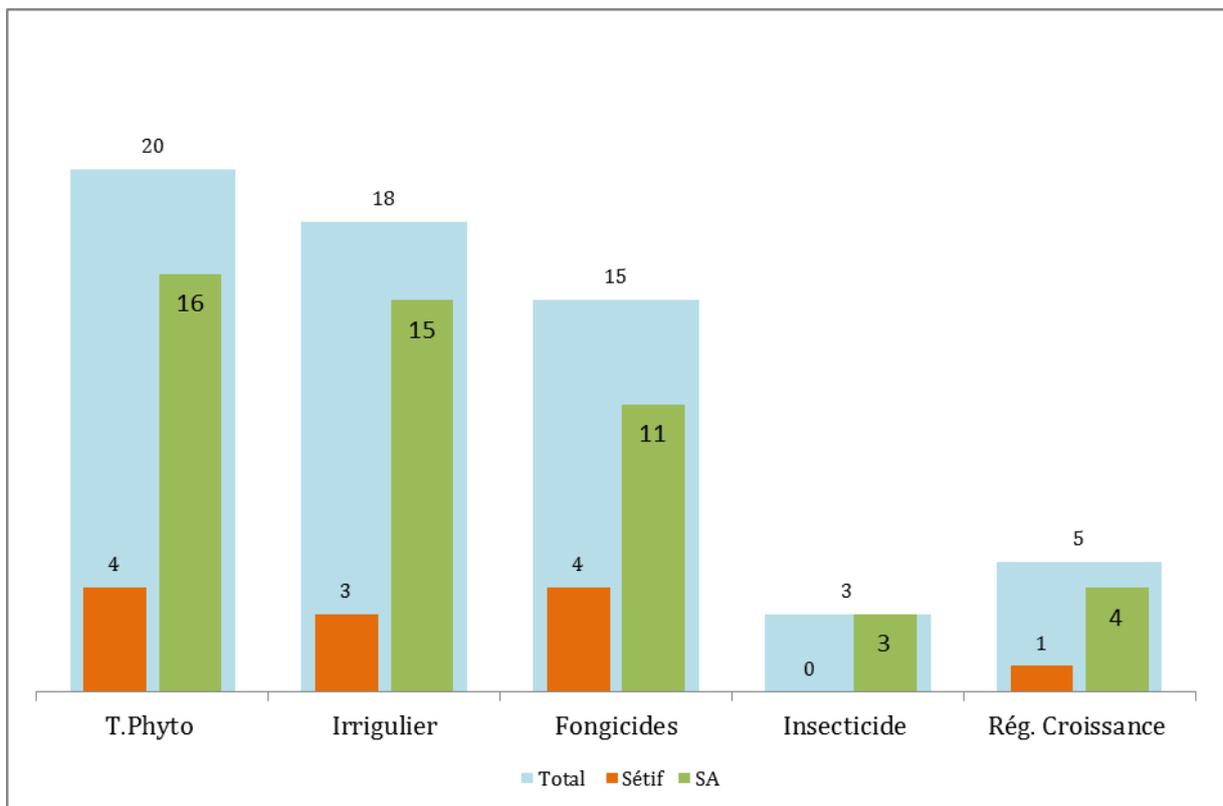


Figure 2.31 Distribution des modalités de la lutte phytosanitaire. (T= traitement ; Rég= régulateurs)

Les modalités des traitements phytosanitaires sont mal renseignées auprès des agriculteurs vu que cette pratique est la moins répondue de toutes les pratiques précédentes. Elle est beaucoup plus pratiquée par les grandes exploitations ou celles spécialisées en production de semences. Deux kits de traitement phytosanitaire et d'utilisation de régulateurs de croissance issus de l'assemblage des modalités qui régissent cette pratique, ont été identifiés :

TPhyto1 : Ce kit est basé sur l'utilisation irrégulière d'un fongicide (une année sur deux ou sur trois) avec utilisation d'un régulateur de croissance d'une manière irrégulière ;

TPhyto2 : Ce mode combine entre l'application d'un fongicide et un insecticides d'une manière irrégulière.

4.3.5.4 L'irrigation

En zone semi-aride, l'irrigation constitue une pratique très importante pour réduire la sensibilité au déficit hydrique des cultures céréalières et augmenter par conséquent le rendement. Le recours à l'irrigation dans la zone d'étude est faible. Parmi les 260 enquêtées, 37 d'entre elles font recours à l'irrigation au moins une fois dans le cycle de développement de la culture (fig.2.32). Les deux modes d'irrigation (irrigation continue et irrigation d'appoint) sont présents à raison de 70% pour l'irrigation d'appoint (IA) et 30% pour l'irrigation continue (IC)

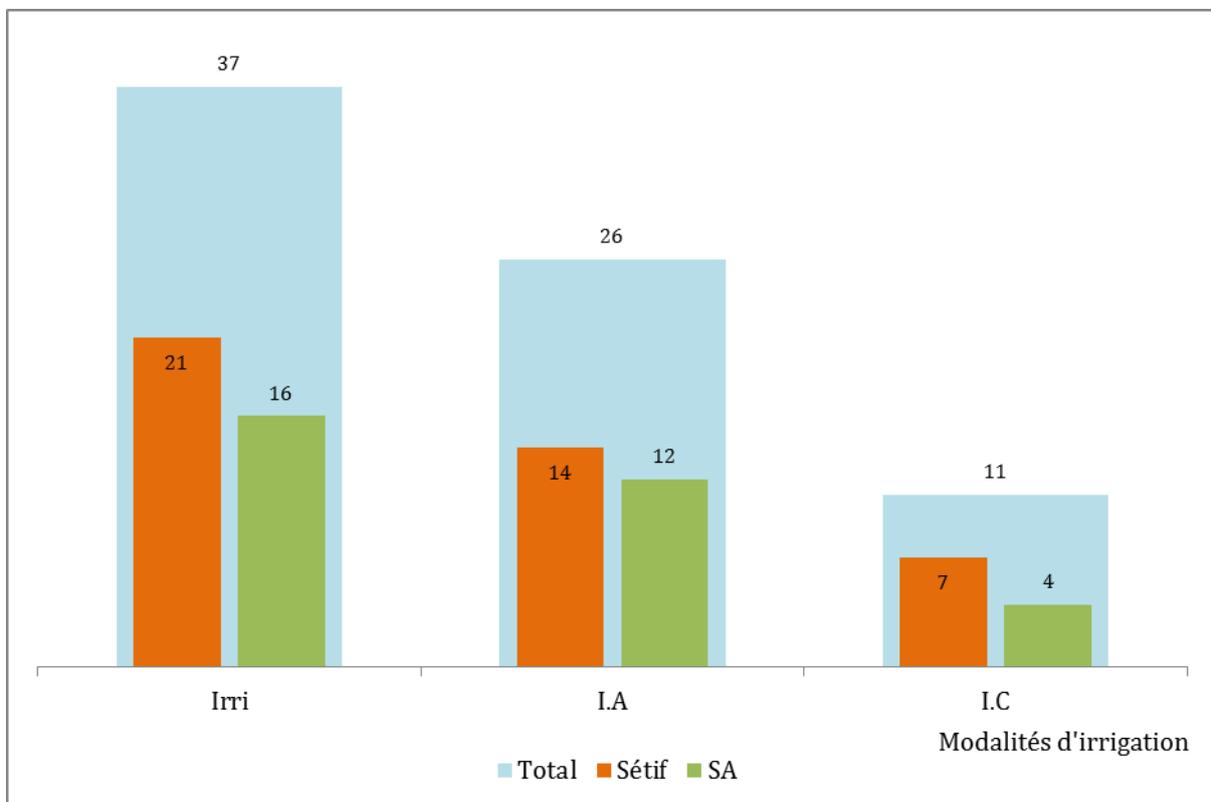


Figure 2. 32 Distribution de modalités d'irrigation. (Irri = Application de l'irrigation ; IA Irrigation d'appoint ; IC = Irrigation continue)

L'irrigation continue est pratiquée par des agriculteurs dans la commune d'Aïn Oulmene pour la région de Sétif et la commune de Bir-Bouhouche pour la région de Souk-Ahras. Ces deux communes appartiennent à l'étage bioclimatique semi-aride supérieur caractérisé pas des précipitations comprises entre 200 à 300 mm incapables de couvrir les besoins hydriques des

céréales. La combinaison des différentes modalités de l'irrigation fait ressortir 4 kits d'irrigation :

Irrig1 : Ce type caractérise les exploitations qui pratiquent l'irrigation d'appoint pour les céréales et utilise généralement des forages et des rivières comme ressource. La cadence est de 2 à 3 fois durant la saison agricole ;

Irrig2 : Cette catégorie englobe les exploitations qui appartiennent au périmètre irrigué pour une irrigation continue de 4 à 6 fois. Le matériel utilisé est en rouleau asperseur ;

Irrig3 : Les exploitations de ce type pratiquent l'irrigation à deux reprises durant tout le cycle de céréale une le mois de avril et une le mois de mai ;

Irrig4 : Ce type concerne les exploitations qui pratiquent l'irrigation de culture maraichère pomme de terre et melon, l'irrigation de céréale est secondaire (selon la disponibilité des ressources hydriques).

Ces 4 kits d'irrigation apportent de l'eau à la culture sur la base des constatations visuelles, et pas sur des mesures des besoins réels (ETR) de ce fait le gaspillage de l'eau, source précieuse en zone semi-aride est omniprésent diminuant ainsi la valeur ajoutée de la mobilisation de l'eau et exerce plus de pression sur cette ressource. L'irrigation en goutte à goutte, technique plus adaptée aux cultures maraichères et à l'arboriculture fruitière, a été recensée chez deux agriculteurs uniquement.

4.3.6 Construction d'une typologie des opérations d'entretien de la culture

Les opérations poste-semis diffèrent d'une exploitation à une autre, l'objectif de ce paragraphe est de construire une typologie des opérations d'entretiens des céréales précédemment décrites (fertilisation, désherbage, traitement phytosanitaire et irrigation). L'analyse combinatoire de ces pratiques fait ressortir théoriquement 420 modes d'entretiens des cultures (ENTRE). De ce nombre 9 modes représentant 96% des pratiques recensées ont été retenus (tableau 2.16).

Les résultats du tableau 2.16 indiquent que les paquets d'entretien des cultures sont largement conditionnés par les amendements minéraux et en moindre degré le désherbage. La fertilisation qui se pratique par 65% des exploitations visitées, entre dans la composition de 7 paquets d'installation des cultures (tableau 2.16). Le désherbage qui est une pratique fortement attachée à la fertilisation, n'a pas été la règle pour le paquet INCER4 qui se

compose du désherbage uniquement comme intervention pour la production des céréales. Ce paquet couvre 5% des unités de production visitées.

Tableau 2.16 Composants des paquets d'installation des céréales.

| Fertilisation | Désherbage | Traitement phytosanitaire | Irrigation | Paquet d'entretien de la culture | % |
|----------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------|---|----------|
| FERT1 | DESHE-1 | Néant | Néant | ENTRE1 | 21 |
| FERT2 | DESHE2 | Néant | IRRIG3 | ENTRE2 | 4 |
| FERT2 ou 4 | DESHE2 | TPhyto 2 | Néant | ENTRE3 | 3 |
| Néant | DESHE5 | Néant | Néant | ENTRE4 | 5 |
| FERT4 ou 5 | Néant | Néant | Néant | ENTRE5 | 16 |
| FERT3 | DESHE1,2 ou 4 | TPhyto1 | IRRIG1ou 2 | ENTRE6 | 3 |
| FERT6 ou 7 | DESHE5 | Néant | néant | ENTRE7 | 14 |
| FERT 7 | Néant | Néant | IRRIG4 | ENTRE8 | 2 |
| Néant | Néant | Néant | Néant | ENTRE9 | 28 |

4.3.7 Synthèse de la typologie des itinéraires techniques

L'intégration des différentes modalités des pratiques agricoles constituant un itinéraire technique donne théoriquement plus 2700 ITK (combinaison possible entre les modalités de chaque pratique). La fusion des pratiques dont l'impact sur le rendement est faible, la prise en compte de la répartition spatiale des pratiques, de la faisabilité technique et de la cohérence agronomique nous a permis de réduire le nombre à 9 ITK (fig. 2.33). Cette typologie nous a permis de classer les systèmes de culture selon le degré d'intensification des cultures en trois groupes.

Le système extensif : représenté par l'ITK6, il est caractérisé par une préparation du sol assez sommaire (labour d'automne avec un ou deux passages par le cover-crop) et un semis en ligne ou à la volée dont la dose varie de 120 à 130 kg/ha, les céréales ne reçoivent aucune intervention et elles seront laissées à leur destin avec les pluies. Les rendements sont généralement faibles (au-dessous de 10 q/ha). Ce système de culture est répertorié dans 28% des exploitations visitées. Il se caractérise généralement par des performances économiques et foncières faibles. Ces exploitations avec des surfaces faibles, combinent l'élevage et la

céréaliculture dont l'orge est la culture dominante. Ces exploitations trouvent leur essor dans l'amélioration de l'élevage que dans l'intensification et la diversification des cultures faute de foncier et des ressources en eaux.

Les systèmes semi-intensif : le recours aux intrants est faible et de manière irrégulière ce système est représenté par les ITK1, ITK2, ITK5, ITK7 et ITK8. Ce système est pratiqué dans 62% des unités de production visitées. L'incertitude climatique constitue un frein à l'intensification, la fertilisation azotée est un bon exemple ; Dans les années pluvieuses la majorité des exploitants apportent les engrais azotés, alors que dans les années sèches moins de 50% d'agriculteurs l'apportent.

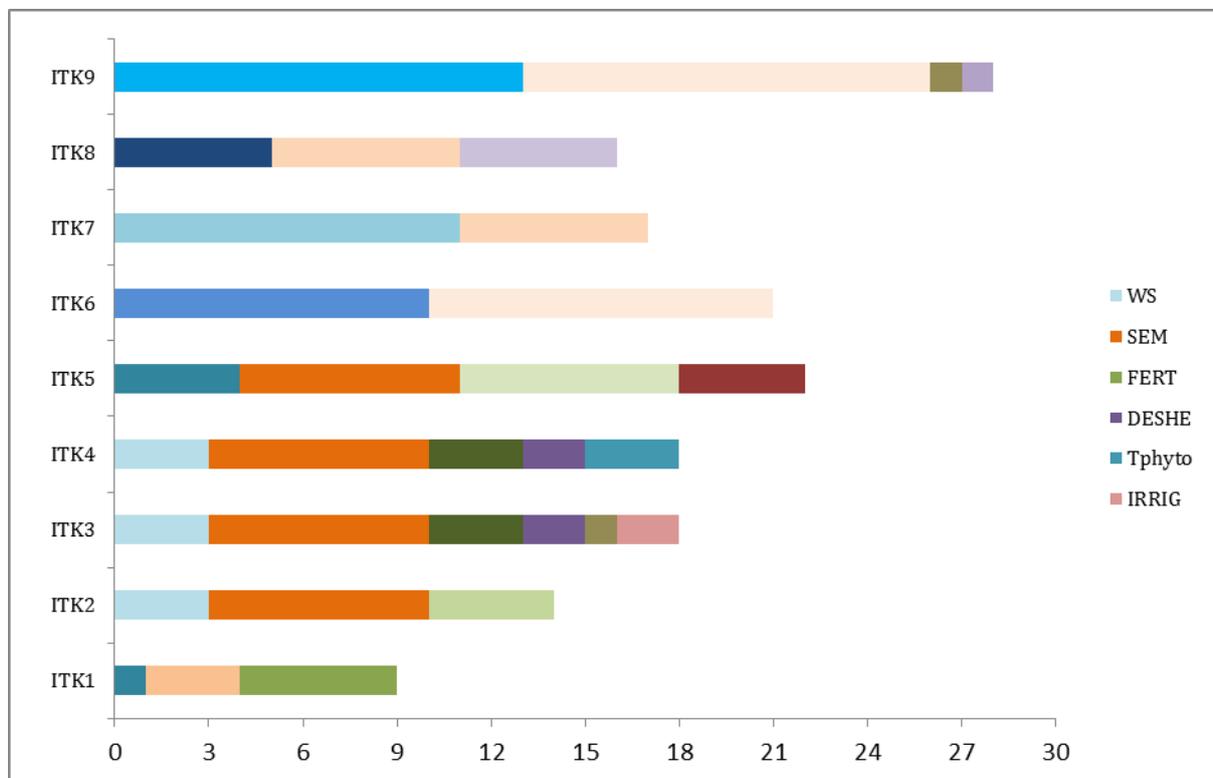


Figure 2.33 Typologie des itinéraires techniques dans la zone d'étude. Le gradient de couleur signifie la différence entre kit de chaque pratique. (Ws : travail de sol ; SEM : Semis ; FERT : Fertilisation ; DESHE : Désherbage ; T Phyto : Traitement Phytosanitaire ; IRRIG : Irrigation)

Les systèmes intensifs : pour ce système la mobilisation des intrants est grande, le semis direct est inclus. La conduite des cultures dans ce système est basé sur la fertilisation (fond et couverture) un désherbage régulier, des traitements phytosanitaire et rarement le recours aux régulateurs de croissance. Ce système correspond aux itinéraires ITK3, ITK4 et ITK9 il est présent dans 10% des exploitations objet de l'enquête (tableau 2.17).

La composition des itinéraires techniques (Tableau 2.17) montre la dominance du paquet INSCER3 composé de kit WS et SEM7, ce paquet entre dans la composition de trois itinéraires techniques totalisant 45% des ITK pratiqués.

Tableau 2.17 Fréquence et kits constituant les différents types d'itinéraire technique

| ITK | WS | SEM | FERT | DESHE | TPhyto | IRRIG | Fréquence % |
|------|------|-------|------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| ITK1 | WS1 | SEM3 | FERT4 ou 5 | Néant | Néant | Néant | 4 |
| ITK2 | WS3 | SEM7 | FERT4 ou 5 | DESHE 1 ou 2 | Néant | Néant | 36 |
| ITK3 | WS3 | SEM7 | FERT3 | DESHE 4 | TPhyto1 | IRRIG1 ou 2 | 6 |
| ITK4 | WS3 | SEM7 | FERT3 ou 4 | DESHE5 | TPhyto2 ou 3 | Néant | 3 |
| ITK5 | WS4 | SEM7 | FERT 7 | Néant | Néant | IRRIG4 | 2 |
| ITK6 | WS10 | SEM11 | Néant | Néant | Néant | Néant | 28 |
| ITK7 | WS11 | SEM6 | FERT 7 | Néant | Néant | Néant | 17 |
| ITK8 | WS5 | SEM6 | Néant | DESHER5 | Néant | Néant | 3 |
| ITK9 | WS13 | SEM13 | FERT1 ou 2 | DESHE-1 | Néant | Néant | 1 |

4.3.8 Typologie fonctionnelle globale des systèmes de culture

Après la typologie des différents composants des systèmes de culture, une typologie fonctionnelle globale de ces derniers s'avère nécessaire. La typologie des itinéraires techniques nous a permis de tracer des traits de fonctionnement de SdC le moment de visite des champs, alors que l'extension de la typologie aux dimensions spatiale (assolement) et temporelle (rotation) permet d'estimer le fonctionnement des SdC et leur évolution dans le temps. Vu que le nombre des parcelles visitées est assez élevé, cette typologie est faite en choisissant le système dominant qui a une faisabilité technique et cohérence agronomique acceptable et dont la surface des parcelles est supérieure à un ha. 6 systèmes de culture ont été identifiés. Les critères de discrimination sont la rotation, l'assolement et l'itinéraire technique (fig. 2.34).

SdC1 : Ce système est basé sur une rotation biennale céréale jachère travaillée et des itinéraires qui varient d'une exploitation à une autre. La sole est à dominance blé dur. Le SdC1 est pratiqué par 31% des exploitations étudiées.

SdC2 : La rotation biennale céréale jachère pâturée caractérise ce système à l'échelle temporelle. La sole est toujours à dominance blé dur avec des itinéraires techniques allant

d'ITK1 à l'ITK7. Le SdC2 est dominant dans 65 exploitations où l'élevage ovin constitue un composant principal du système de production. La location des jachères pour les transhumants ou l'exploitation des repousses comme foin sont des pratiques adoptées par les agriculteurs dépourvus d'élevage et qui laissent leurs terres en jachère.

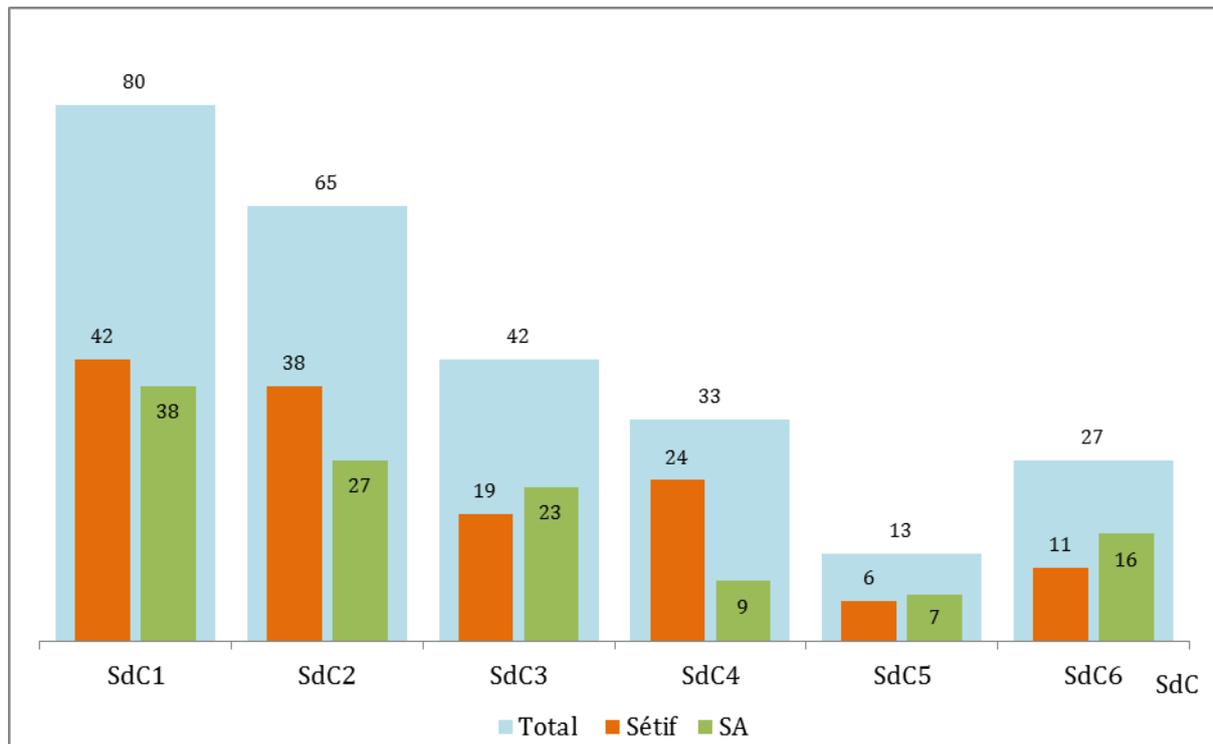


Figure 2.34 Distribution des 6 systèmes de culture dans la zone d'étude.

SdC3 : Ce système est dominant dans 16% des exploitations visitées, la rotation est de type céréale sur céréales. Les itinéraires techniques se répartissent entre ITK1, ITK4, ITK6, ITK7 et ITK9. La persistance de ce système est justifiée par le caractère extensif de la céréaliculture en zone semi-aride et par les conditions imposées par le propriétaire de la terre lors de l'établissement des contrats de location ou d'association.

SdC4 : Dans ce SdC une légume sec succède au blé dur ou tendre pour une rotation triennale de type blé dur / lentille/blé dur ou tendre pour la région de Souk-Ahras et blé dur pois chiche pour Sétif. À l'exception de L'ITK9, tous les autres itinéraires techniques font partie de ce système.

SdC5 : Ce système est pratiqué par 13 exploitations (7 à Sétif et 6 à SA) sur une surface de 43 ha. La rotation inclue la culture de la pomme de terre une fois sur 3 ans ou deux fois sur 5 ans de succession et dont le blé dur est toujours le successeur. L'itinéraire technique adopté

est l'ITK7 composé d'un travail non conventionnel de sol (TCS) et un semis semi-précoce à dose moyenne.

SdC6 : Le dernier système domine 27 exploitations dont la surface agricole utile est faible. La succession de type blé dur - oignon, blé dur- laitue pour la région de Sétif et blé dur- tomate, blé dur carotte ou blé dur- melon, blé dur – tomate et / ou piment, blé dur pour la région de Souk-Ahras.

Les 6 systèmes de culture font l'objet d'une évaluation vis-à-vis de leur contribution au développement durable dans le chapitre suivant

4.4 Le rendement des céréales

Le rendement des trois céréales d'hiver, des 260 exploitations visitées affiche une moyenne générale de 17q/ha. Pour les blés, le rendement est de 16,8 q/ha, et 23q/ha pour l'orge. Le rendement moyen des exploitations dépasse le rendement moyen national (+1,4 q/ha) (fig. 2.35).

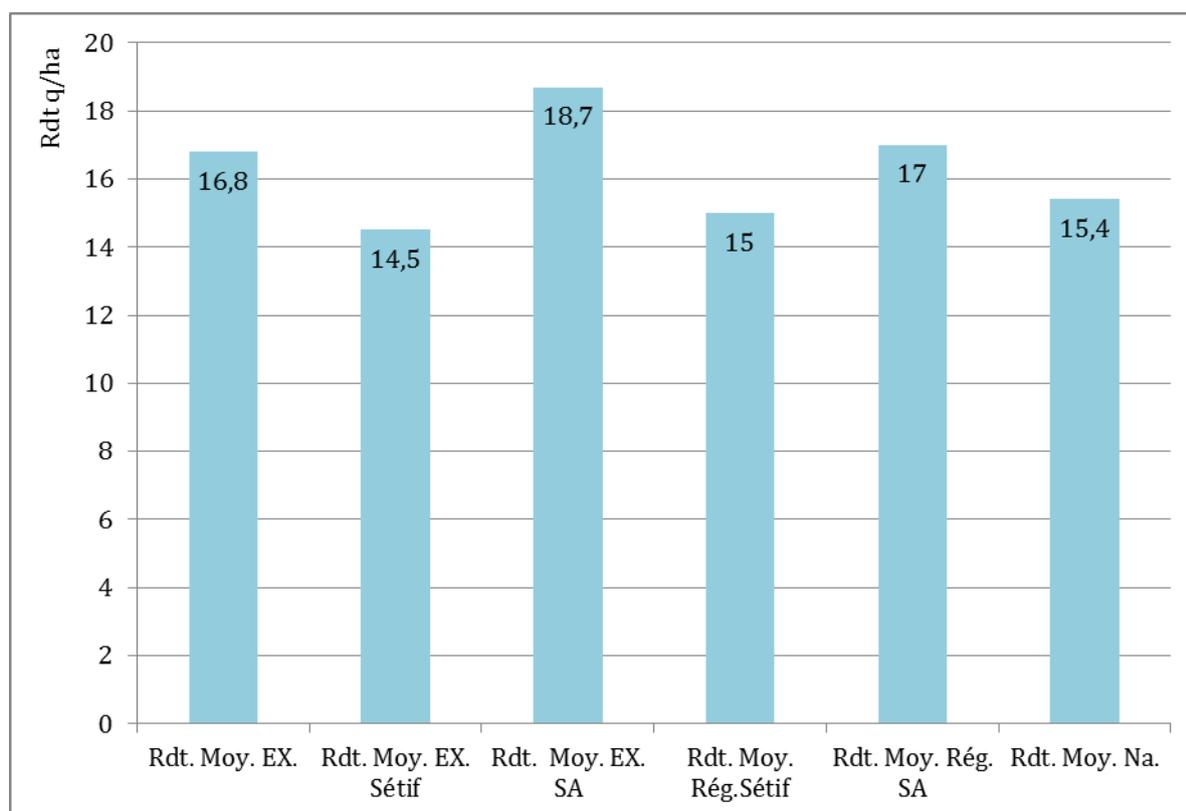


Figure 2. 35 Comparaison des rendements de blé dur. (Rdt Moy. EX : Rendement moyenne des 260 exploitations enquêtées ; Rdt Moy Ex Sétif : Rendement moyenne des 120 exploitations de la région de Sétif ; Rdt Ex SA : rendement moyen des 140 exploitations de la région de Souk-Ahras ; Rdt région moyen de la région de Souk-Ahras ; Rdt moy. Sétif : rendement moyenne dans la région de Sétif ; Rdt Nat.Moy : Rendement moyenne nationale

Entre région, une différence très hautement significative ($p < 10^3$) a été révélée. Souk-Ahras avec une moyenne de $18,7 \pm 7,7$ dépasse largement les rendements enregistrés à Sétif dont la moyenne est de $14,5 \pm 6,3$. La fluctuation des rendements entre exploitations est grande ; le rendement minimal est 5q/ha et le maximal est égale à 47,5q/ha avec un coefficient de variation de l'ordre de 32%. Les causes de cette fluctuation sont multiples, les précipitations constituent le premier facteur de variation ; à titre d'exemple une différence de 23612 ha de surface non moissonnée est enregistrée entre la saison 2016/2017 et 2017/ 2018 (30% des surfaces emblavées) l'écart de précipitations est 296mm. Le deuxième facteur est la gestion technique des cultures, le rendement est positivement corrélé avec la dose de semis ($r= 0,43$) et la quantité d'azote apportée ($r=0,57$).

Le rendement de blé dur range les systèmes de culture dans l'ordre décroissant suivant :

SdC4 > SdC5> SdC6> SdC1> SdC2 > SdC3

L'analyse de la variance classe les systèmes de culture en trois groupes selon le rendement de blé dur (tableau 2.18).

Tableau 2.18 Comparaison de rendement selon les systèmes de culture.

| système de culture | SdC1 | SdC2 | SdC3 | SdC4 | SdC5 | SdC6 |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Rdt moyen | 16,41a | 15,54a | 12,15b | 19,5c | 20,30c | 17ab |

Les lois agronomiques dont les effets du précédent, techniques (l'itinéraire technique suivi) et édaphique (qualité de sol) expliquent les différences de rendement entre systèmes de culture.

5 Discussion de la partie typologie des SdC

5.1 L'installation des céréales

En zone semi-aride les systèmes de production sont dominés par une combinaison assez ancienne entre la céréaliculture et l'élevage ovin pour faire face à des conditions agro climatique et socio-économique peu favorables à la production végétale. L'installation des céréales, culture principale, dans ces zones obéie le plus souvent à des lois socio-économiques et des contraintes climatiques et pas à des lois agronomiques ou techniques. Les

pratiques agricoles dans cette région sont soumises à l'incertitude des agriculteurs à réaliser et/ou éliminer telle ou telle opération pour s'adapter aux risques climatiques et dans une moindre mesure le risque de l'indisponibilité des intrants. Le type d'exploitation (la taille, l'autonomie en matériel, l'orientation technico-économique, la performance économique) joue un rôle dans les choix techniques des agriculteurs (Benniou *et al.*, 2014).

Le taux de présence des céréales, tous types confondus, dans les 260 exploitations enquêtées est de 86%. Pour les parcelles qui n'ont pas été emblavées de céréales l'année de l'étude, 93% entre elles sont précédées par une céréale, le reste (7%) est précédé par une autre culture. Malgré les exigences presque identiques entre blé tendre et blé dur ce dernier occupe 71% des emblavures des blés contre 29% pour le blé tendre. Cette grande différence est expliquée par les habitudes alimentaires de la population conjuguée avec un prix bien rémunérant du blé dur (4500 da/q) par rapport au blé tendre (3500 da/q). L'augmentation de prix de blé dur fait que 14% des agriculteurs enquêtés ont abandonné la culture de blé tendre pour libérer la sole à la culture de blé dur. L'orge est bien représentée, 33% des agriculteurs visités pratiquent cette culture soit pour l'alimentation humaine ou animale. La rusticité de cette espèce et sa contribution à l'alimentation du cheptel explique sa grande sole.

La même tendance de distribution des céréales est respectée entre les deux régions d'étude avec des différences dans les pourcentages. À Souk-Ahras le blé dur est pratiqué par 97% des agriculteurs contre 72% à Sétif. De même le blé tendre entre dans le choix de 56% des agriculteurs à Souk-Ahras, alors qu'uniquement 14% des agriculteurs à Sétif pratiquent la culture de blé tendre. Pour l'orge 76% des exploitations de la région de Souk-Ahras et 45% de la région de Sétif font recours à la culture d'orge.

Pour les légumes secs, la lentille occupe la première place où elle est cultivée dans 13% des exploitations objet d'enquête (19% à SA et 7 % à Sétif). Le pois chiche bien qu'il est présent chez 7% des exploitations, il occupe une place marginale à Souk-Ahras (2,5%) contre 11,4% à Sétif. Dans les zones semi-arides cet assolement est justifié par des facteurs agro-écologique socioéconomique et institutionnelle. Le programme de la résorption de la jachère qui a commencé en 2004 dont l'objectif est de substituer la jachère travaillée ou pâturée par une légume sec a contribué considérablement à l'augmentation de la sole de la lentille et du pois chiche. La sole fourragère reste faible, les fourrages se pratiquent chez 8% des unités de production étudiées pour une surface qui ne dépasse pas les 200 ha.

À part ces quatre cultures qui occupent la part de lion de la surface agricole des exploitations objet d'enquête, d'autres cultures marquent leurs présences dont les cultures maraichères et industrielles (tomate et tabac), la pomme de terre, le melon et la pastèque. La taille des exploitations et la disponibilité des ressources hydriques jouent un rôle important dans la répartition de ces cultures. Les exploitations dont la taille est inférieure à 5 ha se caractérisent par une sole diversifiée alors que les grandes exploitations sont spécialisées en céréaliculture ou en céréaliculture élevage. Benniou et Brinis (2006) confirment dans une étude portant sur 120 exploitations (région de Sétif) la relation étroite entre la répartition des soles (nombre de culture) et la taille des exploitations. La création des périmètres irrigués (Eulma, Ain Abassa, Sedrata, Zaoubi et Bir Bouhouche) a contribué au développement des cultures maraichères et industrielles simultanément avec la céréaliculture quel que soit la taille de l'exploitation. Lahmar et Bouzerzour (2011) confirment à leur tour la nette tendance à la diversification facilitée par l'accès à l'irrigation. Le maraîchage et la culture de pomme de terre notamment, sont observés chez des petites, moyennes ou grandes exploitations. Raoubi *et al.*, (2016) rapportent que la diversification des cultures est une stratégie d'adaptation aux contextes pédoclimatiques et économiques difficiles des zones semi-arides.

5.1.1 La succession des cultures

En zone semi-aride la rotation céréale (tous types) jachère (toutes modalités) fait partie intégrante des systèmes de production dans ces zones. Malgré une nette diminution de cette rotation en faveur de la monoculture des céréales ou de la rotation blé /légumes secs qui ne cesse d'augmenter, la célèbre rotation est toujours en tête où elle est présente chez 69% des exploitations étudiées. Fenni et Bounechada (2011) rapportent que cette rotation occupe chaque année 80% de la SAU du pays. Deux intérêts majeurs justifient l'adoption de la jachère ; le premier est le stockage d'eau pour la culture suivante (jachère travaillée), le deuxième consiste à assurer une partie de la ration du cheptel ovin (jachère pâturée) (Abbas, 2012). Or le stockage d'une quantité suffisante d'eau est conditionnée par la profondeur et la texture du sol, le volume des pluies et la date de réalisation de labour et des travaux superficiels (Sébillotte *et al.*, 1993). Ces conditions ne sont pas vérifiées chez la majorité des unités de production visitées. Le rendement des jachères pâturées lui aussi est conditionné par les travaux d'entretien (fertilisation et re-semis) et les précipitations. Pour les travaux d'entretien, un agriculteur parmi les 260 enquêtés pratique la fertilisation de la jachère destinée à la production du foin et pas au pâturage. La rentabilité est donc faible et des conséquences néfastes sur la productivité du troupeau ovin peuvent être enregistrées

(Abdelguerfi *et al.*, 2008). Sans oublier le rôle de la jachère pâturée dans l'augmentation du stock semencier des mauvaises herbes, le dessèchement et l'épuisement du sol.

La pomme de terre et légumes secs bien que faiblement présents dans les rotations (13 % pour la première et 5 % pour la deuxième) présentent des avantages agronomiques importants qui se matérialisent par un rendement grains élevé par rapport aux autres rotations. Les blés qui suivent une culture de pomme de terre accusent un gain de rendement de 20% par rapport à la moyenne. Pour les céréales qui succède une légume sec (lentille et /ou pois chiche) le grain est de l'ordre de 16% ce gains de rendement est le résultat d'un nombre élevé de plants /m² (Smagacz *et al.*, 2016) et un faible taux d'infestation par les mauvaise herbe (Derycke *et al.*, 2014 ; Kirkegaard *et al.*,2008) pour la pomme de terre. Le reliquat d'azote et un taux d'infiltration d'eau élevé (Fortas *et al.*, 2016) explique les gains de rendement enregistré après une légumineuse.

5.1.2 L'itinéraire technique

5.1.2.1 L'installation des cultures

En zone semi-aride où la céréaliculture pluviale est dominante, la maîtrise des itinéraires techniques revêt une grande importance. Cette maîtrise résulte de la connaissance détaillée de l'environnement qui entoure la plante et la situation de production durant la campagne agricole. D'après Nagarajan *et al.*, (2010), le rendement d'une culture est conditionné par la qualité des premiers 100 cm, le choix de l'espèce, l'efficacité d'utilisation de l'eau et d'azote et le choix des pratiques et techniques appropriées. Le travail de sol premier composant de l'itinéraire technique conditionne la réussite du semis et la levée. L'outil de travail influe sur le rendement en grains des céréales. Dans notre étude, le travail conventionnelle du sol est la pratique dominante (95% des exploitations visitées), ce type de travail est déconseillé surtout en zones fragiles (haute plaines de Sétif et Souk-Ahras) car il favorise la destruction du sol et la diminution de la fertilité des terres (Mekhlouf *et al.*, 2013). Les techniques culturales simplifiées (TCS) sont pratiquées dans 4% des unités visitées, ces dernières ne peuvent être une solution durable que si le désherbage chimique est maîtrisé (Cowbrough, 2002 ; Debaeke et Orlando,1994). Le semis direct mieux adapté au contexte agro-climatique (El Mezoued *et al.*, 2017 ; Fortas *et al.*, 2016 ; Mekhlouf *et al.*, 2013 ; Lawrence *et al.*, 1994) ne se pratique que dans 4 exploitations de la région de Sétif (< 1%). Ce faible taux est expliqué par le manque de semoir de semis direct à Souk-Ahras. À Sétif ces semoirs sont devenus une fabrication locale et par conséquent le SD est en plein expansion.

Pour le travail conventionnel, la préparation du lit de semis commence par un labour profond à l'aide de la charrue à soc ou à disque suivi par un, deux, trois, quatre ou cinq passages par un outil de travail superficiel (cover crop, scarificateur, herse ou combinaison scarificateur-herse). Chez 61 % des unités étudiées, le labour est effectué par la charrue à soc du fait que les agriculteurs ont constaté une relation positive entre le labour profond et le rendement des céréales. Ce facteur avec d'autres dont le précédent cultural, la texture de sol, la disponibilité du matériel et l'éloignement des parcelles conditionnent le choix des outils de travail superficiel. Le cover crop est le choix de 63,5% des agriculteurs enquêtés, le scarificateur est mobilisé dans 18% exploitations uniquement malgré les avantages qu'il offre ; Chennafi et Saci, (2012) rapportent un gain de rendement de blé dur (variété Waha) dont les travaux superficiels sont réalisés à l'aide d'un scarificateur.

Du préparé de printemps au préparé d'automne, les dates de labour s'étalent sur 8 mois ils sont fonction du précédent cultural, de la taille des exploitations et de la disponibilité du matériels. Les petites exploitations (< 5ha) ne labourent jamais en printemps ou en été, les dates de labour des moyennes et grandes exploitations obéissent aux facteurs cités précédemment.

La date et les modalités liées au travail de sol ont été groupées dans 13 kits dont le plus dominant et le kit 3 qui se compose d'un labour automnal par une charrue à soc suivie par deux ou trois passages par un outil de travail superficiel. Benniou *et al.*, (2014) ont identifié 7 kits de travail de sol dans la zone de Sétif. Ces auteurs ont attribué la diversité des modalités de préparation de sol à la taille des exploitations, l'étage bioclimatique et à l'autonomie en matériel.

Pour la mise en place des céréales, les trois modes de semis sont présents à hauteur de 84% pour les semis en ligne, 14% pour le semis à la volée et 1% pour le semis direct. Le semis à la volée domine les exploitations à faible taille ou à relief accidenté. Dans une étude qui porte sur 120 exploitations de la région de Sétif, Benniou *et al.*, (2014) ont recensé deux modes de semis uniquement (semis en ligne et à la volée) à raison de 50% chacun, le semis direct n'a pas été recensé. L'introduction de semis direct par l'institut technique des grandes cultures de Sétif dans le cadre d'une collaboration avec le centre international de recherche agricole dans les zones arides (ICARDA) constitue un pas important dans l'intensification de la céréaliculture en zone semi-aride. Les trois modes influent la dose de semis qui oscille de 110 kg/ha pour le semis à faible dose à plus de 150 kg/ha pour le semis à forte dose. Néanmoins la

dose de semis a connu une tendance vers la hausse ces 10 dernières années ; des 260 exploitations objet de l'enquête, 17% entre elle ont procédé à l'augmentation des doses de semis. Quant au date de semis il s'étale sur 4 mois (octobre –janvier) et range le semis en trois modalité semis précoce, semi-précoce et tardif. L'opération de semis est groupée en 13 kits dont le dominant et le kit SEM 3 qui se caractérise par un semis semi-précoce en ligne avec une dose moyenne. Ce groupement se concorde avec l'arrangement fait par Benniou *et al.*, (2014) où ils ont groupé le semis en 12 kits selon les modalités précitées.

Les opérations d'installation des céréales sont groupées en 8 kits qui regroupent la majorité des combinaisons rencontrées. Il apparait que le nombre de passage, la date de labour, la dose de semis sont des critères discriminants de cette typologie ainsi le kit INCER3 est dominant du fait qu'il est présent chez 35% des exploitations visitées.

5.1.2.2 Les travaux d'entretien des cultures

La fertilisation, le désherbage, la lutte phytosanitaire et l'irrigation recouvrent un très vaste ensemble de techniques et de moyens de produits de modalités, dont la mise en œuvre harmonieuse permet d'élever ou de maintenir la capacité des récoltes à des seuils élevés. Ces pratiques se considèrent comme signe d'intensification des cultures et par conséquent leurs applications ou non détermine le degré d'intensification des SdC (Tadesse *et al.*, 2017 ; Pala *et al.*, 2011).

Malgré l'effet de la fertilisation sur l'augmentation de l'efficience d'utilisation de l'eau et l'élaboration de rendement des céréales, leur pratique reste modérée du fait que parmi les 260 exploitations objet d'enquête 50% apportent des engrais de fond (MAP ou TSP) dont 58% d'une manière irrégulière. Pour l'azote la situation est mieux où 65% des agriculteurs pratiquent la fertilisation azotée sous forme d'urée 46%, dont 48% d'entre eux l'appliquent d'une manière irrégulière. Des différences notables entre région ont été enregistrées ; à Sétif uniquement 30% des exploitations visitées apportent de l'azote alors qu'à Souk-Ahras 70% des unités de production apportent des engrais de couverture. Dans un travail similaire Hattab et Gaouar (2016) ont rapporté que parmi les 53 exploitations étudiées dans la commune d'El Ghor (Wilaya de Tlemcen), 8% uniquement font recours à la fertilisation azotée. Pour la région de Sétif Benniou (2008) communique un taux de 26% des 172 parcelles suivies, cela signifié que les progrès en la matière de la fertilisation azotée sont modérés. Dans les deux pays voisins (Maroc et Tunisie) la situation est pareil, un faible recours à la fertilisation azotée est observé (Annabi *et al.*, 2013 ; Cossani *et al.*, 2011).

Les conditions climatiques se considèrent comme le facteur déterminant qui conditionne l'application ou non, les doses apportées, les dates et le fractionnement des engrais azotés (Annabi *et al.*, 2013). Des réponses différentes envers la fertilisation azotée en zone semis aride de la méditerranée ont été révélées par plusieurs auteurs dont Anderson (1985). L'introduction de la fertilisation azotée constitue un événement majeur chez 21% des exploitations durant les 10 dernières années. Le fractionnement des apports azotés constitue une innovation technique chez 7% des fermes étudiées. Ces deux événements avec le désherbage marquent le début de l'intensification de la céréaliculture incité par le pouvoir publique à travers la politique d'intensification des céréales (Bessaoud, 2019 ; Djermoun, 2009). Les modalités de la fertilisation (date d'application, dose, type d'engrais, fréquence et fractionnement) ont été groupées en 7 kits de fertilisation. À par les conditions climatiques, les contraintes techniques (disponibilité des engrais et technicité), foncières et financières conditionnent les modes et modalités précitées ainsi que les kits identifiés. Le kit FERT3 qui regroupe les pratiques les plus intensives en matière de fertilisation est pratiqué par une minorité d'exploitations. Le kit FERT7 dont le taux d'intensification est très faible (faible dose irrégulière) est très répondu surtout à Sétif. La valorisation des prix à la production à partir de l'année 2008 a incité les agriculteurs à adopter une stratégie d'intensification des céréales, ce constat vient de la comparaison de nos résultats avec ceux obtenus par des travaux similaires dont ceux de Hattab et Gaouar (2016) et Benniou et Aubry (2012).

Moins de la moitié des exploitations étudiées pratiquent le désherbage, ce dernier joue un rôle important dans l'amélioration de la production des céréales. Parmi les 116 exploitations qui font recours au désherbage, 47% d'entre elles le pratique d'une manière irrégulière et pour les blés uniquement, dans un travail similaire Hattab et Gaouar (2016) ont trouvé un taux de 11 % uniquement. Les conditions climatiques et les contraintes économique (cherté des produits) constituent un frein au développement de cette pratique (Rouabhi *et al.*, 2016b). Comme les autres pratiques les modalités de désherbage sont groupées en 5 kits dont le plus répondu est le kit DESH2 qui consiste à appliquer un anti-monocotylédone au stade tallage. Le kit DESH4 offre une couverture complète des messicoles il est répondu dans les grandes exploitations spécialisées dans la multiplication de semences.

La lutte contre les ravageurs et les maladies cryptogamiques est peu pratiquée, elle se fait d'une manière curative et pas préventive. Elle se limite aux exploitations qui travaillent selon un cahier de charge rigoureux (multiplicateurs de semences). Les 20 exploitations qui pratiquent la lutte phytosanitaire le font d'une manière irrégulière (même dans les années de

forte nuisibilité). Les modalités de cette pratique sont groupées en 2 kits dont le kit TPhyto 2 est le plus répandue. Le diagnostic de la maladie, le choix de produit et la détermination avec exactitude du seuil de nuisibilité constituent des facteurs de réussite de cette pratique

L'irrigation avec ces 4 modalités constitue un levier d'intensification des céréales très important, car elle augmente le rendement et réduit sensiblement sa variabilité interannuelle. En zone-semis aride où les contraintes hydriques sont d'envergures, le recours à l'irrigation ne concerne que 14 % des exploitations étudiées dont 97% d'entre elles pratiquent l'irrigation de complément (irrigation d'appoint). Plusieurs chercheurs dont Bir *et al.*, (2014), Benniou et Van Damme (2014) rapportent le faible recours à l'irrigation de complément dans les régions semi-aride dont celle de Sétif. La faible disponibilité des ressources hydriques et du matérielles de grandes et petites hydrauliques explique cette situation.

La combinaison de tous les modes et les modalités des pratiques agricoles appliquées aux céréales d'hiver dans la zone de Sétif et Souk-Ahras, nous a permis d'établir une typologie des itinéraires techniques. Ces derniers classent les systèmes de culture en trois groupes selon les degrés d'intensification (extensif, semi intensif et intensif). Les résultats obtenus confirment le caractère extensif et semis intensif de la céréaliculture dans la zone d'étude où les itinéraires techniques de type ITK6 ITK2, ITK5, ITK7 et ITK8 sont dominants.

Le caractère extensif n'est pas une labelle algérienne car ce système caractérise 60 % des emblavures dans le nord Afrique (Maroc, Tunisie) (Nefzaoui *et al.*, 2012). Pour faire face à cette situation les trois pays ont mobilisé plusieurs stratégies : Au Maroc le plans Maroc vert qui a adopté une approche ultra-productiviste est toujours critiquée par les environnementalistes (Akesbi, 2012), mais ce dernier a apporté un grand soutien à l'intensification de la céréaliculture à travers la création de plusieurs périmètres irrigués et l'introduction des techniques innovante, des résultats probants ont été enregistrés (Oulhaj, 2017). En Algérie la politique d'intensification des céréales entamé en 2004 dans le cadre du PNDA puis la politique de résorption de la jachère entamé la même année ont permis aux agriculteurs d'acquérir du matériel agricole moderne et de s'approvisionner en intrants à travers des crédits bancaires dont le crédit Rfig (Bessaoud, 2019). Les résultats sont encourageants désormais les rendements sont en progression d'une année à une autre (Djermoun, 2009). En Tunisie dès la crise des prix des céréales en 2007, une nouvelle stratégie céréalière (2009-2013) est adoptée une année après et dont les objectifs sont d'accroître la production et de réduire ses fluctuations afin de garantir des revenus stables aux

agriculteurs, d'assurer la sécurité alimentaire de la population et de réduire le déficit de la balance alimentaire (Khaldi *et al.*, 2010). L'augmentation des surfaces irriguées et l'utilisation abusive des intrants, pierres angulaire de cette politique, ont accentué la dégradation des ressources naturelles rendant ainsi les systèmes de production plus vulnérables et incapables d'assurer la sécurité alimentaire de la population (75% des besoins en blé tendre sont assurés par les importations) (Bahri *et al.*, 2018 ; Khaldi *et al.*, 2010).

L'intensification de la céréaliculture par l'augmentation de la sole irriguée et le recours massif aux intrants a contribué à l'amélioration des rendements, ces derniers restent au-dessous des attentes des parties prenantes. Cependant ce modèle productiviste va entraver la durabilité des systèmes de culture. Par ailleurs, l'agriculture écologiquement intensive offre de très bonnes alternatives à travers l'introduction des nouvelles cultures (légumineuses), l'adoption des rotations longues, le semis direct et le dry-farming. Ainsi on peut parler d'une autre approche agricole prometteuse pouvant prendre place parmi d'autres qui proclament respect de l'environnement et un rendement stable et performant.

6 Conclusion

La diversité des milieux physiques, du contexte socio-économique et du foncier ont influencé le mode d'organisation et de fonctionnement des exploitations agricoles et par conséquent les systèmes de cultures. Ces exploitations ont une surface agricole qui oscille de 2 à 780 ha, gérées par des agriculteurs âgés entre 24 à 83 ans, emploient en moyenne deux personnes. Parmi les 260 exploitations étudiées, 217 d'entre elles ont une orientation technico économique céréalière. La classification hiérarchique ascendante fait relever 8 classes d'exploitations qui se différencient par leur taille, leur statut foncier, la main d'œuvre employée. La typologie des systèmes de culture quant à elle fait révéler plusieurs combinaisons entre les trois composants des SdC. L'itinéraire technique avec ces kits d'assemblage des différentes pratiques a groupé les systèmes de culture en trois groupes selon le degré d'intensification : système extensif (28%), semi-intensif (62%) et intensif (10%). La fertilisation, le désherbage et l'irrigation sont les pratiques culturales la plus déterminantes dans cette typologie. Selon la rotation, les systèmes de culture ont été groupés en 6 groupes il s'agit des systèmes CérJW, CérJPât, MonCér, CérLég, CérPT et CérMar.

CHAPITRE III ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES SYSTEMES DE CULTURE

1 Critères d'utilisation de la méthode adoptée

Afin d'évaluer la durabilité des systèmes de culture pratiqués dans les exploitations enquêtées, nous nous sommes appuyés sur 17 indicateurs couvrant les trois échelles de la durabilité (l'échelle économique, agri-environnementale et sociale). Chaque échelle est représentée par des classes, qui sont à leur tour composées d'un nombre d'indicateurs. L'échelle économique est composée d'une seule classe qui regroupe 4 indicateurs dont le produit brute (PB), la charge totale (CT) composée de deux critères (la charge opérationnelle (CO), et la charge de mécanisation (CM)), la marge brute (MB) et l'efficacité économique (EE). Pour l'échelle agri-environnementale, elle est représentée par 4 classes (biodiversité, sol, énergie et pression phytosanitaire) et 10 indicateurs dont la succession culturale (SC), la diversité des cultures (Div), la diversité des familles des cultures (DFC), l'assolement (Ass), la maîtrise de la matière organique dans le sol (MO), le taux de couverture du sol (CS), la consommation d'énergie (En), l'indice énergétique (IE), l'indice de fréquence de traitements (IFT) et la gestion de la ressource en eau (GRE); la dernière échelle, sociale, est représentée par une seule classe avec 3 indicateurs : la contribution à l'emploi (EMP), la complexité des interventions culturales (CIC) et la qualité sanitaire des produits (QS) (tableau 2.19).

Les valeurs des indicateurs (V_i) sont normalisées en indice de durabilité (D_i) compris entre 0 qui signifie une durabilité nul (non durable) et 1 qui signifie une durabilité maximale en utilisant une simple fonction de durabilité définie comme suit :

$D_i = ((V_i - D_{\min}) / (D_{\text{opt1}} - D_{\min}))^k$ pour une valeurs de D_i qui tend vers 0 ;

$D_i = ((V_i - D_{\max}) / (D_{\text{opt2}} - D_{\max}))^k$ pour une valeurs de D_i qui tend vers 1 (Castoldi et Bechini 2010)

Où :

D_i : durabilité de l'indicateur i ;

V_i : valeur de l'indicateur i ;

D_{\min} : durabilité minimale ;

D_{\max} : durabilité maximale ;

D_{opt1} : durabilité optimale du seuil inférieur ;

D_{opt2} : durabilité optimale du seuil supérieur ;

K : un coefficient qui détermine le sens et l'intensité d'allongement de la courbe de durabilité tracé par l'équation de durabilité :

Lorsque $k > 1$, la durabilité se rapproche rapidement de la plage optimale alors que Si $k < 1$, la durabilité se rapproche rapidement de l'intervalle de la faible durabilité. Lorsque $k = 1$, la relation entre V_i et D_i est linéaire.

Tableau 2.19 Paramètres utilisés pour le calcul des fonctions de durabilité. (D_{min} : durabilité minimale, D_{opt1} : durabilité minimale inférieure, D_{opt2} , durabilité optimale supérieure, D_{max} durabilité maximale K: coefficient

| Indicateur | Acronyme | Unité | D_{min} | D_{opt1} | D_{opt2} | D_{max} | k |
|---|----------|--|-----------|------------|------------|-----------|-----|
| Indicateurs économiques | | | | | | | |
| Charge Totale | CT | DA ha ⁻¹ | - | - | 35908.3 | 43630.5 | 1 |
| Produit brute | PB | DA ha ⁻¹ | 45308.9 | 61322.2 | - | - | 0,5 |
| Marge brute | GM | DA ha ⁻¹ | 1029.6 | 1339872 | - | - | 0,5 |
| EfficiencE Économique | EE | % | - | - | 20 | 100 | 1 |
| Indicateurs Agri-environnementales | | | | | | | |
| Maîtrise de la matière organique dans le sol (MO) | MO | Sans unité | 1 | 7 | - | - | 0,5 |
| Couverture du sol (CS) | CS | Sans unité | 0,38 | 0,48 | - | - | 2,0 |
| Consommation d'énergie | En | MJ ha ⁻¹ | 2493.90 | 29000.00 | - | - | 1,0 |
| EfficiencE énergétique | EEn | Sans unité | 10 | 6 | - | - | 1 |
| Succession culturale | SC | Sans unité | 1 | 3 | - | - | 2 |
| Diversité | Div | Sans unité | 1 | 2 | - | - | 1,0 |
| Diversité des familles des cultures | DFC | Sans unité | 1 | 4 | - | - | 0,5 |
| Assolement | Ass | Sans unité | 1 | 7 | - | - | 1,0 |
| Indice de fréquence de traitements | IFT | IFT point | - | - | 0,70 | 0,99 | 0,5 |
| Gestion de la ressource en eau | GRE | Sans unité | -2 | 4 | - | - | 1 |
| Indicateurs sociaux | | | | | | | |
| Contribution à l'emploi | EMP | 1 h ha ⁻¹ an ⁻¹ | 0,09 | 0,29 | - | - | 1,0 |
| Complexité des itinéraires techniques | CIC | Sans unité | - | 1,5 | 3,0 | >3 | 1,0 |
| Qualité sanitaire des produits | QS | Sans unité | 1 | 3,5 | - | - | 1,0 |

Le choix des valeurs du coefficient k dépend de la contribution de l'indicateur à la durabilité. Une valeur de $k = 1$ est utilisée lorsqu'il n'est pas possible de discriminer entre les sens de rapprochement. Une fois calculées, les (D_i) seront agrégés en durabilité par échelle (D_e) en appliquant la méthode additive basée sur des poids alloués à chaque indicateur. En suivant la même démarche les (D_e) seront agrégés en durabilité globale (D_g) comprise entre 0 et 1.

Les seuils de durabilité D_{\min} , $D_{\text{opt}1}$, $D_{\text{opt}2}$ et D_{\max} ont été déterminés à partir des méthodes d'inspiration des indicateurs (INDIGO, MASC, IDEA) pour certains et à partir, de deux paramètres statistiques (médiane et quartile) pour d'autres. Le poids attribué à chaque échelle et à chaque indicateur est calculé à partir de la moyenne pondérale donnée par les parties prenantes : i) chercheurs dans le domaine des sciences agronomiques (INRA de Sétif et d'Alger) et des enseignants chercheurs de l'université de Sétif, Batna et Souk-Ahras. ii) les agronomes, représentés par des ingénieurs agronomes (DSA de Souk-Ahras). iii) les écologues dont leur domaine de compétence est l'écologie exerçant dans la direction des forêts de Souk-Ahras, iv) les décideurs se composent du directeur des services agricoles (DSA) de la région de Souk-Ahras et des subdivisionnaires exerçant dans 5 daïras des wilayas de Sétif, Souk-Ahras et Guelma), et v) les agriculteurs dont le niveau d'instruction leurs permet d'appréhender les notions et les objectifs du développement durable (technicien et autres) afin de pouvoir attribuer un poids aux différents indicateurs et échelles (tableau 2.20).

2 Analyse descriptive de la durabilité

2.1 Échelle agri-environnementale

L'échelle agri-environnementale comprend quatre classes. Elle permet à travers les 10 indicateurs qui la composent d'analyser les différents systèmes de culture rencontrés du point de vue de leur durabilité agri-environnementale, c'est-à-dire leur capacité à valoriser les ressources renouvelables (sol, eau, biodiversité) pour la mise en marché des produits agricoles moins génératrices de pollution (pression phytosanitaire) tout en économisant les ressources non renouvelables (eau et énergie fossile).

Tableau 2.20 Poids attribuées par les parties prenantes à chaque échelle (a) et à chaque indicateur (b), utilisée dans le calcul de la durabilité par échelle (De) et la durabilité global (Dg).

| | Indicateurs | Acronyme | Poids égaux | Chercheurs | Agronomes | Écologue | Décideurs | Agriculteur | Moyenne |
|---------------------------------------|---|----------|-------------|------------|-----------|----------|-----------|-------------|---------|
| a | Économique | | 33 | 32 | 33 | 35 | 35 | 65 | 39 |
| | Agri-environnementale | | 33 | 43 | 52 | 48 | 35 | 22 | 39 |
| | Sociale | | 33 | 25 | 15 | 17 | 30 | 13 | 22 |
| b | Economique | | | | | | | | |
| | Produit brut | PB | 25 | 33 | 17 | 25 | 20 | 22 | 24 |
| | Charge Total | CO | 25 | 16 | 30 | 25 | 14 | 19 | 21,50 |
| | Marge brute | BM | 25 | 25 | 31 | 30 | 36 | 28 | 29 |
| | Efficienc Economique | EE | 25 | 26 | 22 | 20 | 30 | 31 | 26 |
| | Agri-environnementale | | | | | | | | |
| | Maitrise de la matière organique dans le sol (MO) | MO | 10 | 11 | 13 | 14 | 10 | 8 | 11 |
| | Couverture du sol (CS) | CS | 10 | 12 | 10 | 11 | 10 | 10 | 10,50 |
| | Consommation d'énergie | En | 10 | 5 | 7 | 13 | 15 | 14 | 11 |
| | Efficienc énergétique | EEn | 10 | 13 | 7 | 7 | 10 | 8 | 9 |
| | Succession culturale | SC | 10 | 8 | 11 | 8 | 7 | 8 | 8,50 |
| | Diversité | Div | 10 | 12 | 12 | 15 | 13 | 15 | 13 |
| | Diversité des familles des cultures | DFC | 10 | 11 | 8 | 10 | 5 | 7 | 8,50 |
| | Assolement | Ass | 10 | 11 | 10 | 7 | 10 | 8 | 9 |
| | Indice de fréquence de traitements | IFT | 10 | 9 | 9 | 10 | 10 | 12 | 10 |
| | Gestion de la ressource en eau | GRE | 10 | 8 | 13 | 5 | 10 | 10 | 9,50 |
| | Social | | | | | | | | |
| Contribution à l'emploi | EMP | 33 | 33 | 25 | 43 | 25 | 65 | 37 | |
| Complexité des itinéraires techniques | CIC | 33 | 33 | 30 | 32 | 30 | 20 | 30 | |
| Qualité sanitaire des produits | QS | 33 | 33 | 45 | 25 | 45 | 15 | 33 | |

2.1.1 La classe sol

Elle est représentée par deux indicateurs : la maîtrise de la matière organique de sol (MO) et le taux de couverture de sol dans les périodes sensible (hiver).

2.1.1.1 L'indicateur maîtrise de matière organique de sol (MO)

L'objectif de cet indicateur est l'évaluation de l'impact des pratiques culturales (succession, mode travail du sol, gestion des résidus, amendements organiques) sur la fertilité chimique du sol, dans ce cas la teneur en humus. Cet indicateur est le produit de deux grandeurs; il s'agit du (AR) calculée sur la base de modèle de Henin-Dupuis (Boiffin *et al.*, 1986) pour estimer les apports nécessaires (AR) pour maintenir le sol à long terme à une teneur d'équilibre qui soit satisfaisante, et le (AX) qui regroupe les apports moyens en humus pour les quatre dernières cultures.

$$I_{MO} = 7 * AX / AR \text{ (Henin-Dupuis, 1945)}$$

Cet indicateur oscille entre 0 (valeur minimale) et 7 (valeur maximale), valeurs recommandées par Hénin-Dupuis. La moyenne générale de l'indicateur (I_{MO}) pour les 260 exploitations étudiées est de $3,03 \pm 1,44$. Entre région, celle de Souk-Ahras, détient la moyenne prépondérante par rapport à Sétif avec 3,1. Un nombre faible exploitations (26) appartenant à l'intervalle des valeurs recommandées précitées.

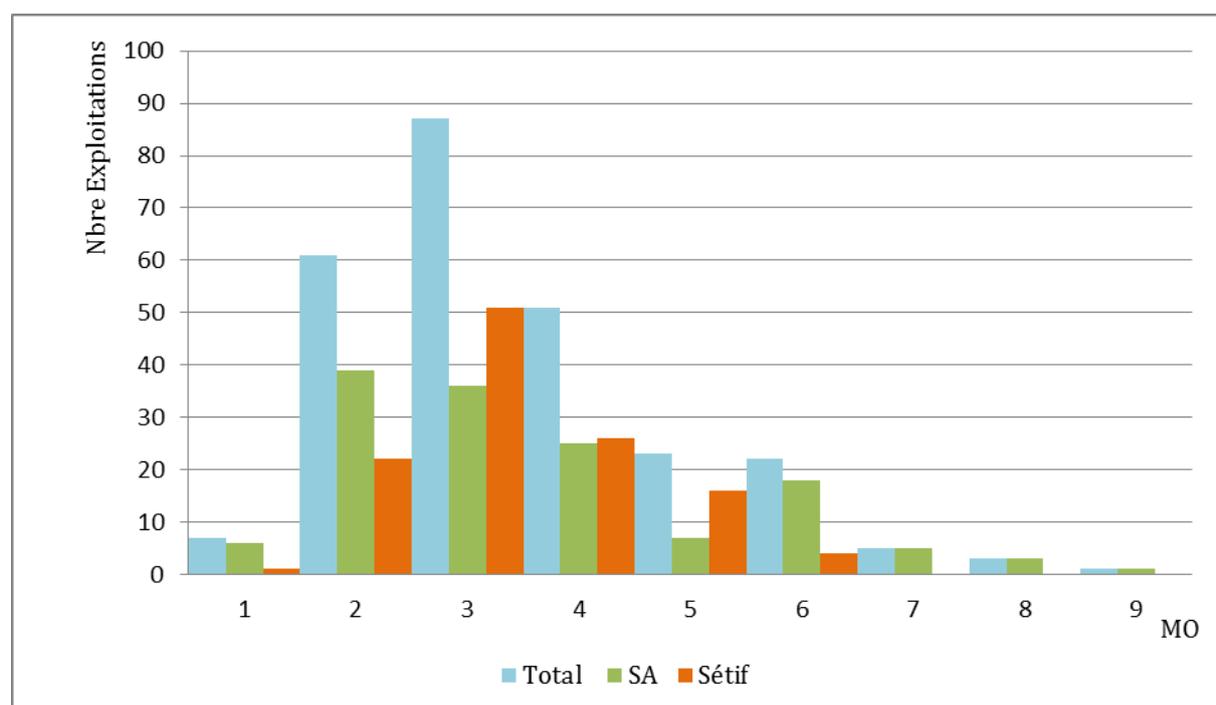


Figure 2.36 Distribution de valeur prises par l'indicateur matière organique (I_{MO}).

La transformation des valeurs prises par l'indicateur maîtrise de la matière organique dans le sol V_{iMO} en D_{iMO} donne une moyenne de $0,44 \pm 0,17$ pour l'ensemble de l'échantillon d'étude. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les deux régions ($p = 0,619$). Une valeur de 0,5 a été attribué au coefficient k, cela signifie que la faible teneur du sol en matière organique influe négativement et rapidement sur la durabilité des systèmes de culture en place, du fait que la matière organique agit sur les trois niveaux de fertilité du sol (fertilité physique, chimique et biologique).

2.1.1.2 L'indicateur couverture de sol (CS)

Cet indicateur exprime la ration entre la surface couverte par les cultures en place et la surface nue durant les périodes de sensibilité à l'érosion et à la destruction. L'espèce cultivée, la date de semis et la densité de peuplement végétale sont des composants clés de cet indicateur. Il est calculé à la base des données fournies par la méthode MASC. La moyenne de cet indicateur pour les 260 exploitations étudiées est de $0,43 \pm 0,06$. Une différence hautement significative ($P = 0,004$) entre région d'étude a été enregistrée ($0,44 \pm 0,05$ pour Souk-Ahras et $0,42 \pm 0,07$ pour Sétif). La distribution des valeurs prises par cet indicateur (fig. 2.37) montre que 55% des exploitations ont un taux de couverture inférieur à 0,5, alors que moins de 1% d'exploitation enquêtées ont des valeurs satisfaisantes ($CS > 0,6$).

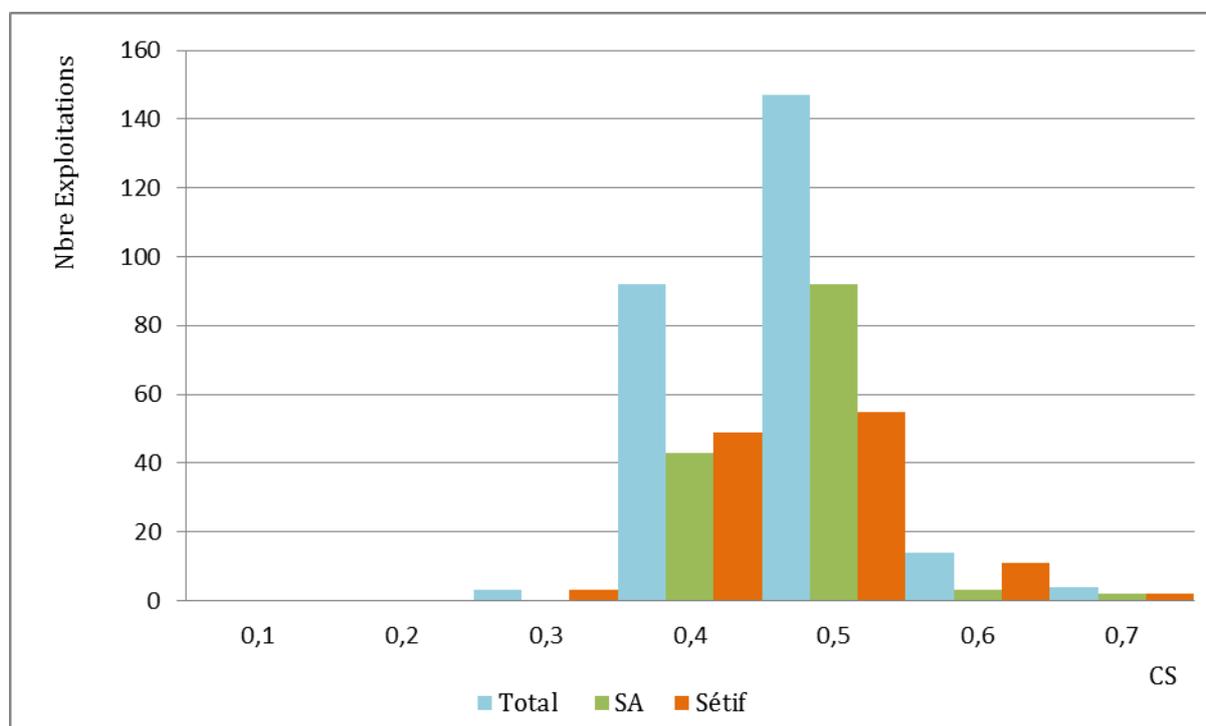


Figure 2.37 Distribution des valeurs de l'indicateur couverture de sol (CS).

La conversation des valeurs d'indicateur couverture de sol en valeur de durabilité (D_{CS}) affiche une valeur moyenne de $0,50 \pm 0,46$. Contrairement aux valeurs de cet indicateur, les valeurs prise par D_{CS} ne présentent pas une différence significative entre les deux zones d'étude.

2.1.2 Classe énergie

Cette classe est représentée par deux indicateurs : la consommation d'énergie et l'efficacité énergétique, vu que le deuxième indicateur est conditionné par les résultats du premier ; ces dernier seront traités ensembles

2.1.2.1 Consommation d'énergie et efficacité énergétique (En et IEn)

L'indicateur consommation d'énergie est un indicateur agri-environnementale dont l'échelle de validité est la parcelle cultivée, il repose sur l'évaluation des consommations d'énergie directe due aux machines et l'irrigation, et indirecte qui est utilisée dans la production d'intrants (engrais et produits phytosanitaires sur lesquels l'agriculteur a une marge de manœuvre). La valeur de cet indicateur est le résultat de la sommation des quatre composants d'énergies précitées). L'impact de la consommation sur l'environnement est dû aux pratiques agricoles, de manière directe sur les ressources en énergies fossiles non renouvelables. De manière indirecte, l'indicateur prend aussi en compte l'effet de la consommation en énergie sur la qualité de l'air par le biais des émissions en gaz à effet de serres (CO_2 , etc.).

La moyenne de l'énergie consommée dans les 260 exploitations, objet d'enquêtes, est de $5849,6 \pm 2454,4$ MJ/ha. Une différence hautement significative, ($p < 0.001$), à la faveur de la région de Souk-Ahras a été constatée (une consommation de $6781,6 \pm 2130,3$ pour Souk-Ahras, contre $4762,2 \pm 2365,6$ pour Sétif).

La transformation de ces valeurs en indice énergétique a été faite en se référant aux valeurs suivantes :

$$-0 \leq E_n \leq 3500 \text{ MJ/ha} : \quad I_{En} = 10$$

$$-3500 \leq E_n \leq 34900 \text{ MJ/ha} : I_{En} = 8,75544 \cdot 10^{-9} (E_n)^2 - 6,5492 \cdot 10^{-4} (E_n) + 12,184$$

$$- E_n > 34900 \text{ MJ/ha} : \quad I_{En} = 0 \text{ (Bockstaller et Girardin, 2008)}$$

Le taux de consommation de l'énergie traduit le degré d'intensification des pratiques agricoles dans un système de culture. Aucune exploitation de notre échantillon n'a consommé

une énergie de 34900 MJ/ha, cette valeur donne une efficacité énergétique IEn égale à 0 caractérisant les systèmes de culture très intensifs. Parmi les 260 exploitations objet d'enquête 62 d'entre elles consomment moins de 3500 MJ/ha (fig. 2.38) et par conséquent ont une efficacité énergétique de 10, ce qui les range dans la catégorie des exploitations à système de culture très extensif. Le reste des exploitations (72%) consomment une énergie comprise entre 3500 et 34900 MJ/ha et donc ont un IEn compris entre 0 et 1.

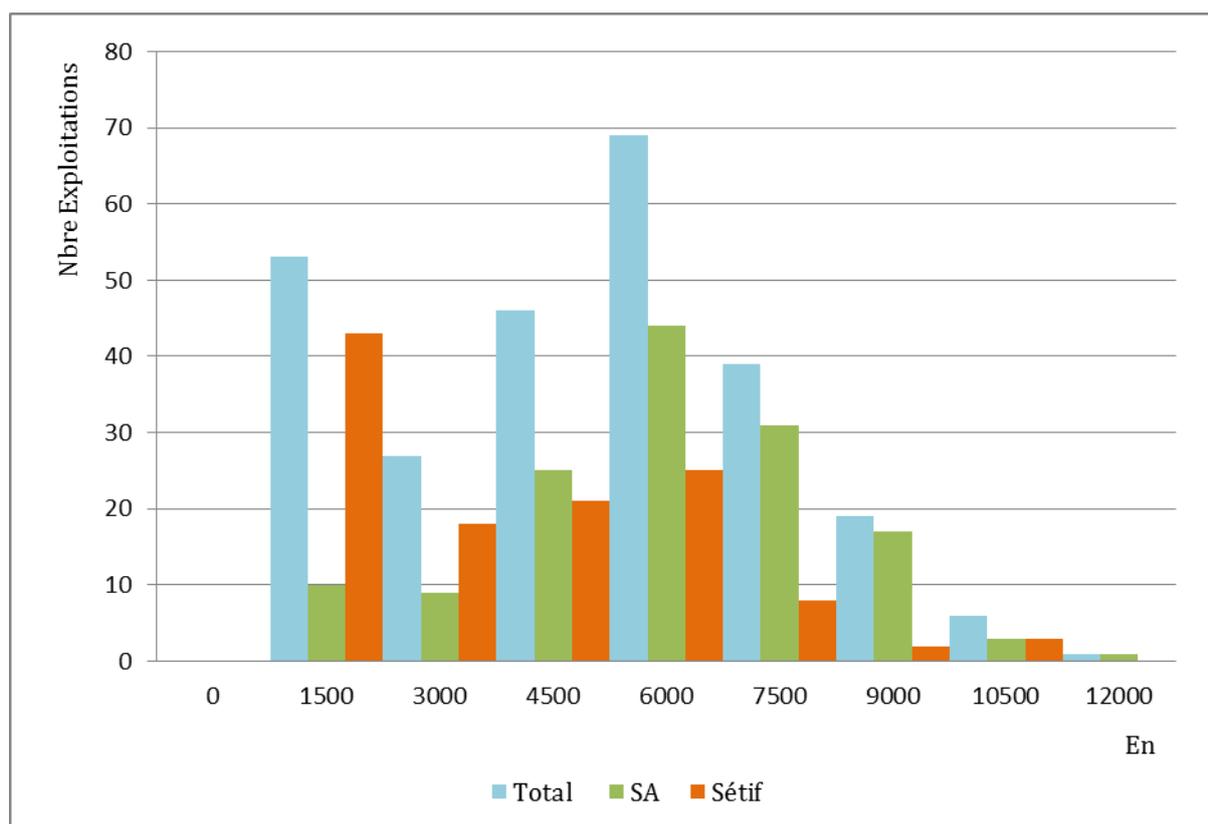


Figure 2.38 Distribution de l'indicateur consommation d'énergie dans la région d'étude.

La transformation des valeurs d'indicateur lié à la consommation énergétique et à l'efficacité énergétique en valeur de durabilité Di (fig.2.39) montre une très bonne contribution au développement durable de l'indice énergétique IE avec une moyenne globale de 0,81. Une différence hautement significatif ($P < 0,004$) en faveur de la région de Sétif, cette dernière affiche une moyenne de $0,87 \pm 0,14$ cette valeur est le résultat d'une faible consommation énergétique, par contre une contribution moyenne au DD de $0,75 \pm 0,16$ pour la région de Souk-Ahras est jugé très satisfaisante. Les bonnes valeurs de cet indicateur sont le résultat d'un faible recours aux intrants agricole surtout les engrais azotés, grand consommateur d'énergie. Ces résultats confirment le caractère extensif des systèmes de culture pratiqué en zone semi-aride algérienne.

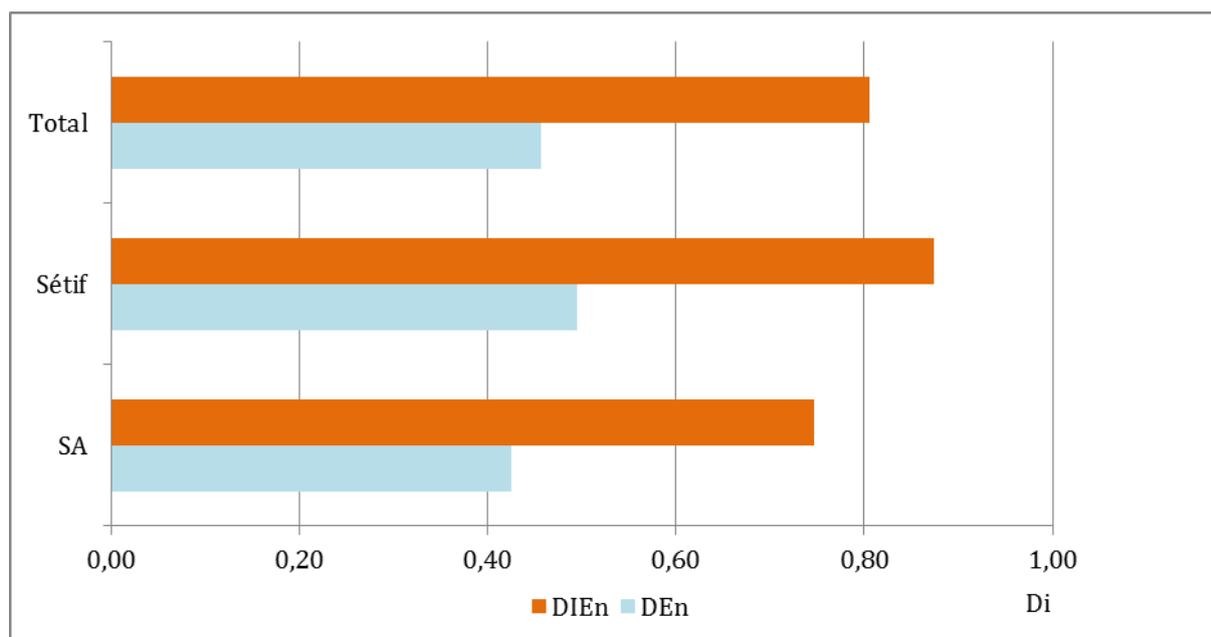


Figure 2.39 Distribution des valeurs Di pour l'indicateur consommation de l'énergie et l'indice énergétique.

2.1.3 Classe diversité

2.1.3.1 Succession culturale (SC)

Cet indicateur évalue les successions culturales mises en œuvre par rapport aux principes de la production intégrée en prenant en compte l'effet de la culture précédente, le temps de retour de la culture et la diversité des cultures. Avec cet indicateur il est possible d'établir un diagnostic de la cohérence des systèmes de culture mis en place et de prédire les impacts environnementaux de la succession des cultures qui peut influencer sur le résultat des autres indicateurs. La SC est calculée à l'échelle de la parcelle durant une période de 4 ans. Pour l'exploitation, l'indicateur est obtenu par une moyenne pondérée des valeurs parcellaires en fonction de la surface de chaque parcelle. La valeur V_{SC} est calculée à partir de l'équation ci-après :

$$ISC = k_p * k_r * k_d \text{ (Bockstaller et Girardin, 2006)}$$

Où :

k_p : Effet de la culture précédente ;

k_r : Temps de retour de la culture notée ;

k_d : Diversité des cultures

Avec : $ISC = 10$ si $k_p * k_r * k_d > 10$

La valeur maximale que peut avoir cet indicateur est plafonnée à 10, alors que la valeur recommandée est de 7, qui donne une durabilité optimale de 1. Les valeurs prise par cet indicateur affichent une moyenne de $1,93 \pm 2,12$. Les 140 exploitations objet d'enquête à Souk-Ahras ont une moyenne de $0,94 \pm 0,81$, alors que celle de Sétif ont une moyenne de $3,06 \pm 2,48$. Le nombre d'exploitation qui ont une valeur proche de la valeur recommandée présente uniquement 13% de l'échantillon de notre étude par contre 10 exploitations des 260 objets d'enquête, ont une valeur supérieure à celle recommandé (fig. 2.40).

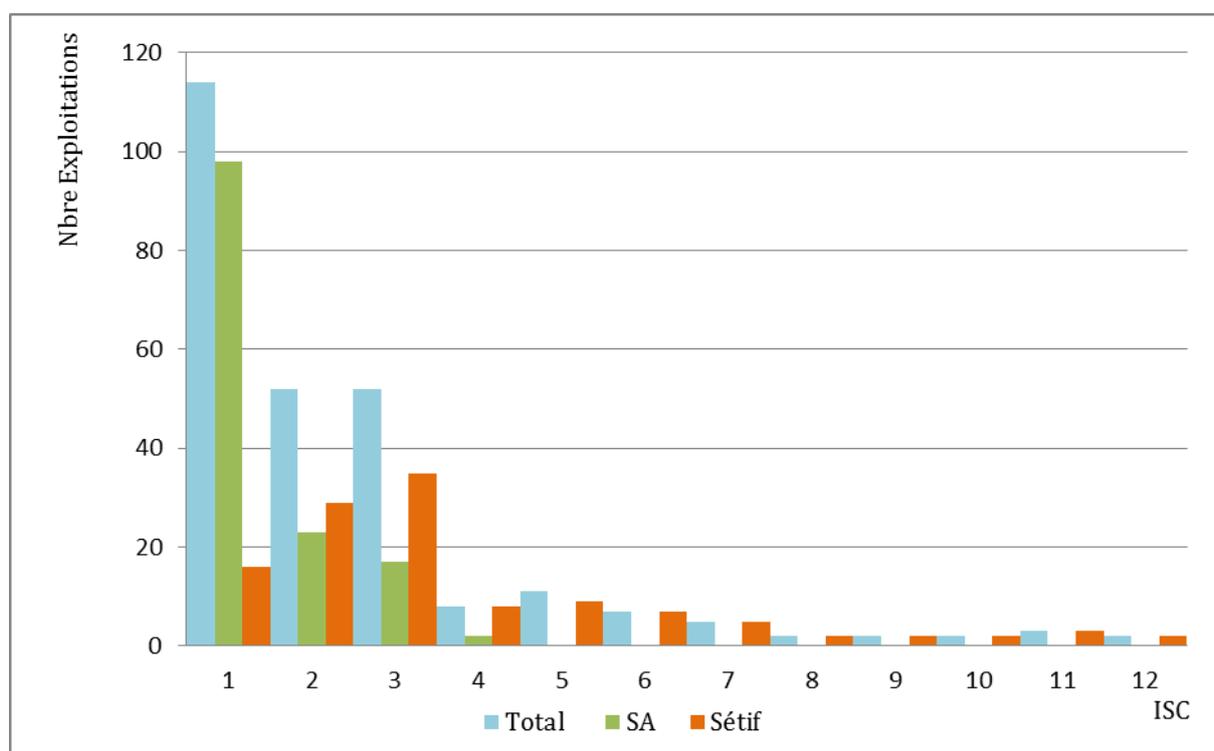


Figure 2.40 Distribution des valeurs prise par l'indicateur succession culturelle.

En terme de durabilité, la contribution de l'indicateur succession culturelle au développement durable est faible ($0,31 \pm 0,36$). Une différence hautement significative a été relevée entre les deux régions d'étude ($P < 0,001$). La zone de Sétif avec une moyenne de $0,50 \pm 0,17$ a une contribution modérée au DD, alors que la contribution de la région de Souk-Ahras est jugée très faible avec une moyenne de $0,14 \pm 0,03$. Le non-respect du temps de retour des cultures (monoculture de blé, les rotations courtes) a négativement influencé le composant K_r (temps de retour de culture), et les valeurs de l'indicateur (relation linéaire entre les composants de cet indicateur).

2.1.3.2 Diversité des cultures (Div)

Cet indicateur est calculé à l'échelle de l'exploitation. Il est défini comme le nombre minimum de culture pour couvrir les trois quarts de la surface de l'exploitation (Turpin *et al.*, 2010). Plus ce nombre est élevé, plus la biodiversité d'une exploitation est supposée élevée. La surface agricole utile des exploitations visitées est couverte par une seule culture dans 30% des cas tandis que 41,5% de la SAU est couverte par deux cultures. Entre région, Souk-Ahras apparait avoir une diversité plus importante que Sétif où la surface agricole de 59 exploitations est couverte par deux culture, 36 par 3 cultures et 4 sont couvertes par 4 espèces contre 48, 30 et 2 pour Sétif consécutivement (fig.2.41).

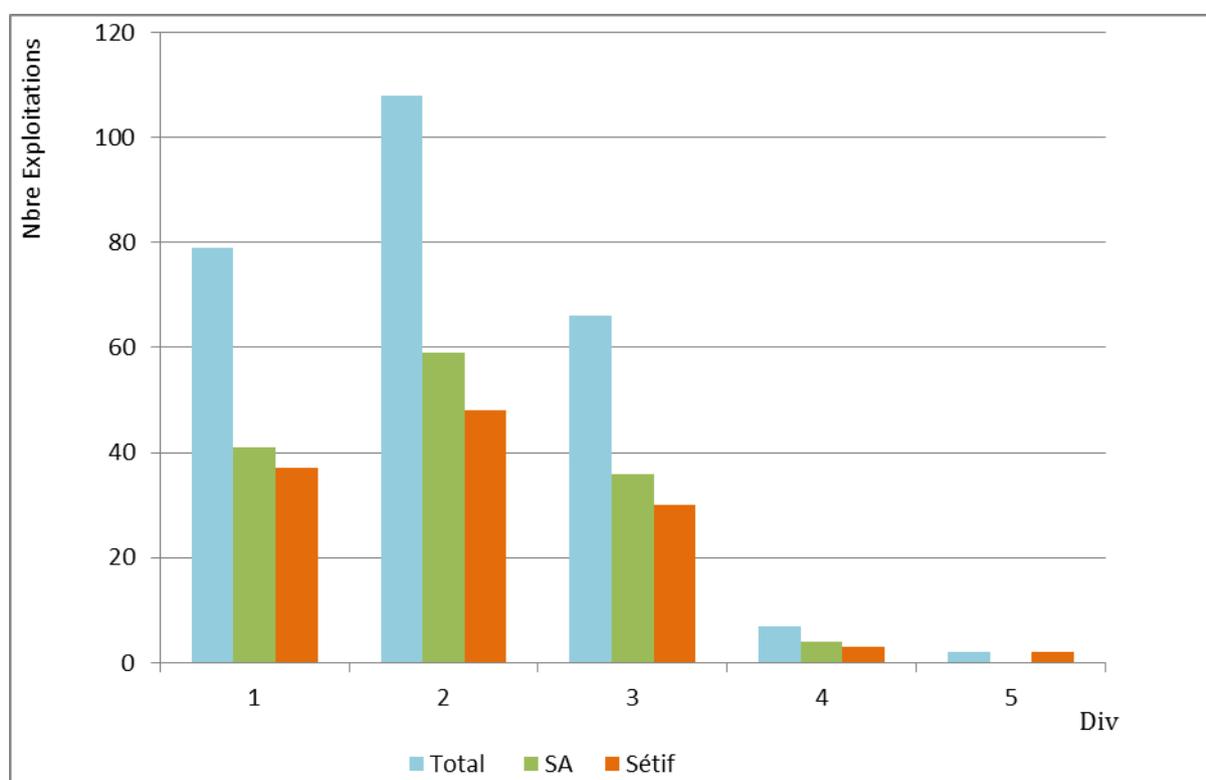


Figure 2.41 Distribution de valeur de l'indicateur diversité des cultures.

En termes de durabilité, cet indicateur a une contribution modéré au développement durable, avec une moyenne de $0,58 \pm 0,4$ pour l'ensemble de l'échantillon. Entre région, la différence non significative ($P= 0,42$) entre Souk-Ahras et Sétif est le résultat de la dominance des cultures céréalières (blé et orge) où les emblavures en céréales se rencontre chez 99% des exploitations concernées par cette étude.

2.1.3.3 Diversité des familles de culture (DFC)

Inspiré de l'indice de diversité de Simpson, le critère DFC est calculé à l'échelle de la succession et non de la conduite, il traite la diversité à un taxon supérieur à l'espèce (diversité des cultures). Ce critère rend compte de la diversité des familles cultivées, en prenant en compte leur nombre durant la succession et la répartition du nombre de cultures dans chaque famille. Plus il y a de familles différentes cultivées et plus la répartition des cultures au sein de chaque famille est équitable, plus on considère que la diversité des familles cultivées est élevée. Ce critère est calculé sur la base de l'équation ci-dessous :

$$DFC = \frac{1}{\sum i \left(\frac{ni}{N}\right)^2} \text{ (Bockstaller et Girardin, 2006)}$$

Où

Ni : est le nombre de cultures appartenant à la famille i ;

N : est le nombre de cultures total de la succession

Cet indicateur représente un élément important de la stabilité écologique indispensable au bon fonctionnement de l'agro-écosystème à moyenne et à long terme.

La moyenne observée pour l'indicateur diversité des familles de culture est de 1,23, cette valeur signifie que les exploitations de la zone d'étude sont peu diversifiées. Pour des valeurs de la DFC égale à 1,2, le nombre de famille ne dépasse pas 2 et le nombre de culture ne dépasse guère 3. La figure 2.42 montre que 144 exploitations (55%) ont une DFC comprise entre 1,5 et 2 et 48 exploitations ont une DFC inférieure à 1. Une différence hautement significative ($P < 0.008$) à la faveur de la région de Souk-Ahras a été révélée. La zone de Souk-Ahras avec une moyenne de $1,5 \pm 0,6$ présente une diversité de famille de culture plus importante par rapport à Sétif qui a une moyenne $0,93 \pm 0,7$. La dominance des céréales toutes espèces confondues (une seule famille de Poacées) limite profondément la diversité des familles. À l'échelle de l'espèce, la rotation céréales jachère et la monoculture du blé qui se pratiquent par 84% des exploitations visitées (72% pour la région de Sétif et 97% pour SA), contribuent de plus dans la diminution de DFC, cependant le développement de la culture des légumes secs (lentille) et du melon dans la région de Souk-Ahras explique la différence entre les deux régions.

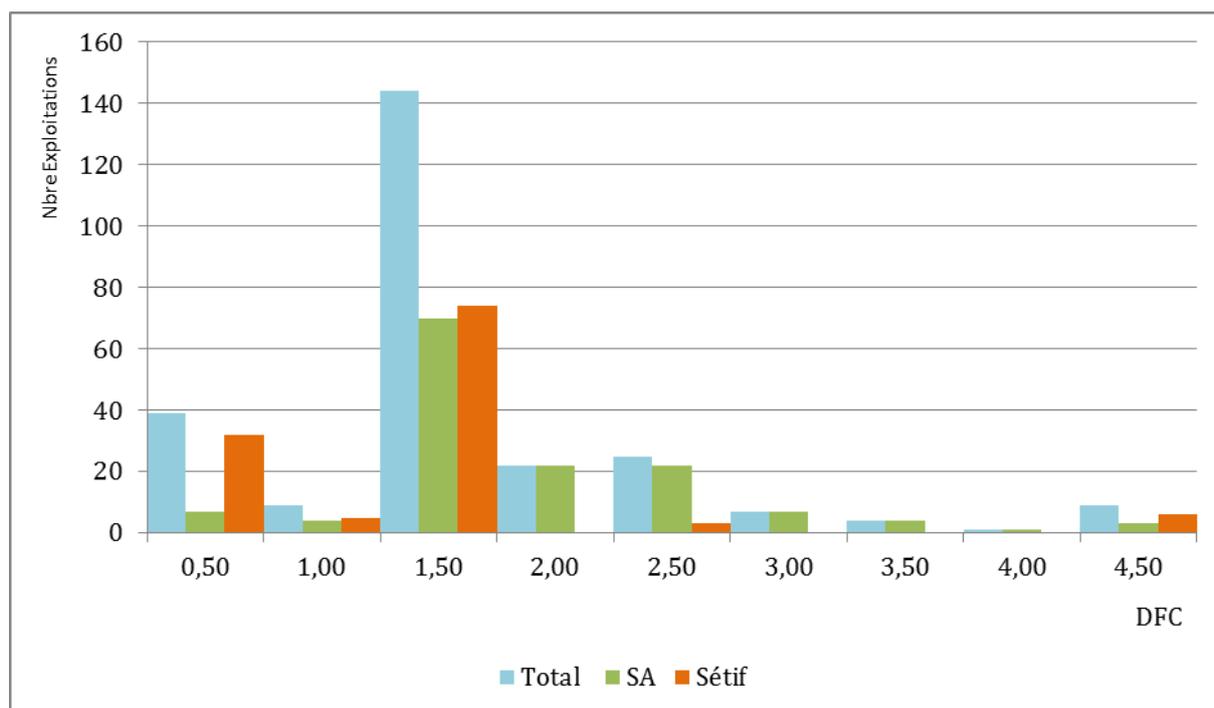


Figure 2.42 Distribution des valeurs prise par l'indicateur diversité des familles de culture.

La contribution de cet indicateur au DD est très faible et suit la tendance des valeurs prises par ce dernier. La moyenne de l'échantillon étudié est de $0,18 \pm 0,30$, entre région, une différence significative ($P < 0,01$) a été révélée. Souk-Ahras, avec une moyenne de $0,27 \pm 0,10$, a la grande contribution au DD, la contribution de la région de Sétif est insignifiante avec une moyenne de $0,06 \pm 0,05$. Les valeurs prises par l'indicateur diversité des familles de culture confirme la dominance de la céréaliculture (une seule famille des Poacées) dans les systèmes de culture en zone semi-aride.

2.1.3.4 Assolement (Ass)

L'indicateur assolement est un indicateur agri-environnementale dont l'impact est calculé à l'échelle de l'exploitation. Il porte sur la répartition spatiale des cultures sur la surface agricole utile. L'effet de cet indicateur est évalué sur la biodiversité de l'agrosystème et sur le paysage. Une diversité des cultures et une taille de parcelle raisonnable sont favorables au maintien de la diversité biologique et à la préservation d'un paysage de qualité. Afin de limiter le nombre de données nécessaires, il ne sera pas tenu en compte de la position respective des cultures et des parcelles entre elles. Le calcul de cet indicateur est donné par l'équation suivante :

$$I_{Ass} = k \cdot NC \cdot D \cdot T \text{ (Bockstaller et Girardin, 2006)}$$

Avec :

- k : Facteur de calibrage de l'indicateur (pour avoir une valeur entre 0 et 10) en fonction du nombre de culture

- NC : Nombre de cultures (quel que soit sa proportion dans l'assolement) ;

- D : Facteur de répartition des cultures ;

- T : Facteur taille de parcelle

Les valeurs prises par l'indicateur assolement dans notre échantillon varient de 0 à 10,5 pour une valeur recommandée de 7, avec une moyenne de 3,14 et un écart type égal à 2,21. La totalité des exploitations de Souk-Ahras ayant 11 unités, dont l'indicateur assolement, dépasse la valeur recommandée tandis qu'aucune exploitation appartenant à la région de Sétif n'a eu une valeur satisfaisante (fig. 2.43). La conversation des valeurs prises par cet indicateur en D_{Ass} affiche une moyenne de $0,38 \pm 0,30$; une valeur considérée comme faible et par conséquent elle met en cause la contribution de l'indicateur assolement au développement durable.

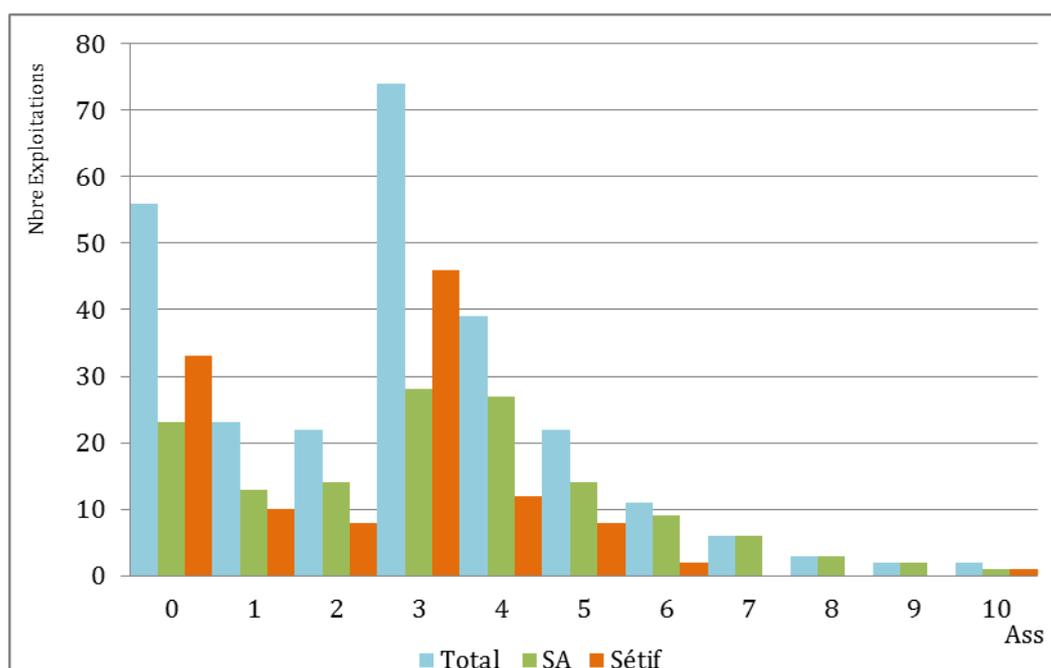


Figure 2.43 Distribution des valeurs de l'indicateur assolement.

La fonction linéaire qui regroupe les composants de l'indicateur assolement fait que chaque élément exerce le même poids par rapport aux autres, de ce fait la taille de la parcelle (T) et le nombre de culture (NC) qui ont des valeurs faibles pour la majorité des exploitations visitées ont une influence négative sur la valeur finale de cet indicateur.

2.1.4 Classes pression sur les ressources

2.1.4 .1 Indicateur de fréquence de traitements (IFT)

Cet indice reflète la pression phytosanitaire exercée sur le milieu suite au recours à des pesticides dans le cas d'une lutte chimique. IFT est déterminé par la ration entre les doses appliquées et les doses homologuées de produits appliqués sur une parcelle pendant une campagne culturale. La comparaison du nombre d'herbicides et des doses apportées permet d'estimer le nombre de polluants potentiels. Plus le nombre de molécules apportées est important, plus le nombre de polluants potentiels de l'environnement sera important. De même, plus les doses seront importantes, plus les risques de contamination de l'environnement seront élevés. L'IFT a été calculé d'abord à l'échelle de la parcelle puis à l'échelle de l'exploitation.

À l'échelle de la parcelle IFT est calculé comme suite :

$$\text{IFTc} = \frac{\text{Dose appliquée} * \text{Surface traitée}}{\text{Dose homologuée} * \text{Surface de la parcelle}} \text{ (Craheix et al., 2011)}$$

L'IFT de l'exploitation est obtenue par la somation des IFT des cultures IFTc

$$\text{IFTexp} = \frac{(\text{IFTc1} * \text{Sc1}) + (\text{IFTc2} * \text{Sc2}) + \dots (\text{IFTcn})}{\text{St}}$$

Avec

IFTc : IFT de la culture ;

Sc : Surface de la culture (ha) ;

St : Surface totale de l'exploitation (ha)

Les valeurs prises par cet indicateur oscillent entre 0 et 4 (fig. 2.44). 41% des exploitations enquêtées ont une valeur de l'indice de fréquence de traitement inférieur à 1, ce pourcentage est expliqué par le faible recours aux pesticides où 56 % des exploitations visitées ne pratiquent pas un désherbage ou une lutte phytosanitaire. Par contre les exploitations qui pratiquent le désherbage et la lutte phytosanitaire appliquent une surdose surtout pour les traitements antifongiques.

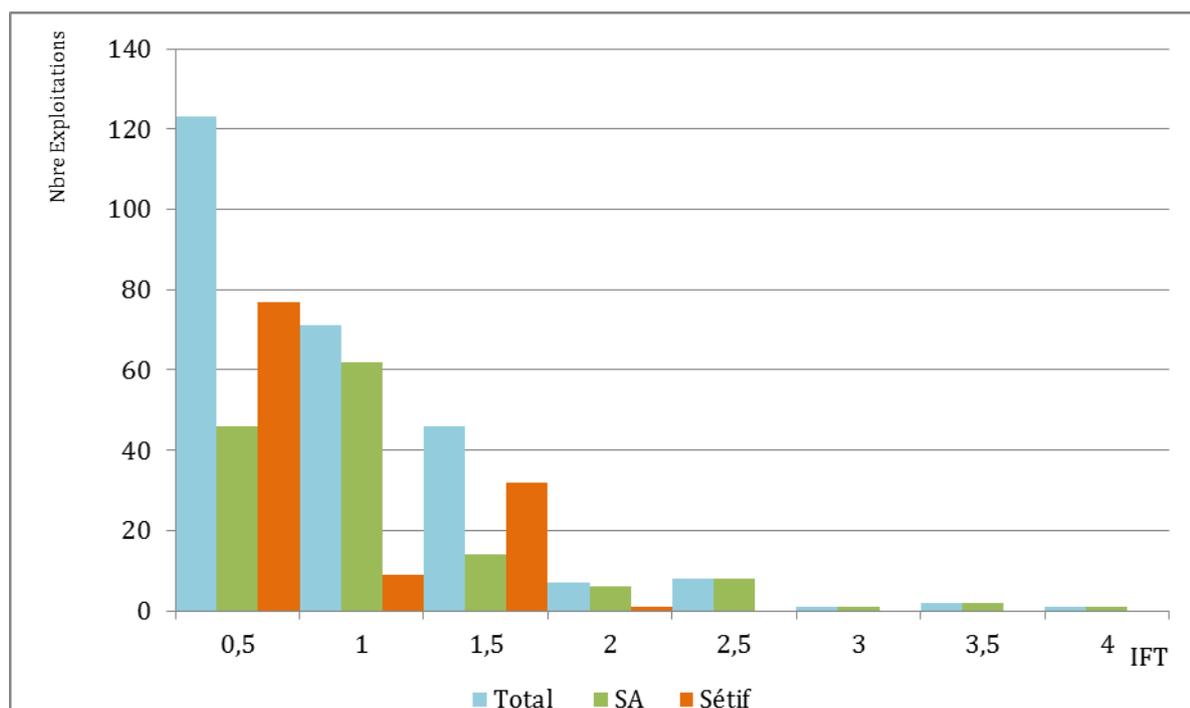


Figure 2.44 Distribution des valeurs prises par l'indicateur fréquence des traitements IFT.

Entre région, une différence hautement significative a été révélée, ($P < 0,001$), la région de Souk-Ahras affiche une valeur maximale de 3,75 avec une moyenne de $0,93 \pm 1,7$. À Sétif le peu d'agriculteurs qui pratiquent le désherbage et la lutte phytosanitaire ont des valeurs de l'indice de fréquence inférieure à 1,60 (moyenne $0,37 \pm 0,26$).

En termes de durabilité, la relation inverse entre les valeurs de l'IFT et la contribution au DD de ce dernier, fait que la contribution de la zone de Sétif est nettement supérieure (moyenne $0,86 \pm 0,08$) à celle de Souk-Ahras (moyenne $0,69 \pm 0,35$). La contribution globale de l'indicateur fréquence de traitement est considérée élevée avec une moyenne globale de $0,78 \pm 0,49$, ces résultats confirment le caractère extensif des systèmes de culture en zones semi-arides

2.1.4 .2 Gestion des ressources en eau (GRE)

Les ressources en eau sont d'une importance majeure pour le secteur agricole surtout en zones semi-arides où l'eau est le facteur limitant de la production végétale. Dans ces zones l'irrigation constitue une solution efficace pour faire face à la pénurie de l'eau. Le recours à l'irrigation induit une intensification agrochimique et énergétique importante, elle s'effectue au prix d'un prélèvement important sur la ressource en eau. L'optimisation de la gestion de l'irrigation est un compromis entre deux règles ; il faut apporter à la culture la quantité qu'il

faut au moment où il faut, le choix du mode d'irrigation est déterminant pour atteindre ces deux objectifs. Le mode de calcul de cet indicateur est inspiré de la méthode IDEA comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2.21 Mode de calcul de l'indicateur gestion des ressources en eau selon Vilain (2008)

| Modalité de détermination | | Borne |
|---|----|-------|
| pas d'irrigation | 4 | 0 à 4 |
| Irrigation localisé | | |
| - Sur plus de 50% de la SAU | 4 | |
| - Entre 25 et 50% de la SAU | 2 | |
| - Sur moins de 25% de la SAU | 0 | |
| dispositif d'irrigation (et /ou de lutte antigel) | | |
| - Sur moins de 1/3 de la SAU | 1 | |
| - A partir d'une retenue collinaire ou d'un bassin de récupération des eaux de pluie, et drainage ou des ruissellements : | 1 | |
| Irrigation par pivot ou rampe frontale : | 1 | |
| Rotation des parcelles irriguées : | 1 | |
| Prélèvement individuelle (forage, ruisseaux, puits), non déclaré et ou non équipé de compteur : | -2 | |

Cet indicateur enregistre une moyenne de 3,64 pour un maximum théorique de 4 points. Ces notations élevées s'expliquent par le faible recours à l'irrigation où 14% uniquement des exploitations enquêtées (16 et 21 exploitations font recours à l'irrigation pour Souk-Ahras et Sétif consécutivement) ont un mode de conduite en irrigué. 223 exploitations ont enregistrées la valeur moyenne maximale pour l'indicateur gestion de ressource en eau (fig. 2.45).

La conversation des valeurs prises par l'indicateur gestion des ressources en eau en D_{GRE} donne une moyenne générale D_{GRE} de l'ordre de $0,94 \pm 0,16$, cette valeur classe l'indicateur GRE en premier rang en la matière de la contribution au développement durable de tous les indicateurs choisis. Les deux régions ne se diffèrent pas significativement ($P= 0,18$) pour l'indicateur gestion des ressources en eau. Le non recours à l'irrigation qui est du point de vue écologique une pratique seine, se considère comme signe de faiblesse de point de vue agronomique surtout en zones semi-arides où l'eau est le facteur limitant de la production végétale.

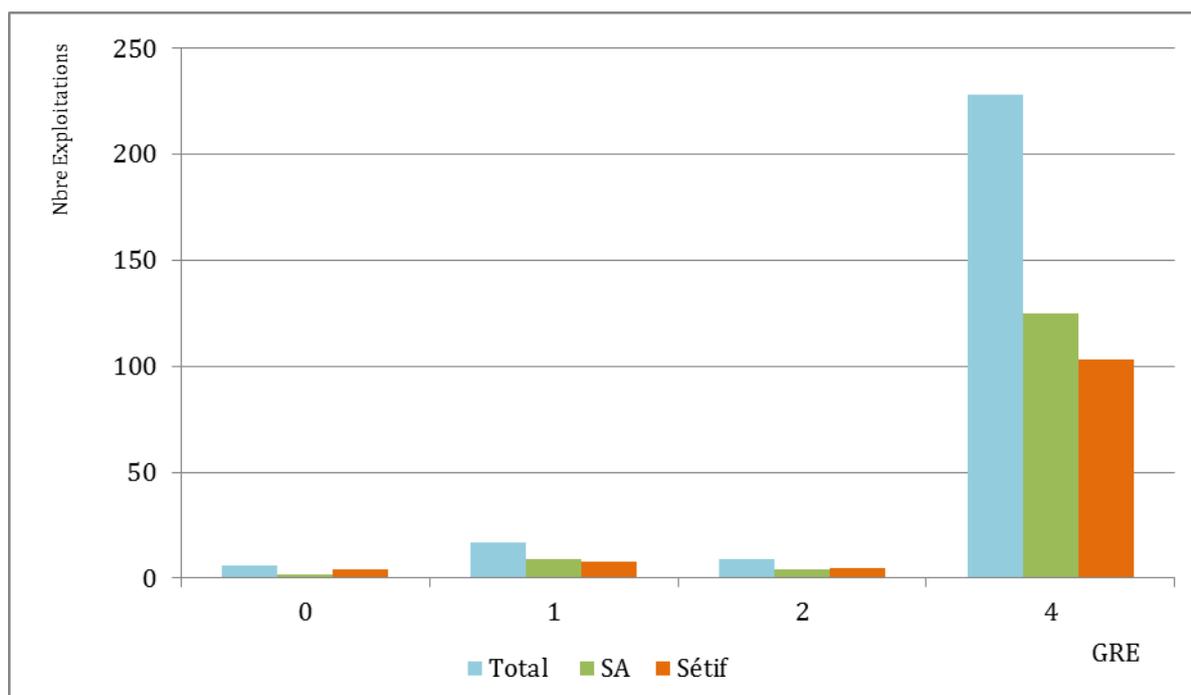


Figure 2.45 Distribution de l'indicateur gestion de ressource en eau (GRE).

2.2 Échelle sociale

2.2.1 Contribution à l'emploi (EMP)

L'employabilité d'une activité économique améliore son implication sociale même s'il a des inconvénients à court ou à long terme, l'indicateur contribution à l'emploi est définie par le nombre d'unité de travail humain capable d'être insérer par une conduite ou un système de culture. La contribution à l'insertion sociale et au développement local par la création et le maintien d'emplois constitue un grand apport dans la durabilité sociale des activités agricoles. On y comptabilise simultanément la main d'œuvre permanente (familiale et salariée, travaillant sur le tracteur) et occasionnelle (définie comme travaillant manuellement).

Le calcul de cet indicateur, faisant intervenir la performance des outils utilisés (surface travaillée par unité de temps), l'état, la largeur de l'outil. Cet indicateur est déterminé à travers l'équation suivante :

$$EMP = \sum i \left(\frac{\text{Fréquence d'intervention}}{\text{performance de l'outil}} \right) i + TToccas$$

Où :

Performance de l'outil i (ha/h) : Performance de travail de l'outil associé à l'intervention i ;

Fréquence d'intervention i : Intervention renseignée pour chaque opération ;

TToccas (h/ha) : Temps de travail réalisé par la main d'œuvre occasionnelle, il inclut uniquement le travail manuel (ramassage de pierre, désherbage manuel manutention, ect.)

Il est important de signaler que cet indicateur ne comptabilise que le temps de traction nécessaire aux interventions durant une saison agricole de ce fait le temps de préparation des interventions et de transport ne sera pas pris en compte. Les valeurs prises par cet indicateur présentent une grande dispersion de 3 à 70 h/ha/an avec une moyenne générale de $17,6 \pm 10,6$. De toutes les exploitations visitées, 54 d'entre elles emploient un travailleur que ce soit le propriétaire de l'exploitation, un des membres de sa famille ou un salarié (fig. 2.46).

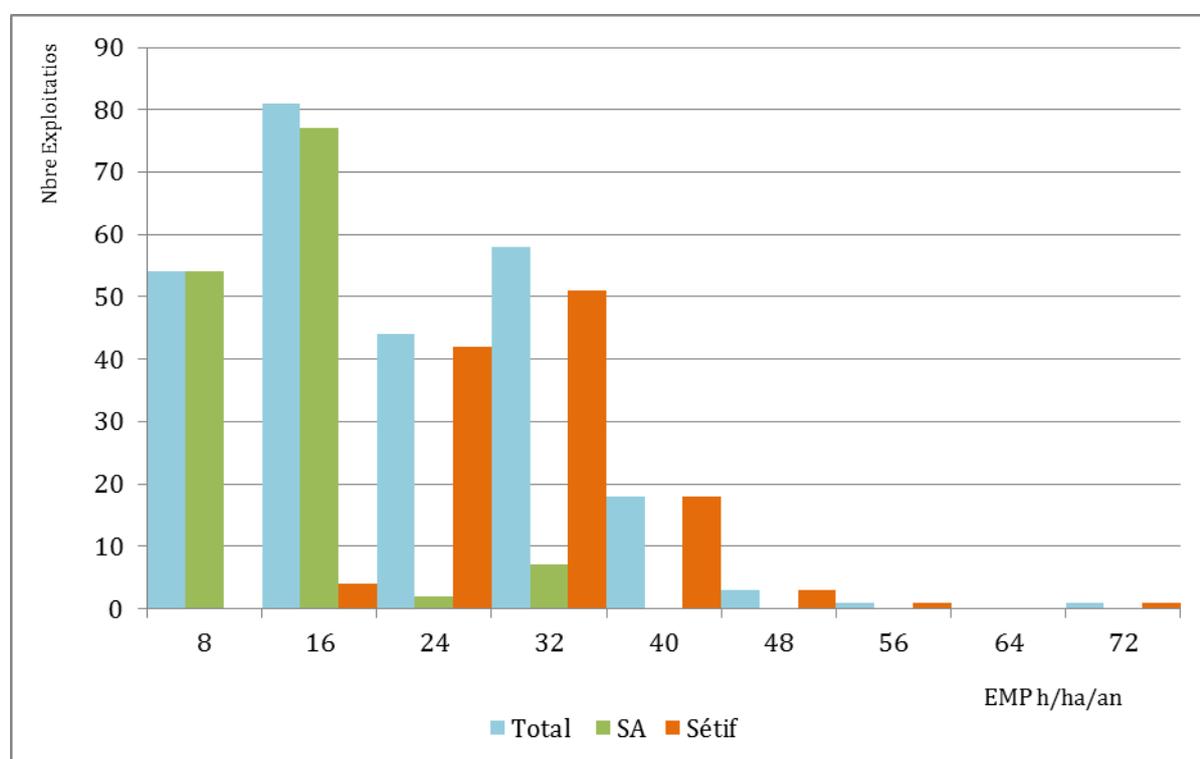


Figure 2.46 Description des valeurs prises par l'indicateur contribution à l'emploi.

31% des exploitations enquêtées emploient 2 UTH, 16 % des exploitations emploient moins de trois personnes et 22% emploient 4 personnes, une exploitation emploie 7, une autre emploie 8 UTH alors qu'aucune exploitation n'emploie plus de 10 personnes. Les résultats de l'enquête montre que la région de Sétif emploie moins de main d'œuvre par rapport à la région de Souk-Ahras dont 83% des exploitations visitées emploient deux personnes et plus contre 72% pour la région de Sétif.

En termes de durabilité, la contribution de cet indicateur au DD est modérée avec une moyenne de $0,5 \pm 0,4$. Une différence très hautement significative entre région a été constatée ($P < 10^{-4}$) à la faveur de la région de SA qui affiche une bonne contribution de cet indicateur au développement durable. La contribution de la région de Sétif est jugée très faible où la moyenne pondérale est de $0,15 \pm 0,23$. La forte contribution de la région de Souk-Ahras à l'emploi trouve son essor dans la pratique des cultures très exigeantes en main d'œuvre tel que le melon, et les cultures maraichères.

2.2.2 Complexité des interventions culturelles (CIC)

Cet indicateur est calculé à l'échelle de la succession culturale il vise l'estimation de la complexité des interventions culturelles et la facilité de mise en œuvre du système à partir des techniques mises en œuvre. Il permet aussi la caractérisation des systèmes et la compréhension des logiques suivies par l'agriculteur dans les choix de la succession des cultures au sein de SdC. La complexité des interventions culturale est calculée par l'équation suivante :

$$CIC = \frac{Ki}{NC} \text{ (Craheix et al., 2011)}$$

Où

Ki : Coefficient de complexité affecté à la culture i. (les valeurs de Ki sont issues de la base de données CRITER 5.4 implanté sur MASC) ;

NC : Nombre total de cultures présentes dans la succession (ne prend pas en compte les cultures intermédiaires ni les cultures dérobées) ;

Les valeurs seuils de l'indicateur complexité des interventions culturelles sont 0 (complexité très faible) et 3 (complexité très élevée), les valeurs supérieures à 3 indiquent une CIC très élevée, alors que la valeur de 1,5 signifie une complexité moyenne. 160 exploitations de l'échantillon étudié ont une valeur de CIC inférieure à 1,5 (fig. 2.47), 67 exploitations ont une CIC élevée ; le reste des exploitations (33) ont des valeurs supérieures à 3 et donc une CIC élevée. Entre région, une différence très hautement significative ($P > 10^{-4}$) à la faveur de la région de Souk-Ahras, du fait que les interventions culturelles sont moins complexes dans cette région avec une moyenne de l'ordre de $1,20 \pm 0,2$. Sétif avec une moyenne de $2,4 \pm 1,4$ classe l'indicateur CIC à la catégorie élevée.

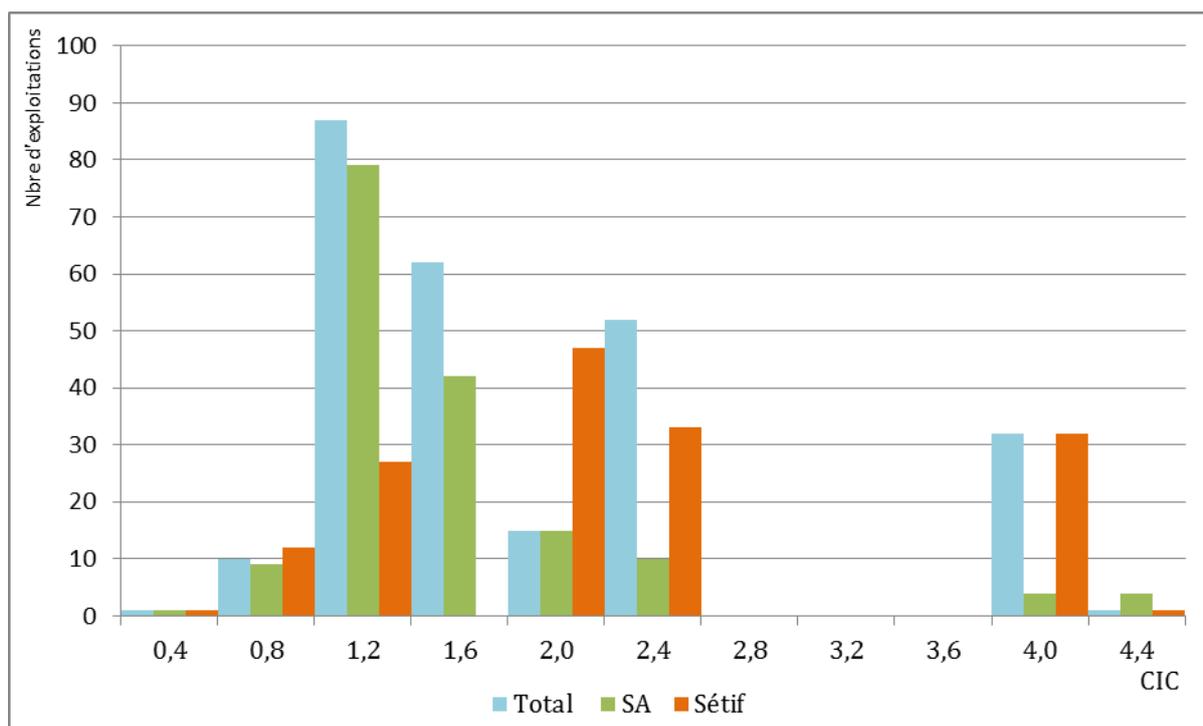


Figure 2.47 Distribution de valeurs prises par l'indicateur complexité des interventions culturelles (CIC).

La transformation des valeurs de l'indicateur CIC en D_{CIC} monte une faible contribution de cet indicateur au développement durable (moyenne $0,3 \pm 0,08$), la contribution de la région de Souk-Ahras est de l'ordre de 0,5 alors que celle de Sétif est de 0,1. La faible contribution de cet indicateur au DD dans la zone d'étude est le résultat de la dominance des cultures céréalières facilement maîtrisables de point de vue technique.

2.2.3 Qualité sanitaire des produits (QS)

La qualité sanitaire des produits agricoles est devenue depuis quelque temps un objet de vives préoccupations surtout avec l'apparition de plusieurs maladies dont les pesticides sont suspects d'en être la cause. La contamination par les mycotoxines et l'accumulation des résidus des pesticides et des métaux lourds constituent les sources principales d'altération de cette qualité. L'indicateur qualité sanitaire de produit estime l'absence de contamination par les mycotoxines à l'échelle de la succession, en fonction de leur risque d'apparition dans chaque culture sensible de la succession. Trois paramètres entre dans le calcul de cet indicateur : sensibilité de la culture à la fusariose, culture précédente et type de travail du sol

$$QS = \frac{\sum ISI}{NC} \text{ (Craheix et al., 2011)}$$

Où

ISi : Indice de risque de contamination par les mycotoxines pour les cultures considérées comme sensibles (blé, maïs, seigle, triticale, orge et avoine), qui dépend du précédent et du type de travail du sol (retournement ou non du sol et la profondeur de labour) ;

NC : Nombre total de cultures présentes dans la succession (les cultures intermédiaires ne sont pas prises en compte)

Cet indicateur est calculé à l'échelle de la succession, l'effet cumulatif est calculé si plusieurs cultures sensibles à la fusariose se succèdent l'une après l'autre (la fusariose est la maladie la plus sécrétrice de mycotoxine). La valeur maximale que peut avoir l'indicateur qualité sanitaire des produits est 5, ce qui signifie une qualité sanitaire faible alors que la valeur 0 signifie que le produit est indemne de mycotoxine et par conséquent il a une bonne qualité sanitaire.

Les valeurs prises par cet indicateur oscillent entre 0,3 et 6 (fig. 2.48), la moyenne générale est de $1,94 \pm 0,73$. La grande partie des exploitations objet d'enquête (232) ont une valeur inférieure à 3. 19 ont une valeur comprise entre 3 et 4 et uniquement 7 exploitations ont une valeur comprise entre 5 et 6.

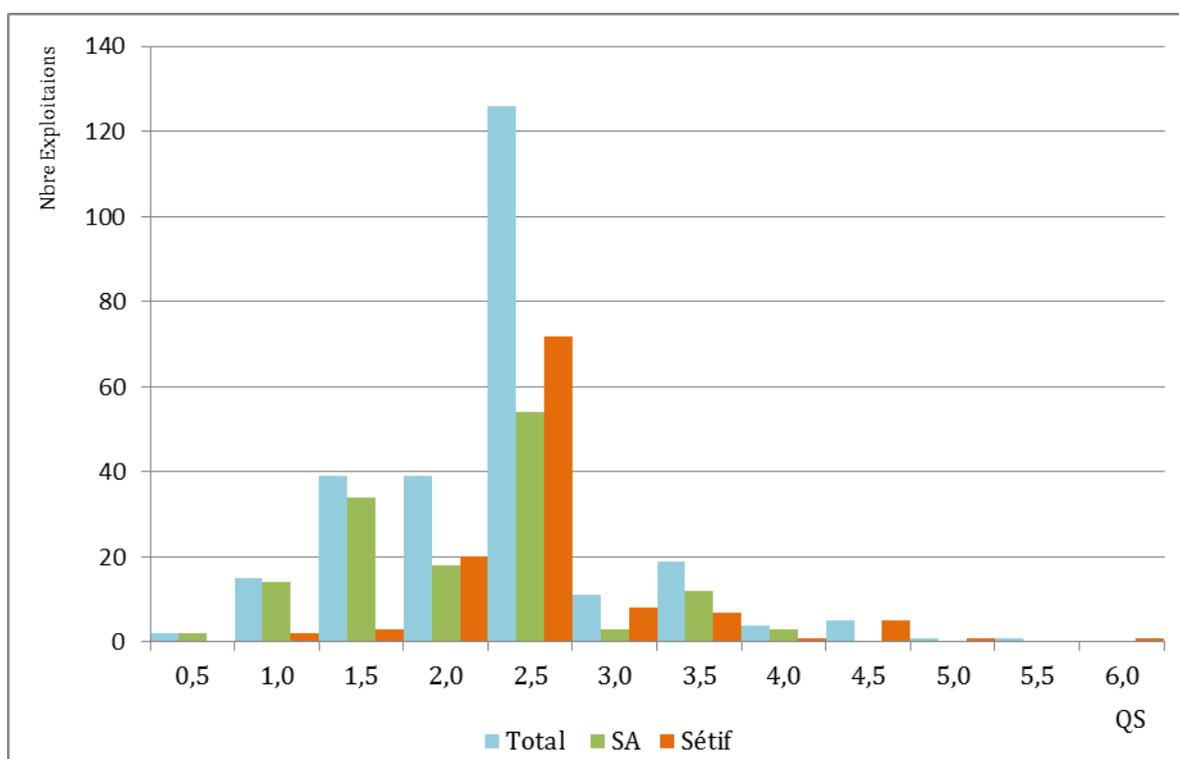


Figure 2.48 Distribution des valeurs de l'indicateur qualité sanitaire (QS).

Une différence très hautement significative ($P > 10^{-4}$) entre régions a été révélée, les exploitations de Souk-Ahras dont la moyenne est de $1,73 \pm 0,48$ produisent des produits agricoles avec une qualité sanitaire moyenne, les exploitations de la région de Sétif avec une moyenne de $2,17 \pm 0,50$ assure des produits de qualité sanitaire faible. En termes de durabilité, la contribution de l'indicateur qualité sanitaire des produits est modérée avec une moyenne de $0,5 \pm 0,15$. Aucune différence significative entre région n'a été trouvée ($P=0,07$). La dominance des cultures céréalières notamment celle du blé dur caractérisée par une forte sensibilité à la fusariose, explique ce résultat de même la monoculture des céréales accentue cette sensibilité.

2.3 Échelle économique

2.3.1 Produit brut PB (da/ha)

Le produit brut représente la somme perçue par la vente des récoltes produites par les systèmes de culture en place que ce soit les productions principales (grain) ou secondaires (paille). Pour les céréales et les légumes secs, il n'est pris en considération que les quantités livrées aux services de collecte (OAIC et les CCLS). Pour les autres productions agricoles dont le prix de vente est en fluctuation permanente, le produit brut est calculé en multipliant la production en kg par le prix de vent pour les produits qui ont une seule récolte (pomme de terre, tabac et tomate industrielle, melon). Pour les cultures qui ont plusieurs récoltes le produit brut par hectare est la moyenne des valeurs données par l'agriculteur durant les 3 dernières années.

Il est à noter, que pour le système céréale/ jachère largement pratiqué, le produit brut est calculé sur la base de la durée de la rotation (2 ans), la production fourragère issue de l'année de la jachère ne sera pas comptabilisée vue la difficulté de son estimation. Avec une étendue de 3162457 da/ha les résultats obtenus présentent une grande dispersion allant de 11710 à 3174167 da/ha. La moyenne générale de cet indicateur est de 95596 ± 268379 da/ha. Souk-Ahras a enregistré une moyenne de $119947,6 \pm 357398,3$, la région de Sétif avec une moyenne de $66283,2 \pm 78227$ da/ha, se diffère significativement de la première région ($P = 0,030$). La différence de rendement entre les deux régions peut expliquer ce résultat. Cependant les exploitations qui ont un PB inférieur à 40000 da/ha se considèrent comme déficitaires, elles représentent 20% de la totalité des exploitations visitées (fig. 2.49).

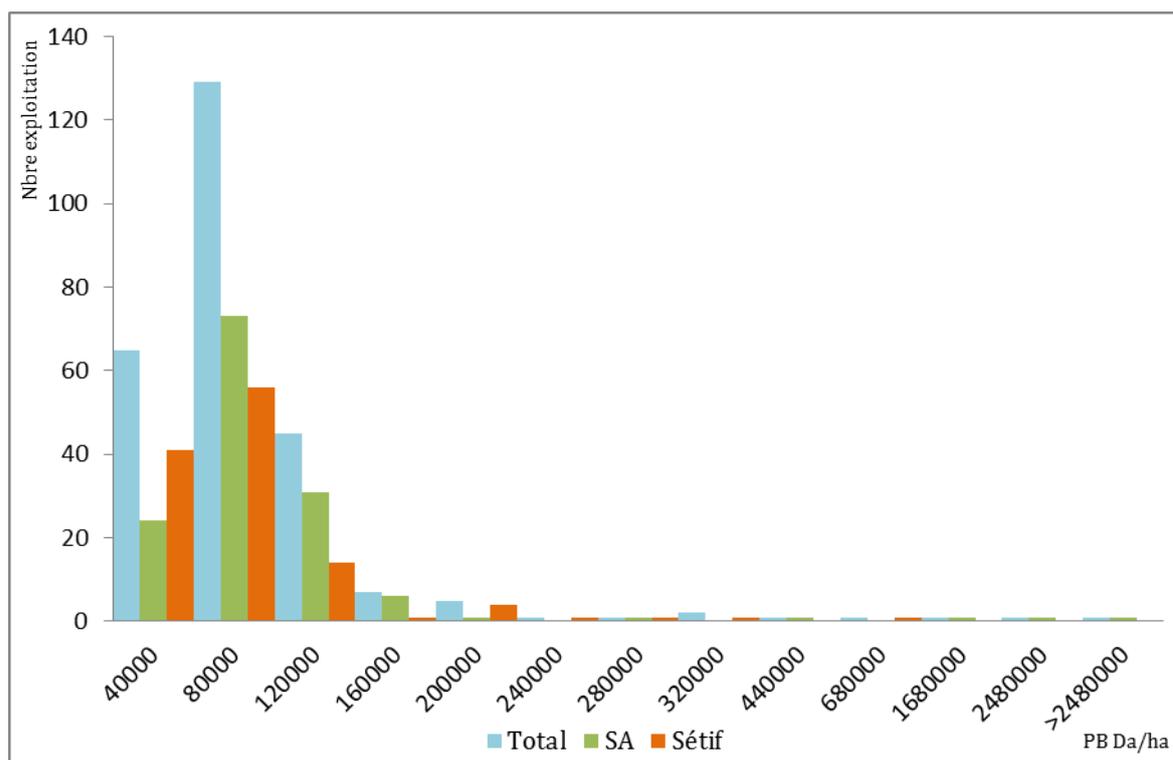


Figure 2.49 Distribution des valeurs de l'indicateur produit brut (PB).

La fluctuation des rendements en grain et des autres productions agricoles d'une année à une autre engendre une perturbation des revenus brutes des agriculteurs, ces derniers cherchent à rattraper ce déficit en valorisant les sous-produits des cultures (vente de la paille) ou en louant la jachère pâturée. La contribution des revenus issus de la vente de la paille au produit brut des exploitations est considérable. En totalité le revenu issu de la vente de paille contribue à hauteur de 33,5% au PB des exploitations visitées. À Sétif la contribution de la paille est estimée à 32,9% dont trois exploitations contribuent à la totalité du produit brut (100%). La contribution de la paille dans la région de Souk-Ahras ne diffère pas significativement de celle de Sétif qui a une moyenne de 34%, mais 5 exploitations ont une contribution de 100% dans le PB et une seule n'a aucune contribution.

La transformation des valeurs de PB en D_{PB} affiche une moyenne de $0,64 \pm 0,41$, qui signifie une contribution modérée au DD. Une différence hautement significative entre région ($P=0,005$) a été constatée. Les valeurs prises par cet indicateur dans la région de Souk-Ahras dont la moyenne est de $0,70 \pm 0,37$ ont une bonne contribution au DD par rapport à celles de Sétif qui ont une moyenne de $0,57 \pm 0,43$. Cet indicateur n'a aucune contribution au développement durable chez 18% des exploitations (valeur D_{PB} tends vers 0), alors que sa contribution est maximale dans 111 exploitations (fig.2.50).

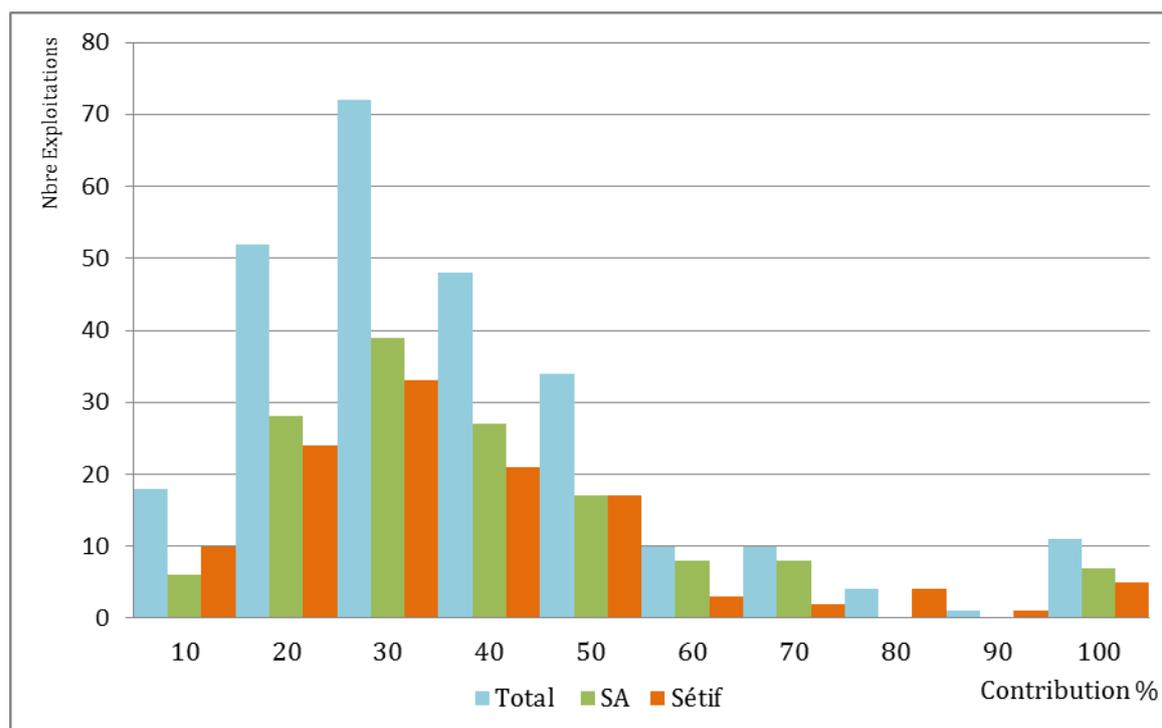


Figure2.50 Contribution de la paille au produit brute (%).

2.3.2 Charge totale (CT)

Cet indicateur se compose de deux sous indicateurs : la charge opérationnelle (CO) et la charge de mécanisation (CM):

2.3.2.1 Charge opérationnelle CO (semences, engrais, traitement et location de terre)

Ce paramètre estime les charges opérationnelles mobilisées au cours du processus de production, il couvre les charges des intrants agricoles y compris les charges de location des terres.

CO = Coût de semences+ engrais+ produits phytosanitaires

- ❖ Coût d'irrigation
- ❖ Nombre d'heure de main d'œuvre occasionnelle (/ha) * coût de main d'œuvre
- ❖ Coût de location de terre

Selon la source d'eau utilisée (périmètre irrigué ou pompage à partir de puits, retenue collinaire ou barrage), les coûts d'irrigation changent. Pour les exploitations qui se trouvent dans un périmètre irrigué, le coût est fixé par l'Office Nationale de l'Irrigation et du Drainage (ONID) à 5000 da/ha /an. Pour les autres sources, le coût est la somme de charge de fioul ou électricité et la charge de la main d'œuvre utilisé pour assurer le déplacement des équipements d'irrigation. Vu la diversité des charges et la difficulté d'estimation des consommations en

fioul, un coût de 7500 da/ha /an est attribuer aux exploitations qui pratiquent l'irrigation hors périmètre d'irrigation.

Les charges opérationnelles des exploitations oscillent de 3277da à plus de 500000 da/ha (fig.2.51), avec une moyenne de 36521 ± 46519 da. 178 des exploitations objet d'enquête dépensent moins de la moyenne générale des exploitations, 4 exploitations dépensent moins de 10000da. La grande différence de ces résultats est expliquée par la pratique de certaines cultures telles que la pomme de terre, les cultures maraichères qui sont assez exigeantes en intrants avec un coût de semences élevés (semences hybride).

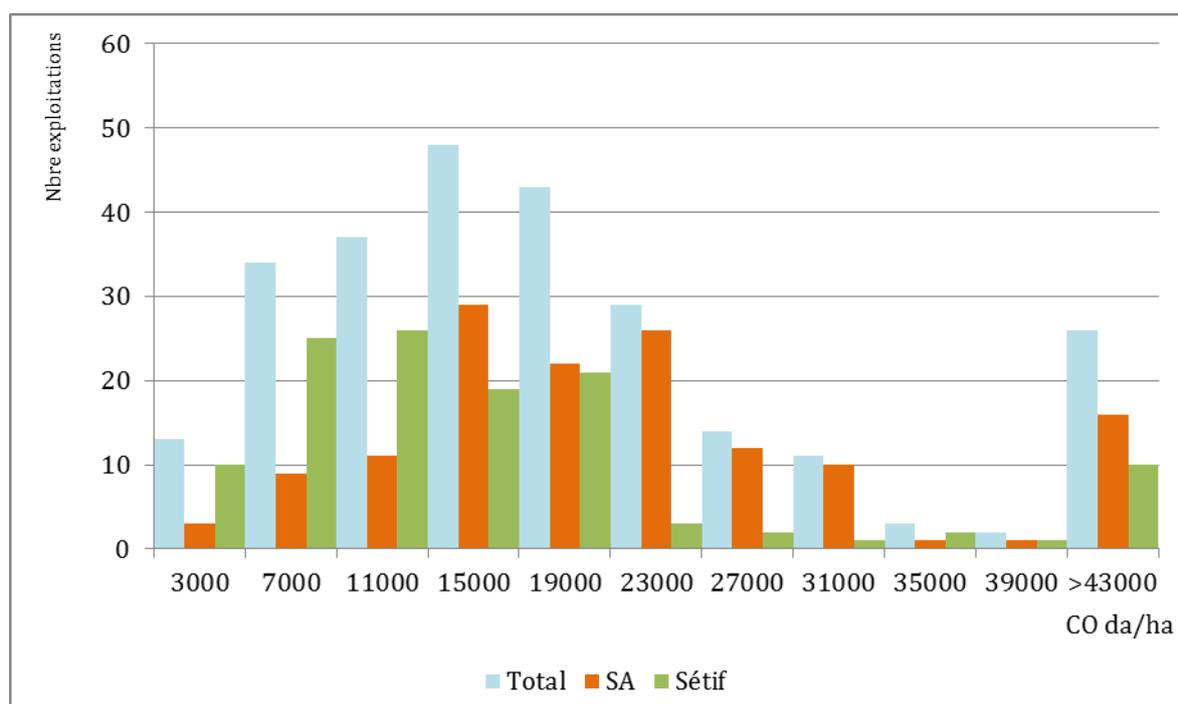


Figure 2.51 Distribution des valeurs prises par l'indicateur charge opérationnelle (CO).

Entre région, une différence significative a été révélée ($P= 0,01$) ; les exploitations de la région de Souk-Ahras dépensent plus d'argent (moyenne 42419 ± 56968) dans leur processus de production par rapport à Sétif qui a une moyenne de 29639 ± 28819 da. Ce résultat est expliqué par un recours élevé aux intrants et à la location des terres dans la région de Souk-Ahras, ce qui engendre plus des charges opérationnelles par rapport à la région de Sétif.

2.3.2.2 Charge de mécanisation (CM) hors coût de la main d'œuvre

Ce critère estime les charges de mécanisation, dues aux interventions mécaniques. Celui-ci prend en compte l'amortissement du matériel ainsi que le coût des réparations et d'entretien.

Le coût horaire d'utilisation ne prend pas en compte la rémunération de la main d'œuvre, ni la consommation en fioul.

$$CM = \sum \frac{\text{Coût horaire d'utilisation de l'outil}}{\text{performance de travail de l'outil} * \text{fréquence d'intervention}}$$

Pour cet indicateur on distingue deux cas de figure :

- ❖ Cas de propriétaire du matériel, le coût de mécanisation par heure est directement donné par l'agriculteur en excluant les frais du gasoil et de la main d'œuvre.
- ❖ Cas du locataire du matériel, la charge de mécanisation = Coût de chaque intervention (nb d'heures/ha* coût d'une heure) – le coût de fioul.

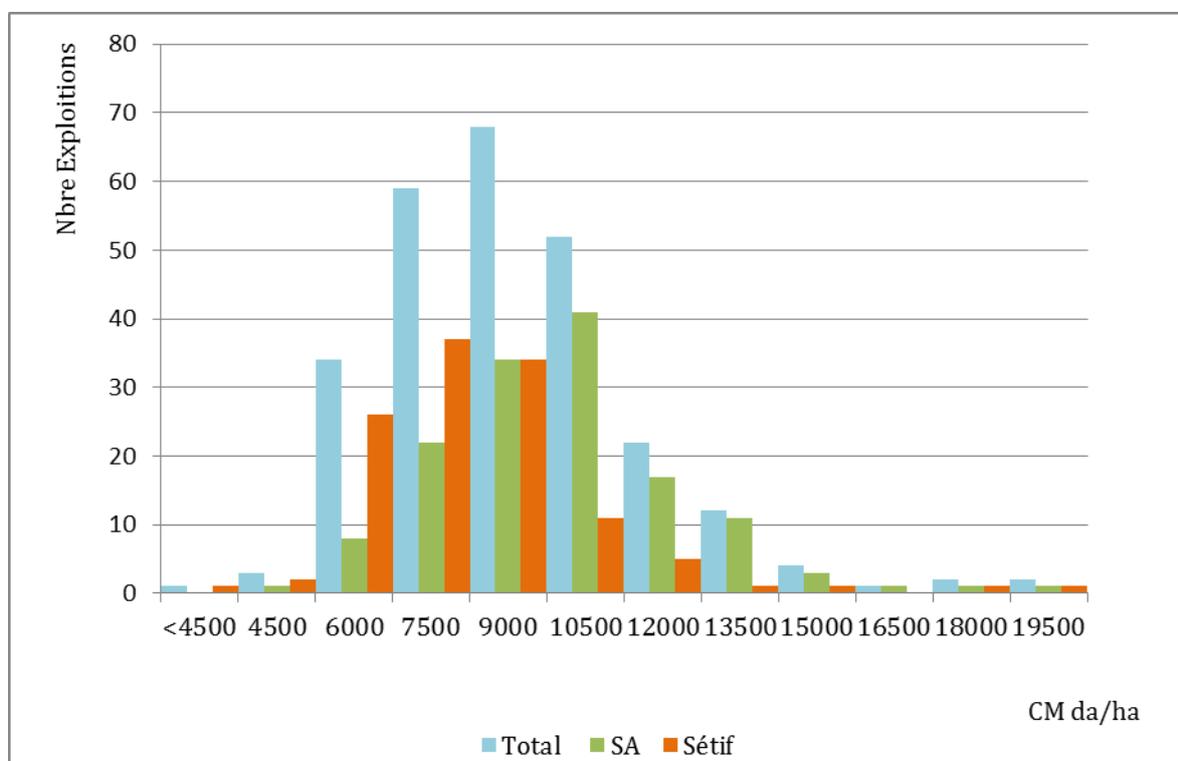


Figure 2.52 Distribution des valeurs prises par l'indicateur charge de mécanisation (CM).

La mécanisation est un signe d'intensification de culture, les valeurs prises par cet indicateur oscillent de 1960 à 19500da/ha. Le taux d'autonomie en matériel, le nombre de passage et les interventions apportées aux différentes cultures expliquent cette différence. La moyenne des charges de mécanisation des exploitations objet d'enquête est de 12089 ± 3846 da/ha. 79% des exploitations visitées dépendent entre 5000 et 15000 da/ha comme charge de mécanisation. Entre région, une différence très hautement significative ($P < 10^{-4}$) a été relevée, Souk-Ahras avec une moyenne de 14733 ± 2486 da /ha mobilise plus d'argent pour la

mécanisation que ce soit, pour le travail de sol ou autres interventions mécaniques. La région de Sétif avec une moyenne de 9005 ± 2678 da/ha mobilise moins d'argent pour la mécanisation. À Sétif parmi les 120 visitées, 95 d'entre elles dépensent moins de 10000 da/ha pour la mécanisation alors que à Souk-Ahras uniquement 3 exploitations ont des dépenses au-dessous des 10000 da/ha.

2.3.2.3 Charge totale (CT)

Cet indicateur qui est le résultat de sommation des deux indicateurs précédents, conditionne les valeurs prises par les indicateurs de la marge brute et l'efficacité économique. La moyenne totale de cet indicateur est de 41837 ± 72520 da/ha. Un très grand nombre d'exploitation (193) ont des valeurs inférieures à la moyenne, 53 d'exploitations ont des valeurs égales à deux fois la moyenne (fig.2.53). Une différence hautement significative ($P=0,003$) à la faveur de la région de Souk-Ahras a été révélée. Sétif avec une moyenne de 29639 ± 28819 da/ha, a moins de charge totale comparé à Souk-Ahras qui a plus de dépense avec une moyenne de 52292 ± 94073 da/ha. Ces différences sont expliquées par un recours massif à la location des terres (le prix oscille entre 1200 et 15000 da/ha) dans la région de SA d'une part et par les différences des choix techniques et économiques des agriculteurs d'autre part.

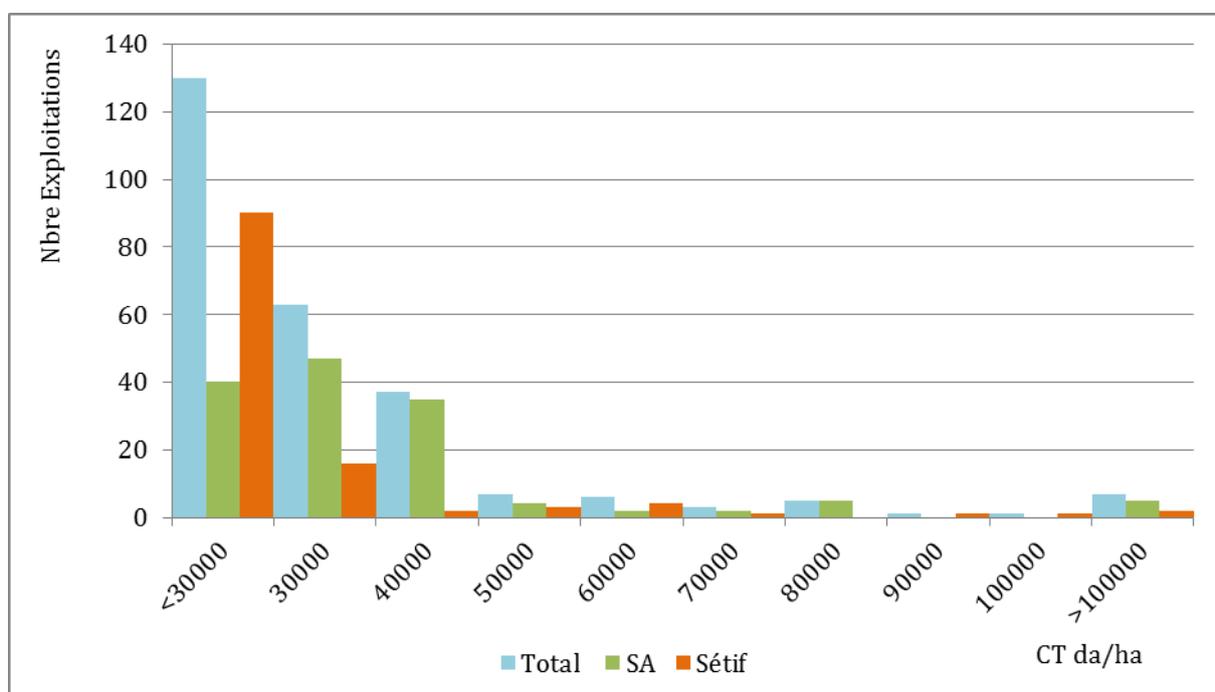


Figure 2.53 Distribution des valeurs prises par l'indicateur charge totale (CT).

Avec un seuil de durabilité de 35908,3 da, et un coefficient de correction $k=1$, les exploitations qui ont des charges totale inférieures à ce seuil ont une bonne contribution au développement durable. La transformation des valeurs de l'indicateur CT en D_{CT} affiche une moyenne de $0,68 \pm 0,36$, cela signifie une bonne contribution au DD de cet indicateur. Entre région, une différence très hautement significative à la faveur de la région de Sétif a été trouvée. Pour cet indicateur Sétif avec une moyenne de $0,86 \pm 0,26$ a plus de contribution au DD par rapport à Souk-Ahras qui a une moyenne de $0,52 \pm 0,36$. Ces résultats traduisent le degré d'intensification des systèmes de culture par un ITK complet et par l'augmentation de la taille des exploitations (la location des terres). Cependant la maîtrise des coûts de production est un facteur déterminant dans les zones semi-arides où l'incertitude climatique peut affecter le processus de production (pas de récolte dans les années à forte sécheresse), réduire les coûts est donc une stratégie d'adaptation à des conditions de production incertaines dans ces zones.

2.3.3 Marge brute (MB)

L'indicateur marge brute est le résultat de soustraction de produit brut de la charge totale. Il donne une appréciation de la viabilité économique à court et à moyen terme des systèmes de culture en place. Le calcul de cet indicateur a été fait sur la base de la moyenne des trois dernières années (rendement moyen de chaque culture dans la rotation), et il n'a pas pris en compte les divers biais (fiscaux et intérêts issus de crédit bancaire pour l'achat d'équipement et matériels dans le cadre de crédit Rfig).

Les résultats de cet indicateur affichent une très grande variation ($CV= 361\%$), et dont la moyenne est de l'ordre de 55087 ± 198727 da/ha. Les exploitations qui ont une MB au-dessous de 10000 da/ha/an représentent 11% de l'ensemble de l'échantillon étudié. La marge brute comprise entre 10000 et 20000 da/ha /an est la plus dominante avec un nombre d'exploitations égale à 121 (46%). La marge brute par exploitation qui est le produit de MB/ha /an et la surface de chaque culture rapporté à la norme sociale, le SMIC, donne les résultats illustrés dans la figure 2.54.

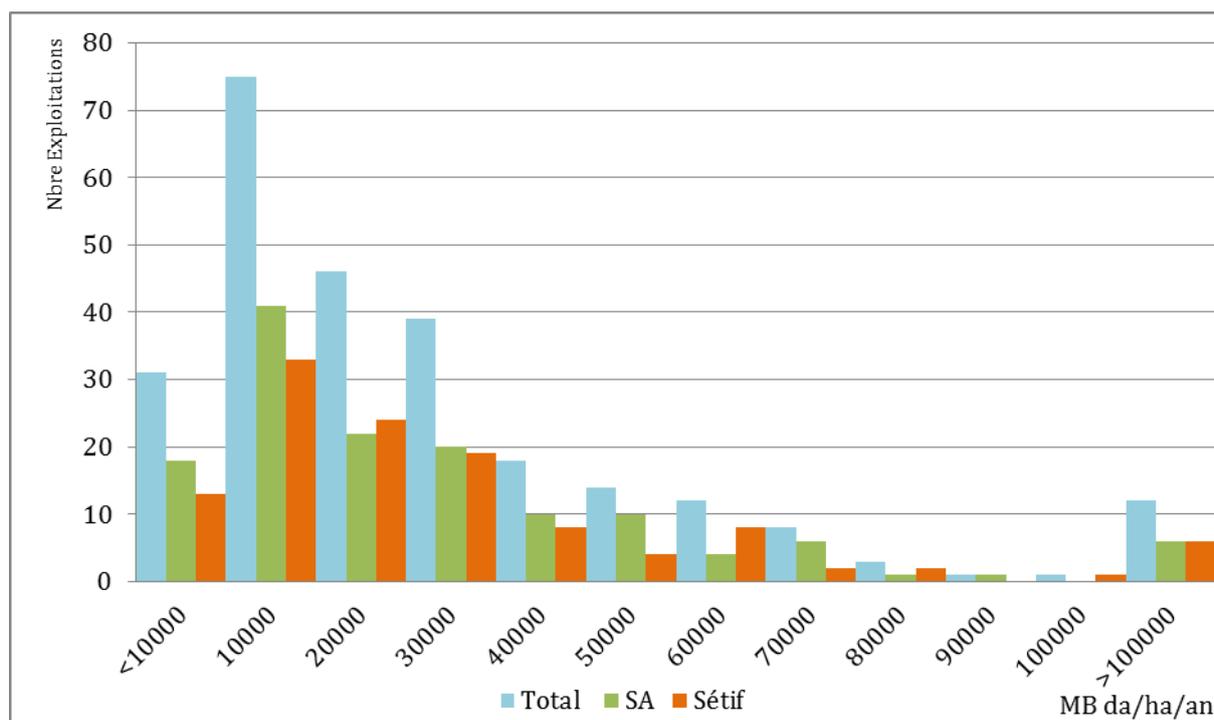


Figure 2.54 Distribution des valeurs prises par l'indicateur marge brute (MB).

De ces résultats, il apparaît la dominance des exploitations qui ont un rapport SMIC/UTH compris entre 0,23 et 1 avec 34% des exploitations visitées. 171 exploitations ont un rapport supérieur à 1 dont 114 ont un rapport SMIC/UTH compris entre 2 et 5. 27 exploitations avec un rapport compris entre 6, 10 et 30 exploitations ont un rapport qui dépasse 10 (fig. 2.55). Entre région, Souk-Ahras renferme 90% des exploitations qui ont un rapport SMIC/UTH supérieur à 10, la région de Sétif est caractérisée par la dominance d'exploitations qui ont un rapport compris entre 2 et 5 (53%).

Le rapprochement de revenu brut au salaire minimum interprofessionnel de croissance (SMIC), sous-estime l'agriculteur car ce dernier est un investisseur et pas un simple salarié, c'est sur son revenu que l'agriculteur devra payer toute adjonction à son capital productif. Le revenu agricole n'est donc pas équivalent au salaire simple, il est plutôt équivalent au revenu d'une entreprise, qui se divise entre consommation, amortissement du matériel agricole et investissements.

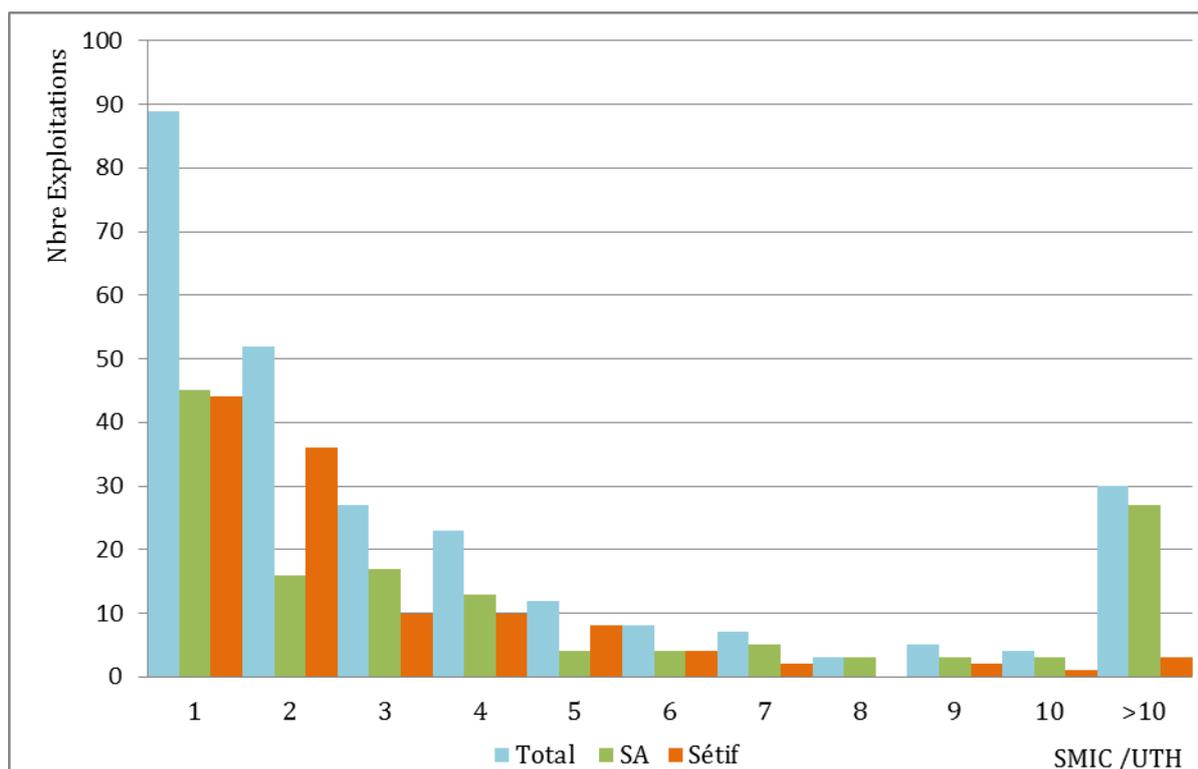


Figure 2.55 Les revenus nets rapportés au SMIC et au UTH.

Les difficultés rencontrées lors de recueil des données en relation avec l'aspect économique, l'absence d'une grille de notation pour l'amortissement du matériel agricole dont une grande partie date des années 1990, 1980 et même 1970 et l'inexistence des enregistrements des valeurs des biens et services réellement consommés durant une campagne rend très difficile le calcul de cet indicateur avec exactitude.

En termes de durabilité, les valeurs seuils adoptées pour le calcul de la contribution de cet indicateur au développement durable sont en rapport avec les revenus issus d'un hectare, et pas de l'ensemble de l'exploitation (système de culture). Les valeurs prises par l'indicateur D_{MB} affiche une moyenne de l'ordre de $0,52 \pm 0,34$ et un coefficient de variation de 52%. Entre région une différence hautement significative ($P= 0,008$) a été relevée, Souk-Ahras avec une moyenne de $0,71 \pm 0,34$ contribue mieux au DD que Sétif qui a une moyenne de $0,58 \pm 0,33$. Des 140 exploitations étudiées à Souk-Ahras, 62 d'entre elle ont une contribution maximale, alors qu'à Sétif, uniquement 23 exploitations ont une contribution de 1.

2.3.4 Efficience économique

L'efficience économique correspond à la notion de « retour sur investissement », en mettant en relation le résultat obtenu de la vente des récoltes aux ressources financières mobilisées.

Pour les revenus issus des céréales il ne sera comptabilisé que les quantités vendues par voies légale (OAIC et CCLS). Les ressources financières mobilisées concerne les charges de mécanisation, intrants utilisés (fertilisant pesticides, fioul), irrigation, main d'œuvre occasionnelle, les charges de location des terres pour les agriculteurs locataires. Comme indiqué précédemment les amortissements du parc matériel et les indemnités de l'agriculteur en vers les caisses d'assurance ne sont pas pris en considération faute de manque de données fiables pour ces charges.

Les valeurs prises par cet indicateur affichent un coefficient de variation de 54% et une moyenne de l'ordre de $57,1 \pm 31,1$. Parmi les 260 exploitations de l'échantillon d'étude 47 d'entre elle ont une efficacité économique maximale (100%), 104 exploitations ont une efficacité économique inférieure à la moyenne (fig. 2.56). Les exploitations qui ont une EE inférieure à 10% représentent 10% de la totalité des exploitations visitées, alors que 19 exploitations ont une EE nulle. Une différence hautement significative ($P < 10^{-3}$) entre les deux régions d'étude a été relevée, les exploitations de Souk-Ahras avec une moyenne de $65,5 \pm 35,2$ se montre plus efficaces économiquement par rapport à celles de Sétif (moyenne de l'ordre de $47,3 \pm 21,9$).

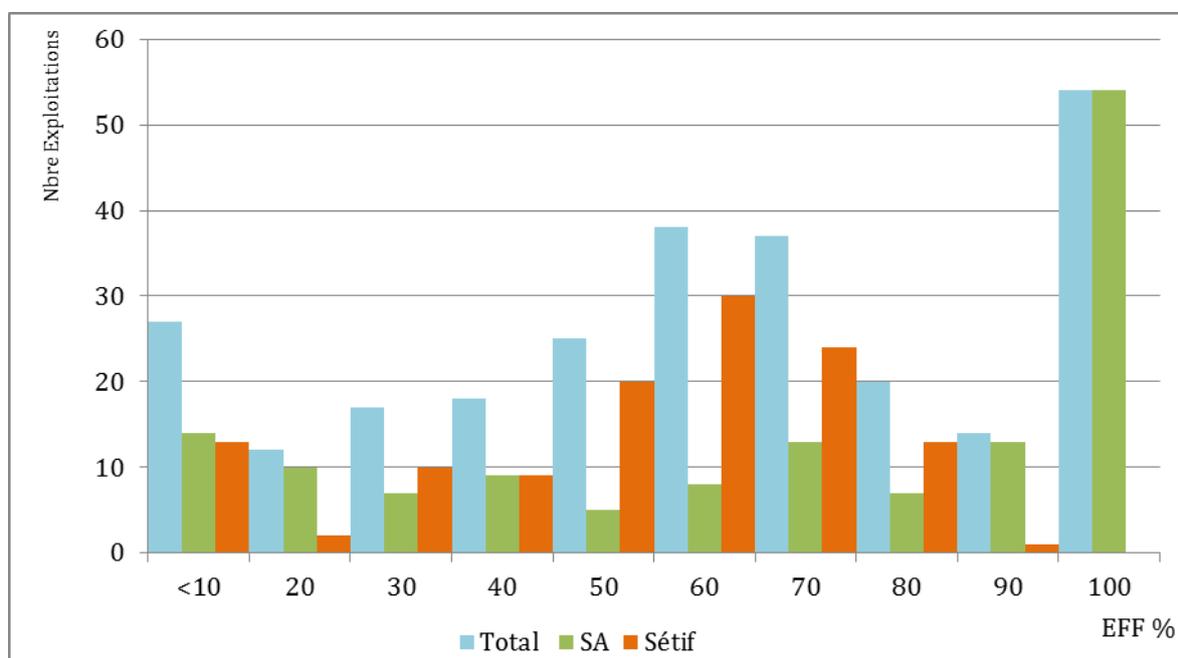


Figure 2.56 Distribution des valeurs prises par l'indicateur efficacité économique (EE).

La transformation des valeurs prises par l'indicateur EE en D_{EE} indique une contribution modérée au développement durable, avec une moyenne de $0,50 \pm 0,35$. Entre région une différence hautement significative ($P < 10^{-3}$) a été relevée, donnant ainsi la priorité à

Souk-Ahras avec une moyenne de $0,6 \pm 0,4$. La contribution de l'indicateur EE calculé pour les exploitations de la région de Sétif est faible, avec une moyenne de $0,37 \pm 0,22$. Les résultats de l'indicateur efficacité économique conditionnent la durabilité économique et la capacité de produire à long terme des systèmes de culture en place.

2. 4 Contribution des indicateurs aux trois échelles de durabilité

Les trois échelles de la durabilité sont représentées par 17 indicateurs : 3, 4 et 10 pour l'échelle sociale, économique et agri-environnementale consécutivement (fig. 2.57). Pour l'échelle sociale (fig. 2.57.b), l'indicateur contribution à l'emploi affiche un très bon résultat pour la région de Souk-Ahras (0,85). Cette valeur diffère significativement de celle enregistrée à la région de Sétif (0,15). L'indicateur complexité des interventions culturelles (CIC) présente une valeur moyenne pour la région de Souk-Ahras (0,50) mais une très faible valeur (0,1) pour Sétif. Le dernier indicateur (qualité sanitaire des produits) affiche des valeurs moyennes de 0,49 et 0,51 pour Sétif et Souk-Ahras consécutivement. Ces résultats montrent la faible contribution de ces trois indicateurs au développement durable dans la région de Sétif et une contribution modérée pour la région de Souk-Ahras. À l'échelle de la zone d'étude les valeurs prises par les trois indicateurs (0,50, 0,30 et 0,50 pour EMP, CIC et QS consécutivement) sont traduits par une contribution moyenne au DD. La pondération des valeurs prises par ces indicateurs aux poids moyens assignés par les parties prenantes affiche des contributions de l'ordre de 42%, 20% et 37% pour les trois indicateurs en ordre précité.

Les quatre indicateurs composant l'échelle économique ont une contribution de l'ordre de 0,68 ; 0,57 ; 0,58 et 0,50 pour les indicateurs CT, PB, MB et EE respectivement (fig. 2.57a). À l'exception de l'indicateur charge totale (CT) qui affiche une valeur de 0,86 pour Sétif et 0,52 pour Souk-Ahras, la contribution des trois autres indicateurs calculés dans la région de Souk-Ahras dépasse ceux de Sétif par un pourcentage de 20, 13 et 10% pour les trois indicateurs dans l'ordre précité.

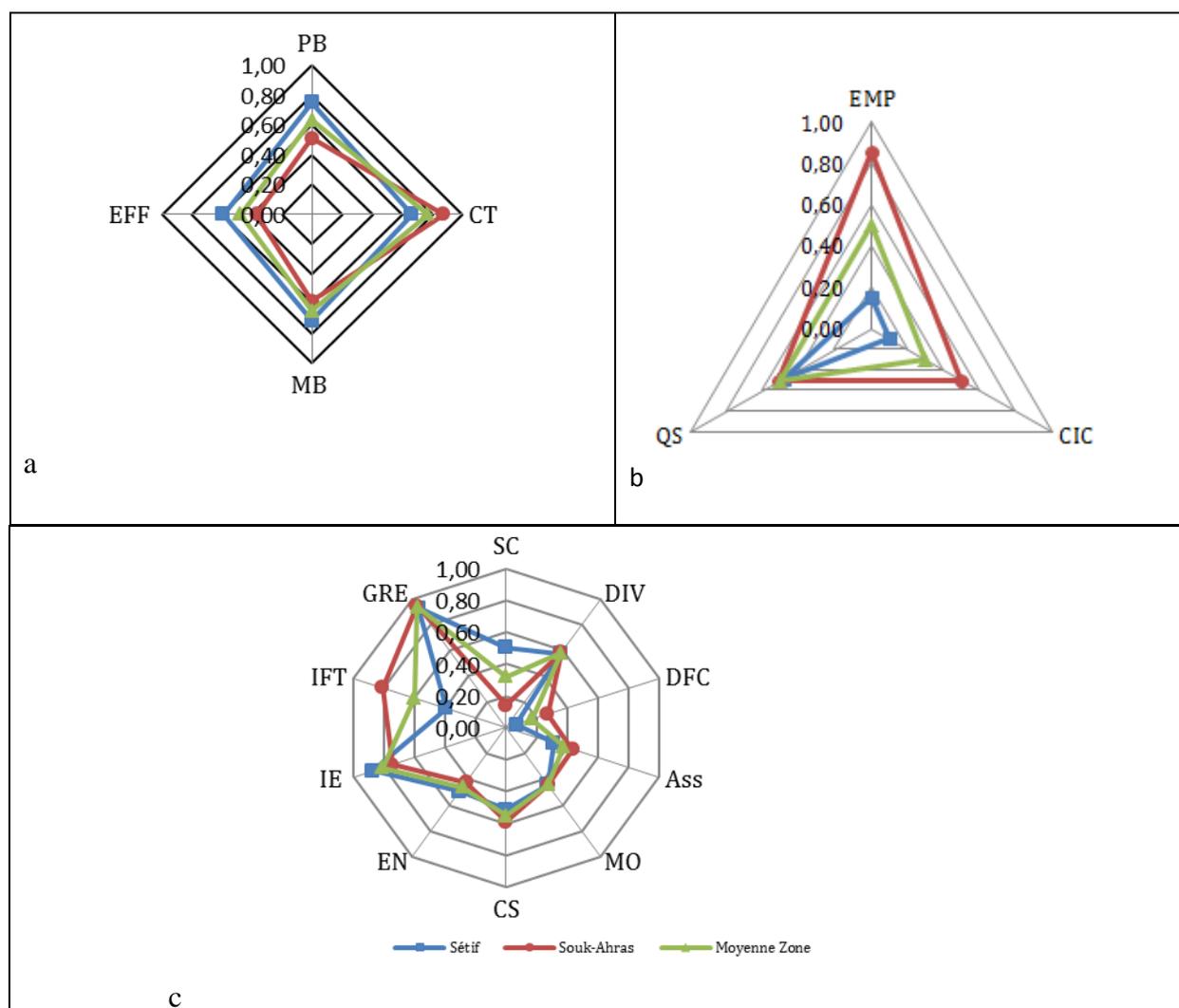


Figure 2.57 Contribution des indicateurs des trois échelles au développement durable.

Ce résultat est expliqué par le faible rendement enregistré dans la zone d'étude et par une faible mobilisation des ressources financières, à Sétif surtout, qui se traduit par un recours limité aux intrants (engrais et herbicides), une marge brute limitée et une efficacité économique modérée. Dans ces conditions la taille des exploitations joue un rôle important dans le maintien d'un revenu suffisant à l'agriculteur. La pratique de l'élevage et la pluriactivité des agriculteurs constituent une alternative pour les agriculteurs qui exploitent moins de surface.

L'échelle agri-environnementale qui est représentée par 10 indicateurs répartis en quatre classes, affiche des contributions faibles, moyennes et bonnes : l'indicateur gestion des ressources en eau, l'efficacité énergétique et l'indice de fréquence des traitements affichent des valeurs comprises entre 0,75 et 0,94 offrant ainsi à ces trois indicateurs une très bonne contribution au DD. Par contre les indicateurs succession des cultures, assolement, et diversité

des familles de culture affichent respectivement des valeurs faibles 0,32, 0,37 et 0,17. Le reste des indicateurs (DIV, MO, CS et EN) ont des contributions moyennes allant de 0,44 à 0,55 (fig. 2.57c).

Entre région, Souk-Ahras est avantageuse pour 6 indicateurs (DIV, DFC, Ass, CS, IFT et GRE). L'indicateur MO a des valeurs égales pour les deux régions (0,44). Pour le reste des indicateurs la zone de Sétif diffère significativement de la région de Souk-Ahras.

3 Évaluation de la durabilité par système de culture

3.1 Les valeur des indicateurs (Vi) selon les systèmes de culture dans les deux régions d'étude

Les résultats de la typologie des systèmes de culture présentés dans le chapitre précédent font ressortir 6 systèmes de culture dont le critère discriminant et la rotation des cultures qui inclue toujours une céréales (blé dur , blé tendre ou orge) suivi par une autre céréale (MonCér), une jachère Travaillée (CérJW), jachère pâturée (CérJPât), une légume sec que ce soit lentille, pois chiche, fève ou petit pois (CérLég), de pomme de terre (CérPT) ou par des cultures maraichères (y compris le tabac) (CérMar). Les valeurs présent par les 17 indicateurs selon les 6 systèmes de culture sont données dans le tableau 2.22. Les exploitations visitées se caractérisent par la dominance de système de culture céréale jachère travaillée (29%) puis le système céréale jachère pâturée (25%) suivi par la monoculture des céréales pratiquée par 42 exploitations (23%) et céréales-légumes secs qui caractérise les rotations dans 33 exploitations visitées (13%) et en fin les systèmes céréales-maraichages et céréales pomme de terre avec des pourcentage de l'ordre de 10 et 5 % consécutivement.

Tableau 2.22 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) des indicateurs calculés pour les 260 exploitations objet d'enquête

| | système de cultures | | | | | | | |
|--|---------------------|---------|--------------------|---------|--------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| | céréales travaillée | jachère | céréales Pâturée | jachère | Monoculture des céréales | céréales légume secs | céréales pomme de terre | céréales maraichère |
| | 80 (31%) | | 65(25%) | | 42 (16%) | 33 (13%) | 13 (5%) | 27 (10%) |
| Produit brute (PB) | 61854 (32697) | | 54301,6 (58576,12) | | 50787,00 (22366) | 86477 (83462) | 482402 (732168) | 154905 (498336) |
| Charge totale (CT) | 30659 (13579) | | 32159,97 (36713,9) | | 30045,24 (13211) | 36144,23 24448,94) | 145740, (169720) | 62631,78 (139281) |
| Marge brute (MB) | 13273 (6333) | | 993433 (2664006) | | 20741(15408,16) | 50332,90 (61835) | 336661 (570147,22) | 92273 (360477) |
| Efficience Economique (EE) | 55,79 (35,88) | | 46,78 (33,94) | | 53,98 (31,57) | 67,54 (30,89) | 73,76 (20,41) | 60,98 (28,63) |
| Matière organique dans le sol (MO) | 3,1 (1,23) | | 2,84(1,65) | | 2,80 (1,15) | 3,76 (1,96) | 3,96(1,68) | 2,91 (1,36) |
| Couverture du sol (CS) | 0,45 (0,05) | | 0,42 (0,07) | | 0,42 (0,06) | 0,43 (0,06) | 0,44(0,008) | 0,42 (0,08) |
| Consommation d'énergie (En) | 5226,37 (2467,06) | | 2623,45 (3456,71) | | 6272,70 (2234,77) | 6683,69 (2456,93) | 5156,85 (2810,80) | 6427,12 (2530,63) |
| Efficience énergétique (EEen) | 8,86 (1,16) | | 8,72 (1,12) | | 8,39 (1,10) | 8,16 (1,17) | 8,78 (1,21) | 8,28 (1,20) |
| Succession culturale (SC) | 1,45 (1,41) | | 1,51 (1,49) | | 1,21 (1,39) | 2,81 (2,42) | 4,33 (3,19) | 3,15(2,95) |
| Diversité (Div) | 1,91 (0,91) | | 1,96 (0,73) | | 1,89 (0,80) | 2,54 (1,06) | 2,54 (0,78) | 2,10 (0,72) |
| Diversité des familles des cultures (DFC) | 1,18 (0,78) | | 1,03 (0,55) | | 1,25 (0,81) | 2,01 (2,05) | 1,03 (0,75) | 1,34 (1,10) |
| Assolement (Ass) | 2,37 (2,10) | | 2,69 (2,05) | | 2,90 (2,18) | 4,51 (2,74) | 4,12 (1,65) | 3,65 (2,02) |
| Indice de fréquence de traitements (IFT) | 0,53 (0,65) | | 0,65 (1,17) | | 0,76 (1,57) | 0,60 (0,48) | 1,03(0,44) | 2,13 (8,58) |
| Gestion ressource en eau (GRE) | 3,60 (1,07) | | 3,74 (0,88) | | 3,69 (0,89) | 3,92 (0,41) | 1,88 (1,29) | 3,49 (1,25) |
| Contribution à l'emploi (EMP) | 18,79 (10,63) | | 18,17 (9,25) | | 15,65 (9,61) | 14,85 (6,95) | 23,56 (15,26) | 17,61 (12,78) |
| Complexité des itinéraires techniques (CIC) | 1,90 (1,18) | | 1,95 (1,09) | | 1,72 (1,09) | 1,64 (0,91) | 1,38(0,49) | 1,58 (0,78) |
| Qualité sanitaire des produits (QS) | 1,93 (0,76) | | 1,94 (0, 46) | | 2,14 (0,88) | 1,80 (0,57) | 1,42(0,64) | 1,86 (0,74) |

Les valeurs prises par les 17 indicateurs en fonction des systèmes de culture présentent une grande variabilité inter et intra systèmes de culture. Supporté par un produit brut très élevé, le SdC CérPT affiche des performances économiques élevées avec une efficacité économique de l'ordre de 73%, suivi par le système CérLég dont l'EE est de 67%, puis le système CérMar avec 61%. Le système céréale jachère pâturée avec une efficacité économique de l'ordre de 46% détient la dernière classe après la MonCér et le CérJW qui ont des valeurs de l'indicateur EE de l'ordre de 54 et 55% respectivement.

À Sétif, le système de culture dominant est le système céréale jachère travaillée (32% des parcelles visitées) suivi par le système céréales jachère pâturée (22,5%). La monoculture des céréales a été rencontrée dans 19 % des unités de production étudiées. Le système céréales légumes secs se pratique chez 7,5% des parcelles objet de l'enquête. Le système céréales pomme de terre est pratiqué dans 6% des champs visités. Le système céréales pomme de terre affiche des performances économiques meilleures à l'exception de l'indicateur charge totale (CT) qui a la valeur la plus élevée de tous les autres systèmes (100104,70da/ha), la deuxième position est occupée par le système céréale maraichages (34552,52 da /ha). Les autres systèmes ne se différencient pas significativement entre eux.

Les valeurs de l'indicateur matière organique (MO) oscillent entre 3,16 et 2,56, le système CérLég par les résidus qu'il laisse après la récolte et les systèmes CérPT et CérMar par les quantités de fumure organique incorporées avant l'installation des cultures maintiennent un taux acceptable de matière organique, ces taux sont traduits par des valeurs d'indicateur MO élevées (3,16 ; 3,11 et 2,93 respectivement). Les valeurs de l'indicateur consommation d'énergie affichent un coefficient de variation (CV) de 9% dont la plus grande valeur est enregistrée pour le système CérPT (5541,02 j /ha) et la plus petite valeur pour le système MonCér (3235 j/ha) avec un coefficient de variation de 19%. Le classement décroissant de système de culture, range le système CérJW en deuxième position pour l'indicateur (DFC et CIC) pour des valeurs de l'ordre de 1,2 et 2,64 respectivement (tableau 2.23).

Le système céréales jachère pâturée se caractérise par des valeurs faibles pour tous les indicateurs à l'exception de la matière organique, la couverture de sol, et l'indice de fréquence des traitements. Par contre le système CérMar occupe le premier rang pour l'indicateur QS, IFT et SC pour des valeurs de 2,24 ; 0,52 et 5,23 respectivement.

Tableau 2.23 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) des indicateurs calculés pour 120 exploitations objet d'enquête pour la région de Sétif

| | système de culture | | | | | | | |
|--|---------------------|---------|--------------------|---------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| | céréales travaillée | jachère | céréales Pâturée | jachère | Monoculture des céréales | céréales légumes secs | céréales pomme de terre | céréales maraichère |
| | 38 (32%) | | 27 (22,5%) | | 23(19%) | 9 (7,5%) | 7(6%) | 16(13%) |
| Produit brute (PB) | 54899,5(33259,1) | | 41109,4(21188,8) | | 41854,99 (13221,10) | 95237,06(131659,71) | 253473,56 (191947,0) | 73940,19(37885,39) |
| Charge totale (CT) | 22838,55(9386,61) | | 21755,37(21755,37) | | 22572,60(6101,52) | 35286,68(37091,87) | 100104,70(77394,23) | 34552,52(21575,40) |
| Marge brute (MB) | 32061,01(2657,98) | | 19354,08(19354,08) | | 19282,39(12965,26) | 59950,39(95275,16) | 153368,86 (116001,3) | 39387,67(25622,57) |
| Efficiences Economique (EE) | 51,72(20,87) | | 38,41(26,09) | | 42,33(20,11) | 54,13(16,58) | 60,14(7,34) | 52,13(19,67) |
| Matière organique dans le sol (MO) | 3,07(0,92) | | 2,56(1,08) | | 2,78(0,76) | 3,16(1,43) | 2,93(0,53) | 3,11(1,20) |
| Couverture du sol (CS) | 0,43(0,06) | | 0,40(0,07) | | 0,43(0,08) | 0,44(0,07) | 0,45(0,41) | 0,40(0,07) |
| Consommation d'énergie (En) | 4090,63(2137,70) | | 4108,48(2282,01) | | 3234,99 (2370,69) | 5025,12(2316,03) | 5541,02(2527,08) | 5096,99(2931,44) |
| Efficiences énergétique (EEn) | 8,39(0,98) | | 7,92(1,06) | | 6,91(1,15) | 8,92(1,02) | 9,06(1,02) | 8,89(1,35) |
| Succession culturale (SC) | 2,38(1,53) | | 2,19(1,62) | | 2,54(1,51) | 3,75(3,75) | 6,23(3,19) | 5,23(3,70) |
| Diversité (Div) | 1,97(1,03) | | 1,88(0,68) | | 1,83(0,83) | 2,56(1,42) | 2,43(0,53) | 2,25(0,68) |
| Diversité des familles des cultures (DFC) | 1,12(0,95) | | 0,88(0,33) | | 1,17(0,99) | 0,64(0,45) | 0,45(0,41) | 0,70(1,06) |
| Assolement (Ass) | 2,34(1,94) | | 2,43(1,77) | | 1,99(1,68) | 2,82(2,11) | 4,40(1,49) | 3,43(1,68) |
| Indice de fréquence de traitements (IFT) | 0,28(0,48) | | 0,38(0,53) | | 0,42(0,55) | 0,44(0,53) | 0,41(0,52) | 0,52(0,62) |
| Gestion ressource en eau (GRE) | 3,68(0,96) | | 3,65(1,00) | | 3,65(0,93) | 3,78(0,67) | 3,57(1,13) | 3,00(1,59) |
| Contribution à l'emploi (EMP) | 27,50(6,28) | | 25,32(4,78) | | 25,78(6,23) | 23,14(3,01) | 32,63(13,04) | 29,10(12,95) |
| Complexité des itinéraires techniques (CIC) | 2,64(1,30) | | 2,55(1,10) | | 2,69(1,20) | 2,02(1,31) | 1,49(0,60) | 2,04(0,95) |
| Qualité sanitaire des produits (QS) | 2,21(0,86) | | 2,02(0,25) | | 2,32(0,89) | 2,15(0,50) | 1,89(0,38) | 2,24(0,77) |

À Souk-Ahras, le système de culture dominant est le système céréale jachère travaillée (30% des exploitations visitées) suivi par le système CérJPât (27%) et système céréales légumes secs qui se pratique dans 17% des parcelles enquêtées puis la monoculture des céréales qui domine dans 14% des unités de production étudiées. Le système céréales pomme de terre est moins répandu (4% des exploitations visitées).

Les valeurs prises par les 17 indicateurs varient d'un système à un autre. Le système CérPT affiche des performances économiques très bonnes avec une marge brute de 550502 da/ha et une efficacité économique de l'ordre de 89 %, suivi par le système CérLég avec une EE de 75%, puis le système CérMar avec une efficacité économique de 67 %. Le système MonCér avec une marge brute de 21625 da/ha et une EE de 61% détient la dernière classe après le système CérJPât et CérJW qui ont des valeurs de MB de l'ordre de 27705 et 30350 da et des valeurs de l'indicateur EE de l'ordre de 60 et 63% respectivement (tableau 2.24).

Les valeurs prises par l'indicateur diversité des familles de culture sont faibles pour tous les systèmes de culture, ces valeurs doivent avoisiner les 2,72 pour 3 cultures appartenant à trois familles de cultures différentes, ce qui n'est pas le cas dans notre étude. L'indice de fréquence des traitements affiche lui aussi des valeurs faibles qui est le résultat d'un recours faible au herbicide et aux fongicides dans quatre systèmes de culture (CérJW, CérJP, MonoCér et CérLég). Quant à l'indicateur gestion des ressources hydriques les valeurs oscillent de 4 pour le système CérPT (valeur maximale) à 3 pour le système CérLég. L'indicateur complexité des interventions culturales affiche des valeurs qui oscillent de 1,13 pour le système MonCér à 1,40 pour le système CérLég avec un coefficient de variation de l'ordre de 8%. La qualité sanitaire des produits, composante de l'échelle sociale, affiche la valeur la plus faible (0,86) pour le système CérPT. Alors que la valeur la plus élevée (2,04) est calculée dans les exploitations où le SdC dominant est la monoculture des céréales. Le coefficient de variation pour cet indicateur est de 24%. Le système CérLég se range en première classe pour les indicateurs suivants : assolement et succession des cultures (tableau 2.24).

Tableau 2.24 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) des indicateurs calculés pour 140 exploitations étudiées dans la région Souk-Ahras

| | système de culture | | | | | | | |
|--|---------------------|---------|--------------------|---------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| | céréales travaillée | jachère | céréales Pâturée | jachère | Monoculture des céréales | céréales légumes secs | céréales pomme de terre | céréales maraichage |
| N° exploitation | 42(30%) | | 38(27%) | | 19(14%) | 24(17%) | 6(4%) | 11 (8%) |
| Produit brute (PB) | 68630,61(31076,67) | | 74064,19(85011,96) | | 56193,21(25053,63) | 81221,16(38207,01) | 749485,40(1040858,25) | 211229,52(647986,60) |
| Charge totale (CT) | 38279,85(12736,86) | | 46358,51(54337,24) | | 34568,15(14323,75) | 36658,76(13967,37) | 198982,52(235853,81) | 82165,18(179494,21) |
| Marge brute (MB) | 30350,77(24514,66) | | 27705,69(35544,08) | | 21625,06(16820,11) | 44562,40(31613,26) | 550502,89(813699,46) | 129064,33(469629,92) |
| Efficiences Economique (EE) | 63,58(36,36) | | 60,70(39,35) | | 61,03(35,21) | 75,58(35,01) | 89,65(19,30) | 67,14(32,49) |
| Matière organique dans le sol (MO) | 2,96(1,48) | | 3,23(2,20) | | 2,81(1,34) | 4,12(2,18) | 4,90(1,59) | 2,77(1,48) |
| Couverture du sol (CS) | 0,47(0,02) | | 0,46(0,04) | | 0,42(0,05) | 0,43 (0,06) | 0,42(0,05) | 0,4(0,06) |
| Consommation d'énergie (En) | 6332,98(2275,19) | | 6350,81(2210,71) | | 5101,17 | 7678,83(2005,62) | 7875,33(3185,54) | 7352,42(1738,01) |
| Efficiences énergétique (EEn) | 8,36(1,11) | | 8,41(1,16) | | 5,97(1,93) | 7,70(1,03) | 7,46(1,43) | 7,86(0,90) |
| Succession culturale (SC) | 0,54(0,07) | | 0,52(0,10) | | 0,40(0,10) | 2,24(0,82) | 2,12(1,12) | 1,69(0,56) |
| Diversité (Div) | 1,85(0,78) | | 1,22(0,47) | | 1,92(0,78) | 2,53(0,83) | 2,67(1,03) | 2,00(0,74) |
| Diversité des familles des cultures (DFC) | 1,25(0,58) | | 1,30(0,28) | | 1,21(0,69) | 2,31(1,07) | 1,70(0,38) | 1,79(0,90) |
| Assolement (Ass) | 3,12(2,20) | | 3,04(2,41) | | 3,46(2,27) | 5,53(2,62) | 3,80(1,91) | 3,80(2,24) |
| Indice de fréquence de traitements (IFT) | 0,77(0,70) | | 1,05(1,66) | | 0,97(1,93) | 0,69(0,45) | 1,20(0,58) | 3,26(11,11) |
| Gestion ressource en eau (GRE) | 3,51(1,17) | | 3,84(0,69) | | 3,71(0,87) | 3,00(0,00) | 4,00(1,10) | 3,83(0,83) |
| Contribution à l'emploi (EMP) | 10,30(6,14) | | 8,62(4,10) | | 9,52(4,93) | 9,89(1,90) | 12,98(10,26) | 9,61(2,20) |
| Complexité des itinéraires techniques (CIC) | 1,18(0,28) | | 1,16(0,30) | | 1,13(0,33) | 1,40(0,47) | 1,26(0,35) | 1,25(0,40) |
| Qualité sanitaire des produits (QS) | 1,66(0,53) | | 1,82(0,65) | | 2,04(0,87) | 1,60(0,52) | 0,86(0,36) | 1,59(0,59) |

3.2 Évaluation de la durabilité (Di) selon les systèmes de culture dans la région de Sétif

Malgré des différences substantielles entre les indicateurs inter et intra systèmes de culture, les indicateurs économiques ont une bonne contribution au développement durable pour la majorité des systèmes des cultures. Les indicateurs calculés pour le système CérPT affichent la très grande contribution au développement durable à l'exception de la charge totale qui affiche une contribution de 0,07 cela est expliqué par la relation inversement proportionnelle entre la charge totale et la contribution au DD (tableau 2.25).

L'échelle agri-environnementale, représentée par 10 indicateurs réparties en quatre classes, affiche des contributions qui se classent en faible, moyen et bonne pour l'ensemble des systèmes de culture. La classe biodiversité représentée par les indicateurs diversité de familles de culture, diversité des cultures, assolement et succession présente la contribution la plus faible au DD où la contribution du premier indicateur pour les systèmes CérJW, CérJPât et MonCér ne dépasse pas le 0,01, quatre SdC se rangent dans le même groupe avec une moyenne de 0,06 pour le deuxième indicateur, tandis que la contribution du troisième indicateur est de l'ordre de 0,3 ; 0,3 et 0,2 pour le système CérJW, CérJPât et MonCér respectivement. Le dernier indicateur de cette classe range les systèmes de culture en deux groupes ; le système CérPT constitue le premier groupe et les autres SdC constituent le deuxième groupe. La classe sol (indicateur MO et CS) quant à elle présente une contribution faible pour l'ensemble des systèmes de culture, ces derniers ne se diffèrent pas significativement pour ces deux indicateurs. La classe énergie composée de deux indicateurs ; consommation d'énergie et indice énergétique) affiche une bonne contribution au DD et range les systèmes de culture en deux groupes. Les systèmes CérPT et CérMar constituent le premier groupe avec une contribution moyenne de l'ordre de 0,26 et 0,28 respectivement, les autres SdC constituent le deuxième groupe avec une moyenne de 0,35 pour le premier et 0,38 pour le deuxième indicateur. Dans cette échelle la contribution de l'indicateur IFT et GRE qui constituent la classe pression sur les ressources naturelles se considère modérée. Les résultats de l'indice de fréquence des traitements classent les systèmes de culture en deux groupes, le premier groupe se compose des systèmes CérJW, CérLég et CérPT, le deuxième groupe se compose du système CérJPât, MonCér et CérMar. L'ensemble des systèmes de culture étudiés ne présentent pas des différences significatives pour l'indicateur GRE.

Les indicateurs de l'échelle sociale affichent une contribution modérée pour tous les systèmes de culture, à l'exception des valeurs prises par l'indicateur CIC pour le système CérPT et

CérLég qui ont une contribution de l'ordre de 0,09 et 0,07 respectivement. L'indicateur qualité sanitaire des produits affiche la plus petite valeur pour le système MonCér (0,07), le reste des systèmes de culture se rangent en deux groupes pour les valeurs prises par cet indicateur (tableau 2.25). Ce résultat est dû à la grande sensibilité des blés et orge à la fusariose grande sécrétrice des mycotoxines, ce phénomène est aggravé par le non-respect de temps de retour de la culture (3 ans pour les céréales d'hiver). L'indicateur EMP présente la grande contribution au DD de tous les autres indicateurs et pour l'ensemble des systèmes de culture étudiés. La contribution de cet indicateur ne se diffère pas significativement entre les SdC cependant le système CérPT affiche la contribution la plus élevée (0,34). Ce résultat montre que le secteur agricole est peu attractif à la main d'œuvre, ce dernier constitue un levier important dans le développement.

Tableau 2.25 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) de la contribution des indicateurs au développement durable dans la région de Sétif. (Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les moyennes à $p < 0,05$)

| | les systèmes de culture de culture | | | | | |
|------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| | Céréales jachère travaillée | Céréales jachère Pâturée | Monoculture des céréales | Céréales légumes secs | Céréales pomme de terre | Céréales maraichage |
| | 38(29%) | 27 (22.5%) | 23(19%) | 9(7,5%) | 7 (6%) | 16 (13%) |
| PB | 0,17 (0,09)a | 0,11(0,09)b | 0,11(0,10)b | 0,17(0,10)a | 0,23 (0,00)c | 0,21(0,06)c |
| CT | 0,19(0,03)a | 0,20(0,03)a | 0,19(0,03)a | 0,18(0,05)a | 0,07(0,03)b | 0,15(0,08)c |
| MB | 0,18(0,10)a | 0,12(0,10)b | 0,18(0,10)a | 0,18(0,09)a | 0,29(0,03)c | 0,19(0,09)a |
| EE | 0,11(0,05)a | 0,07(0,07)b | 0,08(0,05)b | 0,11(0,06)a | 0,13(0,02)ab | 0,11(0,06)a |
| MO | 0,05(0,01)a | 0,04(0,02)a | 0,05(0,01)a | 0,05(0,02)a | 0,05(0,02)a | 0,05(0,02)a |
| CS | 0,06(0,05)a | 0,05(0,05)a | 0,07(0,05)b | 0,05(0,05)a | 0,05(0,05)a | 0,04(0,04)a |
| En | 0,35(0,04)a | 0,35(0,03)a | 0,35(0,03)a | 0,36(0,03)a | 0,27(0,04)b | 0,25(0,03)a |
| EEn | 0,38(0,01)a | 0,38(0,01)a | 0,38(0,02)a | 0,38(0,01)a | 0,28(0,01)b | 0,28(0,01)a |
| SC | 0,04(0,03)a | 0,03(0,04)a | 0,04(0,04)a | 0,05(0,04)a | 0,11(0,02)b | 0,06(0,04)a |
| Div | 0,06(0,06)a | 0,07(0,05)a | 0,06(0,05)a | 0,11(0,06)b | 0,08(0,02)ab | 0,09(0,04)ab |
| DFC | 0,01(0,02)a | 0,01(0,00)a | 0,01(0,03)b | 0,04(0,00)b | 0,03(0,00)b | 0,06(0,02)c |
| Ass | 0,03(0,02)a | 0,03(0,02)a | 0,02(0,02)a | 0,05(0,03)b | 0,05(0,02)b | 0,04(0,02)ab |
| IFT | 0,23(0,05)a | 0,14(0,06)b | 0,14(0,06)b | 0,24(0,05)a | 0,14(0,05)b | 0,15(0,07)b |
| GRE | 0,19(0,01)a | 0,19(0,02)a | 0,19(0,01)a | 0,19(0,01)a | 0,19(0,02)a | 0,16(0,02)b |
| EMP | 0,33(0,06)a | 0,31(0,07)a | 0,31(0,07)a | 0,30(0,06)a | 0,34(0,08)a | 0,31(0,08)a |
| CIC | 0,11(0,12)a | 0,11(0,10)a | 0,11(0,11)a | 0,09(0,13)ab | 0,07(0,08)b | 0,11(0,10)a |
| QS | 0,16(0,05)a | 0,17(0,02)a | 0,07(0,05)b | 0,17(0,04)a | 0,11(0,03)c | 0,10(0,05)c |

3.3 Évaluation de la durabilité selon les systèmes de culture dans la région de Souk-Ahras

La contribution des 17 indicateurs calculés dans les hautes plaines Souk-Ahrassienne au développement durable suit les mêmes tendances que celle calculée pour la région de Sétif avec des différences significatives entre les deux régions pour certains indicateurs. L'échelle économique maintient une contribution acceptable au DD. Le système CérPT par la valeur de son produit brute affiche une contribution de l'ordre de 0,23 suivi par le système CérMar 0,19. Ces deux systèmes enregistrent la contribution la plus faible pour l'indicateur charge total avec des valeurs de 0,08 et 0,13 respectivement. L'indicateur MB classe les systèmes de culture en quatre groupes alors que la contribution de l'indicateur efficacité économique classe les systèmes de culture en 3 groupes (tableau 2.26). L'échelle agri-environnementale présente une contribution faible au développement durable surtout pour les indicateurs composant la classe biodiversité (SC, Div, DFC et Ass). Comme il a été évoqué, la classe sol a une contribution faible au DD, les agriculteurs par leurs pratiques (labour profond, absence des apports de matière organique et culture sans couvert végétale) accentuent l'exposition des sols aux facteurs de dégradation, affectant ainsi la durabilité de cette ressource. La classe énergie (consommation énergie et efficacité énergétique) affiche une contribution moins que celle calculée dans la région de Sétif. Les indicateurs de cette classe rangent les SdC en 3 groupes pour le premier et en deux groupes pour le deuxième indicateur. La dominance de travail conventionnel du sol avec un nombre de passages supérieur à celle de Sétif et le recours massif aux intrants (engrais azotés et herbicides) fait que les systèmes de culture pratiqués dans la région de Souk-Ahras consomment plus d'énergie et par conséquent contribuent moins au DD. La dernière classe de cette échelle (pression sur les ressources) représentée par l'indicateur indice de fréquence de traitement et gestion des ressources hydriques classe les SdC en deux groupes (tableau 2.26). La faible contribution de l'indicateur IFT pour les systèmes CérPT et CérMar (0,10 et 0,11) est le résultat d'un recours massif aux pesticides pour le contrôle des maladies de la pomme de terre et des cultures maraichères. Le faible recours à l'irrigation qui est un facteur important d'intensification des cultures fait que les systèmes CérJW, CérJPât, MonCér et CérLeg exercent moins de pression sur les ressources hydriques par rapport aux systèmes CérPT et CérMar qui mobilisent des quantités d'eaux importantes et par conséquent ont une contribution faible au DD.

À l'exception de l'indicateur qualité sanitaire des produits, les deux autres indicateurs qui composent l'échelle sociale (emploi et complexité des interventions culturales) présentent une

contribution élevée au développement durable. La bonne implication sociale du secteur agricole dans la région de Souk-Ahras est une traduction des bons résultats économiques. Ces derniers ont incité les agriculteurs dépourvus de terre à louer ou à travailler en association avec les propriétaires des terres. Ces agriculteurs, sans terres, constituent une part importante dans cette zone.

Tableau 2.26 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) de la contribution des indicateurs au développement durable dans la région de Souk-Ahras (Les lettres différents indiquent une différence significative entre les moyennes à $p < 0,05$)

| | Systèmes de culture | | | | | |
|------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| | Céréales jachère travaillée | Céréales jachère Pâturée | Monoculture des céréales | Céréales légumes secs | Céréales pomme de terre | Céréales maraichage |
| | 77 (29%) | 46 (18%) | 61(23%) | 24 (9%) | 13 (5%) | 39 (15) |
| PB | 0,17(0,09)a | 0,16 (0,10)a | 0,18(0,12)ab | 0,18(0,10)ab | 0,23(0,00)b | 0,19(0,08)ab |
| CT | 0,14(0,05)a | 0,15(0,04)a | 0,14(0,06)a | 0,14(0,05)a | 0,08(0,06)b | 0,13(0,06)a |
| MB | 0,20(0,11)a | 0,17(0,11)b | 0,24(0,16)c | 0,25(0,08)c | 0,29(0,01)c | 0,22(0,09)a |
| EE | 0,15(0,11)a | 0,15(0,11)a | 0,14(0,10)a | 0,19 (0,10)b | 0,23(0,06)c | 0,16(0,10)a |
| MO | 0,05(0,02)a | 0,05(0,03)a | 0,05(0,02)a | 0,06(0,02)a | 0,07(0,02)b | 0,04(0,02) |
| CS | 0,10(0,03)a | 0,08(0,05)a | 0,04(0,05)b | 0,05(0,05)b | 0,04(0,05)b | 0,04(0,05)b |
| En | 0,25(0,02)a | 0,24(0,01)a | 0,26(0,11)b | 0,25(0,01)a | 0,17(0,03)c | 0,14(0,01)c |
| EEn | 0,27 (0,01)a | 0,27(0,01)a | 0,27(0,02)a | 0,27(0,01)a | 0,15(0,03)b | 0,17(0,01)b |
| SC | 0,01 (0,01)a | 0,01(0,00)a | 0,03(0,02)b | 0,04(0,03)b | 0,03(0,03)b | 0,02(0,02)a |
| Div | 0,06 (0,05)a | 0,07(0,05)a | 0,07(0,06)a | 0,10(0,03)b | 0,10(0,05)b | 0,04(0,02)c |
| DFC | 0,02 (0,02)a | 0,02(0,03)a | 0,04(0,16)b | 0,05(0,03)b | 0,04(0,02)b | 0,04(0,05)b |
| Ass | 0,04 (0,03)a | 0,04(0,03)a | 0,04(0,05)a | 0,06(0,03)a | 0,05(0,02)a | 0,04(0,01)a |
| IFT | 0,17 (0,08)a | 0,18(0,12)a | 0,18(0,14)a | 0,15(0,06)a | 0,10(0,05)b | 0,11(0,08)b |
| GRE | 0,19 (0,02)a | 0,19(0,01)a | 0,19(0,02)a | 0,19(0,01)a | 0,11(0,02)b | 0,10(0,01)b |
| EMP | 0,46(0,10)a | 0,44(0,07)a | 0,46(0,09)a | 0,45(0,04)a | 0,53(0,18)b | 0,45(0,04)a |
| CIC | 0,51(0,03)a | 0,52(0,04)a | 0,52 (0,04)a | 0,54(0,06)b | 0,52(0,02)a | 0,53(0,04)b |
| QS | 0,17(0,05)a | 0,15(0,06)a | 0,11(0,06)b | 0,17(0,05)a | 0,12((0,05)b | 0,12(0,05)b |

3.4 Contribution des trois échelles au développement durable selon les systèmes de culture

L'agrégation des valeurs prises par les 17 indicateurs qui constituent les trois échelles de la durabilité selon le poids moyen assigné par les parties prenantes montre la faible contribution de l'échelle sociale au DD. La contribution de ce dernier oscille de 0,13 pour le système CérPT de la région de Sétif à 0,18 pour le système CérPT pratiqué dans la région de Souk-Ahras (fig.2.58).

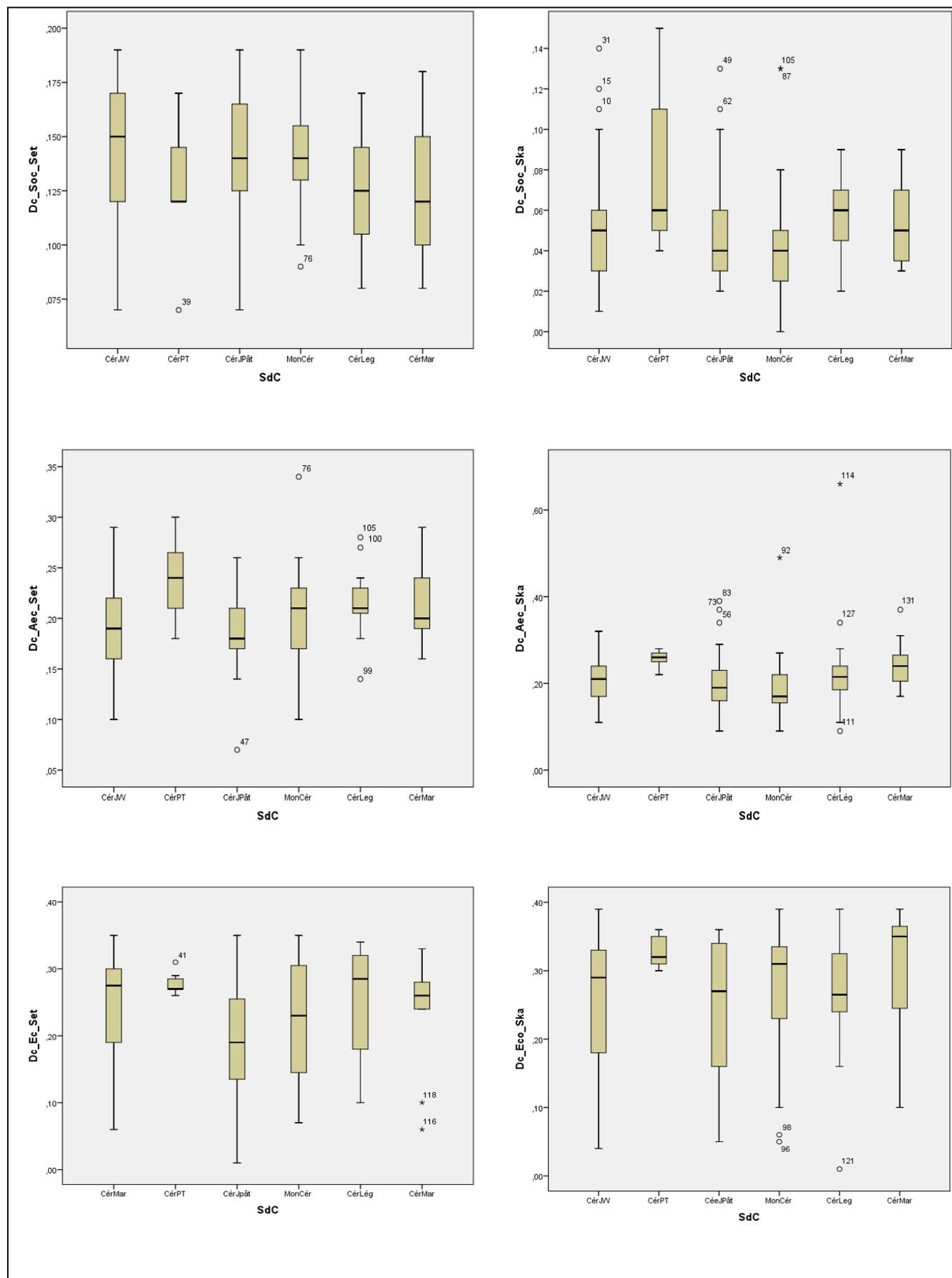


Figure 2.58 Comparaison de la contribution des trois échelles au DD selon les systèmes de culture dans la région de Sétif et de Souk-Ahras.

L'importance accordée par toutes les parties prenantes à l'échelle économique conjuguait avec des bonnes valeurs prises par ces composants faits que l'échelle économique a la plus grande contribution au DD. Ce dernier contribue à hauteur de 43% 36, 39, 41, 44, et 42% pour les systèmes CérJW, CérJPât, MonCér, CérLeg, CérPT et CérMar pratiqué dans la région de Sétif respectivement. Cette contribution s'élève à 49%, 49, 51, 49, 49 et 48% pour les SdC pratiqués dans la région de Souk-Ahras dans l'ordre précité. Bien que la majorité des indicateurs de l'échelle agri-environnementale affichent des valeurs faibles, à l'exception des indicateurs de la classe pression sur les ressources, la contribution des autres indicateurs après agrégation et pondération par le poids accordé par les parties prenantes affiche des valeurs moyennes comprises entre 0,19 pour les systèmes CérJW et CérJPât de la région de Sétif à 0,28 pour le système CérPT des deux régions (fig. 2.59).

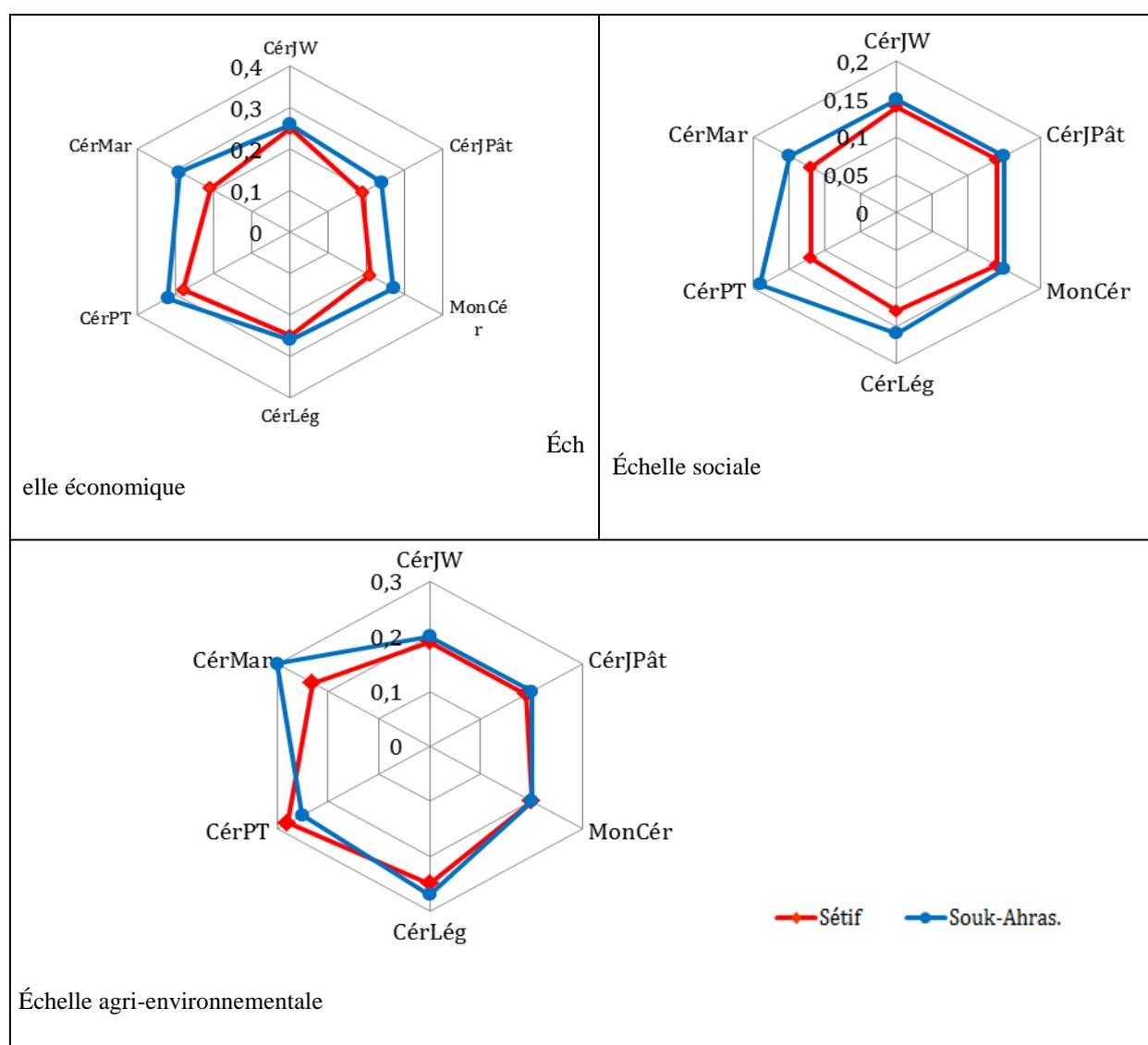


Figure 2.59 Contribution des trois échelles au DD en fonction des systèmes de culture dans les deux régions d'étude.

Le système MonCér pratiqué dans la région de Souk-Ahras a la plus faible contribution avec un taux de 29%, alors que le système CérPT de Sétif et les systèmes CérJPât et CérLég de la région de Souk-Ahras ont la plus grande contribution (37%). Entre région, des différences significatives à la faveur de la région de Souk-Ahras ont été trouvées (tableau 2.27). Pour l'échelle agri-environnementale 5 SdC des 6 étudiés dans les deux régions ne présentent pas des différences significatives, le système céréales- culture maraichères fait l'exception où une différence hautement significative ($P < 0,001$) a été révélée. Pour l'échelle économique 4 systèmes des 6 rencontrés présentent des différences significatives. Le système céréales jachère travaillée et céréales légumes secs des deux régions ont la même contribution au développement durable. Par contre pour l'échelle sociale la contribution des 4 systèmes (CérJW, CérJPât, MonCér et CérMar) ne présentent pas des différences significatives entre les deux régions, ce qui confirme la faible implication sociale des systèmes à base de céréales dans les hautes plaines algérienne. Les deux autres systèmes sont mieux impliqués socialement dans la région de Souk-Ahras que Sétif, avec des P value de 0,034 et de $< 0,001$ pour CérLég et CérPT consécutivement.

Tableau 2.27: Comparaison des valeurs prises par les trois échelles (Moyenne \pm écart type) dans les deux régions d'étude. (Les lettres différent indiquent une différence significative entre les moyennes à $p < 0,05$)

| | | CérJW | CérJPât | MonCér | CérLég | CérPT | CérMar |
|----------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| DE_Eco | Sétif | 0,25 \pm 0,01a | 0,19 \pm 0,02a | 0,21 \pm 0,02a | 0,25 \pm 0,02a | 0,28 \pm 0,01a | 0,21 \pm 0,03a |
| | SA. | 0,26 \pm 0,01a | 0,24 \pm 0,01b | 0,27 \pm 0,02b | 0,26 \pm 0,01a | 0,32 \pm 0,01b | 0,29 \pm 0,03b |
| P value | | 0,60 | 0,011 | 0,014 | 0,078 | 0,010 | 0,018 |
| DE_Soc | Sétif | 0,14 \pm 0,01a | 0,14 \pm 0,01a | 0,14 \pm 0,01a | 0,13 \pm 0,01a | 0,12 \pm 0,01a | 0,12 \pm 0,01a |
| | SA. | 0,15 \pm 0,01a | 0,15 \pm 0,01a | 0,15 \pm 0,01a | 0,16 \pm 0,00b | 0,19 \pm 0,02b | 0,14 \pm 0,00a |
| P value | | 0,246 | 0,363 | 0,321 | 0,034 | $< 0,001$ | 0,041 |
| DE_Aec | Sétif | 0,19 \pm 0,01a | 0,19 \pm 0,01a | 0,20 \pm 0,01a | 0,25 \pm 0,31a | 0,28 \pm 0,02a | 0,23 \pm 0,02a |
| | SA. | 0,20 \pm 0,01a | 0,20 \pm 0,01a | 0,20 \pm 0,01a | 0,27 \pm 0,02a | 0,26 \pm 0,01a | 0,30 \pm 0,03b |
| P value | | 0,119 | 0,334 | 0,090 | 0,914 | 0,618 | $< 0,001$ |

Pour l'ensemble de la zone d'étude, l'échelle économique a une contribution moyenne de l'ordre de 45% à la durabilité globale, suivie par l'échelle agri-environnementale avec une contribution moyenne de l'ordre de 38%, la dernière échelle affiche la contribution la plus basse avec uniquement 17% pour l'ensemble de système de culture (fig.2 60). Cependant la première échelle présente une grande fluctuation entre exploitations (CV 42%), cela est dû à

la grande diversité des pratiques recensées chez les agriculteurs. La contribution de l'échelle agri-environnementale présente une certaine homogénéité entre systèmes et entre zones, avec des contributions comprises entre 32 et 42% et un coefficient de variation de l'ordre de 7%. Entre région les mêmes tendances sont toujours préservées et l'ordre de contribution des échelles au DD est toujours maintenu.

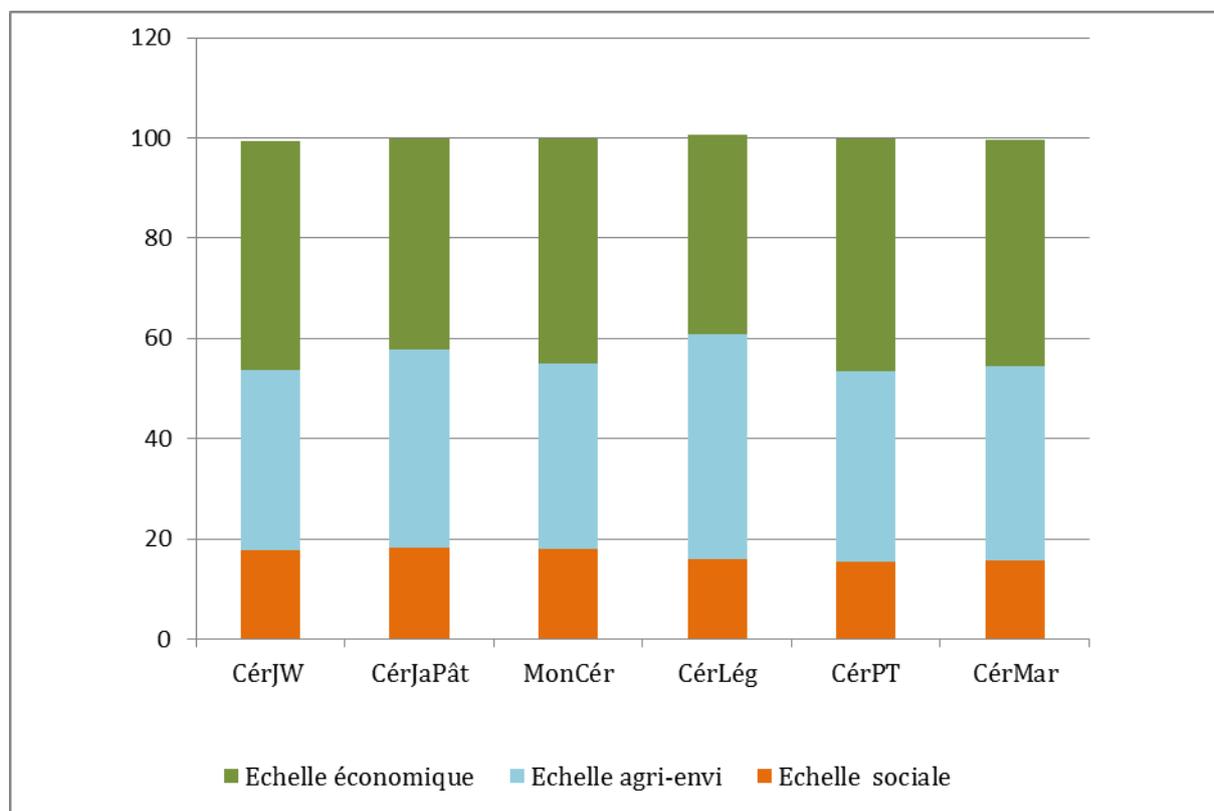


Figure 2.60 Contribution des trois échelles au développement durable.

3.5 Durabilité globale par système de culture

Le calcul de la durabilité globale dans la zone d'étude affiche une contribution moyenne de l'ordre de 0,56/1 (fig. 2.61, tableau 2.28). Entre région une différence significative ($p = 0,02$) à la faveur de la région de Souk-Ahras a été trouvée, la région de Sétif avec une contribution au DD de l'ordre de 0,54/1 se montre moins durable. Selon le système de culture, le système céréales pomme de terre a la plus grande contribution au développement durable dans les deux régions (0,65/1) suivi par le système céréales maraichage 0,59 et céréales légumes secs 0,57/1. Les deux derniers systèmes (CérJPât et MonCér) constituent un groupe appart (groupe b) avec une durabilité moyenne de 0,53/1 pour le premier et 0,50/1 pour le deuxième SdC.

Tableau 2.28 Comparaison de la durabilité en fonction des systèmes de culture. Les lettres (a,b...) représentent le test de signification de l'ANOVA à un facteur ($p < 0,05$).

| SdC | CérJW | CérJPât | MonCér | CérLég | CérPT | CérMar |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| Dg zone | 0,55±0,11a | 0,53±0,12ab | 0,50±0,12b | 0,57±0,13a | 0,65±0,19c | 0,59±0,11ac |
| Dg SA | 0,57±0,17 | 0,54±0,07 | 0,50±0,10 | 0,61±0,17 | 0,66±0,13 | 0,61±0,13 |
| Dg Sétif | 0,53±0,11 | 0,50±0,19 | 0,49±0,09 | 0,55±0,14 | 0,67±0,17 | 0,57±0,11 |
| P value | 0,014 | 0,022 | 0,230 | <0,001 | 0,549 | 0,037 |

L'importance accordée aux indicateurs économiques, fait que le système CérPT qui a une très bonne efficacité économique est le plus durable que les autres. Le système CérLég qui vient en troisième place mérite d'être développé, car en terme d'emblavure ce système est pratiqué sur de grandes surfaces et par un nombre élevé d'agriculteurs, le premier système, malgré sa bonne contribution, est limité dans le temps (il se pratique 1 fois sur 5 ans sur la même parcelle), et dans l'espace (il est réservé au périmètre irrigué et pratiqué sur des surfaces qui ne dépassent pas les 10 ha), de même il est pratiqué uniquement par des agriculteurs qui ont des performances économiques capables de couvrir la charge totale assez élevée de la pomme de terre. Il ressort donc que du point de vue faisabilité technique le système CérLég apparaît plus avantageux que le système CérPT.

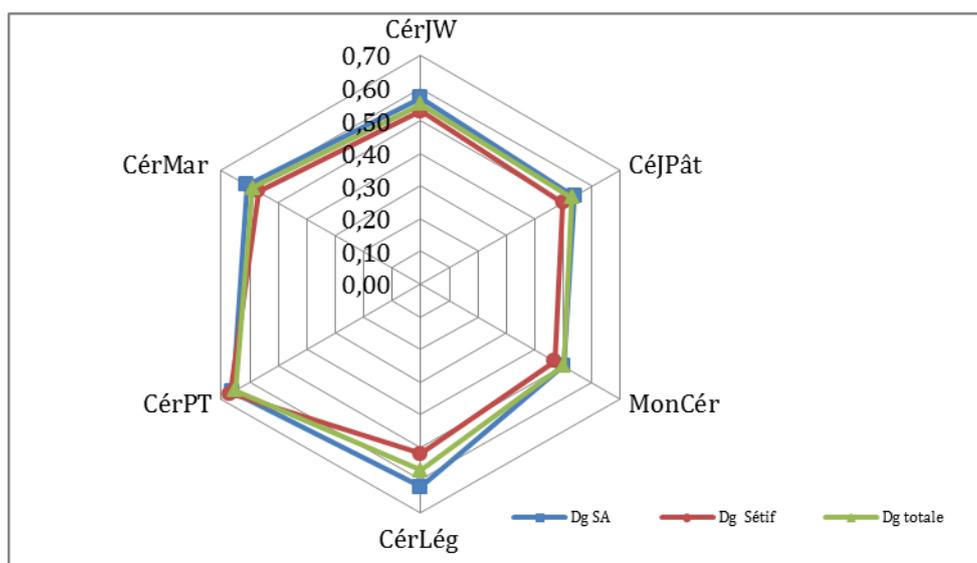


Figure 2.61 Valeurs de la durabilité globale en fonction des 6 systèmes de culture rencontrés.

3.6 Durabilité globale (Dg) selon les parties prenantes

Comme indiqué précédemment, la durabilité globale Dg a été calculée en fonction des poids assignés par les 5 parties prenantes : chercheurs, agronomes, écologistes, décideurs et agriculteurs. Aux 5 valeurs de Dg calculées, une autre valeur est calculée à la base du poids répartie équitablement entre les 17 indicateurs et les trois échelles qui composent la durabilité. Le test de comparaison des moyennes (tableau 2.29) fait ressortir 3 groupes. Les décideurs et les chercheurs se rangent dans le même groupe que les poids égaux avec une moyenne de 0,55. Les agronomes et les agriculteurs constituent un deuxième groupe dont la moyenne est de 0,61, un groupe intermédiaire est composé d'écologues dont la moyenne est de 0,58. Le rapprochement des résultats entre agriculteurs et agronomes est justifié par le rapprochement des valeurs assignées à certains indicateurs par ces deux parties prenantes.

Tableau 2.29 Comparaison de la durabilité en fonction des parties prenantes. Les lettres (a,b...) représentent le test de signification de l'ANOVA à un facteur ($p < 0.05$).

| parties prenantes | Décideur | Agronomes | Chercheur | Écologues | Agriculteurs | poids égale |
|--------------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| Durabilité globale | 0,54±0,11a | 0,60±0,12b | 0,56±0,12a | 0,58±0,13ab | 0,62±0,19b | 0,56±0,11a |

Les valeurs de Dg calculées à la base du poids assigné par les chercheurs et les décideurs se considèrent plus représentatives du fait qu'elles ne se diffèrent pas significativement de la valeur de durabilité globale calculée à partir des poids égaux. Ce résultat est expliqué par le rapprochement des poids assigné par ces derniers pour les indicateurs et les échelles de durabilité (tableau 2.20).

3.6.1 La durabilité des systèmes de culture selon le poids assigné par les parties prenantes

L'analyse des résultats de la contribution des six systèmes de culture au développement durable en fonction des poids assignés par les parties prenantes aux 17 indicateurs et aux trois échelles montre que l'ordre croissant suivant CérJPât, MonCér CérJW, CérMar, CérLég et CérPT est le choix des agronomes, les décideurs et des agriculteurs. Pour les chercheurs et les écologistes, l'ordre suivant leur a été révélé : MonCér, CérJPât, CérJW, CérMar, CérPT et CérLég. Cependant le classement des SdC selon les poids égaux range le système MonCér en

dernière classe suivi par les systèmes CérJPât, CérJW puis le système CérMar, CérLég et en fin le système CérPT (tableau 2.30). Le classement basé sur le poids moyen se concorde avec celui établi par les agronomes, les décideurs et les agriculteurs.

Tableau 2.30 Classement des six types de systèmes de cultures sur la base de l'indice de durabilité global (Dg) calculé avec six ensembles de pondérations différents.

| | Parties prenantes | | | | | | Moyenne |
|----------------|-------------------|------------|--------------|-------------|-----------|-------------|---------|
| | Agronomes | Chercheurs | Agriculteurs | Écologistes | Décideurs | Poids Égaux | |
| CérJW | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| CérJPât | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1,5 |
| CérLég | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 | 4,5 |
| CérPT | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 5,6 |
| CérMar | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4,1 |
| MonCér | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1,5 |

Pour les agriculteurs, moins conscient des effets de la mobilisation de grandes quantités d'intrants, mais soucieux des revenus économiques importants, le système céréale pomme de terre leur convient. Les écologistes et les chercheurs cherchent à préserver la capacité de production des systèmes à long terme tout en maintenant des revenus acceptables pour l'agriculteur, le système céréales légumes sec peut répondre à leurs attentes par les avantages agronomiques et écologiques qu'il offre. Cependant le faible recours à ce système constitue un défi à soulever. De l'autre côté les systèmes CérJW, CérJPât, MonCér très bien ancrés dans les zones étudiées où ils représentent 72% des parcelles enquêtées et 94% de la surface agricole emblavée affichent des contributions faibles à modérées. L'amélioration de ces systèmes constitue un grand pas dans la modernisation de l'agriculture algérienne.

4 Discussion

4.1 Avantages, aspects critiques de la méthodologie

4.1.1 Indicateurs, fonctions de durabilité et méthodes d'agrégation

La concentration des informations liées à la gestion des systèmes de culture dans différents indicateurs constitue le point fort de cette méthode du fait que la diversité des modes de conduite, l'effet à court, à moyen et à long terme des pratiques et les évolutions possible rendent difficile l'évaluation des SdC (Castoldi et Bechini, 2010). L'utilisation d'une approche quantitative basée sur une équation de durabilité nous a fourni une évaluation précise, transparente et reproductible. Cette méthode nous a permis d'agrégier plusieurs données relatives au mode de gestion des systèmes de culture dont l'impact agri

environnementale et socio-économiques est grand. Cependant les critères du choix des indicateurs mobilisés pour la réalisation de cette évaluation qui sont i) la pertinence, ii) l'aspect quantitatif de l'indicateur et iii) la facilité d'obtention des données par le biais d'entretiens directs avec les agriculteurs (en évitant les mesures directes), ouvre droit à d'autres indicateurs remplissant les critères précités à rejoindre la liste des indicateurs choisis. De ce fait l'introduction d'autres indicateurs est fortement recommandée car certaines échelles de durabilité exigent un grand nombre d'indicateurs pour la mise en évidence des interactions au sein des systèmes de culture; C'est le cas de la dimension agri-environnementale représentée par 10 indicateurs dans le présent travail, alors qu'elle est représentée par 20 indicateurs dans la méthode MASC et par 18 dans la méthode IDEA (Craheix *et al.*, 2011 ; Vilan 2008). L'échelle sociale est quant à elle représentée généralement par plus de trois indicateurs (risque sanitaire pour l'applicateur, surcharge de travail, et approvisionnement en matières premières) (Binder *et al.*, 2012 ; Craheix *et al.*, 2011).

Il convient de rappeler aussi qu'un indicateur par définition simplifie la description des processus complexes dans un contexte bien précis et attaché à un système réel. Par exemple, l'indice de couverture du sol qui comptabilise la surface du sol recouvert par une culture pendant un an, n'estime pas les quantités de terre fine perdue par les pluies ou le vent (Pacini *et al.*, 2002), donc il faut un autre indicateur pour quantifier ces pertes. De même, la fiabilité des résultats exige l'utilisation de plusieurs indicateurs, ce qui évite une sous ou sur estimation de l'impact étudié (Castoldi et Bechini, 2010). Par exemple, l'échelle de durabilité sociale est évaluée par trois indicateurs que nous considérons importants: la contribution à l'emploi, la qualité sanitaire des produits et la complexité des interventions culturelles. Ces trois indicateurs ont un effet important sur l'aspect social de l'agriculteur et constituent une préoccupation majeure de la société (Craheix *et al.* 2011 ; Vilain, 2008).

Les méthodes d'évaluation basées sur l'attribution de poids, sont couramment utilisées à plusieurs niveaux d'agrégation. Dans cette étude, nous avons utilisé les poids assignés aux trois échelles de durabilité (De) par les parties prenantes pour comparer la durabilité des systèmes de culture sous plusieurs points de vue. Ces points de vue multiplient les résultats et permettent de choisir le meilleur SdC. On suppose qu'en multipliant les points de vue, la quantification de la durabilité sera plus facile, et la subjectivité liée à la définition de la durabilité sera diminuée (Rowley, 2012 ; Rigby *et al.*, 2001).

L'utilisation de la fonction de durabilité a permis l'obtention d'une évaluation réaliste pour les 6 systèmes de culture avec des changements ponctuels (et non inattendus). Cependant, le choix de la méthode d'agrégation basé sur l'approche additive, été déterminant car cette dernière et plus conservatrice que l'approche multiplicative. L'inconvénient de la deuxième approche (approche multiplicative) réside dans l'effet négatif que peut avoir certains indicateurs qui ont des valeurs faibles ou nulles sur la durabilité globale, même si l'autre indicateur possède des bonnes valeurs. Par contre dans l'approche additive, un très mauvais score d'un indicateur peut être compensé par une valeur suffisamment élevée d'un autre indicateur. Enfin l'adaptation de l'approche multiplicative, pour l'évaluation de la durabilité peut être compromise par la présence des valeurs faibles signifiant la non durabilité des systèmes en question (Nardo *et al.*, 2008 ; Ferraro *et al.*, 2003).

4.1.2 Le choix d'échelles spatiales et temporelles

Le problème du foncier agricole dans la zone d'étude incite les agriculteurs à louer des terres ou à établir des associations avec les propriétaires pour agrandir la taille de leurs exploitations (25% des agriculteurs louent ou travaillent en association) ces actes sont conclus généralement pour des courtes périodes (une année) et souvent soumis à la saute d'humeur du propriétaire, cette situation nous a obligé à choisir la parcelle comme base d'étude (la plus petite unité organisationnelle de l'exploitation), qui est la plus pertinente pour les décisions que les agriculteurs doivent prendre sur les systèmes de culture (Girardin et al. 2000). À cette échelle, il est possible de mettre en évidence les situations extrêmes qui entravent le processus de production (Van Beek *et al.*, 2003). Cependant, l'analyse de la durabilité à l'échelle parcellaire écarte les influences extra parcelles (en termes énergétiques et économiques) des produits végétaux obtenus et stigmatise l'effet additif lié à un système de production mixte (élevage et polyculture). Le changement d'échelle d'étude de la durabilité est le plus souvent lié à une révision vers la hausse des objectifs et attentes des parties prenantes, ce qui nécessite ainsi l'introduction de nouveaux indicateurs pour l'évaluation (Binder et Wiek, 2007) ou l'utilisation des méthodes d'évaluation avec un jeu complet d'indicateurs où la méthode IDEA est fortement mobilisée pour évaluer la durabilité de exploitations agricole dans différente zones Algériennes (Yakhlef *et al.*, 2019 ; Bekhouche-Guendouz, 2011 ; Bir, 2008 ; Ghozlane *et al.*, 2006) .

Comme suggèrent Eckert *et al.* (2000), l'échelle du temps à utiliser pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de production et des systèmes de culture est de 3 ans (une moyenne

de trois années de mesure et d'observation devra suffire). Dans notre cas où la location des terres pour une courte période est une pratique courante (Daoudi et Wampfler, 2010 ; Bouchemel, 1997), les décisions sont prises généralement pour une ou deux campagnes et dans le meilleur des cas trois campagnes, alors que pour les exploitations privées le problème ne se pose pas. Nous supposons ainsi que la réduction de l'analyse à 2 ans est cohérente avec la mise en place des expériences agronomiques traditionnelles ; de plus, l'enquête évoque les divers événements majeurs survenus au cours des 10 dernières années liés aux changements des modes de conduite des SdC (introduction ou abandon de cultures, augmentation ou diminution de la dose de semis, la dose d'azote, ect.). Cependant le calcul des indicateurs économiques a été fait à la base des prix des intrants et des produits agricoles des trois dernières années pour les 260 exploitations étudiées. Ces données sont facilement collectées auprès des agriculteurs qui sont généralement les dirigeants des exploitations, ces derniers connaissent bien les différentes évolutions qu'a connu leurs unités de production et les itinéraires techniques pratiqués pour chaque parcelle, de la préparation du sol jusqu'à la vente des produits. Par contre pour d'autres données tel que la dose de semis, la dose d'engrais apportées, pesticides et charges de mécanisation exigent la présence d'une fiche de suivi des champs, ce qui n'est pas le cas chez la majorité des agriculteurs enquêtés. Ces variables sont renseignées et déduites selon les réponses des agriculteurs ce qui présente un certain degré de subjectivité.

4.1.3 Seuils de durabilité et le choix des parties prenantes.

Il est clair qu'une grande incertitude était inhérente à notre analyse ; le choix des seuils a rendu la fonction de durabilité assez subjective en utilisant les valeurs issues de la bibliographie, la médiane ou les quartiles. La vérification de l'adaptabilité de la fonction de durabilité a été réalisée en recalculant les rangs de 6 systèmes de culture en définissant D_{\min} et D_{\max} par l'utilisation des 10^{ème} et 90^{ème} centiles. Nous trouvons ainsi toujours que D_i est plus élevé (en utilisant les nouveaux seuils) dans la plage partiellement durable par rapport au cas où les anciens seuils ont été utilisés (1^{ier} et 3^{ème} quartile) ; de même, D_g a toujours été égale ou supérieur aux nouveaux seuils (annexe III). L'augmentation ne concerne que trois indicateurs de l'échelle économique, un indicateur de l'échelle social et 4 indicateurs de l'échelle agri-environnementale, où la distribution statistique (médiane et quartiles) est le seul critère du choix des seuils. Un classement légèrement différent des systèmes de culture a été trouvé en utilisant les nouveaux seuils avec les poids assignés par les parties prenantes (Annexe III). La monoculture de céréales est le SdC qui présente de faibles valeurs de

durabilité pour toutes les parties prenantes, alors que les valeurs du tableau 2.30 montrent que ce système de culture occupe la même place que la jachère pâturée dont la moyenne de classement est de 1,5. La jachère travaillée occupe une position intermédiaire parmi les six systèmes de culture, que ce soit pour le premier seuil ou ceux calculés à la base des 10^{ème} et 90^{ème} centiles. Le système CérLég affiche les meilleures valeurs de D_g (première classe) pour quatre parties prenantes alors que les résultats du tableau 2.30 montrent que ce système n'occupe la première classe que pour les chercheurs et les écologistes. Il ressort donc que le choix des seuils est une phase importante et décisive dans le processus d'évaluation (Castoldi et Bechini, 2010). De ce fait des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mener à bien cette tâche. La distribution statistique des indicateurs est une pratique courante pour déterminer les valeurs maximales des indicateurs. Par exemple, Reig-Martinez *et al* (2011) recommandent l'utilisation des valeurs cohérentes avec le contexte et les performances des systèmes de culture, en tenant compte de la distribution statistique et des normes de la région dans laquelle l'évaluation est réalisée. Liebig *et al.*, (2001) ont défini la valeur seuil comme étant la valeur la plus élevée (ou la plus faible, en fonction du type d'indicateur) mesurée dans la population et choisie à la base des paramètres statistiques tel que la médiane, quartiles ou centiles. Pour ce travail, le recours aux quartiles et à la médiane pour fixer des seuils de plusieurs indicateurs constitue un point fort de cette méthode comme c'était le cas pour l'échelle agri-environnementale (sauf les indicateurs MO, SC, Ass, GRE), pour l'ensemble des indicateurs constituant l'échelle économique et pour tous les indicateurs de l'échelle sociale sauf l'indicateur CIC.

Les nouvelles valeurs de ces indicateurs, donnent ainsi une distribution plus ou moins différente de D_g (fig. 2.61) ; cette différence est le résultat de l'effet de compensation entre les indicateurs constituant les trois échelles de durabilité. À titre d'exemple, les systèmes CérPT et CérMar mobilisent plus d'intrants ce qui se traduit par une valeur D_i faible pour l'indicateur CT, mais ces deux systèmes ont des valeurs D_i élevées pour l'indicateur produit brut (tableau 2.25 et 2.26). Ceci a engendré une bonne contribution de l'échelle économique des deux systèmes.

4.2 Comparaison des systèmes de cultures

Parmi les 6 systèmes de culture étudiés, le système céréales pomme de terre détient la première place, avec un revenu économique très élevé en raison de la fluctuation des prix à la faveur des agriculteurs, ces dernières années. La deuxième année, le blé qui vient après

pomme de terre est conduit selon, un itinéraire technique qui comprend deux passages par le cover-crop pour obtenir enfin des rendements nettement supérieurs à la moyenne nationale (Benniou *et al.*, 2014). Les agriculteurs sont conscients de l'effet précédent de la pomme de terre, cette culture est exigeante en fumure organiques, en engrais et en eau mais elle laisse un sol bien structuré avec des reliquats d'éléments fertilisants qui est le résultat d'une sur-fertilisation de la culture. Les bonnes valeurs prises par l'échelle économique sont anéanties par celles prises par l'échelle agri-environnementale dont les valeurs sont faibles (tableau 2.25 et 2.26) du fait que cette culture est très exigeante en ressources naturelles et intrants (eau, énergie, engrais et pesticides). Le fort recours aux pesticides est traduit le plus souvent par des valeurs en IFT élevées due au surdosage et par conséquent, une valeur Di faible pour l'indicateur IFT. L'effet de compensation inter et intra échelles classe le système CérPT en premier rang (ordre décroissant) (tableau 2.30). Cet effet est responsable de l'arrangement de système CérMar en deuxième position. Le système CérLég bien qu'il a de bonnes valeurs pour plusieurs indicateurs de l'échelle agri-environnementale, occupe la troisième place vue ces performances économiques modérées. Ce système constitue un groupe appart avec le système CérMar avec une contribution moyenne de l'ordre de 0,58/1. Le système MonCér, occupe la dernière place avec une contribution au développement durable de l'ordre de 0,50/1. Ce dernier affiche des performances économiques et sociales faibles.

Les systèmes CérPT et CérMar bien qu'ils affichent la bonne contribution au DD, ils ne sont pratiqués que sur une surface de 84,7ha (0,75% de la surface objet d'enquête), ces deux systèmes sont exigeant en eaux, intrants, mains d'ouvres et en technicité, ces exigences constituent un handicap à leur extension. Le débouché constitue un autre problème qui entrave la généralisation de ces systèmes, de fait que les surfaces cultivées de pomme de terre ou de maraichages sont étroitement liées au prix de vente de ces derniers (Bessaoud, 2019). La forte fluctuation des prix de ces produits influe la sole de ces cultures. Par contre le système CérLég qui occupe une surface de 242,5 ha (2% de la surface visitées), et dont la contribution au développement durable est acceptable (fig.2.60) profite de la politique agricole basée sur la résorption de la jachère par l'introduction des légumineuses alimentaires. Les deux systèmes basés sur la rotation céréales jachère occupent la part de lion en matière des emblavures où plus de 90% des sols des exploitations étudiées sont occupés par des céréales tous types confondus suivi par une jachère. La contribution de ces deux systèmes au DD est jugée faible, la jachère qui fait partie intégrante de ces systèmes constitue

un frein au développement de la céréaliculture et par conséquent le secteur agricole (Omari *et al.*, 2012). La combinaison de l'élevage ovin avec la céréaliculture dans ces zones, caractérisées par des sols fragiles et des précipitations faible accentue le problème de la jachère. La jachère pâturée qui assure 9% de l'offre totale de fourrage (Abbas et Abdelguerfi, 2005) ne cesse pas d'augmenter au détriment de la jachère travaillée. Du point de vue contribution au DD, ces systèmes appartiennent à deux groupes différents (tableau 2.29).

La monoculture des céréales se concentre dans les exploitations qui souffrent de problèmes fonciers (SAU réduite, terre de location ou en association). Dans le cas de location ou du travail en association, le propriétaire impose au locataire ou l'associé l'itinéraire technique y compris le choix de la culture. Ce système se caractérise par des performances économiques faibles, un recours modéré au désherbage, une faible implication sociale dont la qualité sanitaire et une diversité réduite. La conjugaison de tous ces facteurs range ce système en dernière classe ($D_g = 0,50 \pm 0,12$), la persistance de ce système se considère comme une adaptation à la contrainte foncière car sa contribution au développement durable est jugée insatisfaisante.

Le système CérLég affiche une bonne contribution pour les échelles économiques et agri-environnementale (tableau 2.29). La céréale est conduite d'une manière sommaire la première année, la deuxième année de la légumineuse, un labour profond est effectué suivi par des apports d'engrais de fond et des travaux superficiels. L'effet de la légumineuse se manifeste l'année suivante ; des performances agronomiques de la culture en place se manifestent par bon rendement. Une réduction de travail de sol et de la fertilisation azotée pour la céréale est envisageable, cette réduction aura de bons effets agri-environnementales. La viabilité économique de ce système est maintenue par une marge brute (MB) bonne, par une réduction des charges totales et une augmentation du produit brute due aux prix élevés des légumineuses à grains (7000 da /q pour la lentille).

Néanmoins, l'absence de données sur la teneur du sol en azote et le reliquat d'azote à la sortie d'hiver (RSH) peut exposer la culture à la sur-fertilisation, et met la qualité des eaux en doute (pollution par les nitrates). La vérification de cette hypothèse nécessite la réalisation d'analyse et de mesure ce qui se contredit avec les critères de choix des indicateurs retenus dans cette thèse. À part les performances précitées du système CérLég, ce dernier est soutenu par le programme de résorption de la jachère lancé par l'État, depuis 2008 dont l'objectif est la substitution de la jachère par une légumineuse alimentaire pour, améliorer la production des

céréales, faire face au problème de surface agricole utile et abaisser la facture d'importation des légumes secs (Bessaoud *et al.*, 2019). La non maîtrise de l'itinéraire technique et l'indisponibilité des semences constituent un frein à la généralisation de ce système en zones semi-arides.

Bien que la jachère soit pratiquée à des fins purement agronomiques en l'occurrence conserver l'humidité du sol, ce rôle est toutefois conditionné par la profondeur de celui-ci, le volume des précipitations et les dates de la préparation (Sébillotte *et al.* 1993). Cette conservation est également conditionnée par le taux d'infestation par les mauvaises herbes. Cependant, ces conditions ne sont pas réunies dans les zones semi-arides algériennes caractérisées par des précipitations faibles et irrégulières et en particulier par des sols peu profonds (Fenni, 2013 ; Abbas et Abdelguerfi, 2005). Une forte infestation des jachères par des plantes adventices est toujours observée, ces dernières sont le plus souvent utilisées comme parcours. Le passage d'un outil de travail superficiel malgré qu'il soit nécessaire, il est très peu pratiqué. Toutes ces contraintes font que la jachère travaillée ou pâturée ne répond pas aux attentes des parties prenantes dont celles des agronomes et décideurs.

4.3 Comparaison entre régions

La différence significative entre les deux régions d'étude pour la durabilité globale Dg (tableau 2. 28) est due aux degrés d'intensification des systèmes de culture dans la région de Souk-Ahras d'un côté et le poids accordé par les parties prenantes aux indicateurs des différentes échelles de durabilité. Le degré d'intensification se manifeste chez les agriculteurs locataires qui représentent 25% des exploitants visités dont 85% à Souk-Ahras. Ces derniers adoptent un itinéraire complet avec des nouvelles techniques en l'occurrence l'avancement des dates de semis, l'augmentation de la dose de semis et des quantités d'azote apportées.

Entre les systèmes de culture, 4 des 6 systèmes affichent une différence significative entre les deux régions (tableau 2.28), les systèmes MonCér et CérPT pratiqués dans les deux régions ne se différencient pas significativement. Les grandes ressemblances des modes de conduite de ces deux systèmes dans les deux régions dont les influences climatiques et les caractéristiques édaphiques, sociologiques et même historiques expliquent ce résultat.

4.4 Conclusion

Le foisonnement des méthodes d'évaluation pose le problème de pertinence et d'adaptabilité de la méthode choisie. L'intégration des 17 indicateurs dans les trois échelles de durabilité

pour avoir une seule valeur D_g , nous oblige à choisir une approche basée sur une fonction de durabilité qui convertit les valeurs des indicateurs en indice de durabilité global compris entre 0 et 1. L'utilisation de l'approche additive pour l'agrégation des données nous a permis de préserver la variabilité existante entre les indicateurs et entre les systèmes de culture. L'implication des parties prenantes (agriculteurs, chercheurs, agronome, décideurs et écologistes) avec les pondérations attribuées à chaque indicateur et à chaque échelle de durabilité permet de comparer la durabilité de plusieurs points de vue. Cette implication offre la possibilité d'élargir le nombre de parties prenantes ou d'appliquer cette méthode à d'autres systèmes de production.

Les systèmes de culture à base de céréales occupent la grande partie de la SAU et assurent l'essentiel de la production végétale dans la région de Sétif et Souk-Ahras. La contribution des systèmes de culture au développement durable affiche une moyenne de 0,56, avec une différence significative entre les deux régions à la faveur de la région de Souk-Ahras. Les 6 systèmes de culture recensés se répartissent en 5 groupes. Le système CérPT se distingue des autres par une contribution de l'ordre de 0,65 suivi par le système CérMar avec une contribution évaluée à 0,59, puis le système CérLég dont la contribution est de l'ordre de 0,57. Les trois derniers systèmes ont des contributions de l'ordre de 0,55, 0,53 et 0,50 pour CérJW, CérJPât et MonCér consécutivement. La contribution de l'échelle économique s'avère décisive dans ce classement. Le système CérLég avec les intérêts agro-écologique et économique qu'il offre à court et à moyen terme mérite d'être généralisé pour substituer la jachère car cette dernière a montré ses limites.

CHAPITRE IV CONCEPTION DES SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS

Introduction

Dans ces dernières années, les objectifs des nouveaux systèmes de production ou de culture ont été réorientés pour répondre aux enjeux du développement durable en l'occurrence soutenir la production à long terme de ces systèmes. Des 17 indicateurs mobilisés pour évaluer la contribution des SdC au développement durable, 5 affichent des contributions très faibles il s'agit des indicateurs : diversité des familles de culture (DFC), diversité des cultures (Div), assolement (Ass), matière organique (Mo) et complexité des interventions culturales (CIC). À part l'amélioration du rendement qui est un objectif partagé par tous les agriculteurs, le processus de conception des systèmes de culture innovants doit contribuer à l'amélioration de la contribution de ces indicateurs au DD. Le contexte semi-aride caractérisé par une disponibilité déficiente en eau conjugué avec des situations de production qui se diffèrent d'une exploitation à une autre rend difficile la tâche de conception. De ce fait deux objectifs majeurs ont été retenus, premièrement la conception des SdC qui s'adapte à une disponibilité en eau limitée et deuxièmement l'amélioration de la contribution des SdC au DD, il s'en est que l'amélioration du rendement est inclut dans les deux objectifs.

1 Décomposition des contraintes et objectifs

1.1 Contraintes

Les champs cultivés ont été l'objet d'un diagnostic qui a porté sur l'état de peuplement végétal cultivé (densité de peuplement, vigueur des plantes, l'envahissement par les plantes adventice et l'état sanitaire). Ce diagnostic donne une appréciation sur la maîtrise des itinéraires technique des cultures en place et une estimation de l'effet du précédent cultural. Ce dernier est complété par un autre diagnostic agronomique sur les 260 exploitations enquêtées et qui a porté sur la détermination des contraintes et atouts offerts par ces agrosystèmes.

Quatre groupes de contraintes à la production des cultures ont été identifiées il s'agit des contraintes naturelles, financières, techniques et foncières, les contraintes naturelles représentées par le climat et le sol sont les plus importants (fig. 2.62). Les contraintes climatiques ont été relevées dans 198 exploitations objet d'enquête (76% des exploitations) dont 101 à Sétif (84%) Sétif et 97 à Souk-Ahras (69%). Dans ces zones semi-arides, les précipitations sont en fluctuation perpétuelle, exposant ainsi les cultures à des conditions hydriques contraignantes.

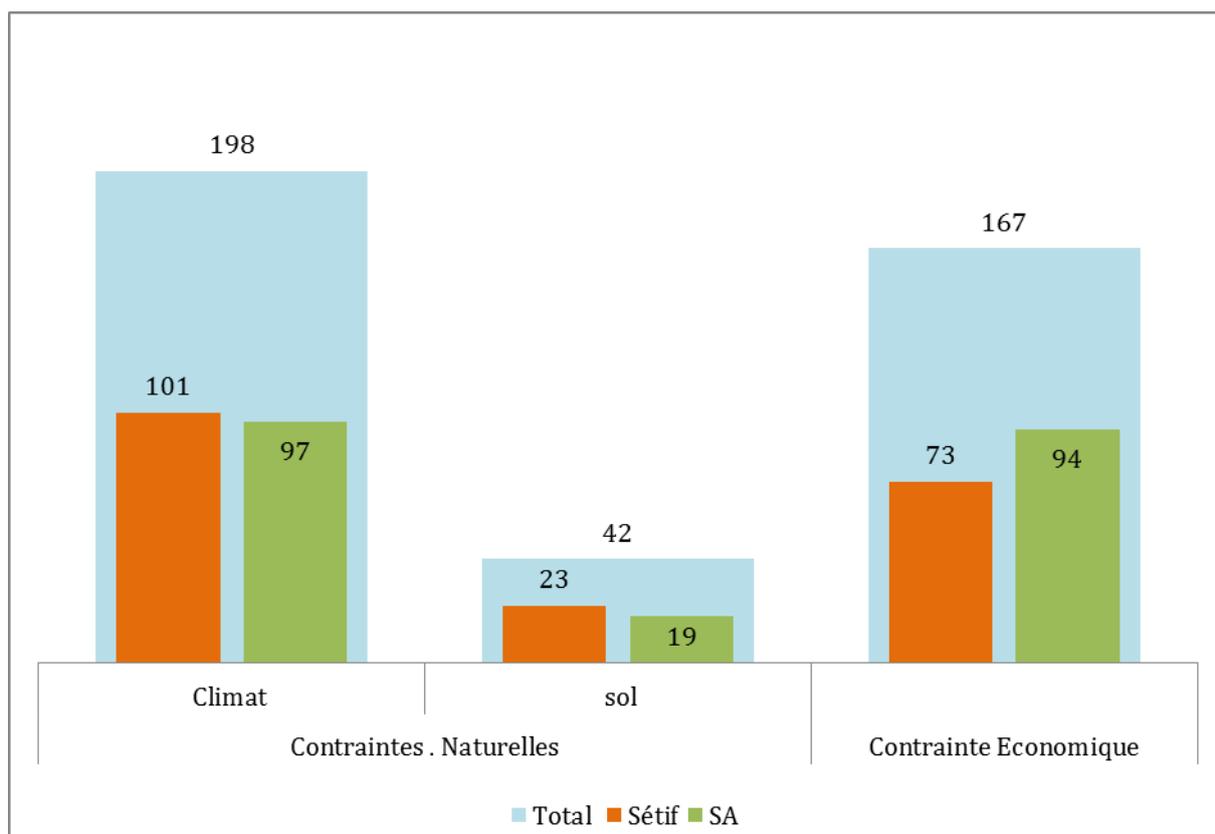


Figure 2.62 Contraintes naturelles et économiques de la production des cultures.

Les contraintes liées au sol (sol calcaire, pierreux ou accidenté) sont plus prononcées à Sétif (23 exploitations) qu'à Souk-Ahras. Les contraintes économiques touchent 167 des exploitations étudiées (82%) et par conséquent elles affectent la capacité d'investissement et la viabilité économique des exploitations. Les contraintes techniques, qui englobent toutes choses capables d'influencer négativement l'itinéraire technique affectent 81% des unités de production enquêtées. Ces contraintes sont liées à l'indisponibilité du matériel, des intrants et de la main d'œuvre, à la non maîtrise de l'itinéraire technique et à l'inadaptation du matériel biologique aux conditions locales. L'indisponibilité du matériel est la contrainte technique la plus prononcée (elle touche 43% des exploitations objet d'enquête). L'indisponibilité des intrants et y compris la semence affecte 39% des exploitations. Cette dernière influe le temps de réalisation des pratiques culturales (semis, désherbage et apport des engrais) et par conséquent le rendement final des cultures. Les contraintes foncières bien qu'elles touchent 32% des unités de production (fig. 2.63), elles contribuent à l'intensification des cultures par des locataires soucieux d'un gain économique élevé, elle maintient également la monoculture de blé qui est techniquement déconseillée. Cette rotation est maintenue par les locataires et

les propriétaires qui travaillent en association avec les agriculteurs sans terre. De ce fait, les contraintes foncières constituent un frein à l'intensification des cultures surtout céréalières. Le problème de la transmissibilité des exploitations par héritage (morcellement des terres entre descendants) accentué de plus l'effet de cette contrainte.

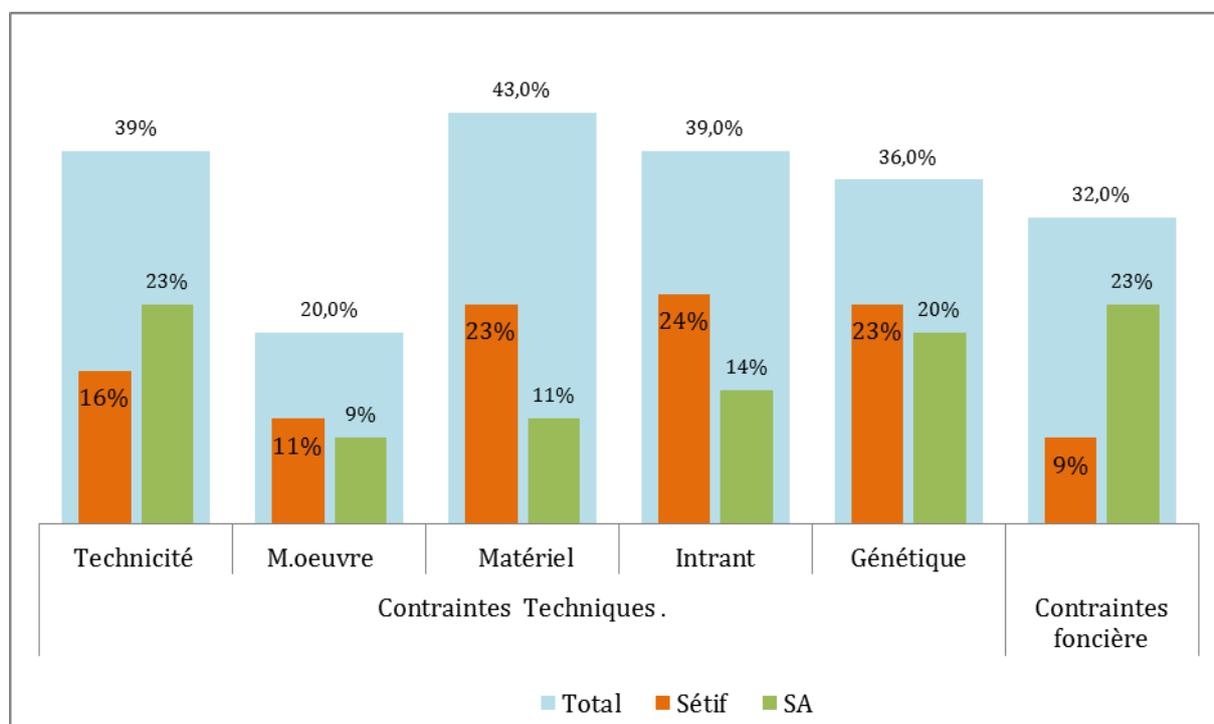


Figure 2.63 Répartition des autres contraintes de la production.

Les contraintes liées à la technicité (maîtrise des itinéraires techniques) ont été évaluées à la base d'un prototype d'ITK. Ce prototype englobe toutes les pratiques culturales nécessaires à la réussite d'une culture des céréales, allant de la préparation du sol jusqu'à la récolte. La cohérence agronomique et la faisabilité technique sont la base de la comparaison entre les itinéraires techniques suivis par les agriculteurs et le prototype choisi. Le mode de préparation du sol, le semis à faible dose et /ou tardif, l'application ou non des engrais, la dose apportée, le stade de désherbage constituent les principales failles rencontrées, ces dernières touchent environ 39% des exploitations.

1.2 Objectifs des agriculteurs

Les objectifs que les agriculteurs veulent atteindre, pour satisfaire leurs attentes, ont été définis d'une manière exhaustive au cours de la réalisation des enquêtes (fig. 2.64). Les

objectives liés à l'acquisition du matériels et l'appropriation des terres seront pas inclus dans la démarche de conception, ils sont le résultat d'une bonne viabilité économique des systèmes de cultures pratiqué. L'objectif lié à l'amélioration de la fertilité du sol a été tiré à partir des pratiques mis en œuvre par les agriculteurs, tels que la suppression du labour, la diminution du nombre de passage, l'incorporation de la matière organique ou l'introduction d'une légumineuse dans la rotation.

Uniquement 63 agriculteurs enquêtés ont pu atteindre les objectifs assignés à leur activité (21% pour Sétif et 23% pour Souk-Ahras). L'amélioration de rendement et par conséquence l'augmentation de la profitabilité économique est l'objectif recherché par 74% des agriculteurs, l'acquisition de nouveau matériel est recherché par 37 agriculteurs et l'appropriation des terres par 15% d'exploitants.

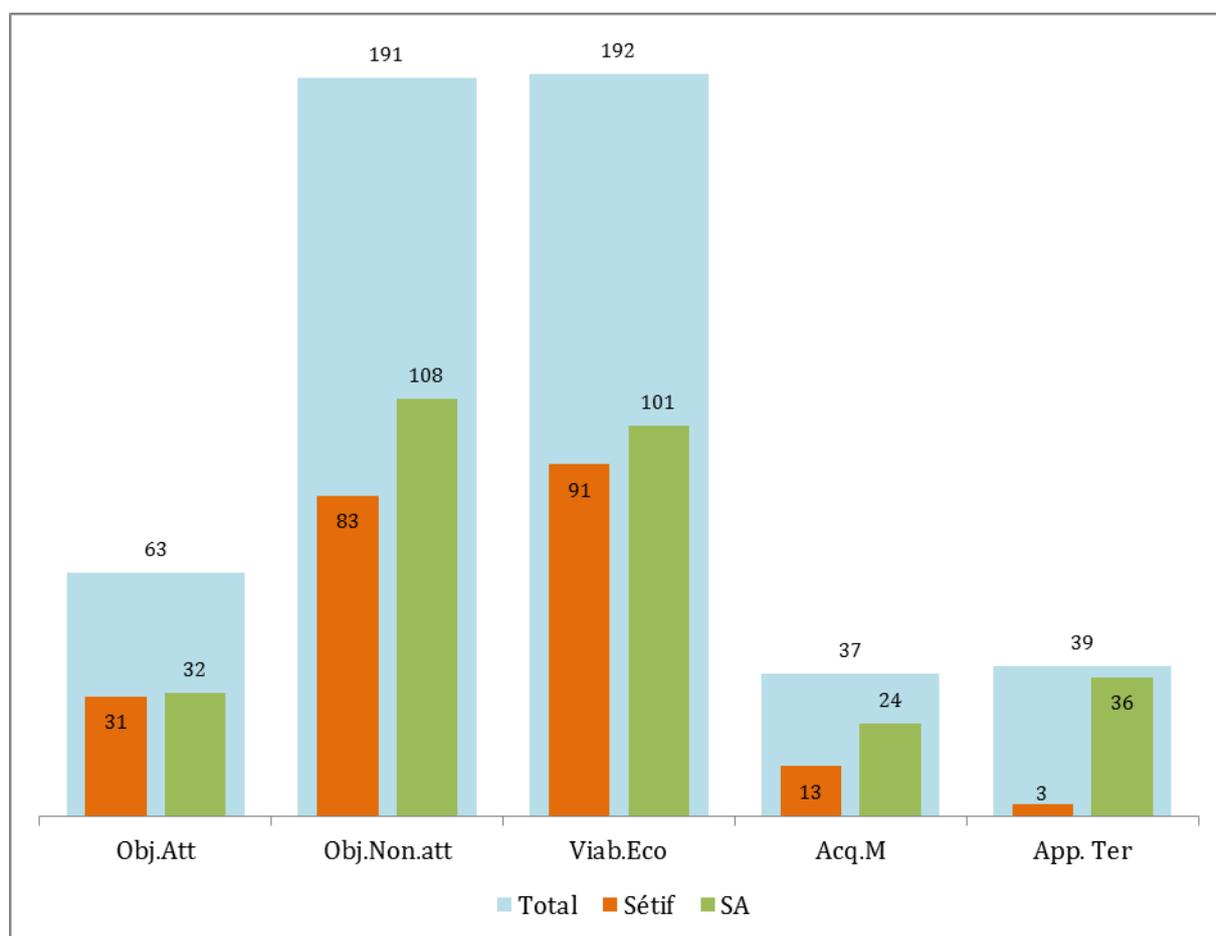


Figure 2.64 Distribution des objectifs assignés par les agriculteurs. (Obj.Att : objectif atteint, Obj.Non.att : objectif non atteint ; Viab.Eco : Viabilité économique ; Acq.M ; Acquisition du matériel, App.Ter : appropriation de terre).

2 Conception des systèmes de culture innovant

2.1 La conception pour s'adapter à un déficit hydrique chronique

Les contraintes naturelles dont le climat constitue un handicap à l'amélioration des rendements et à la diversification des cultures en zones semi-arides. Pour faire face aux déficits hydriques assez fréquents dans ces zones, plusieurs stratégies peuvent être suivies dont l'amélioration de la teneur en eau du sol au semis (fig. 2. 65).

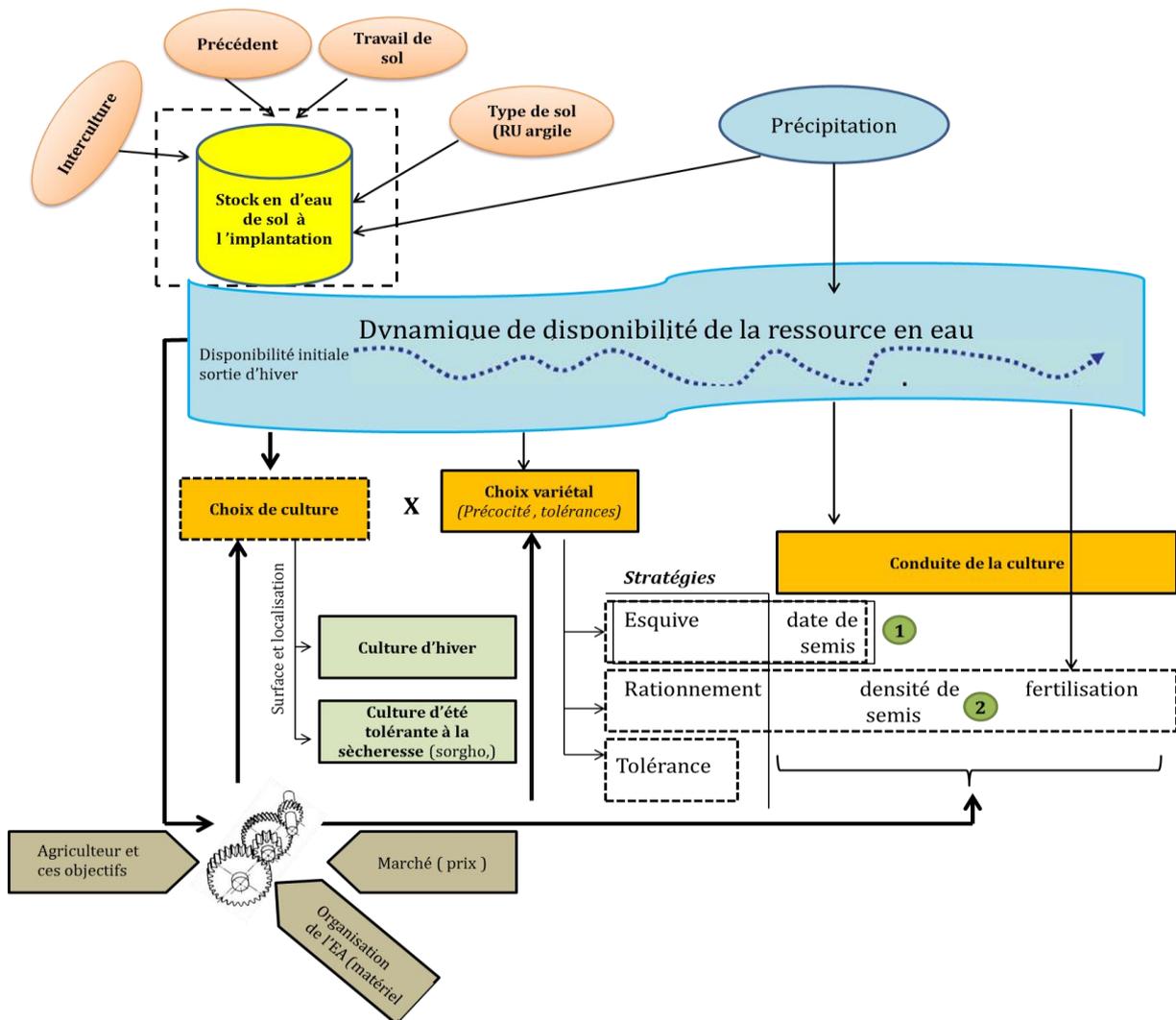


Figure 2. 65 Principales étapes de la conception des systèmes de culture soumis à une disponibilité en eau limitée (Debeak *et al.*, 2008a) (ajusté)

Le teneur en eau au semis joue un rôle important dans la réussite de la levée, de ce fait toute technique capable d'optimiser cette teneur sera sollicitée (Stella, 2019 ; Debaeke *et al.*, 2008 ; Passioura, 2004). La texture du sol, le précédent, le travail de sol et l'inter culture peuvent améliorer la teneur du sol en eau lors des semailles. De ce fait 4 systèmes de culture ont été

conçus puis testés sur terrain (essai système de culture) en concertation avec deux agronomes et 4 agriculteurs. Trois doses et quatre dates de semis avec 3 doses d'azote ont été testés (tableau 2.31). Les innovations introduites concernent la date, la dose de semis, la dose et le fractionnement des apports azotés. Plusieurs atouts et contraintes ont été pris en compte pour le raisonnement ces systèmes en fonction de chaque zone.

Hanancha : Les sols de la région de Hanancha sont des sols argileux lourds avec une bonne capacité de rétention de l'eau. Un avancement de la date de semis de 15 jours a été fait (28 octobre au lieu du 13 novembre). Suite à une période sèche de trois semaines conjuguais avec une forte attaque par les pigeons et les fourmis, nous étions dans l'obligation de refaire le semis après 24 jours le re-semis est réalisé le 20 novembre à raison de 110kg/ha. L'apport de l'azote est maintenu à 100kg d'urée 46% dans un seul apport.

Tableau 2.31 Description des innovations introduit dans les itinéraires techniques.

| zone | SdC Innovant | Précédent | Date de semis de habituelle | Nouvelle date de semis | Dose de semis moyenne | Nouvelle dose de semis (kg/ha) | Fertilisation azotée (kg/ha) |
|-------------------|--------------|-------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Hannancha | SdC2 | Blé dur | 28 Oct. | 13 Oct 7 Nov | 119 | 120 110 | 100 |
| M'darouche | SdC1 | Lentille | 15 Nov. | 15Nov | 131 | 145 | 80 |
| Taoura | SdC3 | Lentille | 6Nov. | 2 Nov. | 134 | 141 | 100 |
| Taoura | SdC4 | Jachère travaillé | 12Nov. | 5Nov. | 134 | 134 | 120 |

M'daourouche : Une augmentation de la dose de semis de 14 kg/ha par rapport à la dose moyenne de cette zone est motivée par un bon précédent cultural (lentille) qui laisse un reliquat d'azote important l'année suivante. Le sol est à texture argilo-limoneuse avec une capacité de rétention bonne, concernant la date de semis elle n'a subi aucun changement. Un deuxième apport d'azote (Urée 46%) au stade montaison nous a apparu bénéfique pour répondre à un besoin accrue causé par une densité de peuplement élevé et des conditions climatiques favorables (fig. 2.66).

Taoura : Les innovations portent sur une augmentation de la dose de semis de 7 kg et un avancement de la date de semis de 4 jours (2 au lieu de 6 novembre) pour la variété Vitron (

SdCi3) et de 7 jours (5 au lieu de 12 novembre) pour la variété Gta Dur (SdCi4), la dose de semis n'a subi aucun changement. La fertilisation azotée de SdCi4 a été fractionnée en deux apports totalisant un apport de 120 kg d'urée 46%. Faute de disponibilité de l'engrais azoté, le premier apport a été réalisé le 13 mars le deuxième apport a été reporté au 21 avril.

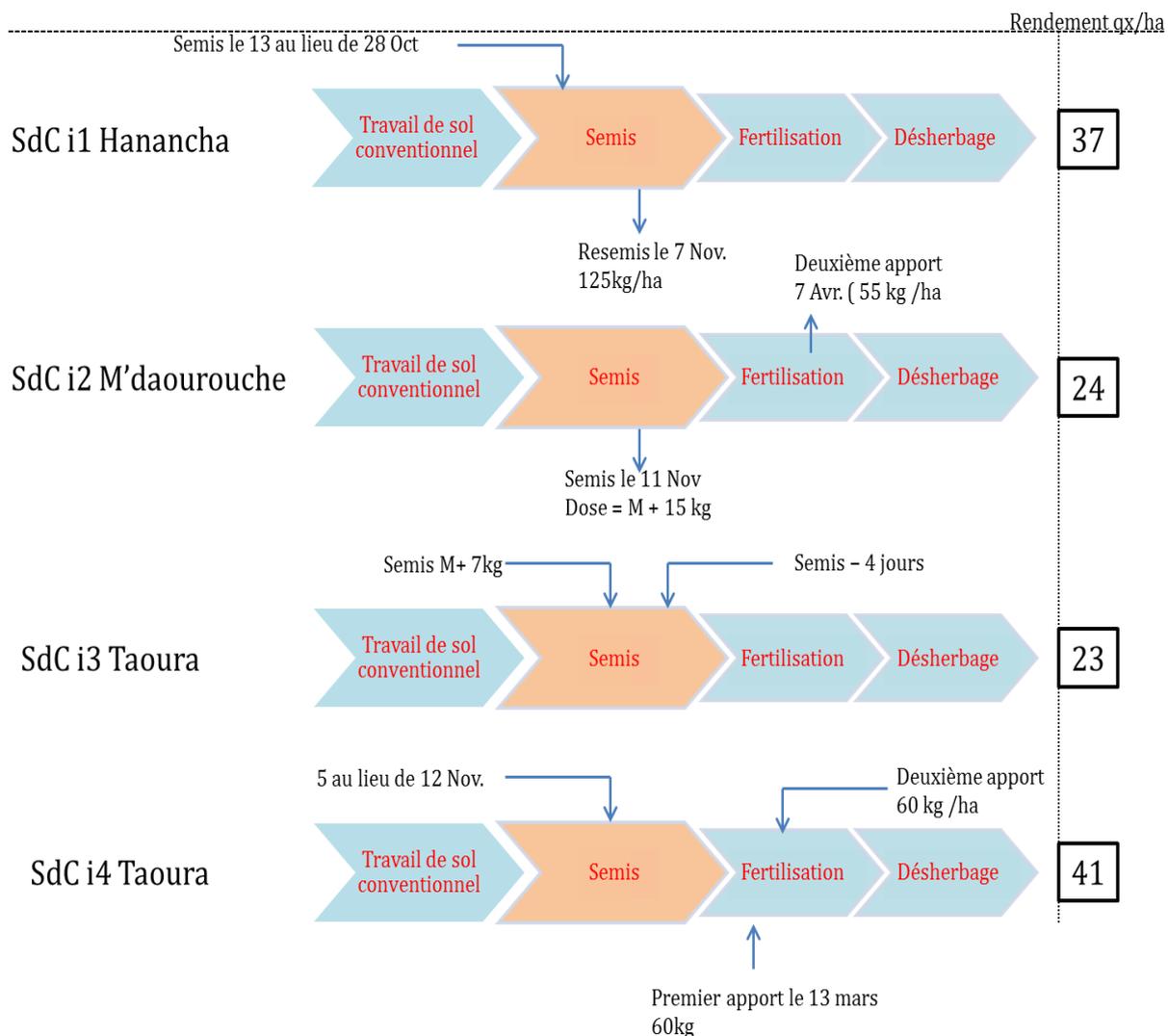


Figure 2. 66 Les innovations apportées aux 4 systèmes de culture conçus.

2.1.1 Le rendement des systèmes de culture innovants testés sur le terrain

Le rendement moyen pour les 4 SdCi est de $31,25 \pm 9,10$ q/ha, la comparaison entre le rendement moyen de la zone et le rendement des systèmes de culture innovants affiche des gains de l'ordre de 16,5 ; 6,2 ; 1,5 et 19,5 q/ha pour le SdCi1, SdCi2, SdCi3 et SdCi4 consécutivement (fig. 2. 67). Les nouveaux systèmes de culture affiche des gains de

rendement de l'ordre de 11 ; 1,5 ; 0,5 et 8 q/ha en comparaison avec les rendements enregistrés dans les exploitations sièges des essais.

L'attribution des gains de rendement au changement apportés à l'itinéraire technique est péjorative du fait que la saison agricole 2017/2018 est bonne de point de vue climatique. Le cumule de précipitation du mois de septembre 2017 au mois de juin 2018 est de 815,58 mm, alors que le cumule moyen pour les 10 dernières campagnes (2007-2016) est de 423 mm. Pour les trois mois (avril, mai et juin) un cumule de 204 mm a été enregistré contre 106mm durant les trois mois des dernières 10 années. De point de vue technique les changements apportés pour chaque système ont une contribution à l'amélioration du rendement. Pour estimer les gains liés aux innovations techniques, il est nécessaire de procéder à des essais "système de culture" à long terme dans les mêmes parcelles et en adoptant les mêmes pratiques.

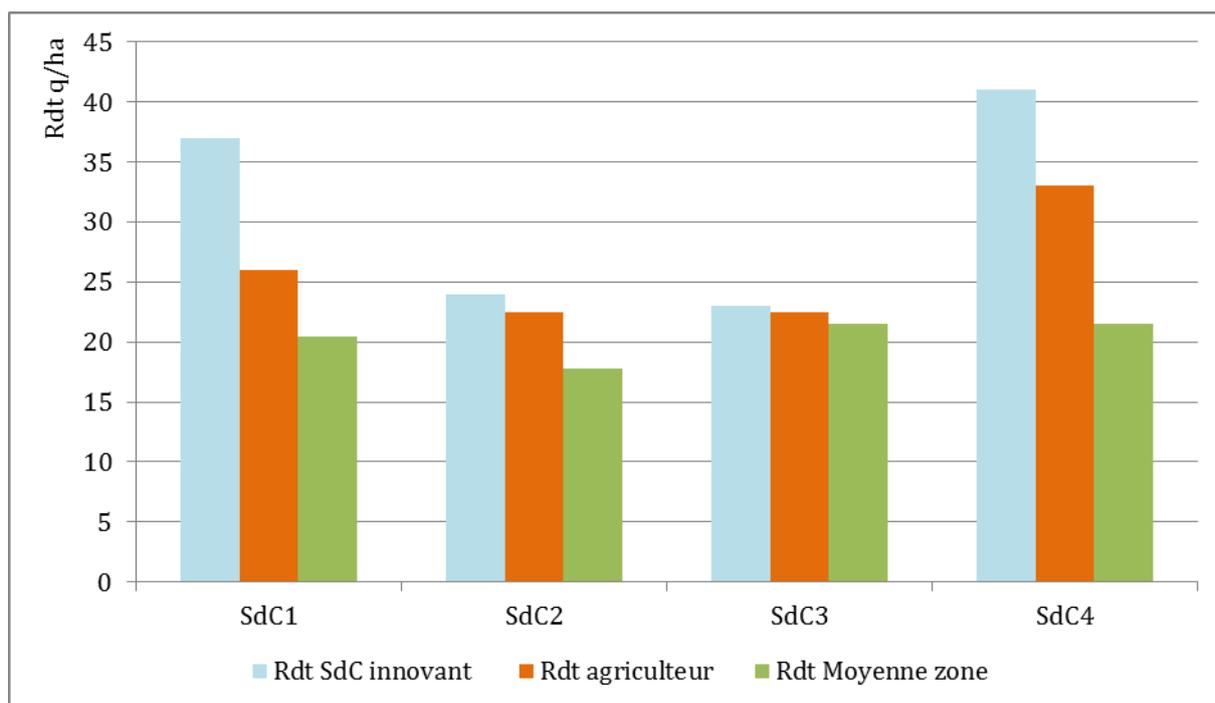


Figure 2.67 Comparaison du rendement des SdC innovants, Rdt Agriculteur et Rdt moyenne zone.

La simulation des 4 SdC par le modèle de culture STICS affiche des rendements de 31, 29, 31 et 43 qx/ha pour les SdCi1, SdCi2, SdCi3 et SdCi4. Le modèle STICS surestime le rendement des quatre systèmes de culture avec une erreur quadratique moyenne (RMSE) de 4,5 et une biais de -2,25.

2.2 La conception pour l'amélioration du rendement et des performances globales du SdC par rapport aux critères de la durabilité (agronomique, économique, environnementale et sociale)

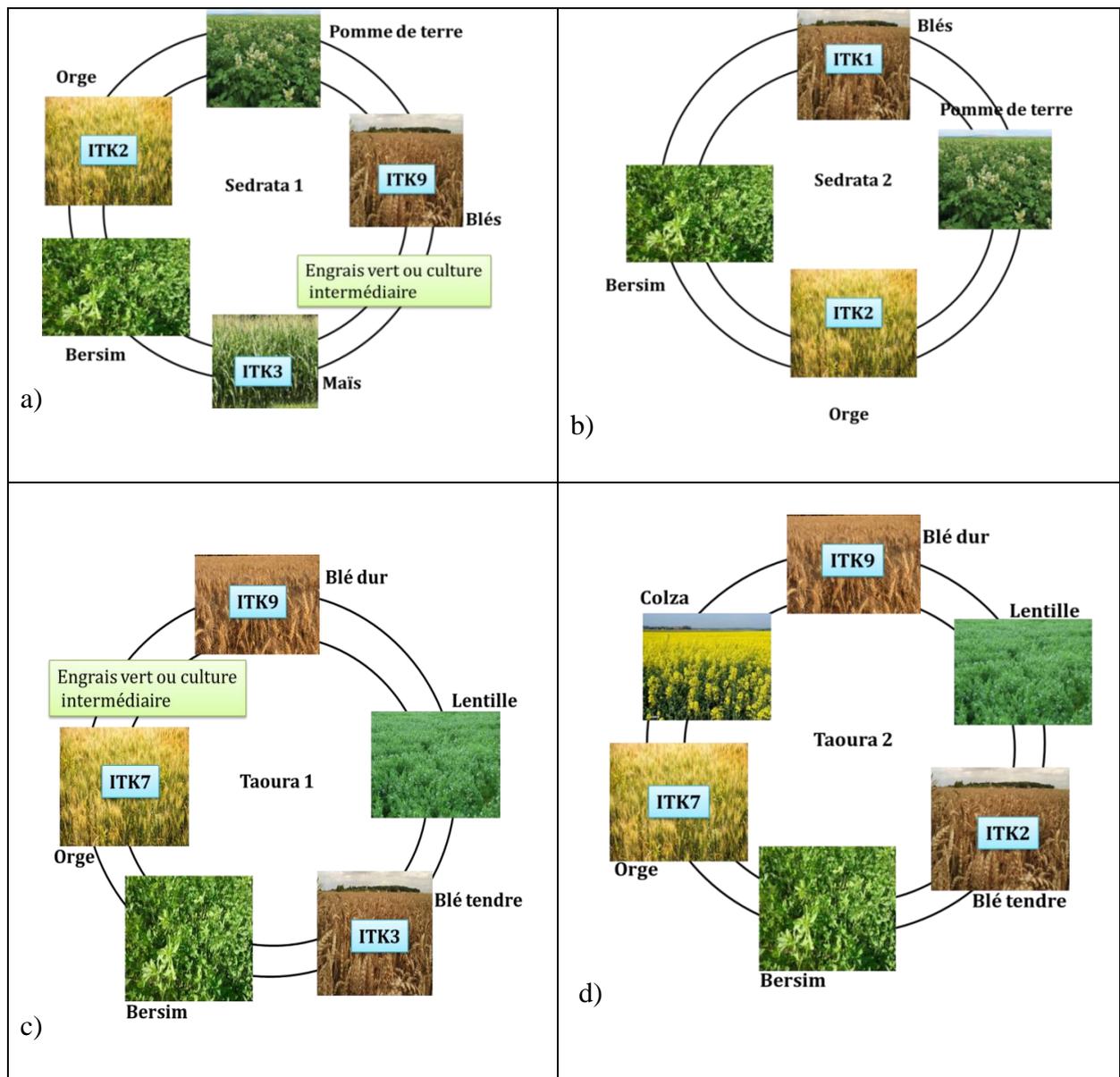
Le rendement est le meilleur indicateur de maîtrise des itinéraires techniques des cultures. Un bon rendement signifie que le système en place est caractérisé par une faisabilité technique et une cohérence agronomique bonne. L'élaboration de ce dernier passe par plusieurs phases ; il commence du nombre de plant /m² et se termine par le poids de mille grains (PMG). Le grand challenge est donc l'estimation des écarts du rendement entre le réel et le potentiel et puis la proposition des solutions qui s'adaptent au contexte de la zone pour réduire cet écart. Ces solutions peuvent s'inscrire dans un contexte plus large afin de répondre aux problèmes de développement durable.

Les résultats du chapitre précédent indiquent que la contribution des systèmes de culture étudiés au développement durable est modérée pour les trois dimensions de la durabilité. Des 17 indicateurs sélectionnés, 5 d'entre eux, appartenant à deux échelles différentes, affichent des contributions au DD très faibles. Il s'agit des indicateurs diversité des familles de culture (DFC), diversité des cultures (Div), assolement (Ass), matière organique (Mo) et complexité des interventions culturales (CIC). Concevoir des systèmes de culture pour améliorer la contribution des indicateurs précités, nécessite l'exploration des nouvelles voies entre autres les rotations longues et l'introduction des nouvelles cultures. Ces derniers ont pour objectif d'assurer des précédents favorables aux cultures de vente afin de dégager une marge convenable pour les agriculteurs et fournir un produit sain aux consommateurs, à travers la réduction de l'utilisation des intrants. Elles doivent également préserver ou améliorer la fertilité du milieu et maintenir la biodiversité tout en limitant les impacts environnementaux.

En zone semi- aride où la jachère est un choix technique imposé par les conditions du milieu peu favorables, par un contexte socioéconomique et historique particulier et par un élevage ovin en extensif, sa substitution par d'autres cultures est possible, les légumineuses alimentaires et le colza se présentent comme les meilleurs candidates. De ce fait 8 systèmes de culture ont été sélectionnés à partir de plusieurs SdC générés par le modèle STICS, ces derniers comportent des rotations longues incluant de nouvelles cultures dont le colza, le maïs, ou un engrais vert. Les systèmes innovants sont destinés aux communes de Taoura, M'daourouche, Merahna et Sedrata. Le choix de ces dernières est motivé en premier lieu par la disponibilité des données liées au sol (analyse de 17 échantillons de sol) nécessaire au

paramétrage de modèle STICS. En deuxième lieu la disponibilité d'une plateforme expérimentale dans les trois premières communes ainsi que l'existence d'un périmètre irrigué à Sedrata.

Les 8 systèmes de culture choisis pour les 4 communes (fig.2. 68) font l'objet d'une évaluation ex-ante. Les données de sortie sélectionnées concernent le taux de couverture du sol (CS) et rendement en grain pour céréales et lentille et le rendement de la pomme de terre. La biomasse du colza et la luzerne et de la paille des céréales sont fournies par le modèle en fin de saison.



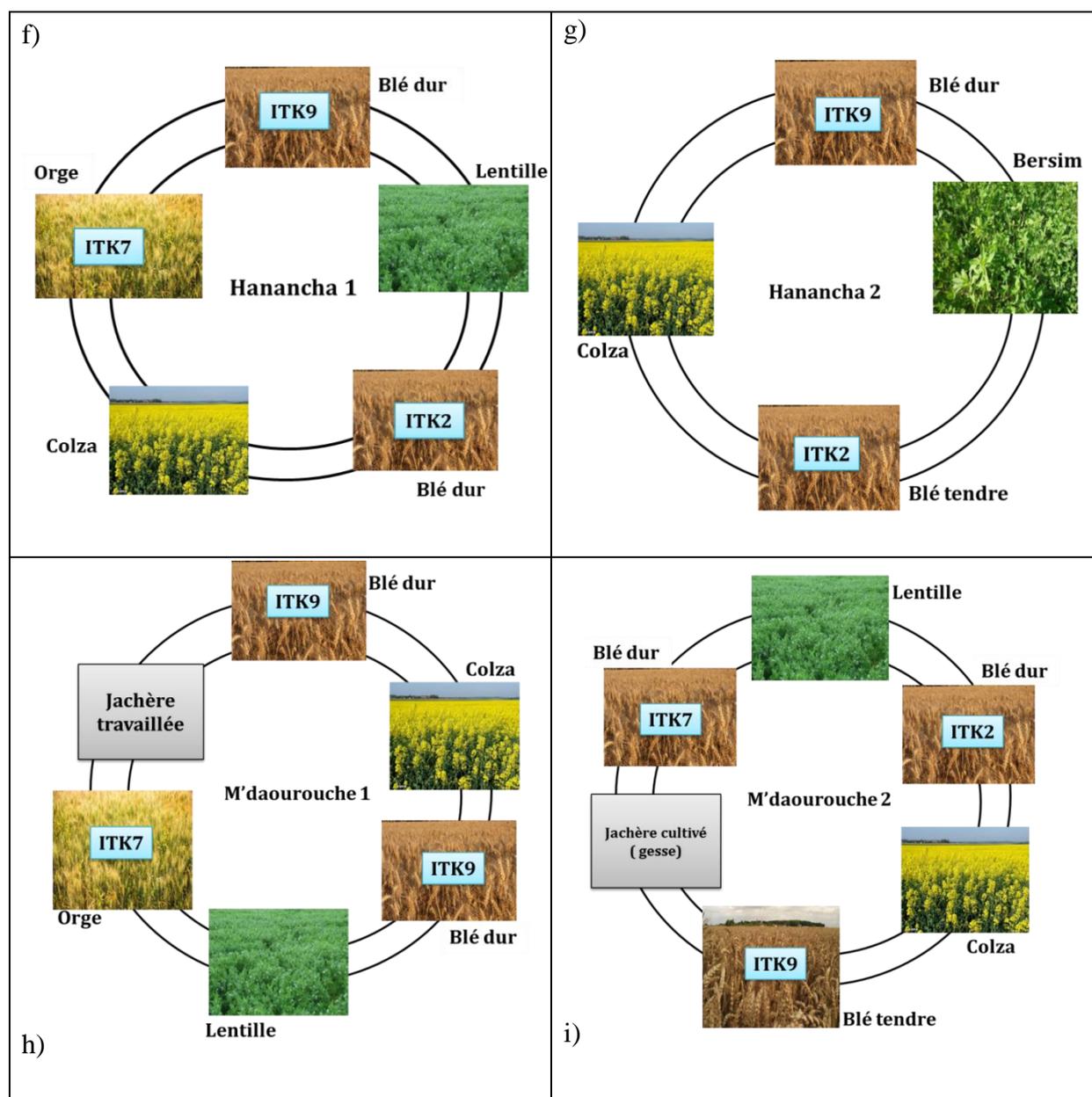


Figure 2. 68 Les systèmes de culture alternatifs à la rotation Blé dur/jachère.

Les itinéraires techniques choisis pour la simulation des SdCi par le modèle STICS ont été choisis à partir des ITK identifiés lors de la typologie réalisée au chapitre 2 (typologie et analyse des systèmes de production et des systèmes de culture). L’ITK 9 est le plus sollicité, ce dernier est basé sur le semis direct qui se considère comme une innovation en rupture avec les itinéraires techniques existants dans la région de Souk-Ahras. Le choix de la culture et de la succession des cultures a été fait en fonction des règles agronomiques liées aux modalités du choix des précédents culturaux. Le colza est choisi comme substituant à la jachère pâturée tandis que le choix de la luzerne est justifié par la présence d’une forte activité de l’élevage

bovin laitier dans les communes étudiées, La tête de rotation est le plus souvent un blé dur (culture dominante).

2.2.1 Le rendement des céréales des 8 SdC

Le rendement des céréales des 8 systèmes de culture simulés affichent une moyenne de 33 q/ha, le gain moyen du rendement est de l'ordre de 12,6 q/ha dont 16 q/ha pour la commune de Sadrata, 9 q/ha à Taoura, 13,2 q/ha dans la commune de Hanancha et 12 q/ha à M'daourouche (fig.2.69). Ces résultats montrent que le modèle surestime le rendement des céréales. Les rendements simulés par le modèle STICS seront utilisés pour calculer la marge brute lors de l'évaluation à priori des SdCi.

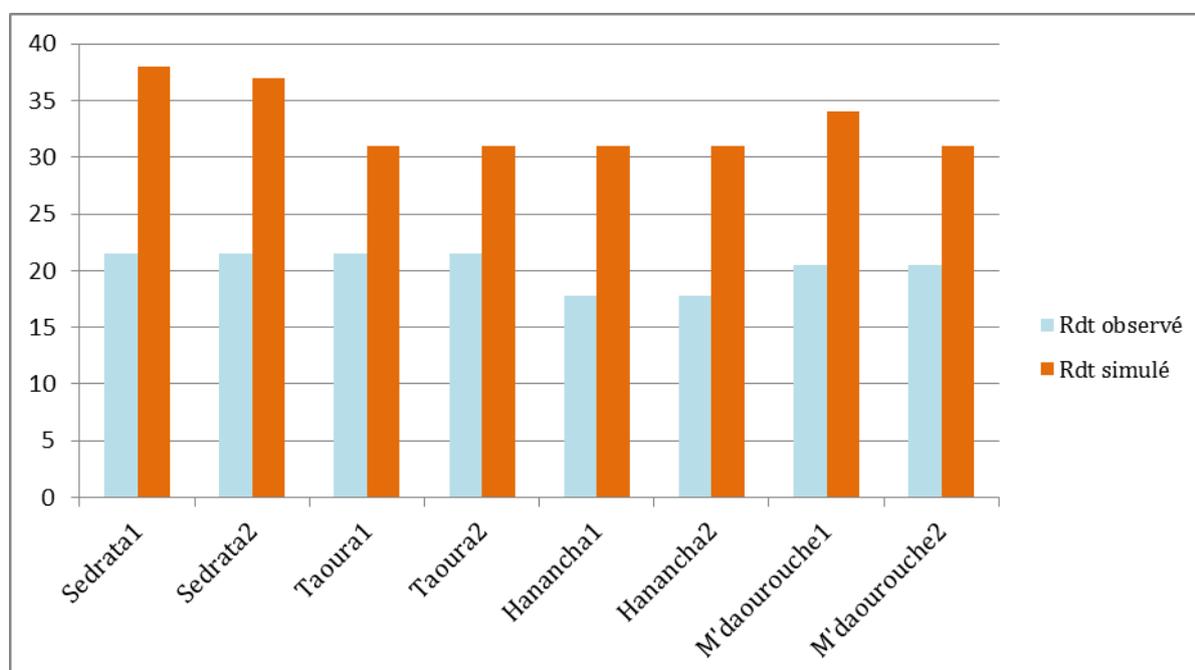


Figure 2.69 Comparaison des rendements simulés et observés.

3 Évaluation a priori (ex ante) des systèmes de culture innovant

3.1 Contribution des systèmes de culture innovants au développement durable

Les 8 SdCi simulés font l'objet d'une évaluation à priori, vis-à-vis de leur contribution au développement durable, pour les indicateurs DFC, Div, CS et MB. Les valeurs de Di ont été recalculées à la base des données issues de la simulation. Le système M'daourouche2 affiche les plus grandes performances pour trois indicateurs, il s'agit des indicateurs DFC, Div et MB avec des valeurs de l'ordre de 0,74 ; 0,74 et 0,79. Le système Hanancha2 se range en dernière

classe, ce système enregistre une valeur de 0,51 pour l'indicateur diversité des cultures qui est le résultat de la dominance des cultures céréalière (fig. 2.70).

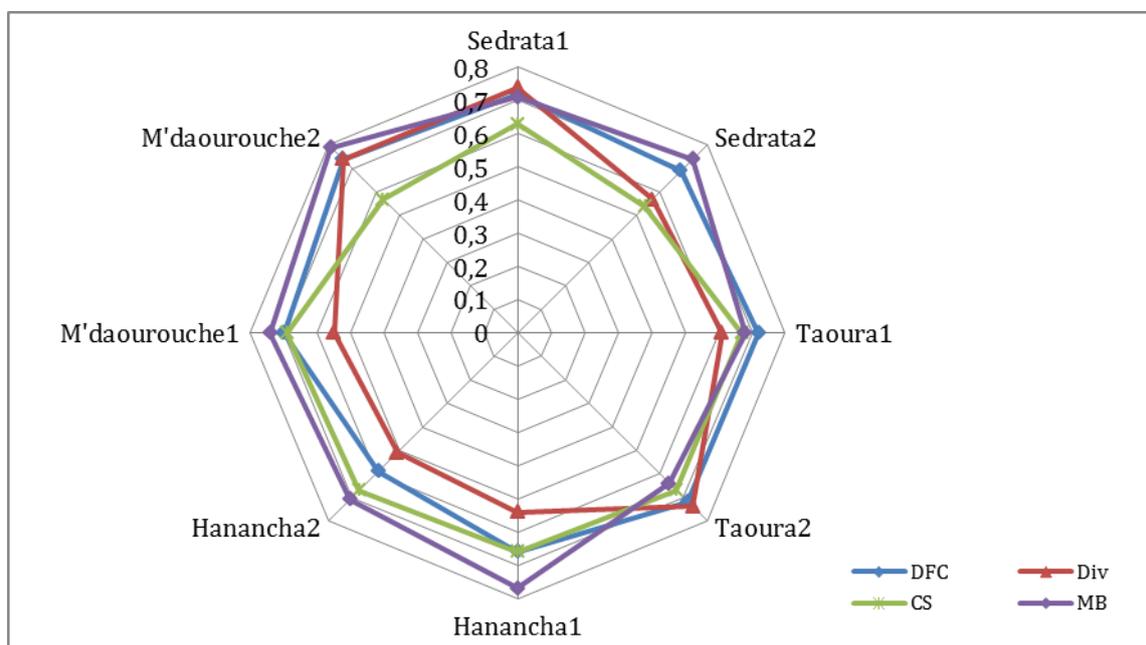


Figure 2.70 Les valeurs prises par les 4 indicateurs selon les systèmes de culture.

La pondération des valeurs D_i par le poids assigné par les parties prenantes (poids moyen) affiche une contribution au DD de 0,31 ; 0,14 ; 0,17 et 0,09 pour les indicateurs MB, DFC, Div et CS respectivement. La comparaison des valeurs de la contribution des SdCi avec la valeur calculée dans les quatre communes montre la présence de différences significatives pour 3 indicateurs (tableau 2.32). Les valeurs de l'indicateur couverture de sol ne se différencient pas significativement entre les systèmes de culture innovants et les SdC déjà en place ($p=0,383$). Ce résultat est probablement dû à la date de semis de la céréale, comprise entre le 5 et 15 novembre, ce qui laisse le sol nu pendant la première moitié de l'hiver où il est sensible à l'érosion.

Tableau 2.32 Comparaison des moyennes de la contribution des 4 indicateurs selon les systèmes de culture.

| Indicateur | MB | DFC | Div | CS |
|----------------------|--------|--------|-------|-------|
| Moyenne SdCi | 0,31 | 0,21 | 0,14 | 0,09 |
| Moyenne SdC Communes | 0,20 | 0,10 | 0,09 | 0,07 |
| P value | <0,001 | <0,001 | 0,004 | 0,383 |

3.2 Durabilité globale Dg

Les systèmes de culture conçus affichent une contribution au DD de l'ordre de 0,73/1 alors que la contribution des SdC dominants dans les 260 exploitations étudiées affiche une durabilité globale de 0,56/1. Cette amélioration est le résultat d'une augmentation significative des valeurs prises par 3 des 4 indicateurs recalculés

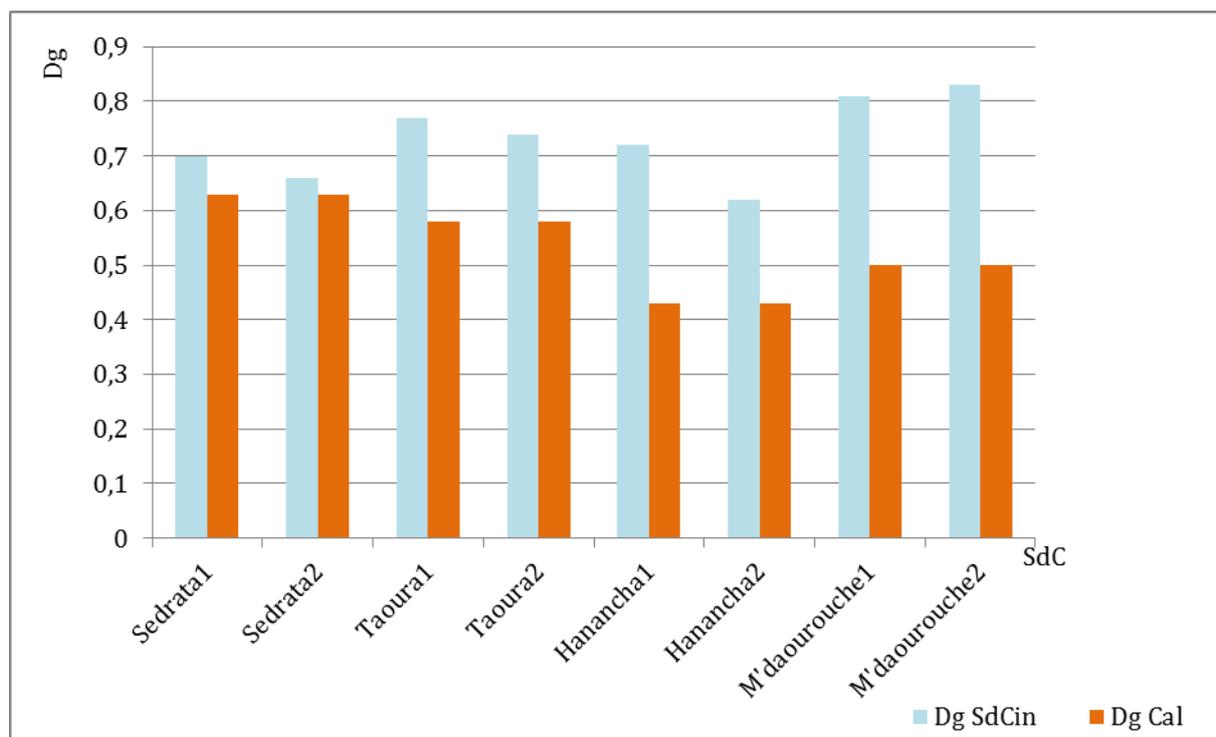


Figure 2.71 Comparaison des valeurs de la durabilité globale Dg pour les SdC innovants et les SdC enquêtés. (DgSdCi : durabilité globale pour les SdC innovants ; Dg SdCcom : durabilité globale SdC)

Une différence très hautement significative à la faveur des SdC innovants a été révélée ($p < 0.001$). La contribution des systèmes de culture innovants se montrent très satisfaisante (0,73/1) du fait que les zones semi-arides présentent des contraintes climatiques et édaphiques susceptibles d'entraver le processus de production. L'augmentation de la contribution des trois indicateurs MB, DFC et Div été de l'ordre de 55% 100% et 55% respectivement. Cette augmentation explique l'amélioration de la contribution des SdC conçus au développement durable. L'introduction des nouvelles cultures (Colza et lentille) appartenant à des familles différentes a permis une augmentation significative de la contribution de l'indicateur DFC. L'introduction d'une légumineuse fourragère, (luzerne) dont les effets agro-écologiques sont importants va permettre aux agriculteurs de réduire les quantités d'azote apportées et d'assurer une partie de la ration de leur troupeau (système de production mixte)

3.3 Critiques de l'approche développée.

Malgré la grande pertinence des objectifs assignés aux systèmes de culture innovants au contexte semi-aride, il est difficile voire impossible de concevoir un seul système de culture qui réponde à la totalité des objectifs tracés. Dans le contexte semi-aride la prise en considération de la variabilité liée au sol, au climat et au contexte socio-économique nécessite la réduction de l'échelle d'étude (échelle parcellaire) pour une meilleure prise en compte de cette variabilité. La démarche adoptée dans ce travail de thèse ; de la typologie au choix d'indicateur, puis l'évaluation et la conception, bien qu'elle est cohérente, elle nécessite la mobilisation des connaissances multiples, et l'implication des divers acteurs. Le travail de conception doit s'inscrire dans le cadre d'un projet de recherche.

3.3.1 Limites méthodologiques

La principale limite de notre première approche de conception (co-conception) est relative à la disponibilité des agriculteurs et à l'organisation du chantier de travail. L'avancement de la date, l'augmentation de la dose de semis et le fractionnement des apports azotés ont engendré un travail supplémentaire aux agriculteurs lié au réglage du semoir et les passages par l'épandeur d'engrais. L'opération de re-semis, bien qu'il ne concerne que 1,6 ha, a créé un malaise et une déception chez l'agriculteur concerné. Pour l'échelle temporaire, l'opération de co-conception s'est échelonnée sur six mois avec une seule réunion collective, plusieurs visites, entretiens individuels et de nombreuses sollicitations téléphoniques. Il n'a pas été toujours évident de rendre compatible cet investissement en temps avec les disponibilités des agriculteurs. La durée de notre expérimentation "système de culture" est jugée insuffisante, elle doit se réaliser sur au moins une rotation (*Deytieux et al., 2012*). *Les résultats obtenus pour une année ne peuvent pas donc être attribués aux innovations introduites, les conditions climatiques peuvent expliquer une grande part dans ces améliorations.* Cependant la production de connaissances et de références sur les résultats et performances des systèmes de culture innovant lors des ateliers de conception, exige l'organisation des agriculteurs en réseau "Réseau d'agriculteur" (*Reau et al., 2012*), ce qui n'est pas le cas dans le présent travail. Cette organisation nécessiterait un grand investissement en temps, il sera évident de la confier à une structure de recherche (INRA ou ITGC).

La principale limite de la conception par modélisation (deuxième approche de conception) réside dans la faible qualité prédictive du modèle entre autre la surestimation du rendement.

cette surestimation est probablement due au paramétrage du modèle où plusieurs paramètres ont été conservés faute de données. L'expérimentation virtuelle des SdCi montre des performances agronomiques à travers une amélioration significative du rendement des céréales, mais cette amélioration peut être anéantie par une sécheresse inattendue ou une faille technique lors de l'expérimentation.

4. L'outil « installation des céréales » INSCER

Face à la complexité des situations de production et leur évolution imprévisible, la prise de décision relève d'une grande importance, car celle-ci peut amplifier ou réduire les effets des évolutions des facteurs de production. La description assez détaillée de la situation de production et les interconnexions entre les éléments qui la constitue peuvent servir comme règle d'établissement des stratégies à adopter à court et à moyen terme. Les solutions tactiques "clef en mains" recherchées par les agriculteurs peuvent être utiles pour résoudre les problèmes techniques régies par des facteurs dont la fluctuation est faible. Les outils d'aide à la décision (OAD) constituent une alternative pour gérer les cultures céréalière dans un contexte assez contraignant (région semi-aride). C'est dans cette optique que nous proposons l'outil INSCER dont l'objectif est d'aider les agriculteurs à choisir l'itinéraire technique le mieux adapté à leurs situations de production et édaphique en prenant en compte les innovations techniques (nouvelle variété, nouveaux intrants ou outils de travail du sol).

5 Principe de l'outil INSCER

L'outil d'aide à la décision INStallation des CÉRéales INSCER est construit sur la base des fonctions Booléenne de type Si... ; Alors ;...Sinon. Ces fonctions régissent le choix de travail du sol en se référant à la texture du sol, le précédent cultural et la pente. Le choix de l'espèce et de la variété a été fait sur la base de la fertilité du sol, les caractéristiques variétales et le précédent culturale (fig. 2.72). Le même principe est suivi pour les autres pratiques culturales, les lois agronomiques sont strictement vérifiées à l'aide des différentes fonctions booléennes.

Une base de données composée des données d'enquête, des données météorologiques, des données du sol (carte pédologique) fournie par ANRH, des résultats d'analyse de sol (17 échantillons) et une base de données fournie par un ingénieur agronome (les ITK de 18 parcelles emblavées de céréales durant 15ans) ont été mobilisées pour établir les règles de décision qui régit les différentes pratiques.

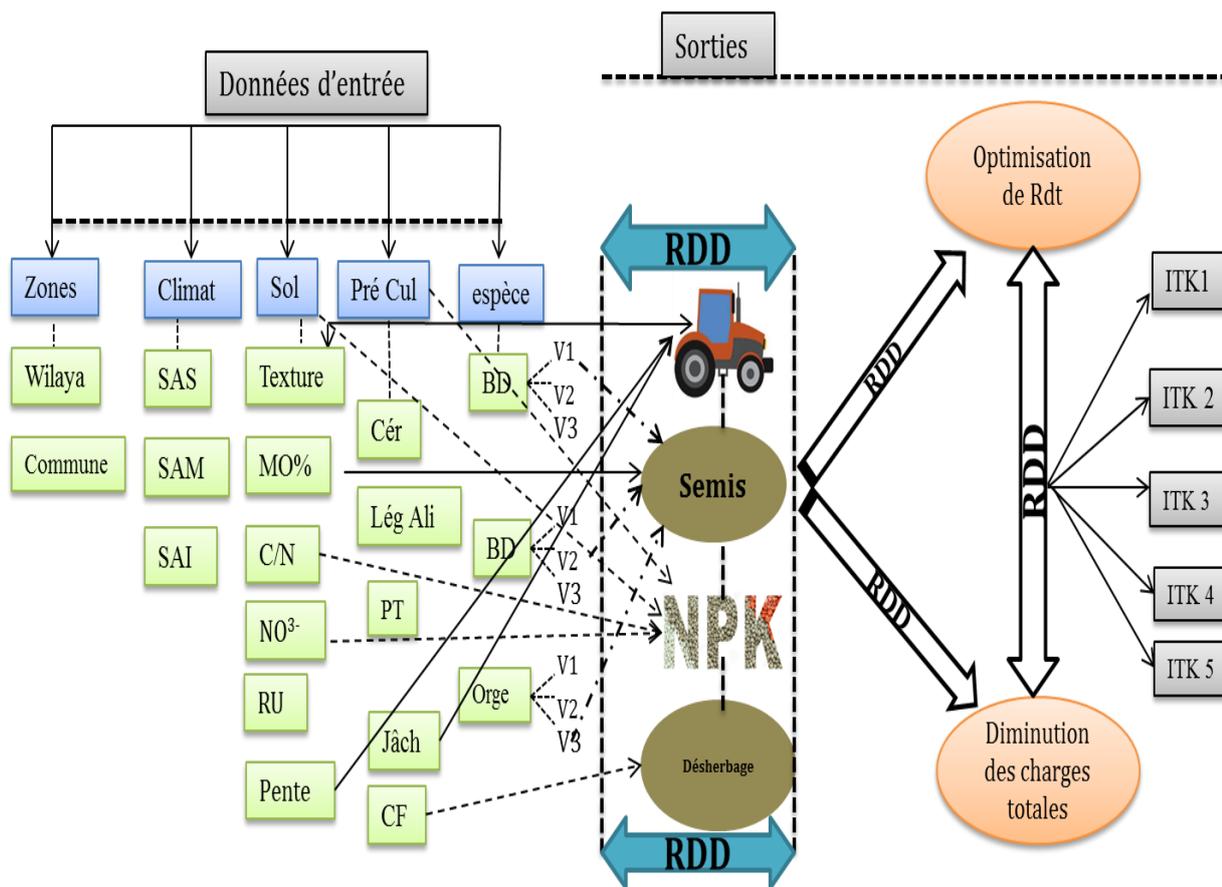


Figure 2.72 Présentation schématique de l’outil d’aide à la décision INSCER.

Les données de sortie sont constituées d’un ensemble d’itinéraires techniques pour les trois espèces dominantes en zone semi-aride (clé en main) du semis au dernier apport d’engrais azoté. L’outil ne prévoit pas les variations du climat au cours de la saison agricole, alors que ces variations peuvent affecter largement l’itinéraire technique. L’outil est implanté sur le logiciel Excel, en attendant l’achèvement de l’écriture de l’algorithme général sur R pour faire les liens entre les différents modules de cet outil (écriture en cours). Une première version sera diffusée les prochains mois.

6 Conclusion

En zones semi-arides, la dépendance des systèmes de culture, à base de céréales, aux conditions climatiques est grande, conjugué avec un contexte socio-économique peu favorable au développement d’une agriculture durable. La décomposition des contraintes et objectifs nous a permis d’identifier 2 pistes à suivre lors de conception. Il s’agit de concevoir des

systèmes de culture capable de s'adapter à un déficit hydrique chronique du fait que 76% des exploitations visitées souffrent des effets du climat d'une part et d'autre part, de concevoir des SdC qui répond au enjeux de développement durable car la contribution des SdC étudiés est jugée modérée (0,56/1). Le rendement constitue un point commun entre les objectifs précités.

Les deux démarches suivies nous ont permis de proposer 12 SdC dont 4 ont été l'objet d'une expérimentation système de culture. Les autres systèmes ont été simulés par le modèle de culture STICS. Que ce soit expérimentés ou simulés les nouveaux SdC révèlent des performances économiques bonnes. Les gains de rendement sont de l'ordre de 9,06 q/ha pour les SdC expérimentés et 12,6 pour les SdC simulés. La contribution des SdC simulés est de l'ordre de 0,73/1. Cette augmentation significative est le résultat de l'amélioration de la contribution des trois indicateurs (MB, Div et DFC). Les innovations introduites tel que l'introduction des nouvelles cultures ou les ajustements des itinéraires techniques (date dose de semis) ont permis une augmentation de 100% de la contribution de l'indicateur DFC et de 50% de la contribution de l'indicateur MB. Cependant les approches suivies présentent des limites liées aux performances du modèle utilisé et à la hiérarchisation des objectifs.

Conclusion générale et perspectives

Cette thèse avait pour objectif d'évaluer et de concevoir de nouveaux systèmes de culture en zone semi-aride (Sétif et Souk-Ahras) qui soient à la fois capable de surmonter les contraintes de production dont celles liées au climat et de répondre aux enjeux du développement durable. Pour répondre à ce double objectif, deux démarches ont été suivies. La première démarche porte sur la réalisation d'enquêtes auprès de 260 agriculteurs, appartenant à la zone médiane (semi-aride moyen) où les contraintes climatiques sont moins prononcées. Les données recueillies ont servies à la typologie des exploitations et des systèmes de culture puis à une évaluation ex-poste des systèmes de culture. Cette évaluation concerne la cohérence agronomique, la faisabilité technique et la contribution des SdC, en place, au développement durable. L'évaluation de la durabilité des SdC a été faite à la base de 17 indicateurs couvrant les trois échelles de la durabilité (économique, agri-environnementale et sociale) en utilisant une fonction de durabilité. La deuxième démarche, consistait à concevoir des systèmes de culture innovants en faisant appel à deux approches : la co-conception et la conception par modélisation à l'aide du modèle de culture STICS.

La taille moyenne des exploitations étudiées est de 55 ha avec une dominance des exploitations à taille comprise entre 5 et 20 ha (32% des exploitations étudiées), réparties le plus souvent en 2, 3, 4 et 5 parcelles. Ces exploitations sont gérées par des agriculteurs âgés de 53 ans en moyenne. 90% de ces exploitations ont une orientation technico-économique céréalières et céréales-élevage. La typologie des ces exploitations fait relever 3 types réparties en 8 classes d'exploitation dont les critères discriminants sont la taille, le statut foncier, l'OTEX, l'autonomie en matériel et l'unité de travail humaine.

Le caractère extensif des systèmes de culture pratiqués dans ces exploitations est traduit par la dominance de la rotation céréales/jachère, la persistance de semis à la volée, un faible recours aux engrais et aux herbicides. Les pratiques culturales réalisées ont été groupées en Kits, ces derniers ont été rassemblés en paquet technique puis agrégés en 9 itinéraires techniques. L'ITK2 caractérisé par un travail du sol sommaire, un kit de semis de type SEM7, une fertilisation de type FERTI 4 ou 5 et un désherbage de type DESHER1 ou 2 est dominant (36%). De point de vue technique cet ITK caractérise les SdC semi-intensifs. La combinaison entre l'échelle temporaire (succession des culture) et les 9 ITK fait ressortir 6 systèmes de culture à base de céréales, il s'agit du système CérJW, CérJPât, MonCér, CérLég, CérPT et CérMar avec une fréquences de l'ordre de 36%,25, 16, 13, 5 et 10% respectivement .

L'évaluation de la contribution des SDC au développement durable affiche une valeur (Dg) de l'ordre de 0,56/1. Une différence significative ($P= 0,02$) entre les deux régions a été révélée en faveur de la région de Souk-Ahras. La contribution des trois échelles au DD se range par ordre croissant comme suite : échelle sociale, agri-environnementale et économique, avec des contributions de l'ordre de 17%, 38% et 45% respectivement. Les indicateurs de l'échelle économique ont eu de bons scores en l'occurrence l'indicateur MB et CT, par contre les indicateurs MO CS, DFC et CIC, qui font partie à l'échelle agri- environnementale pour les trois premiers et à l'échelle sociale pour le quatrième indicateur, ont la contribution la plus faible. Les poids assignés, par les parties prenantes (chercheurs, agronomes, écologues, décideurs et agriculteurs), aux indicateurs économiques expliquent ces résultats.

L'analyse des résultats par système de culture montre l'existence des différences significatives inter et intra systèmes de culture. Le système CérPT, avec ses performances économiques très importantes et sa contribution considérable à l'emploi, s'avère le plus durable (0,65). Cependant ce système exerce une grande pression sur les ressources naturelles dont l'eau. Les autres systèmes de culture se rangent en ordre décroissant comme suit : CérMar, CérLég, CérJW, CérJPât et MonCér. La contribution de l'échelle économique s'avère décisive dans ce classement. L'analyse de la variance fait ressortir 4 groupes, le système CérLég et CérJW constituent un groupe et les quatre autres SdC constituent chacun un groupe appart. Les systèmes CérPT et CérMar malgré qu'ils détiennent la plus grande contribution au DD, ils se pratiquent sur des surfaces réduites. Ces systèmes sont peu attractifs pour les agriculteurs du fait qu'ils exigent un investissement financier élevé. La commercialisation constitue un autre frein à la généralisation de ces systèmes. Le système CérLég se caractérise par des performances agro-écologiques bonnes pour les indicateurs : diversité de famille de culture, assolement, énergie et l'indice de fréquence des traitements, par contre ces performances économiques et sociales sont acceptables. De point de vue agronomique ce système constitue un très bon substituant au système céréales /jachère largement pratiqué en zone semi-aride. Le système CérLég est pratiqué sur de grandes surfaces, présentant ainsi l'avantage d'être le substituant idéal du système à base de la jachère. Les systèmes CérJW et CérJPât affichent des performances agro-écologiques et socio-économiques inférieures aux systèmes précédents. La monoculture des céréales avec un temps de retour de la culture (blé et orge) qui ne dépasse pas les 4 mois et des performances économiques faible occupe la dernière classe. Le maintien de ce système par 16% des exploitations étudiées, constitue une forme d'adaptation des agriculteurs sans terres, au problème foncier. Entre régions, les six

systèmes se rangent par ordre décroissant dans la région de Souk-Ahras comme suit ; CérPT, CérLég, CérMar, CérJW, CérJPât et MonCér. Pour la région de Sétif cet arrangement est maintenu, à l'exception du système céréales maraichère et céréales légumes sec qui occupent la deuxième et la troisième place respectivement. Des différences significatives ont été révélées à la faveur de la région de Souk-Ahras pour 4 des 6 systèmes étudiés, il s'agit des systèmes CérJW, CérJPât, CérLég et CérMar pour des P value de l'ordre de 0,014, 0,022, 0,001, et 0,037 respectivement. Le degré d'intensification des systèmes de culture et la bonne cohérence agronomique, qui se traduit le plus souvent par un bon rendement des cultures, influent positivement la contribution des indicateurs de l'échelle économiques. Ces derniers profitent du poids élevés qui leur attribué par les parties prenantes.

Le classement des SdC selon les poids assignés par les parties prenantes aux indicateurs montre des faibles différences. Parmi les 6 systèmes étudiés, 3 d'entre eux ont le même rang quel que soit la partie prenante il s'agit du système CérJW, CérJPât et MonCér. Pour les 3 autres systèmes un classement légèrement différent a été constaté, les écologues accordent plus d'importances aux indicateurs agro-écologiques et par conséquent le système CérLég occupe le premier rang pour eux. Le système CérPT se range dans la 6^{ème} classe (ordre décroissant) par toutes les parties prenantes à l'exception des chercheurs et écologistes, par contre le système CérMar se range en 4^{ème} classe par toutes les parties prenantes sauf les écologues qui les rangent en 5^{ème} position (ordre décroissant). Ces résultats montrent que la démarche adoptée pour l'évaluation des systèmes de culture est pertinente car elle utilise des indicateurs quantitatifs adaptés au contexte de la région d'étude et à l'échelle choisie. Elle est transparente (utilise une équation mathématique), flexible et modulable car elle permet d'ajouter, de supprimer ou de modifier des indicateurs d'un côté et de remplacer les pondérations attribuées aux indicateurs par les parties prenantes d'un autre côté.

Le diagnostic des exploitations, objet d'enquête, montre la présence de 4 types de contraintes de production : naturelles, foncières, techniques et économiques, présent à hauteur de 76%, 81% 32%, 82% respectivement. Quant aux objectifs 182 agriculteurs parmi les 260, enquêtés cherchent l'amélioration de la viabilité économique de leur activité à travers l'augmentation du rendement des cultures. À part les contraintes foncières qui ont un caractère institutionnel et dont leurs résolutions nécessitent une volonté politique, et non pas des innovations techniques, la combinaison des autres contraintes et objectif nous a permet de tracer deux pistes de conception des SdCi il s'agit de concevoir des SdC qui s'adaptent à une disponibilité en eau limitée ainsi que des systèmes qui répondent aux enjeux de développement durable.

Les deux approches mobilisées (co-conception et conception par modélisation) ont permis l'élaboration de 12 SdC dont 4 font l'objet d'une expérimentation sur champs dans trois communes. Les innovations introduites portent sur la réorganisation des itinéraires techniques (date, dose de semis et la fertilisation azotée), l'introduction d'une nouvelle culture, le colza, comme substituant à la jachère et l'augmentation de la part des légumineuses alimentaires et fourragères dans la rotation et l'adoption de semis direct pour les 8 derniers systèmes.

Les quatre SdCi expérimentés sur champs ont apporté un gain de rendement de l'ordre de 9,06 q/ha, tandis que les systèmes générés par le modèle de culture STICS ont dégagé un grain de 12,6 q/ha. Les systèmes SdCi4 Taoura, Sadrata1 et Sadrata 2 affichent les gains les plus importants : 19,5 ; 16,5 et 15,5 q/ha respectivement. Ces résultats témoignent de la bonne cohérence agronomique des SdCi conçus, cependant les bonnes conditions climatiques de l'année de l'expérimentation ont contribué de plus à cette amélioration (SdC4 Taoura). L'évaluation ex ante des 12 SdC a porté sur le recalcul de 4 indicateurs (MB, DFC, Div et CS) puis la durabilité globale (Dg). Les résultats obtenus montrent des augmentations significatives de l'ordre de 55%, 100%, et 55% pour l'indicateur MB, DFC et Div respectivement, aucune amélioration de l'indicateur CS n'a été constatée. La durabilité globale (Dg) quant à elle, marque une augmentation de 42 % (de 0,56/1 pour SdC enquêté à 0,73/1 pour les SdCi). Cette augmentation traduit l'amélioration de la contribution des indicateurs recalculés. L'introduction des nouvelles cultures, appartenant à des familles différentes, le réajustement des itinéraires techniques et l'introduction du semis direct (ITK9) expliquent ces résultats. Ce travail de thèse est chapeauté par la conception d'un outil d'aide à la décision (OAD) nommé INSCER pour la mise en place des céréales en vue d'une optimisation de rendement. Cet outil vient pour combler le déficit en la matière des OAD dans le domaine agricole en Algérie. Cependant l'outil tel qu'il est présenté nécessite un travail de perfectionnement.

Enfin, les résultats obtenus de cette thèse montrent qu'il est possible de produire mieux dans le contexte climatique et édaphique des régions semi-arides. L'adoption des principes de l'agriculture systémique constitue le point de départ. La création des réseaux d'agriculteurs qui partagent les mêmes objectifs, puis le lancement des essais "systèmes de culture" multi-locaux à long terme va certainement contribuer à l'augmentation des échanges entre agriculteurs et à la production des nouvelles connaissances qui seront valorisées par les agronomes et les chercheurs pour la conception des SdC innovants. L'introduction de

nouvelles cultures dont le colza comme substituant à la jachère est envisageable. La valorisation des pluies estivales très présentes ces dernières années constitue une voie d'amélioration, il se fait que les agriculteurs disposent de la semence "ready-to-go" (prêt à semer) et un semoir de semis direct. Ces cultures (légumineuses) dont leur cycle ne dépasse pas les 3 mois protège les sols contre érosion (pluie estivale battante), assure une ration alimentaire de qualité pour le troupeau et laisse un reliquat d'azote dans le sol une fois détruit.

Références bibliographiques

1. **Abbas, K. and Abdelguerfi, A., 2005.** Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. *Fourrages (Versailles)*, (184), pp.533-546.
2. **Abbas, K., 2012.** Animal Production Systems in Algeria: Transformation and Tendencies in the Sétif Area. *Journal of Food Science and Engineering*, 2(10), pp.593-602.
3. **Abbas, K., 2004.** La Jachère Pâturée dans les zones céréalières Semi-arides : Pour une approche de développement durable. In, Ferchichi A. (comp.), Ferchichi A. (collab.). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens Zaragoza : CIHEAM, *Cahiers options méditerranéennes*, 62, pp.169-173.
4. **Abbassenne, F., Bouzerzour, H. and Hachemi, L., 1998.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA*, 18, pp.24-36.
5. **Abdelaziz, A., 2009.** Quelle agriculture pour l'Algérie édition Office des Publication Universitaire, 183p.
6. **Abdelguerfi, A., Laouar, M., M'hammedi-Bouzina, M., INA, B.E.H.A., INRAA, S.M.B. and Alger, B., 2008.** Les productions fourragères et pastorales en Algérie: Situation et possibilités d'amélioration. *Revue Agriculture et développement*, 6, pp.14-25.
7. **Abdellaoui, Z., Teskrat, H., Belhadj, A. and Zaghouane, O., 2011.** Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide. In, Bouzerzour H. (ed.), Irekti H. (ed.), Vadon B. (ed.). 4. Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT, 2011, *Options Méditerranéennes*, 96, pp.71-87.
8. **Agence Nationale de Développement de l'Investissement, 2016 :** <http://www.andi.dz/index.php/fr/secteur-de-l-agriculture> consulté le 21-01-2016.
9. **Agoumi, A., 2003.** Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques: Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre. *Maroc, Institut international du développement*. 14p.
10. **Aït Amara, H., 2009.** Quel futur alimentaire pour l'Algérie. *Editions Mille Feuilles, Algiers*, 142.

11. Akesbi, N., 2012. Une nouvelle stratégie pour l'agriculture marocaine: Le Plan Maroc Vert. *New Medit*, 11(2), pp.12-23.
12. Ali, A., 2011. La législation foncière agricole en Algérie et les formes d'accès à la terre. *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, (66), pp.35-51. In, Elloumi, M., Napoleone, C., Jouve, A.M. and Paoli, J.C., 2011. *Régulation foncière et protection des terres agricoles en Méditerranée*.
13. Allane, M., 2008. Bien-être animal et production laitière bovine: Cas des exploitations de la wilaya de Tizi-Ouzou (Doctoral dissertation, Thèse de Magister INA Alger. P 116).
14. Amyay, M., Nouaceur, Z., Tribak, A. and Okba Kh, T.A., 2012, September. Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes dans le Moyen Atlas marocain et ses marges. In *Actes du XXV ème colloque international de climatologie (Grenoble)* (pp. 75-80).
15. Andersen, E., Elbersen, B., Godeschalk, F. and Verhoog, D., 2007. Farm management indicators and farm typologies as a basis for assessments in a changing policy environment. *Journal of environmental management*, 82(3), pp.353-362.
16. Anderson, W.K., 1985. Grain yield responses of barley and durum wheat to split nitrogen applications under rainfed conditions in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 12, pp.191-202.
17. Annabi, M., Bahri, H., Béhi, O., Sfayhi, D. and Cheikh Mhamed, H., 2013. La fertilisation azotée du blé en Tunisie: évolution et principaux déterminants. *Tropicultura*, 31(4).
18. ANRH, 1969. Carte des études pédologiques et agro pédologiques réalisées par l'agence nationale des ressources hydrique entre 1963 et 2004.
19. Attonaty, J.M., Maxime, F., Soler, L.G., 1991. Aid for strategic management of farms: a proposed knowledge based simulation model, in: EAAE E.A.o.A.E. (Eds.), Congrès Européen des Economistes Agricoles : Economics and artificial intelligence in agriculture. Bruxelles (BEL), pp. 10.
20. Aubertot, J.N. and Robin, M.H., 2013. Injury Profile SIMulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. *PLoS one*, 8(9), p.e73202.
21. Baghdad , C., 2004. La politique agricole en Algérie entre la consolidation interne et le positionnement externe. *Les cahiers du mecas*, 11(1) pp 200-209.
22. Bahri H., Annabi M., Cheikh M'hamed H., Chibani R., Chtourou M., Riahi N., L., Ben Becher 2018. Évaluation de l'impact agro-environnemental et de la durabilité de l'adoption du semis direct au Nord de la Tunisie. *Annales de l'INRAT*, volume 91, pp 98 -111

- 23. Bekhouche-Guendouz, N., 2011.** *Evaluation de la durabilité des exploitations bovines laitières des Bassins de la Mitidja et d'Annaba* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine et de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'Alger, 310p).
- 24. Belaid, S. 2016.** Algérie : sécurité et autosuffisance alimentaire. Collection Dossiers Agronomiques Eurl <http://www.djamel-belaid.fr/app/download/28858818/LivreAutoSuffisanceAlimentaire.pdf>
- 25. Benbelkacem, A., Saldi, F. and Brinis, L., 1993.** La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. *Option Méditerranéenne», Série A: séminaire de blé dur dans la région méditerranéenne*, (22). In, Di Fonzo, N., Kaan, F. and Nachit, M., 1995. Durum wheat quality in the Mediterranean region.
- 26. Benblidia, M., 1993.** "Eau et développement durable". In : Colloque Maghrébin Eau et Développement Durable, Alger, Algérie.
- 27. Bencharif, A. and Rastoin, J.L., 2007.** Concepts et Méthodes de l'Analyse de Filières Agroalimentaires: Application par la Chaîne Globale de Valeur au cas des Blés en Algérie. *Unité Mixte De Recherche Moisa*. 24 p.
- 28. Bencherif, S., 2011.** *L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne Évolution et possibilités de développement* (Doctoral dissertation, AgroParisTech). 294p.
- 29. Benidir, M., 2015.** *Evaluation multicritère de la durabilité des systèmes d'élevage ovin en zone steppique* (Doctoral dissertation). 252p.
- 30. Benmihoub, A., 2015.** 50 ans de réformes du foncier agricole étatique en Algérie, une rétrospective. *Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches*, (72), pp.53-70. In : Vianey, G., Requier-Desjardins, M. and Paoli, J.C., 2015. *Accaparement, action publique, stratégies individuelles et ressources naturelles : regards croisés sur la course aux terres et à l'eau en contextes méditerranéens*.
- 31. Bennabi, F., Hamel, L., Bouiadjra, S. and Ghomari, S., 2012.** Ressources hydriques sous tension et enjeux de développement durable dans la wilaya de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale). *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography*, (118), pp.105-111.
- 32. Benniou, R. and Aubry, C., 2012.** Farm diversity and crop growing practices in semi-arid regions: A case study of the Setif high plains in Algeria. *African Journal of Agricultural Research*, 7(48), pp.6363-6375.
- 33. Benniou, R. and Brinis, L., 2006.** Diversité des exploitations agricoles en région semi-aride algérienne. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17(3), pp.399-406.
- 34. Benniou, R. and Van Damme, P., 2014.** Irrigated farm management in semi-arid area East Algeria. *Revue Agriculture* (06) 21-28.

- 35. Benniou, R., 2008.** *Les systèmes de production dans les milieux semi-arides en Algérie: analyse agronomique de leur diversité et des systèmes de culture céréalières dans les hautes plaines sétifiennes* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Alger: INA, 293p).
- 36. Benniou, R., Aubry, C. and Abbes, K., 2014.** Analyse des itinéraires techniques dans les exploitations agricoles céréalières en milieu semi-aride de l'est algérien. *Revue Agriculture* (08), pp 26-37.
- 37. Benyoucef, B., 2016.** Le rôle de l'agriculture dans le développement économique et social. Qu'en est-il de l'Algérie ?. *Revue Agriculture. Numéro spécial 1* : 17-31.
- 38. Bergez, J.E., Colbach, N., Crespo, O., Garcia, F., Jeuffroy, M.H., Justes, E., Loyce, C., Munier-Jolain, N. and Sadok, W., 2010.** Designing crop management systems by simulation. *European Journal of Agronomy*, 32(1), pp.3-9.
- 39. Bergez, J.E., Debaeke, P., Deumier, J.M., Lacroix, B., Leenhardt, D., Leroy, P. and Wallach, D., 2001.** MODERATO: an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules. *Ecological modelling*, 137(1), pp.43-60.
- 40. Bessaoud, O., 2016.** La sécurité alimentaire en Algérie. Étude réalisée pour le Forum des Chefs d'Entreprise, 2016/07/19, Alger (Algérie).
- 41. Bessaoud, O. and Montaigne, E., 2009.** Quelles réponses au mal-développement agricole?. *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, (64), pp.51-91.
- 42. Bessaoud, O., 1994.** L'agriculture en Algérie: de l'autogestion à l'ajustement. *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, (8), pp.89-103. In : Jouve, A.M., 1994. Crises et transitions des politiques agricoles en Méditerranée.
- 43. Bessaoud, O., 2018.** L'Algérie et le marché des céréales [ou] La question céréalière en Algérie et les marchés mondiaux. Atelier organisé par Académie d'Agriculture de France section 10, Économie et politique, géostratégies alimentaires en Méditerranée : L'enjeu céréalière. Session du 23 mai 2018.
- 44. Bessaoud, O., Pellissier, J.P., Rolland, J.P. and Khechimi, W., 2019.** Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. Projet d'appui à l'initiative ENPARD méditerranée CIHEAM, 82p.
- 45. Binder, C.R. and Wiek, A., 2007.** The role of transdisciplinary processes in sustainability assessment of agricultural systems. In: From common principles to common practice. Proceedings and outputs of the first symposium of the international forum on assessing sustainability in agriculture (INFASA). International Institute of Sustainable Development and Swiss College of Agriculture, Bern (pp. 33-48).
- 46. Binder, C.R., Schmid, A. and Steinberger, J.K., 2012.** Sustainability solution space of the Swiss milk value added chain. *Ecological Economics*, 83, pp.210-220.
- 47. Bir, A., 2008.** *Essai d'adaptation de la méthode des indicateurs de durabilité des exploitations agricoles (IDEA) au contexte de l'élevage bovin laitier de la zone semi aride de Sétif* (Doctoral dissertation, INA). P194.

- 48. Bir, A., Yakhlef, H. and Madani, T., 2014.** Diversité des exploitations agricoles laitières en zone semi-aride de Sétif (Algérie). *Livestock Research for Rural Development*, 26(2), p.26.
- 49. Blazy, J.M., Ozier-Lafontaine, H., Doré, T., Thomas, A. and Wery, J., 2009.** A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural systems*, 101(1-2), pp.30-41.
- 50. Blum, A., 1983.** Genetic and physiological relationships in plant breeding for drought resistance. In: *Plant production and management under drought conditions* (Vol. 12). Stone, J.F. and Willis, W.O. eds., 2012. Elsevier. *Agricultural water management*, 7(1-3), pp.195-205.
- 51. Bockstaller, C. and Girardin, P., 2006.** Evaluation agri-environnementale des systèmes de culture: la méthode INDIGO®. *Oléoscope*, (85), pp.4-6.
- 52. Bockstaller, C. and Girardin, P., 2008.** Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode INDIGO. *Document INRA-ARAA. INRA, Colmar*. P 115.
- 53. Bockstaller, C., Cariolle, M., Galan, M.B., Guichard, L., Leclercq, C., Morin, A. and Surleau-Chambenoit, C., 2013.** Evaluation agri-environnementale et choix des indicateurs: acquis, enjeux et pistes. *Innovations Agronomiques*, 31 (1-14).
- 54. Bockstaller, C., Galan, M.B., Capitaine, M., Colomb, B., Mousset, J. and Viaux, P., 2008.** Comment évaluer la durabilité des systèmes en production végétale. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer. Educagri, Dijon (France)*.
- 55. Bockstaller, C., Guichard, L., Keichinger, O., Girardin, P., Galan, M.B. and Gaillard, G., 2009.** Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), pp.223-235.
- 56. Bockstaller, C., Rabolin, C., 2011.** Fiche outils INDIGO version 2. PLAGÉ, Plateforme d'évaluation Agri-Environnementale. Téléchargé le 14 juin 2016 de: <http://www.plage-evaluation.fr/webplage/images/stories/pdf/ficheindigo.pdf>.
- 57. Bohanec, M., 2008.** Program for multi-attribute decision Making, user's manual. version 3.00. IJS Report DP-10707. Ljubljana: Jožef Stefan Institute.
- 58. Boiffin, J. and Meynard, J.M., 1982.** Exemple d'approche régionale pour détecter les facteurs et les conditions limitant le rendement d'une culture: cas du ble d'hiver en Champagne crayeuse. *Bulletin technique d'information*. 370-372, Ministère de l'agriculture, Paris, pp. 517-525.
- 59. Boiffin, J., Zagbahi, J.K. and Sebillotte, M., 1986.** Systèmes de culture et statut organique des sols dans le Noyonnais: application du modèle de Hénin-Dupuis. *Agronomie*, 6, 437-446.

- 60. Bonneville, J.R., Jussiau, R., Marshall, E., 1989**, *Approche globale de l'exploitation agricole. Comprendre le fonctionnement de l'exploitation agricole : une méthode pour la formation et le développement*, Dijon, INRAP.
- 61. Boukerrou, F. and Djaalab, S., 2013**. Crise structurelle du système de production agricole et crise de la dépendance alimentaire comme phénomène durable en Algérie. *Revue Sciences Humaines*, (39), pp.133-158.
- 62. Boulanger, P.M., 2004**. Les indicateurs de développement durable: un défi scientifique, un enjeu démocratique. *Les séminaires de l'Iddri*, 12, p.24.
- 63. Bounechada, M. and Fenni, M., 2012**. Les Alticinae (Coleoptera, Chrysomelidae) de la région de Sétif: Un moyen de lutte biologique contre les mauvaises herbes des cultures. *Agriculture*, 3, pp.37-41.
- 64. Bourenane, N., 1991**. Agriculture et alimentation en algérie. entre les contraintes historiques et les perspectives futures. In : Bédrani, S. and Campagne, P., 1991. Choix technologiques, risques et sécurité dans les agricultures méditerranéennes. *CIHEAM Options Méditerranéennes, serie*, (2), pp.145-157.
- 65. Bouri, C., 2011**. *Les politiques de développement agricole. Le cas de l'Algérie. «Impact du PNDA/PNDAR sur le développement économique»* (Doctoral dissertation, Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed). 483p.
- 66. Bouzerzour, H. and Benmahammed, A., 2009**. Variation in Early Growth, Canopy Temperature, Translocation and Yield of Four Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Genotypes under Semi Arid Conditions. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 5(2), pp.142-154.
- 67. Bouzerzour, H. and Monneveux, P., 1993**. Analyse des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts-plateaux de l'Est algérien. In : Monneveux, P. and Ben Salem, M., 1993. *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne*. Institut national de la recherche agronomique. *Les Colloques de l'INRA*, (64), pp.139-158.
- 68. Briquel, V., Vilain, L., Bourdais, J.L., Girardin, P., Mouchet, C. and Viaux, P., 2001**. La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles): une démarche pédagogique. *Ingénieries-EAT*, (25), pp.29-39.
- 69. Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P. and Bussière, F., 2003**. An overview of the crop model STICS. *European Journal of agronomy*, 18(3-4), pp.309-332.
- 70. Brisson, N., Launay, M., Mary, B. and Beaudoin, N., 2009**. Conceptual basis, formalisations and parameterization of the STICS crop model: Editions Quae. *Collection Update Sciences and technologies*.
- 71. Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M.H., Ruget, F., Nicoulaud, B., Gate, P., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C. and Richard, G., 1998**. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18, 311-346.

- 72. Brisson, N., Ruget, F., Gate, P., Lorgeou, J., Nicoullaud, B., Tayot, X., Plenet, D., Jeuffroy, M.H., Bouthier, A., Ripoche, D. and Mary, B., 2002.** STICS: a generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and maize. *Agronomie*, 22(1), pp.69-92.
- 73. Carberry, P.S., Probert, M.E., Dimes, J.P., Keating, B.A. and McCown, R.L., 2002 .** Role of modelling in improving nutrient efficiency in cropping systems. In *Food Security in Nutrient-Stressed Environments: Exploiting Plants' Genetic Capabilities* (pp. 319-329). Springer, Dordrecht.
- 74. Caron, P., 2005.** À quels territoires s'intéressent les agronomes? Le point de vue d'un géographe tropicaliste. *Natures sciences sociétés*, 13(2), pp.145-153.
- 75. Castoldi, N. and Bechini, L., 2010.** Integrated sustainability assessment of cropping systems with agro-ecological and economic indicators in northern Italy. *European journal of agronomy*, 32(1), pp.59-72.
- 76. Chabane, M., 2011.** L'agriculture de conservation: voie de sécurité alimentaire dans les pays du Maghreb. In : Bouzerzour, H., Irekti, H. and Vadon, B., 2010. Quatrièmes Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. *4èmes Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, 96, pp.189-208.
- 77. Chabane, M., 2012.** Comment concilier changement climatique et développement agricole en Algérie?. *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement. Territory in movement Journal of geography and planning*, (14-15), pp.73-91.
- 78. Charvet, J.P., 2007.** Agriculture et développement durable. *Le développement durable*, pp.117-140.
- 79. Chehat, F., 2007.** Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. *Projet PAMLIM «Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation»* Alger, pp.7-9.
- 80. Chennafi, H. and Saci, A., 2012.** The performances of Durum Wheat Yield (*Triticum durum* Desf.) under Tillage Effect in Semi-Arid Environment. *Energy Procedia*, 18, pp.879-887.
- 81. Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. and Saci, A., 2006.** Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi- arid growth conditions. *Asian J. Plant Sci*, 5, pp.854-860.
- 82. Chennafi, H., Bouzerzour, H., Saci, A. and Chenafi, A., 2008.** La pratique des façons culturales sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. In *Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation. Valenzanos, Bari, Italy, 18-22 September 2008; p: 63* (Vol. 67).
- 83. Chikhi, K. and Bencharif, A., 2016.** La consommation de produits carnés en Méditerranée: quelles perspectives pour l'Algérie?. In *Options Méditerranéennes. Series A: Mediterranean Seminars*. CIHEAM-IAMZ, zaragoza (Spain)/FAO/INRA/CIRAD/MontpellierSubAgro/ICARDA/AGROPOLIS/CITA/INIA.

- 84. Colbach, N., Collard, A., Guyot, S.H., Mézière, D. and Munier-Jolain, N., 2014.** Assessing innovative sowing patterns for integrated weed management with a 3D crop: weed competition model. *European journal of agronomy*, 53, pp.74-89.
- 85. Cossani, C.M., Thabet, C., Mellouli, H.J. and Slafer, G.A., 2011.** Improving wheat yields through N fertilization in Mediterranean Tunisia. *Experimental Agriculture*, 47(3), pp.459-475.
- 86. Cowbrough, M. and Huffman, L., 2002.** Principes de lutte intégrée contre les mauvaises herbes.
- 87. Craheix, D., Angevin, F., Bergez, J.E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., Sadok, W. and Doré, T., 2011.** MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Jeu complet de fiches critères de MASC*, 2, p.133.
- 88. Dale, V.H., Kline, K.L., Kaffka, S.R. and Langeveld, J.H., 2013.** A landscape perspective on sustainability of agricultural systems. *Landscape ecology*, 28(6), pp.1111-1123.
- 89. Daoudi, A. and Wampfler, B., 2010.** Le financement informel dans l'agriculture algérienne: les principales pratiques et leurs déterminants. *Cahiers Agricultures*, 19(4), pp.243-248.
- 90. Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B. and Milestad, R., 2010.** Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30(3), pp.545-555.
- 91. Debaeke, P. and Orlando, D., 1994.** Simplification du travail du sol et evolution de la flore adventice. Consequences pour le desherbage a l'echelle de la rotation. *COLLOQUES-INRA*, pp.35-35.
- 92. Debaeke, P., Petit, M.S., Bertrand, M., Mischler, P., Munier-Jolain, N., Nolot, J.M., Reau, R. and Verjux, N., 2008b.** Evaluation des systèmes de culture en stations et en exploitations agricoles. In : Reau, R. and Doré, T., 2008. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer?*. Educagri Editions.
- 93. Debaeke, P., Willaume, M., Casadebaig, P. and Nolot, J.M., 2008 a.** Raisonner les systèmes de culture en fonction de la disponibilité en eau. *Innovations Agronomiques*, 2, pp.19-36.
- 94. Derycke, V., Latré, J., Van, E.D.V., De, B.R., De, B.C. and Haesaert, G., 2014.** WEED POPULATION IN RELATION TO CROP ROTATION AND NITROGEN FERTILISATION. *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 79(2), pp.71-79.

- 95. Desriers, M., 2007.** L'agriculture française depuis cinquante ans: des petites exploitations familiales aux droits à paiement unique. *Agreste Cahiers*, 2, pp.3-14.
- 96. Deytieux, V., Munier-Jolain, N. and Caneill, J., 2016.** Assessing the sustainability of cropping systems in single-and multi-site studies. A review of methods. *European journal of agronomy*, 72, pp.107-126.
- 97. Deytieux, V., Vivier, C., Minette, S., Nolot, J.M., Piaud, S., Schaub, A., Lande, N., Petit, M.S., Reau, R., Fourrié, L. and Fontaine, L., 2012.** Expérimentation de systèmes de culture innovants: avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. *Innovations Agronomiques (20)*, 49-78.(2012).
- 98. Djermoun, A., 2009.** La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Nature & Technology*, (1), p.45-53.
- 99. Dongmo, A.L. and Munier-Jolain, N., 2011.** Évaluation des systèmes de culture économes en herbicides: faisabilité technique et rentabilité économique au niveau de l'exploitation agricole. *Cahiers agricultures*, 20(6), pp.468-479.
- 100. Doré, T., Clermont-Dauphin, C., Crozat, Y., David, C., Jeuffroy, M.H., Loyce, C., Makowski, D., Malézieux, E., Meynard, J.M. and Valantin-Morison, M., 2008.** Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), pp.151-161.
- 101. Doré, T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittone P., 2011.** Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy : Revisiting methods, concept and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34, 197–210.
- 102. Doré, T., Martin, P., Le Bail, M., Ney, B. and Roger-Estrade, J., 2006.** *L'agronomie aujourd'hui*. Editions Quae.
- 103. Dury, J., Schaller, N., Garcia, F., Reynaud, A. and Bergez, J.E., 2012.** Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agronomy for sustainable development*, 32(2), pp.567-580.
- 104. Eckert, H., Breitschuh, G. and Sauerbeck, D.R., 2000.** Criteria and standards for sustainable agriculture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163(4), pp.337-351.
- 105. EL Mezoued, D.E., Benkhelifa, M. and Dos Santos, D.R., 2017.** Comparative study of the evolution of soft wheat (*Triticum aestivum* L.) installed in no-tillage and conventional tillage.
- 106. Elloumi, M., 1994.** Les approches systémiques. In : Plaza P. (ed.). La vulgarisation, composante du développement agricole et rural : actes du séminaire de Grenade . Montpellier : CIHEAM, 1994.. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 2(4), pp.67-76.
- 107. Erroux, J., 2003.** Jachère. *Encyclopédie berbère*, (25), pp.3844-3851.

- 108. FAO, 2012.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. *FAO statistical yearbook*.
- 109. FAO, 2001. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.** *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2001* (Vol. 33). Food & Agriculture Org.
- 110. FAOSATAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015.** Food and Agriculture Database (Food, Agriculture Organ, UN, Rome)
- 111. Far, Z., 2007.** *Evaluation de la durabilité des systèmes agropastoraux bovins dans le contexte de la zone semi-aride de Sétif* (Doctoral dissertation, INA).
- 112. Fenni, M. and Bounechada, M., 2011.** Environmental and Agriculture Benefits of Direct Seeding of Wheat in Setif High Plains (North East of Algeria). *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 68(1).
- 113. Fenni, M., 2013.** Impacts of climate change on cereal production in the setif high plains (North-East of Algeria). In *Causes, Impacts and Solutions to Global Warming* (pp. 225-231). Springer, New York, NY.
- 114. Ferraro, D.O., Ghera, C.M. and Sznajder, G.A., 2003.** Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 96(1-3), pp.1-18.
- 115. Fortas, B., Mekhlouf, A., Boutekrabi, A., Kara, D. and Azzi, A., 2016.** REVUE AGRICULTURE.
- 116. Fortas, B., Mekhlouf, A., Hamsi, K., Boudiar, R., Laouar, A. and Djaidjaa, Z., 2014.** Impacts des techniques culturales sur le comportement physique du sol et la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous les conditions semi-aride de la région de Sétif.
- 117. Gadrey, J. and Jany-Catrice, F., 2005.** Les nouveaux indicateurs de richesse, Paris, La Découverte, coll. 128 p.
- 118. Galan, M.B., Peschard, D. and Boizard, H., 2007.** ISO 14 001 at the farm level: Analysis of five methods for evaluating the environmental impact of agricultural practices. *Journal of Environmental Management*, 82(3), pp.341-352.
- 119. Gate, P., 1995.** *Écophysiologie du blé:[de la plante à la culture]*. Technique & Documentation, Lavoisier.
- 120. Geniaux, G., Bellon, C., Deverre, Powell, B., 2009.** *Sustainable development indicator frameworks and initiatives* (No. 49). SEAMLESS.
- 121. Ghozlane, F., Belkheir, B. and Yakhlef, H., 2010.** Impact du Fonds National de Régulation et de Développement Agricole sur la durabilité du bovin laitier dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Algérie). *New Medit*, 3, pp.22-27.

122. **Ghozlane, F., Yakhlef, H. and Allane, M., 2006.** Evaluation de la durabilité des exploitations bovines laitières de la wilaya de Tizi-Ouzou.
123. **Ghozlane, F., Yakhlef, H. and Yaici, S., 2003.** Performances de reproduction et de production laitière des bovins laitiers en Algérie.
124. **Gibson, L.R. and Paulsen, G.M., 1999.** Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. *Crop Science*, 39(6), pp.1841-1846.
125. **Gilbert, R.I.S.T., 2001.** Le développement, Histoire d'une croyance occidentale, Paris, Presse de Sc.
126. **Girardin, P., Bockstaller, C. and Van der Werf, H., 2000.** Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO* ECO method. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(2), pp.227-239.
127. **Gohin, A. and Levert, F., 2006.** Comparer les politiques agricoles américaines et européennes: les indicateurs ESP sont-ils bien utiles?. *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires*, (294-295), pp.92-106.
128. **Graciela, M., 1990.** *Facteurs de stress agissant sur la production du blé en Argentine. Evaluation de mécanismes d'adaptation à la sécheresse* (Doctoral dissertation, Thèse de docteur-ingénieur, Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier).
129. **Gras, R., Benoit, M., Deffontaines, J.P., Duru, M., Lafarge, M., Langlet, A. and Osty, P.L., 1989.** Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'études. *L'Harmattan, Paris*. 184 p.
130. **Hadjou, L., Cheriet, F. and Djenane, A., 2013.** Agriculture biologique en Algérie: potentiel et perspectives de développement. *les cahiers du cread*, 105(1), pp.113-132.
131. **Haffaf, H., Benkherbache, N., Benniou, R. and Saoudi, M., 2016.** Étude de la fertilisation azotée appliquée pour la production de semences du blé dur *Triticum durum* (variété waha) en zone semi-aride (M'sila). *Revue Agriculture*. Numéro spécial (1) 272 – 277.
132. **Hajjaj, B., Bouhache, M., Mrabet, R., Taleb, A. and Douaik, A., 2016.** Efficacité de quelques herbicides des céréales dans une culture du blé tendre conduite en semis direct. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 4(3).
133. **Hamadache, A., 2013.** Elément de la phytotechnie générale grande culture Tome I le blé 1^{ère} édition. Edi ITGC 256p
134. **Hatchuel, A., Reich, Y., Le Masson, P., Weil, B. and Kazakçi, A., 2013.** Beyond models and decisions: situating design through generative functions. In *DS 75-2: Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13), Design for Harmonies, Vol. 2: Design Theory and Research Methodology, Seoul, Korea, 19-22.08. 2013* (pp. 1-10).

- 135. Hattab, M. and Gaouar, A., 2016.** Évaluation des moyens de production céréalière dans la région d'El Gor–wilaya de Tlemcen. (11), pp37 – 43.
- 136. Hazmoune, T. and Benlaribi, M., 2004.** Etude comparee de l'effet de la profondeur de semis sur les caracteres de production de trois genotypes de Triticum durum Desf. EN ZONE SEMI-ARIDE. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, (22), pp.94-99.
- 137. Hénin, S. and Dupuis, M., 1945.** Essai de bilan de la matière organique du sol. Dudod. *Annales Agronomiques*; 15; 17-29.
- 138. Henry, A., Toupet, A-L., Deytieux, V., Reau, R., 2012.** Préfiguration du dispositif DECI Ecophyto, Recueil et analyse critique des règles de décision, Rapport de recherche INRA, ONEMA, DEPHY-Ecophyto, Paris : Ministère de l'Agriculture, 490p.
- 139. Hirschy, M., Ravier C., et Lorin M., 2015.** CRITER 5.4 : Un outil de caractérisation des performances de systèmes de culture Manuel d'utilisateur. INRA – RMT SdCi, 139 p.
- 140. Humbert, A., 2008.** Développement durable et espace rural. *Le développement durable*. In : Wackermann, G., 2008. *Le développement durable*. Ellipses, pp.175-191.
- 141. Jeuffroy M.H., Bergez J.E., David C., Flénet F., Gate P., Loyce C., Maupas F., Meynard J.M., Reau R., Surleau Chambenoit C., 2008.** Utilisation des modèles de culture pour l'aide à la conception et à l'évaluation d'innovation techniques en production végétale bilan et perspectives, pp. 109-128. In: Reau, R. and Doré, T., 2008. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer?*. Educagri Editions.
- 142. Jones, J.W., Antle, J.M., Basso, B.O., Boote, K.J., Conant, R.T., Foster, I., Godfray, H.C.J., Herrero, M., Howitt, R.E., Janssen, S. and Keating, B.A., 2015.** State of Agricultural Systems Science. *Towards a New Generation of Agricultural System Models, Data, and Knowledge Products*, 91.
- 143. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T., 2003.** The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), pp.235-265.
- 144. Keichinger, O., Benoit, P., Boivin, A., Bourrain, X., Briand, O., Chabert, A., Domange, N., Dubus, I., Gouy, V., Guichard, L. and Pitrel, M., 2013.** Guide: développement d'un outil d'aide à la sélection d'indicateurs de risques liés à la présence des produits phytopharmaceutiques dans les milieux aquatiques: Mise au point, applications et perspectives. *Innovations Agronomiques*, 28, pp.p-1.
- 145. Khaldi, R., Dhraief, M.Z. and Albouchi, L., 2010, June.** Innovations institutionnelles face à la crise pour une meilleure adoption des innovations techniques des céréales irriguées en Tunisie.

- 146. Kheyar, M.O., Amara, M. and Harrad, F., 2007.** La mécanisation de la céréaliculture algérienne. Constat et perspectives. *Annales de l'Institut National Agronomique- EI-Harrach*, 28 (1-2).
- 147. Khoualdia, W. and Yahia, H., 2017.** Contribution à l'études de la sécheresse et concepts des modèles probabilistes « cas de la region de Souk-Ahras, Algerie ». *Rev. Courierdu Savoir*, (Janvier 2017).
- 148. Kirkegaard, J., Christen, O., Krupinsky, J. and Layzell, D., 2008.** Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research*, 107(3), pp.185-195.
- 149. Köbrich, C., Rehman, T. and Khan, M., 2003.** Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural systems*, 76(1), pp.141-157.
- 150. Kristle, Nathan, H. S., and Sudhakara, Reddy B., 2012.** Selection Criteria for Sustainable Development Indicators. Indira Gandhi Institute of Development Research, Mumbai.
- 151. Lahmar, R. and Bouzerzour, H., 2010.** Du mulch terreux au mulch organique. *Revisiter le dry-farming pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les Hautes Plaines Sétifiennes*. In : Bouzerzour, H., Irekti, H. and Vadon, B., 2010. Quatrièmes Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. *4èmes Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Actes des IVièmes RMSD, Setif*, pp.3-5.
- 152. Lairez, J., Feschet, P., Aubin, J., Bockstaller, C. and Bouvarel, I., 2016.** *Agriculture et développement durable: Guide pour l'évaluation multicritère*. Educagri Editions.
- 153. Lançon, J., Reau, R., Cariolle, M., Munier-Jolain, N., Omon, B., Petit, M.S., Viaux, P. and Wery, J., 2008.** Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer*, pp.91-107.
- 154. Lançon, J., Wery, J., Rapidel, B., Angokaye, M., Gérardaux, E., Gaborel, C., Ballo, D. and Fadegnon, B., 2007.** An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable development*, 27(2), pp.101-110.
- 155. Landais, E., 1996.** Typologies d'exploitations agricoles. Nouvelles questions, nouvelles méthodes. *Economie rurale*, 236(1), pp.3-15.
- 156. Langeveld, J.W.A., Van Keulen, H., De Haan, J.J., Kroonen-Backbier, B.M.A. and Oenema, J., 2005.** The nucleus and pilot farm research approach: experiences from The Netherlands. *Agricultural Systems*, 84(2), pp.227-252.
- 157. Lardon, S., Albaladejo, C., Allain, S., Cayre, P., Gasselin, P., Lelli, L., Maïzi, P.M., Napoleone, M. and Theau, J.P., 2012, June.** Dispositifs de Recherche-Formation-Action pour et sur le développement agricole et territorial. Nouvelles pratiques de chercheurs.

- 158. Latreche F., Abbes K., 2018.** Concevoir des systèmes de culture innovants en zone semi-aride algérienne : où sont les méthodes ? Communication au séminaire national *Smart Farming*. Un challenge à l'agriculture algérienne université de Batna 24-25 avril 2018.
- 159. Latreche, F., 2011.** *Le rendement et l'efficacité d'utilisation de l'eau de la culture de blé dur (Triticum durum Desf.) Sous les effets du précédent cultural et de l'outil de labour du sol en environnement semi-aride* (Doctoral dissertation). 119 p.
- 160. Lawrence, P.A., Radford, B.J., Thomas, G.A., Sinclair, D.P. and Key, A.J., 1994.** Effect of tillage practices on wheat performance in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research*, 28(3-4), pp.347-364.
- 161. Lazzeri, Y. and Emmanuelle, M., 2008.** *Le développement durable: du concept à la mesure* (No. halshs-00424303).
- 162. Le Bail, M. and Meynard, J.M., 2003.** Yield and protein concentration of spring malting barley: the effects of cropping systems in the Paris Basin (France).
- 163. Le Gal, P.Y., 2009.** Agronomie et conception de systèmes de production innovants : concepts, démarches et outils. Symposium international « *Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED)* », Rabat, Maroc, 14-16 mai 2009.
- 164. Le Gal, P.Y., Andrieu, N., Dugué, P., Kuper, M. and Taher Srairi, M., 2011.** Des outils de simulation pour accompagner des agroéleveurs dans leurs réflexions stratégiques. *Cahiers Agricultures*, 20(5), pp.413-420.
- 165. Le Masson, P., Weil, B. and Hatchuel, A., 2006.** *Les processus d'innovation: Conception innovante et croissance des entreprises*. Paris: Lavoisier.
- 166. Leenhardt, D., Therond, O., Cordier, M.O., Gascuel-Oudou, C., Reynaud, A., Durand, P., Bergez, J.E., Clavel, L., Masson, V. and Moreau, P., 2012.** A generic framework for scenario exercises using models applied to water-resource management. *Environmental Modelling & Software*, 37, pp.125-133.
- 167. Lenerts, A., Popluga, D., Schulte, R.P. and Pilvere, I., 2017.** Sustainability assessment of agricultural production: case study of Latvian crop sector. In *Engineering for Rural Development: Proceedings of the 16th International Scientific Conference* (pp. 1312-1320).
- 168. Leteinturier, B., Herman, J.L., De Longueville, F., Quintin, L. and Oger, R., 2006.** Adaptation of a crop sequence indicator based on a land parcel management system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(4), pp.324-334.
- 169. Lichtfouse, E., 2009.** Climate change, society issues and sustainable agriculture. In *Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms* (pp. 1-7). Springer, Dordrecht.
- 170. Liebig, M.A., Varvel, G. and Doran, J., 2001.** A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. *Agronomy Journal*, 93(2), pp.313-318.

- 171. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J., Castillo, J.E. and Lopez-Bellido, F.J., 2000.** Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 92(6), pp.1054-1063.
- 172. López-Ridaura, S., Maserà, O. and Astier, M., 2002.** Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological indicators*, 2(1-2), pp.135-148.
- 173. Loyce, C. and Wery, J., 2006.** Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. In : Doré, T., Martin, P., Le Bail, M., Ney, B. and Roger-Estrade, J., 2006. *L'agronomie aujourd'hui*. Editions Quae. *L'agronomie aujourd'hui. QUAE Editions*, pp.77-95.
- 174. MADR., 2006.** Note sur l'état du potentiel productif agricole consulté le 17/05 /2017
- 175. MAPMDREF., 2018.** www.agriculture.gov.ma. Date de consultation 28/11/2018.
- 176. MEA (Millennium ecosystem assessment) , 2005.** www.millenniumassessment.org
- 177. Meadows, D. H., Meadows, D. L., Jorgen, R., Behrens, III W., 1972.** The Limits to Growth: A Report of the Club of Rome's Project on the Predicament of mankind. *Ecology Law Quarterly*. Vol. 2, No. 4 (FALL 1972), pp. 879-886.
- 178. Mekhlouf, A., Bouzerzour, H., Dehbi, F. and Hannachi, A., 2001.** Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In *Proceeding séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides. Oum El Bouaghi* (Vol. 23, pp. 75-80).
- 179. Mekhlouf, A., Dehbi, F., Hannachi, A. and Harbi, M., 2012.** Réponses du blé dur aux basses températures en relations avec la capacité de production. *Revue Agriculture* (3).
- 180. Mekhlouf, A., Rouag, N., Boukhadra, R., Chenni, S., Fenni, M. and Makhoul, M., 2013.** Influence of cropping systems on soil properties in semi-arid conditions of Setif, Algeria. *J Agric Sci Technol*, 3(8), pp.653-658.
- 181. Mesli, M.L., 2004.** Le financement de l'agriculture: aspects économiques et contraintes sociales. *Benachenhou A. Du budget au marché. Alger: éditions Alpha*.
- 182. Meynard, J.M., 2008.** Produire autrement: réinventer les systèmes de culture. *Systèmes de culture innovants et durables. Paris*.
- 183. Meynard, J.M., Aggeri, F., Coulon, J.B., Habib, R. and Tillon, J.P., 2006.** Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants. *Rapport du groupe de travail*.

- 184. Meynard, J.M., Dedieu, B. and Bos, A.B., 2012.** Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic* (pp. 405-429). Springer, Dordrecht.
- 185. Mischler P., 2011.** Vers des Systèmes de Culture Intégrés. La production intégrée : une alternative simple et performante pour réduire l'usage des intrants. 6 années de réductions d'intrants réussies en Picardie basées sur l'agronomie, synthèse, 42 pages.
- 186. Mitchell, G., May, A. and McDonald, A., 1995.** PICABUE: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2(2), pp.104-123.
- 187. Moayedi, A.A., Boyce, A.N. and Barakbah, S.S., 2010.** The performance of durum and bread wheat genotypes associated with yield and yield component under different water deficit conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(1), pp.106-113.
- 188. Molenat, H., Brunshwig G., Sibra C., Journal C., Agabriel C., 2007.** Évaluation de la durabilité d'élevages en système salers traditionnel : premiers résultats et regard critique sur une méthode. *Rencontres Recherches Ruminants*, Paris, 5 – 6 Décembre 2007, 14.
- 189. Morlon, P. and Sigaut, F., 2008.** La troublante histoire de la jachère. *Quae*, 328p.
- 190. Munier-Jolain, N. and Dongmo, A.L., 2010.** Evaluation de la faisabilité technique de systèmes de Protection Intégrée en termes de fonctionnement d'exploitation et d'organisation du travail. Comment adapter les solutions aux conditions locales?. *Innovations Agronomiques* (8), 57-67.(2010).
- 191. Nagarajan, S., Jagadish, S.V.K., Prasad, A.H., Thomar, A.K., Anand, A., Pal, M. and Agarwal, P.K., 2010.** Local climate affects growth, yield and grain quality of aromatic and non-aromatic rice in northwestern India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138(3-4), pp.274-281.
- 192. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola S., Hoffman A., Giovannini E., 2008.** Joint Research Centre-European Commission, 2008. *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. OECD publishing.
- 193. Nedjraoui, D., 2001.** Profil Fourrager: <http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/Counprof/Algeria.Algerie.htm>.
- 194. Nefzaoui, A., Ketata, H. and El Mourid, M., 2012.** Changes in North Africa production systems to meet climate uncertainty and new socio-economic scenarios with a focus on dryland areas. *Options Méditerranéennes Série A. Séminaires Méditerranéens*, 102, pp.403-421.
- 195. Nemouchi, H., 2009.** *La question du foncier agricole en Algérie: pratiques foncières/pratiques sociales: le cas de Salah Bouchaour (Nord est algérien)* (Doctoral dissertation, Caen). *Revue ESSO* (29), pp. 89-96.

- 196. Nouaceur, Z., Laignel, B. and Turki, I., 2013.** Changements climatiques au Maghreb: vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien?. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 7), pp.307-323.
- 197. Nouar, H., Bouzerzour, H., Haddad, L., Menad, A., Hazmoune, T. and Zerargui, H., 2012.** Genotype xEnvironment interaction assessment in Durum wheat (*Triticum durum* Desf) using AMMI and GGE models. *Advances in Environmental Biology*, pp.3007-3016.
- 198. Novak, S., 2008.** Méthodes de conception de systèmes de production innovants à l'échelle de l'exploitation agricole. *Synthese bibliographique (sous la direction de PY Le Gal, P Dugué and G Faure)*, Solphy Expertise, Entremont-Le-Vieux, France.
- 199. O.N.S., 2014 a.** Évolution des Échanges de Marchandises de 2001 à 2012. Collections Statistiques, N° 182/2014, Série E : Statistiques Économiques, N° 75, Alger, p. 51-52.
- 200. O.N.S., 2014 b.** Évolution des Échanges de Marchandises de 2003 à 2013. Collections Statistiques, N° 188/2014.
- 201. OCDE, 1999.** Indicateur environnementaux pour l'agriculture. Concepts et cadre d'analyse, Volume1 Ed. OCDE. Paris, 50p.
- 202. Omari, C., Moisseron, J.Y., Alpha, A2012.** L'agriculture algérienne face aux défis alimentaires. *Revue tiers monde*, (2), pp.123-141.
- 203. Oulhaj, L., 2017.** Evaluation of the Agricultural strategy of Morocco (Green Morocco Plan) with a Dynamic General Equilibrium Model. *Femise research programme. Available on <http://www.femise.org/etudes-et-recherches/evaluation-de-lastrategie-agricole-du-maroc-plan-maroc-vert-a-laide-dun-modeledequilibre-general-dynamique/> accessed on, 15.*
- 204. Pacini, C., Giesen, G.W.J., Vazzana, V. and Wossink, A., 2002.** *Sustainability of organic, integrated and conventional farming systems in Tuscany* (No. 1026-2016-82020).
- 205. Pala, M., Oweis, T., Benli, B., De Pauw, E., El Mourid, M., Karrou, M., Jamal, M. and Zencirci, N., 2011.** Assessment of wheat yield gap in the Mediterranean: case studies from Morocco, Syria and Turkey. *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. iv*, pp.963-21.
- 206. Passioura, J., 2004.** Increasing crop productivity when water is scarce – from breeding to field management004 "New directions for a diverse planet". Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep – 1 Oct 2004, Brisbane, Australia. Published on CDROM. Web site www.regional.org.au/au/cs
- 207. Payraudeau, S. and van der Werf, H.M., 2005.** Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(1), pp.1-19.

- 208. Pearce, A. and Walrath, L., 2008.** Definitions of Sustainability from the Literature. *Sustainable facilities and infrastructure*. Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- 209. Picard, D. and Combe, L., 1994.** *Elaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Editions Quae.
- 210. Plénet, D. and Simon, S., 2015.** Une démarche de conception et d'évaluation de systèmes de culture pour des vergers plus durables. *Sciences Eaux Territoires*, (1), pp.58-63.
- 211. Pousset, J. and Bureau, J.M., 2014.** Assolements et rotations des cultures. *Choisir, répartir, ordonner et associer les cultures*. Collection Agri production.
- 212. Pradel, M. and Del'homme, B., 2005.** Évaluation de la durabilité des exploitations viticoles dans le vignoble bordelais. Méthode et résultats. *Actes du Congrès Oenometrics XII, 27-28 mai 2005, Macerata, Italie*.
- 213. Prévost, P., 2012.** Bases de l'Agriculture. 3^{ème} Edition. *Edition TEC and DOC*. 296p.
- 214. R.G.A., 2001.** Recensement générale d'agriculture 2001.
- 215. R.G.A., 2013.** Recensement générale d'agriculture 2013.
- 216. Rapidel, B., Traoré, B.S., Sissoko, F., Lançon, J. and Wery, J., 2009.** Experiment-based prototyping to design and assess cotton management systems in West Africa. *Agronomy for Sustainable development*, 29(4), pp.545-556.
- 217. Rapport Brundtland, 1987.** In: Euler, D.L. and Epp, A.E., 2000. A new foundation for Ontario forest policy for the 21st century. *Ecology of a managed terrestrial landscape: Patterns and processes of forest landscapes in Ontario*. A. Perera, D. Euler, and I. Thompson (editors). University of British Columbia Press, Vancouver, BC, pp.276-294.
- 218. Rastoin, J.L. and Benabderrazik, H., 2014.** Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb: pour un co-développement de filières territorialisées. *Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb: pour un co-développement de filières territorialisées (2014)*.
- 219. Rasul, G. and Thapa, G.B., 2004.** Sustainability of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh: an assessment based on environmental, economic and social perspectives. *Agricultural systems*, 79(3), pp.327-351.
- 220. Reau, R., Monnot, L.A., Schaub, A., Munier-Jolain, N., Pambou, I., Bockstaller, C., Cariolle, M., Chabert, A. and Dumans, P., 2012.** Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations Agronomiques* (20), 5-33.(2012).

221. **Reig-Martínez, E., Gómez-Limón, J.A. and Picazo-Tadeo, A.J., 2011.** Ranking farms with a composite indicator of sustainability. *Agricultural economics*, 42(5), pp.561-575.
222. **Remini, B., 2010.** La problématique de l'eau en Algérie du Nord. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2602-7828*, (8).
223. **Richard, J.F., 2006.** Le devenir de l'agriculture tunisienne face à la libéralisation des échanges. *Afrique contemporaine*, (3), pp.29-42.
224. **Rigby, D., Woodhouse, P., Young, T. and Burton, M., 2001.** Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. *Ecological economics*, 39(3), pp.463-478.
225. **Riley, J., 2001.** Indicator quality for assessment of impact of multidisciplinary systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 87(2), pp.121-128.
226. **Ronchi, E., Federico, A. and Musmeci, F., 2002.** A system oriented integrated indicator for sustainable development in Italy. *Ecological Indicators*, 2(1-2), pp.197-210.
227. **Rosnoblet, J., Girardin, P., Weinzaepflen, E. and Bockstaller, C., 2006,** September. Analysis of 15 years of agriculture sustainability evaluation methods. In *9th ESA Congress, Warsaw, Poland* (pp. 707-708).
228. **Rossing, W.A., Jansma, J.E., De Ruijter, F.J. and Schans, J., 1997.** Operationalizing sustainability: exploring options for environmentally friendly flower bulb production systems. *European Journal of Plant Pathology*, 103(3), pp.217-234.
229. **Rouabhi, A., Dhehibi, B., Laouar, A., Houmoura, M. and Sebaoune, F., 2016 b.** Adoption Perspectives of Direct Seeding in the High Plains of Sétif-Algeria. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 5(1), pp.53-64.
230. **Rouabhi, A., Hafsi, M. and Kebiche, M., 2012.** Assessment of the relationship between the typology and economic performance of farms: A case study for a rural area of province Setif, Algeria. *Advances in Environmental Biology*, 6(8), pp.2259-2268.
231. **Rouabhi, A., Mekhlouf, A., Mokhneche, S. and Elkolli, N., 2016a.** Farming transitions under socioeconomic and climatic constraints in the southern part of Sétif, Algeria. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*, 110(1), pp.139-153.
232. **Rowley, H.V., Peters, G.M., Lundie, S. and Moore, S.J., 2012.** Aggregating sustainability indicators: beyond the weighted sum. *Journal of Environmental Management*, 111, pp.24-33.
233. **Sala, S., Ciuffo, B. and Nijkamp, P., 2015.** A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 119, pp.314-325.

- 234. Salembier, C., Segrestin, B., Berthet, E., Weil, B. and Meynard, J.M., 2018.** Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 164, pp.277-290.
- 235. Schaller, N., 2011.** *Modélisation des décisions d'assolement des agriculteurs et de l'organisation spatiale des cultures dans les territoires de polyculture-élevage* (Doctoral dissertation).
- 236. Schindler, J., Graef, F. and König, H.J., 2015.** Methods to assess farming sustainability in developing countries. A review. *Agronomy for sustainable development*, 35(3), pp.1043-1057.
- 237. Sebillotte, M. and Orstom, 1985.** A travers champs. Agronomes et géographes. *ORSTOM, Paris*, 297, pp.175-229.
- 238. Sebillotte, M. and Soler, L.G., 1990.** Les processus de décision des agriculteurs. Acquis et questions vives. In : Brossier, J., LE moigne, J.L. and Vissac, B.C., 1990. *Modelisation systemique etsysteme agraire, decision et organisation* (No. 631.151 B793m Ej. 1 005169). INRA., Brossier J., Vissac B. & Lemoigne JL, eds. *Modélisation systémique et systèmes agraires. Paris: Inra*, pp.88-102.
- 239. Sebillotte, M., 1985.** La jachère. Éléments pour une théorie. *Blanc-Pamard C, Lericollais A Dynamique des systemes agraires. Atravers champs agronomes et géographes. ORSTOM, Paris*, pp.175-230.
- 240. Sebillotte, M., 1990.** Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. *Les systèmes de culture. INRA éditions*, pp.165-196.
- 241. Sebillotte, M., 1993.** L'agronome face à la notion de fertilité. *Natures Sciences Sociétés*, 1(2), pp.128-141.
- 242. Sebillotte, M., Allain, S., Doré, T. and Meynard, J.M., 1993.** La jachère et ses fonctions agronomiques, économiques et environnementales. Diagnostic actuel.
- 243. Seltzer, P., Lasserre, A., Grandjean, A., Auberty, R. and Fourey, A., 1946.** *Le climat de l'Algérie*. Impr." La Typo-litho" et J. Carbonel.
- 244. Sester, M., Craheix, D., Daudin, G., Sirdey, N., Scopel, É. and Angevin, F., 2015.** Évaluer la durabilité de systèmes de culture en agriculture de conservation à Madagascar (région du lac Alaotra) avec MASC-Mada. *Cahiers Agricultures*, 24(2), pp.123-133.
- 245. Smagacz, J., Koziel, M. and Martyniuk, S., 2016.** Soil properties and yields of winter wheat after long-term growing of this crop in two contrasting rotations. *Plant, Soil and Environment*, 62(12), pp.566-570.
- 246. Smeets, E. and Weterings, R., 1999.** Environmental indicators: Typology and overview. Technical report No. 25. European Environment Agency, Copenhagen. 19 pp.
- 247. Soltner, D., 2012.** Les grandes productions végétales Edi sciences et techniques agricoles 21^{ème} édition 472p.

- 248. Stella, L., 2019.** Mini Review Dryland Farming and the Agronomic Management of Crops in Arid Environments *J. Agron.*, 18 (1): 49-54, 2019
- 249. Stöckle, C.O., Donatelli, M. and Nelson, R., 2003.** CropSyst, a cropping systems simulation model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), pp.289-307.
- 250. Stoorvogel, J.J., Bouma, J. and Orlich, R.A., 2004.** Participatory Research for Systems Analysis. *Agronomy Journal*, 96(2), pp.323-336.
- 251. Tadesse, W., Halila, H., Jamal, M., El-Hanafi, S., Assefa, S., Oweis, T. and Baum, M., 2017.** Role of Sustainable Wheat Production to Ensure Food Security in the CWANA region. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 5, pp.S15-S32.
- 252. Tashiro, T. and Wardlaw, I.F., 1989.** A comparison of the effect of high temperature on grain development in wheat and rice. *Annals of Botany*, 64(1), pp.59-65.
- 253. Tavakkoli, A.R. and Oweis, T.Y., 2004.** The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural Water Management*, 65(3), pp.225-236.
- 254. Thieu, V., Billen, G., Garnier, J. and Benoit, M., 2011.** Nitrogen cycling in a hypothetical scenario of generalised organic agriculture in the Seine, Somme and Scheldt watersheds. *Regional environmental change*, 11(2), pp.359-370.
- 255. Touaibia, B., 2010.** Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. *Sécheresse*, 21(4), pp.333-335.
- 256. Turpin, N., Stapleton, L., Perret, E., van der Heide, C.M., Garrod, G., Brouwer, F., Voltr, V. and Cairol, D., 2010.** Assessment of multifunctionality and jointness of production. In *Environmental and Agricultural Modelling* (pp. 11-35). Springer, Dordrecht.
- 257. Unger, P.W., Stewart, B.A., Parr, J.F. and Singh, R.P., 1991.** Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil and Tillage Research*, 20(2-4), pp.219-240.
- 258. Van Beek, C.L., Brouwer, L. and Oenema, O., 2003.** The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67(3), pp.233-244.
- 259. Van Ittersum, M.K., Ewert, F., Heckeley, T., Wery, J., Olsson, J.A., Andersen, E., Bezlepkina, I., Brouwer, F., Donatelli, M., Flichman, G. and Olsson, L., 2008.** Integrated assessment of agricultural systems—A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agricultural systems*, 96(1-3), pp.150-165.
- 260. Van Oosterom, E.J., Kleijn, D., Ceccarelli, S. and Nachit, M.M., 1993.** Genotype-by-environment interactions of barley in the Mediterranean region. *Crop Science*, 33(4), pp.669-674.

- 261. Vereijken, P.E.T.E.R., 1997.** A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. In *Developments in Crop Science* (Vol. 25, pp. 293-308). Elsevier.
- 262. Vilain, L., Boisset, K., Girardin, P., Guillaumin, A., Mouchet, C., Viaux, P. and Zahm, F., 2008.** La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation. *Dijon: Educagri. 184p.*
- 263. Vilain, L., 2008.** La méthode IDEA : indicateurs de durabilité des exploitations agricoles. Troisième édition. Guide d'utilisation. Edi. Educagri, Dijon, France. 184 pp
- 264. Vorley, B. and Feret, S., 2001.** L'agriculture et le développement durable. *Contribution à un cahier de proposition pour le 21^{ème} siècle* Document provisoire Mai 2001.
- 265. WCED (World Commission on Environment and Development), 1987.** Our Common Future, Oxford, Oxford University Press.
- 266. Yakhlef, H., Ghozlane, F. and Bir, A., 2005.** Essai de l'application de la méthode des indicateurs de la durabilité des exploitations agricoles (IDEA) dans le contexte de l'élevage bovin laitier de la zone semi-aride de Sétif (Algérie). *Annales de L'INRA El-harrach* vol.26 (1 - 2), pp 95-110.
- 267. Zahedi, M. and Jenner, C.F., 2003.** Analysis of effects in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models of grain filling. *The Journal of Agricultural Science*, 141(2), pp.203-212.
- 268. Zahm, F., Viaux, P., Girardin, P., Vilain, L., Mouchet, C. and Environnement, F., 2007.** Farm Sustainability Assessment using the IDEA Method From the concept of farm sustainability to case studies on French farms. *From common principles to common practice*, 77.

ANNEXE 1 Questionnaire d'enquête

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE

DATE

ENQUETE N°

THEME

**EVALUATION ET CONCEPTION DES SUTEMES
DE CULTURE INNOVANTS EN ZONE SEMI-
ARIDE ALGERINNE**

WILAYA :

DAIRA :

COMMUNE :

LIEU :

EXPLOITATION OU FERME :

NOM DU CHEF DE L'EXPLOITATION :

STATUT FONCIER :

Surface totale :

SAU :

Systeme de production.....

1- AGRICULTEUR

| | | | |
|-----|-----------------------|-------------------------------------|----------------|
| Age | Niveau intellectuelle | Maitrise de technique de production | Autre activité |
| | | | |

2-STATUT FONCIER

| P | EAI | EAC | FP | ASSOCIATION | LOCATION | Sur T Loca (ha) | TAUX TL% |
|---|-----|-----|----|-------------|----------|-------------------|----------|
| | | | | | | | |

Coût de location :

3- DIVERSITÉ DES CULTURES ANNUELLES ET TEMPORAIRES :

➤ Quelle est la répartition des terres (SAU) ?ha/zone

| N | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | Total |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| Zone | | | | | | | | | |
| Surface | | | | | | | | | |
| Statut | | | | | | | | | |

4-ÉLEVAGE

| | |
|------|----------|
| Type | Effectif |
| | |
| | |
| | |

5- RÉPARTITION DES CULTURES DANS L'EXPLOITATION

| | | | | | | |
|-------------------|--|--|--|--|--|--|
| Espèce cultivée | | | | | | |
| Variétés cultivée | | | | | | |
| Superficie | | | | | | |

6- DIVERSITÉ DES CULTURES PÉRENNES :

- Les cultures

.....

| Type de culture | arboriculture | viticulture | maraîchage |
|-----------------------------|---------------|-------------|------------|
| Nombre des variétés /espèce | | | |

- Existe-il des Prairies permanente / temporaire de plus de 5 ans ?

OUI :ha

Non

.....% / SAU

| | | | | | | |
|---------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Type prairies pâturées | | | | | | |
| Surface (ha) | | | | | | |
| Type de prairies fauchées | | | | | | |
| Surface/ ha | | | | | | |

7- L'ASSOLEMENT :

- Quelle est la surface assolable / SAU?ha;% SAU.
- Quelles sont les cultures utilisés dans l'assolement ?
.....
- Le % des cultures /surface assolable :

| Type de culture dans l'assolement | Surfaces en ha | %/ surface assolable | % / la SAU | Taux de couverture du sol par la culture |
|-----------------------------------|----------------|----------------------|------------|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

- Présence d'une culture en mixte inter parcellaire ?
Oui,
Laquelle?.....
Non

8- DIMENSION DES PARCELLES :

- L'unité spatiale des parcelles

| Parcelle | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---|---|---|---|---|
| Surface | | | | | |
| Culture | | | | | |

- Quelle est la dimension moyenne des parcelles ?ha

9-PESTICIDE

| Parcelle | Surface ha | Culture | herbicides | insecticides | fongicides | Autre | Surface développée |
|-----------------|---------------|---------|------------|--------------|------------|-------|-----------------------|
| N° 1 | | | | | | | |
| N°2 | | | | | | | |
| N°3 | | | | | | | |
| Total assolé | | | | | | | |

1- Existe-il un dispositif de récupération et de traitement des fonds de cuve ?

-Oui

-Non

2- Procédez-vous à la lutte biologique ?

- Oui; sur quelle type de culture?

-Non

3- Effectuez-vous le désherbage ?

-Oui

-Non

10- DIAGNOSTIQUE DES CHAMPS

| Culture | Densité de peuplement | Homogénéité de la culture | Vigueur des plantes | Taux d'infestation par les mauvaises plantes |
|------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|---|
| Blé dur | | | | |
| Blé tendre | | | | |
| Orge | | | | |
| lentille | | | | |
| Pois chiche | | | | |
| autre | | | | |

11- ÉVÈNEMENTS MAJEURS D'ÉVOLUTION DE L'EXPLOITATION DANS LES 10 DERNIERES ANNEES :

- Liés à l'évolution de la SAU/structure parcellaire : agrandissement, variation du nombre d'assolement
-
- Liés à l'évolution de l'assolement : introduction/abandon de cultures.....
-
- Autres événements

12- CONTRAINTES DE PRODUCTION DANS L'EXPLOITATION

1- Contraintes liées aux conditions naturelles

1-1 Contraintes liée au climat

1- 2 -Contraintes liées au sol

2) Contraintes liées aux facteurs techniques

2-1- Variété

2-2- Itinéraire technique

3) Contraintes liées aux facteurs économiques

3-1 Capitale.....

3-2 Présence d'autre activité.....

3-3 Matériels.....

4) Contrainte liées aux facteurs humaines

4-1- Objectif

4- 2 l'indisponibilité des intrants : semence fertilisation et herbicide

13- CARACTÉRISATION DE SOL

| Structure | Texture | Profondeur | Fertilité (MO) |
|-----------|---------|------------|-----------------|
| | | | |
| | | | |

14-LES MACHINES AGRICOLES

| Matériels | Quantité | Caractéristique | Propriété | Etat | coût |
|-----------------------|----------|-----------------|-----------|------|------|
| Tracteur | | | | | |
| Charrue à soc | | | | | |
| Charrue à disque | | | | | |
| Couper crop | | | | | |
| Scarificateur | | | | | |
| Herse trainé | | | | | |
| Herse rotative | | | | | |
| Rouleau croskill | | | | | |
| Semoir | | | | | |
| Pulvérisateur | | | | | |
| Moissonneuse batteuse | | | | | |
| Ramasseuse presse | | | | | |

15- ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1-Précédent cultural

| Année | N-3 | N-2 | N-1 | N | N+1 | N+2 |
|---------|-----|-----|-----|---|-----|-----|
| Culture | | | | | | |

| Année | N-3 | N-2 | N-1 | N | N+1 | N+2 |
|---------|-----|-----|-----|---|-----|-----|
| Culture | | | | | | |

2-Préparation de sol

| | Date | Outils | Commentaire | coût |
|----------------------|------|--------|-------------|------|
| Labour | | | | |
| Travail superficiels | | | | |
| | | | | |

3-Le semis

| Cultures | Mode de semis | Dose de semis | Date de semis | Variété |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------|
| Blé dur | | | | |
| Blé tendre | | | | |
| Orge | | | | |
| Avoine | | | | |
| Autre à précisé | | | | |

4-La fertilisation

| Engrais | Composition | Dose | Date d'application | observation et commentaire | Coût |
|-------------------|-------------|------|--------------------|----------------------------|------|
| De fond | | | | | |
| De couverture | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Matière organique | | | | | |

5-Irrigation

| Type d'irrigation | Date | Dose | Observation et commentaire |
|-------------------|------|------|----------------------------|
| D'appoint | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Intégrale | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

8-Le temps de travail

Le temps de travail /ha

.....

Unité de travail humain

.....

16- LES RÈGLES DE DÉCISION DE RÉALISATION DE L'ITINÉRAIRE TECHNIQUE

1-Sur quelle base vous choisissez le matériels de travail de sol

.....

2-Comment décidez-vous de démarrer votre campagne de semis

.....

3-Sur quelle base le choix de la culture et la variété est fait

Choix culture.....

Choix variété

4-Comment décidez-vous démarrer votre campagne de désherbage.....

5-Comment décidez-vous démarrer votre campagne d'irrigation

6- Quelle sont les règles de :

Choix de type l'engrais

Les quantités à apporter

Les dates d'apport.....

7-Comment décidez-vous de démarrer la lutte phytosanitaire.....

.....

8-Comment décidez-vous de démarrer votre campagne de récolte.....

.....

17-GESTION DES RÉSIDUS DE CULTURE

| Brulé | Incorporé | Ramassée | Pâturée | Intensité de pâturage |
|-------|-----------|----------|---------|-----------------------|
| | | | | |

18- CONSOMMATION D'ÉNERGIE

| Consommation de carburant | Préparation de sol | Semis | désherbage | Récolte et transport |
|---------------------------|--------------------|-------|------------|----------------------|
| Quantité | | | | |
| Temps de travail | | | | |

19-HÉRITABILITÉ DE L'EXPLOITATION

Par vente

En descendant.....

20-LES PERFORMANCES ÉCONOMIQUES DE L'EXPLOITATION

| Charge fixe | Charge mobile | Rendement | Prix de vente | Gain économique nette |
|-------------|---------------|-----------|---------------|-----------------------|
| | | | | |
| | | | | |

21- CONTRIBUTION À LA SATISFACTION DES ATTENTES SOCIALES

.....
.....

22- EVALUATION GÉNÉRALE DE L'EXPLOITATION AGRICOLE.

.....
.....

Annexe II Analyse physico-chimique de sol

Tableau A1 analyse physique

| commune | nombre d'échantillon | pH | MO en % | Carbone total | Conductivité électrique ms/m * | analyse granulométrique | | | |
|----------------------|----------------------|------|---------|---------------|--------------------------------|-------------------------|---------|---------|---------|
| | | | | | | Ca meq/100g | Argile% | limon % | sable % |
| Taoura | 5 | 8,46 | 2,279 | 48,43 | 13,1 | 38,51 | 53 | 26 | 21 |
| | | 8,03 | 1,896 | 45,21 | 15,1 | 37,21 | 44 | 32 | 24 |
| | | 8,23 | 2,019 | 47,28 | 13,2 | 32,3 | 48 | 29 | 23 |
| | | 8,41 | 2,11 | 36,02 | 10,6 | 45,72 | 51 | 29 | 20 |
| | | 8,26 | 1,695 | 56,48 | 11,4 | 37,62 | 57 | 34 | 9 |
| Sadreta | 3 | 8,19 | 2,23 | 61,24 | 14,1 | 32,58 | 38 | 40 | 22 |
| | | 8,32 | 1,986 | 52,96 | 12,6 | 38,61 | 38 | 48 | 14 |
| | | 8,26 | 2,451 | 52,06 | 11,4 | 36,23 | 33 | 56 | 11 |
| Ouillen | 3 | 8,31 | 1,852 | 54,89 | 12,3 | 42,26 | 47 | 29 | 24 |
| | | 8,4 | 2,239 | 55,29 | 10,6 | 34,63 | 46 | 23 | 31 |
| | | 8,16 | 1,874 | 53,74 | 14,5 | 35,14 | 36 | 39 | 25 |
| M'darouche | 3 | 8,56 | 1,587 | 59,31 | 10,1 | 29,32 | 35 | 41 | 24 |
| | | 8,28 | 2,235 | 70,25 | 12,6 | 38,56 | 40 | 45 | 15 |
| | | 8,29 | 1,542 | 52,39 | 13,5 | 40,25 | 59 | 24 | 17 |
| Bir Bouhouche | 3 | 8,2 | 1,951 | 62,2 | 12,4 | 35,55 | 21 | 61 | 18 |
| | | 8,51 | 2,058 | 31,27 | 10,8 | 39,21 | 19 | 63 | 18 |
| | | 8,25 | 3,012 | 49,58 | 12,9 | 37,16 | 7 | 68 | 25 |

Tableau A2 Analyse chimique

| commune | nombre d'échantillon | dosage des éléments nutritifs | | | | | |
|----------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------|
| | | <i>K meq/100g</i> | <i>Na meq/100g</i> | <i>Mg meq/100g</i> | <i>Ca meq/100g</i> | <i>P ppm *</i> | <i>N % *</i> |
| Taoura | 5 | 0,38 | 0,24 | 1,05 | 38,51 | 10,1 | 0,211 |
| | | 0,43 | 0,2 | 2,06 | 37,21 | 11,4 | 0,206 |
| | | 0,41 | 0,28 | 1,86 | 32,3 | 17,2 | 0,201 |
| | | 0,39 | 0,26 | 1,99 | 45,72 | 14,3 | 0,285 |
| | | 0,57 | 0,3 | 2,01 | 37,62 | 13,2 | 0,188 |
| M'darouche | 3 | 0,7 | 0,25 | 1,98 | 29,32 | 16,8 | 0,154 |
| | | 0,35 | 0,19 | 1,35 | 38,56 | 21,2 | 0,25 |
| | | 0,45 | 0,29 | 2,36 | 40,25 | 35,6 | 0,195 |
| Ouillen | 3 | 0,86 | 0,31 | 1,38 | 42,26 | 18,3 | 0,198 |
| | | 0,68 | 0,18 | 1,65 | 34,63 | 15,6 | 0,213 |
| | | 0,55 | 0,18 | 2,45 | 35,14 | 16,6 | 0,241 |
| Sadrata | 3 | 0,64 | 0,26 | 0,89 | 32,58 | 11 | 0,169 |
| | | 0,31 | 0,27 | 1,44 | 38,61 | 13,8 | 0,159 |
| | | 0,46 | 0,19 | 1,13 | 36,23 | 12,9 | 0,22 |
| Bir Bouhouche | 3 | 0,61 | 0,32 | 1,19 | 35,55 | 19,5 | 0,235 |
| | | 0,73 | 0,26 | 0,93 | 39,21 | 7,8 | 0,18 |
| | | 0,59 | 0,26 | 3,27 | 37,16 | 9,2 | 0,147 |

ANNEXE 3 Résultat de contribution des différents indicateurs au développement durable en utilisant les nouveaux seuils de durabilité (10^{ème} et 90^{ème} centiles)

Tableau A3 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) de la contribution des indicateurs au développement durable dans la région de Sétif.

| | La succession des cultures | | | | | |
|-----|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| | céréales jachère travaillée | céréales jachère Pâturée | Monoculture des céréales | céréales légumes secs | céréales pomme de terre | céréales maraichage |
| PB | 0,21 (0,10) | 0,14(0,11) | 0,14(0,10) | 0,19(0,10) | 0,27 (0,13) | 0,21(0,06) |
| CT | 0,19(0,03) | 0,20(0,03) | 0,19(0,03) | 0,18(0,05) | 0,07(0,03) | 0,15(0,08) |
| MB | 0,20(0,10) | 0,15(0,12) | 0,18(0,10) | 0,22(0,10) | 0,030(0,03) | 0,21 (0,11) |
| EE | 0,17(0,09) | 0,11(0,09) | 0,12(0,07) | 0,12(0,06) | 0,17(0,10) | 0,13(0,10) |
| MO | 0,05(0,01) | 0,04(0,02) | 0,05(0,01) | 0,05(0,02) | 0,05(0,02) | 0,05(0,02) |
| CS | 0,06(0,05) | 0,05(0,05) | 0,07(0,05) | 0,05(0,05) | 0,05(0,05) | 0,04(0,04) |
| En | 0,35(0,04) | 0,35(0,03) | 0,35(0,03) | 0,36(0,03) | 0,27(0,04) | 0,25(0,03) |
| EEn | 0,39(0,07) | 0,40(0,11) | 0,39(0,02) | 0,38(0,07) | 0,29(0,01) | 0,28(0,01) |
| SC | 0,04(0,03) | 0,03(0,04) | 0,04(0,04) | 0,05(0,04) | 0,11(0,02) | 0,06(0,04) |
| Div | 0,07(0,06) | 0,08(0,05) | 0,07(0,05) | 0,13(0,07) | 0,11(0,07) | 0,10(0,06) |
| DFC | 0,01(0,02) | 0,01(0,00) | 0,01(0,03) | 0,04(0,00) | 0,03(0,00) | 0,06(0,02) |
| Ass | 0,04(0,02) | 0,04(0,02) | 0,04(0,02) | 0,07(0,04) | 0,05(0,02) | 0,06(0,02) |
| IFT | 0,25(0,05) | 0,17(0,09) | 0,15(0,07) | 0,27(0,09) | 0,15(0,05) | 0,17(0,10) |
| GRE | 0,19(0,01) | 0,19(0,02) | 0,19(0,01) | 0,19(0,01) | 0,19(0,02) | 0,16(0,02) |
| EMP | 0,35(0,12) | 0,33(0,11) | 0,31(0,07) | 0,32(0,08) | 0,36(0,10) | 0,32(0,08) |
| CIC | 0,11(0,12) | 0,11(0,10) | 0,11(0,11) | 0,09(0,13) | 0,07(0,08) | 0,11(0,10) |
| QS | 0,16(0,05) | 0,17(0,02) | 0,07(0,05) | 0,17(0,04) | 0,11(0,03) | 0,10(0,05) |
| Dg | 0,53±0,17 | 0,52±0,11 | 0,52±0,09 | 0,55±0,14 | 0,67±0,17 | 0,59±0,14 |

Tableau A4 Moyenne et écart-type (entre parenthèses) de la contribution des indicateurs au développement durable dans la région de Souk-Ahras.

| | La succession des cultures | | | | | |
|-----|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | céréales jachère travaillée | céréales jachère Pâturée | Monoculture des céréales | céréales légumes secs | céréales pomme de terre | céréales de maraichage |
| PB | 0,19(0,09) | 0,17 (0,10) | 0,19(0,12) | 0,20(0,10) | 0,24(0,05) | 0,21(0,11) |
| CT | 0,14(0,05) | 0,15(0,04) | 0,14(0,06) | 0,14(0,05) | 0,08(0,06) | 0,13(0,06) |
| MB | 0,21(0,11) | 0,19(0,11) | 0,25(0,16) | 0,26(0,08) | 0,30(0,04) | 0,24(0,10) |
| EE | 0,17(0,11) | 0,16(0,11) | 0,14(0,10) | 0,21 (0,10) | 0,25(0,07) | 0,21(0,12) |
| MO | 0,05(0,02) | 0,05(0,03) | 0,05(0,02) | 0,06(0,02) | 0,07(0,02) | 0,04(0,02) |
| CS | 0,10(0,03) | 0,08(0,05) | 0,04(0,05) | 0,05(0,05) | 0,04(0,05) | 0,04(0,05) |
| En | 0,25(0,02) | 0,24(0,01) | 0,26(0,11) | 0,25(0,01) | 0,17(0,03) | 0,14(0,01) |
| EEn | 0,28 (0,01) | 0,29(0,01) | 0,27(0,02) | 0,29(0,08) | 0,18(0,06) | 0,12(0,05) |
| SC | 0,01 (0,01) | 0,01(0,00) | 0,03(0,02) | 0,04(0,03) | 0,03(0,03) | 0,02(0,02) |
| Div | 0,07 (0,05) | 0,09(0,05) | 0,10(0,07) | 0,12(0,05) | 0,13(0,05) | 0,09(0,05) |
| DFC | 0,02 (0,02) | 0,02(0,03) | 0,04(0,16) | 0,05(0,03) | 0,04(0,02) | 0,04(0,05) |
| Ass | 0,07 (0,03) | 0,05(0,03) | 0,06(0,05) | 0,09(0,03) | 0,07(0,02) | 0,07(0,01) |
| IFT | 0,18 (0,08) | 0,19(0,12) | 0,21(0,14) | 0,19(0,06) | 0,17(0,05) | 0,16(0,08) |
| GRE | 0,19 (0,02) | 0,19(0,01) | 0,19(0,02) | 0,19(0,01) | 0,11(0,02) | 0,10(0,01) |
| EMP | 0,46(0,10) | 0,44(0,07) | 0,46(0,09) | 0,45(0,04) | 0,53(0,18) | 0,45(0,04) |
| CIC | 0,53(0,13) | 0,53(0,09) | 0,53 (0,07) | 0,58(0,12) | 0,53(0,09) | 0,54(0,08) |
| QS | 0,17(0,05) | 0,15(0,06) | 0,11(0,06) | 0,17(0,05) | 0,12((0,05) | 0,12(0,05) |
| Dg | 0,59±0,17 | 0,54±0,07 | 0,51±0,10 | 0,61±0,17 | 0,66±0,13 | 0,64±0,13 |

Tableau A5 Classement de six systèmes de culture selon le poids assigné par les parties prenantes après changement du seuil

| | Parties prenantes | | | | | | |
|---------|-------------------|------------|--------------|-------------|-----------|-------------|---------|
| | Agronomes | Chercheurs | Agriculteurs | Écologistes | Décideurs | Poids Égaux | Moyenne |
| CérJW | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| CérJPât | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| CérLég | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 | 5 | 4,5 |
| CérPT | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5,6 |
| CérMar | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4,1 |
| MonCér | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0 |