REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat ABBES –Sétif

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

Département d'Agronomie

Mémoire de MAGISTER en Sciences Agronomiques
Option : Amélioration de la production végétale
Spécialité : Production végétale

THÈME

Stabilité du critère de la discrimination du carbone isotopique en relation avec le poids spécifique de la feuille drapeau chez quelques variétés de blé dur cultivées en milieu semi aride.

Présenté par : **Mr MAAMRI Khelifa**

Devant le jury:

Président :	**Laouar. H**	Prof.	UNIV. FERHAT ABBAS-SETIF.
Encadreur :	**Hafsi. M**	Prof.	UNIV. FERHAT ABBAS-SETIF.
Examinateur :	**Fenni. M**	Prof.	UNIV. FERHAT ABBAS-SETIF.
Examinateur :	**Benmahammed A**	Prof.	UNIV. FERHAT ABBAS-SETIF.

«Année universitaire : 2010/ 2011»

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à mon Encadreur, Professeur ***Hafsi Miloud***, de la faculté des Sciences naturelles et vie de l'Université Ferhat Abbas de Sétif qui a fait preuve d'une grande patience à mon égard et a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à exprimer mes plus grands respects et mes vifs remerciements au Professeur ***Laouar. H,*** de la faculté des Sciences naturelles et vie de l'Université Ferhat Abbas de Sétif pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury.

Mes remerciements les plus profonds au Professeur ***Benmahammed A,*** et au Professeur ***Fenni. M,*** Maîtres de Conférences à faculté des Sciences de l'Université Ferhat Abbas de Sétif qui ont bien voulu examiner ce travail.

Mes remerciements les plus chaleureux vont également à ma famille pour son soutien, ses encouragements et sa patience.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont aidé de prés ou de loin à réaliser ce travail.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1: Principaux pays exportateurs des blés dans le monde. 4
Tableau n° 2: Les principaux pays importateurs de blé dans le monde. 6
Tableau n° 3 : Evolution de la consommation totale de blé au niveau mondial. 8
Tableau n° 4 : Consommation par tête de blé dans quelques pays, 1961-2003. 8
Tableau n° 5 : Superficies emblavées et récoltées pour le blé dur et le blé tendre. 11
Tableau n° 6 : Evolution des rendements par espèces (par rapport aux surfaces récoltées). 12
Tableau n° 7 : Evolution de la production des blés. 13
Tableau n° 8 : Principaux caractères impliqués dans les mécanismes de tolérance à la sécheresse (Turner *et al.*, 2001). 21
Tableau n° 9 : Description du matériel végétal. 34
Tableau n°10 : Levée et tallage herbacé 40
Tableau n°11 : Chronologie de l'épiaison et de la maturité 40
Tableau n°12 :Nombre d'épis et tallage 41
Tableau n°13 :Valeurs moyennes du rendement et de ses composantes. 42
Tableau n°14 : Evolution de la teneur de la chlorophylle totale de la feuille drapeau (unité SPAD) en fonction de la somme des températures après floraison 43
Tableau n°15 : Evolution de la Teneur Relative en Eau de la feuille drapeau (%) en fonction de la somme des températures après épiaison 44
Tableau n°16 :Valeurs moyennes de la surface foliaire et du poids spécifique 45
Tableau n°17 : Efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) et efficacité de la transpiration (W) en gramme/millimètre/m² d'eau 45
Tableau n°18 : Valeurs moyennes de la sénescence durant tout le cycle (Sa), du cumul des températures à 50%de S (Σ50 S), de la vitesse moyenne (Vsa) et de la vitesse maximales de la sénescence de la feuille drapeau (Vs max). 46
Tableau n°19 : Analyse de variance, moyenne et écart-type (SD) pour les rendements en grains (GY), Discrimination isotopique du carbone des grains (ΔGM) à maturité. 65
Tableau n°20. Rendement de grain et discrimination isotopique du carbone des différents cultivars (saison 2004-2005). 65
Tableaux n°21 et n°22 : Moyenne des valeurs CID à 15 et 20% d'intensité sélection pour les deux croisements dans la population F2 et F3. 69
Tableau n°23 : Analyse de variance, moyenne pour le rendement grain (GY), la biomasse, grains / épi, épis / m² et le poids de mille grains (PMG). 69

LISTE DES FIGURES

Figure n° 1 : Superficies emblavées et récoltées pour les blés. 11
Figure n° 2 : Evolution du rendement 12
Figure n° 3 : Evolution de la production de blé. 13
Figure n°4 : Echelle d'étude de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Tambussi, *et al*., 2007). 27
Figure n°5 : Diagramme ombrothermique campagne (08/09) 38
Figure n°6 : Diagramme ombrothermique de la période 1981-2008 38
Figure n°7 : Fluctuation de l'humidité pondérée (observée) du sol au cours du cycle végétatif 39
Figure n°8 : Relation entre précocité et rendement grain. 48
Figure n°9 : Relation entre la biomasse et la hauteur. 48
Figure n°10 : Relation entre le rendement et la hauteur. 48
Figure n° 11 : Relation entre l'indice de récolte et la hauteur. 51
Figure n°12 : Relation entre l'indice de récolte et la biomasse aérienne. 51
Figure n°13 : Relation entre le nombre de grains/m² et le rendement. 51
Figure n°14 : Relation entre le nombre de grains/m² et le nombre de grains/épi. 54
Figure n°15 : Relation entre le nombre de grains/m² et le nombre de épis/talle. 54
Figure n°16 : Relation entre le nombre de grains/m² et le poids de mille grains. 54
Figure n°17 : Evolution du poids cumulé des grains (%) en fonction du cumul des températures 57
Figure n°18. Vitesse de remplissage variétale en fonction des cumuls de température 58
Figure n° 19 : Evolution de la sénescence de la feuille drapeau. 60
Figure n°20 : Relation entre l'efficacité d'utilisation de l'eau et le nombre de jour à 50%de l'épiaison. 62
Figure n°21 : Température et précipitations à la station de Khroub (ci-dessus) et dans la station de Sétif (ci-dessous). 67
Figure n°22 : La répartition de la valeur Δ grain pour chacun des trois cultivars. 67
Figure n°23 : Les valeurs Δ au sein des populations F2 de Oued Zenati /Mexicali. 71
Figure n°24 : Les valeurs Δ au sein des populations F2 de Mexicali / Waha. 71
Figure n°25 : Variation de CID des croisements MW, OM1 et OM2. 71
Figure n°26 : Stabilité du CID dans les environnements. 72

LISTE DES CARTES

Carte n° 1: Principaux flux mondiaux de blé 5
Carte n° 2 : Localisation des zones céréalières en Algérie. 10

Liste des abréviations

Abréviation	**Signification**
Bio	Biomasse aérienne.
HI	Indice de récolte.
ht	Hauteur.
NE/m²	Nombre d'épis par mètre carré.
NG/épi	Nombre de grains par épi.
PMG	Poids de mille grains.
Poid sec	Poids sec de la feuille drapeau
Poid spéc	Poids spécifique de la feuille drapeau
RDT	Rendement grain
Sa%	Valeurs moyennes de la sénescence de la feuille drapeau
Surf	surface foliaire
Tall épi	Nombre de talle par épi
Tall/m²	Nombre de talle par m²
TCholo	Teneur en chlorophylle.
TRE	Teneur Relative en Eau
Vsa	vitesse moyenne de la sénescence de la feuille drapeau
Vs max	vitesse maximale de la sénescence de la feuille drapeau
W bio	Efficacité de la transpiration de la biomasse aérienne
W gr	Efficacité de la transpiration du grain
WUE bio	Efficacité d'utilisation de l'eau de la biomasse aérienne
WUE gr	Efficacité d'utilisation de l'eau du grain
Σ 50 S	Valeurs moyennes du cumul des températures à 50%de la sénescence
Δ13C :	Discrimination isotopique du carbone

SOMMAIRE

INTRODUCTION 1
Chapitre I- Revue bibliographique 3
1- La culture du blé dur: Historique, Origine et Classification 3
2- Importance de la culture du blé dur 4
2-1- Dans le monde 4
a] L'offre mondiale 4
b] La demande mondiale 6
c] La consommation mondiale 7
2-2- En Algérie 8
2-2-1- Place du blé dans la consommation alimentaire des ménages 8
2-2-2- Evolution de la culture céréalière au niveau national 9
A. La superficie 9
B. Les Rendements 12
C. La Production 13
- La faiblesse de la production nationale : pourquoi ? 14
3. Biologie de *Triticum turgidum* ssp. *durum* 15
3-1- Description générale. 15
3-2- Biologie de la reproduction de *Triticum turgidum* ssp. *durum* 16
4- La spécificité du climat des hauts plateaux 16
5- LES CONTRAINTES ABIOTIQUES ET LEURS EFFETS SUR LA PLANTE 17
5-1- L'éclairement 17
5-2- La température 18
5-2-1- Les basses températures 18
5-2-2- Les températures élevées 18
5-3- Le stress hydrique 19
6- Mécanisme d'adaptation aux stress 20
6-1- Adaptations phénologiques 21
6-2- Adaptations morphologiques 22
6-3- Adaptations morphologiques 23
7 - Efficacité d'utilisation de l'eau 26
7-1 Efficacité d'utilisation de l'eau comme critère de sélection 26
7-2 Sélection pour l'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle de la feuille 28
8- Discrimination isotopique du carbone 29
8-1 Relation entre $\Delta^{13}C$ et l'efficacité d'utilisation de l'eau 30
8-2 Relation entre rendement en grains et $\Delta^{13}C$ chez les céréales 31
8-3- Interaction entre croissance et utilisation de l'eau 32
Chapitre II- MATERIEL ET METHODES 34
1- Dispositif et protocole expérimental 34
2- SUIVI ET NOTATIONS 34
2-1- L'humidité du sol 34

2-2-Rendement et composantes du rendement 35
2-3-Teneur en chlorophylle 35
2-4- Surface et poids spécifique de la feuille drapeau 35
2-5- Teneur relative en eau (TRE) 35
2-6- Expression de la sénescence 36
3-Le Logiciel *Budget* 36
3-1 Entrées du modèle 36
3-1-1 Précipitations 36
3-1-2 Evapotranspiration de référence ETo 37
3-1-3 sol 37
3-1-4 Matériel végétal 37
3-1-5 Programmation 37
3-2 Sorties du modèle et simulation 37
4- Analyse statistique 37
38
Chapitre III- RESULTATS ET DISCUSSIONS

1-RESULTATS 38
1-1-Températures et pluviométrie : 38
1-2 Humidité du sol 39
1-3 Elaboration du rendement 40
1-3-1 Levée et tallage herbacé 40
1-3-2 Epiaison 40
1-3-3 Tallage épi 41
1-3-4 Nombre de grains par m² et fertilité épi 41
1-3-5 Poids de mille grains 41
1-3-6 Biomasse aérienne et hauteur des chaumes 41
1-3-7 Rendement grain 42
1-3-8 Indice de récolte 42
1-4 Evaluation de quelques paramètres du feuillage 43
1-4-1 Teneur en chlorophylle 43
1-4-2 Teneur Relative en eau 43
1-4-3 La surface foliaire 44
1-4-4 Le poids spécifique 44
1-5 Evaluation de quelques paramètres physiologiques 45
1-5-1 Efficacité d'utilisation de l'eau 45
1-5-2 Efficacité de transpiration 45
1-5-3 Sénescence de la feuille drapeau 46
2-Discussion des résultats 47
2-1 Rendement grain et précocité 47
2-2 Relations entre le rendement et ses composantes 48
2-2-1 Biomasse aérienne 48
2-2-2 Hauteur 50
2-2-3 L'indice de récolte 50
2-2-4 Fertilité 52
2-2-5 Poids de mille grains (PMG) 53
2-2-6 Nombre d'épi par m² 53
2-3 Relations entre le rendement et les paramètres du feuillage 55
2-3-1 Surface foliaire 55
2-3-2 Poids spécifique de la feuille (PSF) 55

2-3-3 Teneur relative en eau 55
2-4 Relations entre le rendement et les paramètres physiologiques 56
2-4-1 Vitesse de remplissage de grain 56
2-4-2 sénescence foliaire 59
2-4-3 Efficacité d'utilisation de l'eau et de la transpiration en relation avec la discrimination isotopique du carbone 59

Chapitre VI- SYNTHESE

1. Rendement en grains (2000-2001 et 2001-2002) 64
2. Discrimination isotopique du carbone (2000-2001et 2001-2002) 64
3. Rendement en grains (2003-2004) 64
4. Discrimination isotopique du carbone (2003-2004) 64
5. Projet de la période: 2007-2008 68
Conclusion 73
Conclusion générale 74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 76
ANNEXES

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Au cours des deux générations du dernier siècle, la population mondiale a augmenté de 90%, tandis que la production alimentaire s'est développée de 115%. Comme avec d'autres cultures vivrières, la productivité du blé a augmenté régulièrement au cours des 40 dernières années grâce à la disponibilité de meilleurs variétés, intrants, marchés et gestion. En raison de la croissance de l'offre - le blé est le plus largement commercé entre les céréales - les prix à la production ont diminué d'environ 40% au cours des deux dernières générations. (J.DIXON 2007).

Malgré l'augmentation de la production alimentaire par habitant, environ 800 millions de personnes souffrent de la faim et près de 1,2 milliard de personnes vivent au-dessous du seuil de pauvreté international de consommation de 1 $ US par habitant et par jour. Le blé est cultivé sur une grande échelle dans 70 pays et pour de nombreux ménages pauvres le blé est un important article de production ou de consommation. Néanmoins, la sécurité alimentaire mondiale est très fragiles, en particulier en regardant vers le milieu du siècle: parce que selon les prévisions des besoins pour l'alimentation humaine, animale et les utilisations industrielles, la production mondiale de blé devrait augmenter de près de 600 millions de tonnes à environ 760 millions de tonnes en 2020, avec une expansion limitée de la superficie ensemencée.(J.DIXON 2007).

Les chercheurs de blé ont accompli des contributions uniques et d'excellents progrès pour l'augmentation de la production au cours des dernières décennies, principalement dans les pays moins développés ; cependant, il existe de nombreux défis qui nous attendent encore pour rendre la nourriture plus accessible que jamais d'une manière durable et pour répondre aux besoins d'une population croissante. De nombreux stress biotiques et abiotiques affectent le blé dans les principales zones de production et sa croissance future viendra très probablement des environnements marginaux où telles stress jouent un rôle bien plus important. Les pays en voie de développement deviennent de plus en plus urbanisés. Pendant que les populations urbaines se développent, la terre productive disparaît et ceci implique la nécessité d'une plus grande culture intensive pour suivre le rythme. L'utilisation de l'eau pour l'agriculture fait face également à plus de concurrence des utilisations dans les zones urbaines. Des efforts focalisés pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau du blé sont cruciaux pour assurer la durabilité de la production alimentaire dans les régions où l'eau est limitée. (H. Buck and J. Nisi, 2007).

Le secteur des céréales occupe une place très importante dans l'économie algérienne car l'Algérie appartient au groupe des plus gros importateurs de blé dans le monde, où elle est classée à la sixième place. En effet, les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. A titre indicatif, la quantité des blés importée pour la saison 2005/2006 a atteint 5,5 millions de tonnes pour une facture de 510 millions de dollars US (Kellou, 2008).

Le manque d'eau reste le facteur le plus limitant auquel fait face la culture du blé dur, quoique des études récentes montrent que ce sont plutôt les bases températures hivernales et printanières qui handicapent le plus cette spéculation (Annichiarico *et al*.,2002 , Annichiarico *et al*.2005). Tout progrès sensibles des agros systèmes basés sur cette culture, dans l'étage bioclimatique semi-aride semble conditionné par par l'amélioration de l'efficience de l'eau (Richards *et al.,* 1997).

Maximiser l'efficience de l'utilisation de l'eau du sol, accroître la productivité de la biomasse par unité d'eau utilisée et améliorer la conversion de la biomasse végétative en rendement économique sont les objectifs recherchés en zones semi-arides (Krishnamurthy *et al*., 2007).

Dans ce contexte, les techniques de la discrimination isotopique du carbone (CID) ont pu être un moyen potentiel dans les programmes de sélection et d'identification des cultivars tolérant la sécheresse. Le formalisme mathématique des transferts de CO2 et de vapeur d'eau ainsi que celui du fractionnement isotopique du carbone lors de la photosynthèse permet d'attribuer à une plante (ou à un organe donné d'une plante) une valeur de composition isotopique qui révèle son efficacité d'utilisation de l'eau (Merah,*et al*.,1999).

Des progrès importants ont par ailleurs été réalisés au cours des dernières années dans l'automatisation des analyses. Les avantages présentés par ce critère dans les programmes de sélection sont liés à **i)** sa valeur intégrative, **ii)** l'existence d'une variabilité génétique, **iii)** de faibles interactions génotypes x milieu, **iv)** une forte héritabilité, **v)** la facilité de la préparation des échantillons et **vi)** l'automatisation des analyses isotopiques qui conduisent à sa mesure (Merah, *et al*., 1999).

Dans cette étude qui a comparé une série de variétés de blé dur ayant fait l'objet auparavant d'une caractérisation sur le plan de l'association entre le rendement et la discrimination isotopique du carbone (CID). La spécifié de ce présent travail dresse une synthèse sur la valeur de ce critère de sélection en relation avec les performances d'un ensemble de variétés de blé dur en milieu semi aride. Le deuxième aspect traitera de la relation du CID en relation avec le poids spécifique de la feuille drapeau.

Chapitre I

Revue bibliographique

Chapitre I- Revue bibliographique

1- La culture du blé dur: Historique, Origine et Classification

Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme, depuis plus de 7000 à 10000 ans, dans le Croissant Fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran (Croston et Williams,1981). Des restes de blés, diploïde et tétraploïdes, remontant au VII iéme millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (Harlan,1975).

Les blés sauvages tétraploïdes sont largement répandus au Proche-Orient, où les humains ont commencé à les récolter dans la nature (Bozzini,1988). Comparativement aux blés diploïdes, leurs grands épis et leurs gros grains les rendaient beaucoup plus intéressants pour la domestication. On croit que le blé dur provient des territoires actuels de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran (Feldman, 2001). Le blé dur est allotétraploïde (deux génomes : AABB), comptant au total 28 chromosomes (2*n*=4x=28), contenant le complément diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches. Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome A a une paire de chromosomes homologues dans le génome B, à laquelle elle est étroitement apparentée (Wall *et al*., 1971).

Les analyses cytologiques et moléculaires laissent croire que les sous-espèces de *T. turgidum* seraient issues de l'hybridation naturelle de *Triticum monococcum* L. subsp. *boeoticum* (Boiss.) (synonyme : *Triticum urartu :* AA) avec une espèce de blé diploïde inconnue contenant le génome B (Feldman, 1976). Selon Kimber et Sears (1987), une ou plusieurs des cinq espèces diploïdes de la section *Sitopsis* du genre *Triticum* pourraient avoir fourni le génome B aux blés polyploïdes. D'après l'analyse moléculaire, le génome de *T. speltoides* s'apparente plus au génome B du blé dur et du blé tendre (Talbert *et al*., 1995; Khlestkina et Salina, 2001). En outre, l'analyse de l'ADN des chloroplastes montre que *T. speltoides* est probablement le donneur maternel du blé dur (Wang *et al.,* 1997). Le résultat de cette hybridation naturelle est l'amidonnier sauvage *(Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* (Korn.) Thell) qui a été domestiqué plus tard sous la forme du blé amidonnier *(Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* (Schrank) Thell), qui s'est répandu du Proche-Orient jusqu'aux grandes régions productrices de la Méditerranée et du Moyen-Orient, y compris en Égypte et en Éthiopie (Bozzini, 1988). Des milliers d'années de culture et de sélection ont abouti à la formidable variabilité des blés tétraploïdes issus de l'amidonnier sauvage. Un certain nombre de sous-espèces ont donc été caractérisées, principalement d'après les caractères morphologiques (Van Slageren, 1994) : *T. turgidum* ssp. *paleocolchicum, T. turgidum* ssp. *polonicum, T. turgidum* ssp. *turanicum, T. turgidum* ssp. c*arthlicum, T. turgidum* ssp. *turgidum* et *T. turgidum* ssp. *durum.* Parmi tous les blés tétraploïdes cultivés, *T. turgidum* ssp. *durum* est de loin le plus important.

L'espèce *Triticum durum* s'est différenciée dans trois centres secondaires différents qui sont le bassin occidental de la Méditerranée, le sud de la Russie et le Proche Orient. Chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés botanique aux caractéristiques phénologiques, morphologiques et physiologiques particulières (Monneveux, 1991).

Cette diversification morphologique a été mise à profit en sélection. Notamment dans la recherche de gènes intéressants tels ceux qui contrôlent la résistance aux basse températures, plus présents chez les prôles Européens. Ceux qui contrôlent la durée du cycle (précocité aux stades épiaison et maturité), chez les prôles Syriens et Jordaniens et ceux contrôlant la grosseur et la vitrosité du grain, chez les prôles Méditerranéens (Monneveux, 1991).

2- Importance de la culture du blé dur

2-1- Dans le monde

a] L'offre mondiale

Le commerce mondial du blé représente entre 18 et 20% de la production mondiale des céréales contre 3 à 4% du commerce du riz. Après la seconde guerre mondiale, le marché du blé était dominé essentiellement par les Américains et les Canadiens formant ainsi un duopole qui intervenait en tant qu'offreur résiduel pour assurer une certaine stabilité des prix sur le marché du blé (Kellou, 2008).

Depuis 1973, le duopole américano-canadien s'effondre et les prix s'envolent. En effet, les Américains considèrent qu'il était temps de tirer profit d'un système dont ils ont, avec le Canada, supporté la totalité des coûts. Conséquence directe de cet effondrement : l'entrée sur le marché de nouveaux concurrents attirés par des prix élevés, à savoir : la C.E.E et l'Australie qui viennent s'ajouter aux exportateurs traditionnels (USA, Canada, Argentine). Ces cinq pays forment depuis un oligopole qui représente pratiquement 75% de l'offre mondiale d'exportation du blé (USA et Canada assurent à eux seuls 57%) (carte N°1).

Ces pays concentrent leurs productions dans des régions spécialisées dans la céréaliculture qualifiées de « greniers du monde » (Charvet, 1984) in (Kellou, 2008), il s'agit de :

- La *Corn Belt*, aux USA, région spécialisée dans la production de maïs ;
- La *Wheat Belt*, aux USA, région orientée vers la production des blés ;
- La prairie canadienne ;
- La pampa humide et la pampa sèche d'Argentine ;
- Le sud-ouest et sud-est australien ;
- Les grandes plaines européennes.

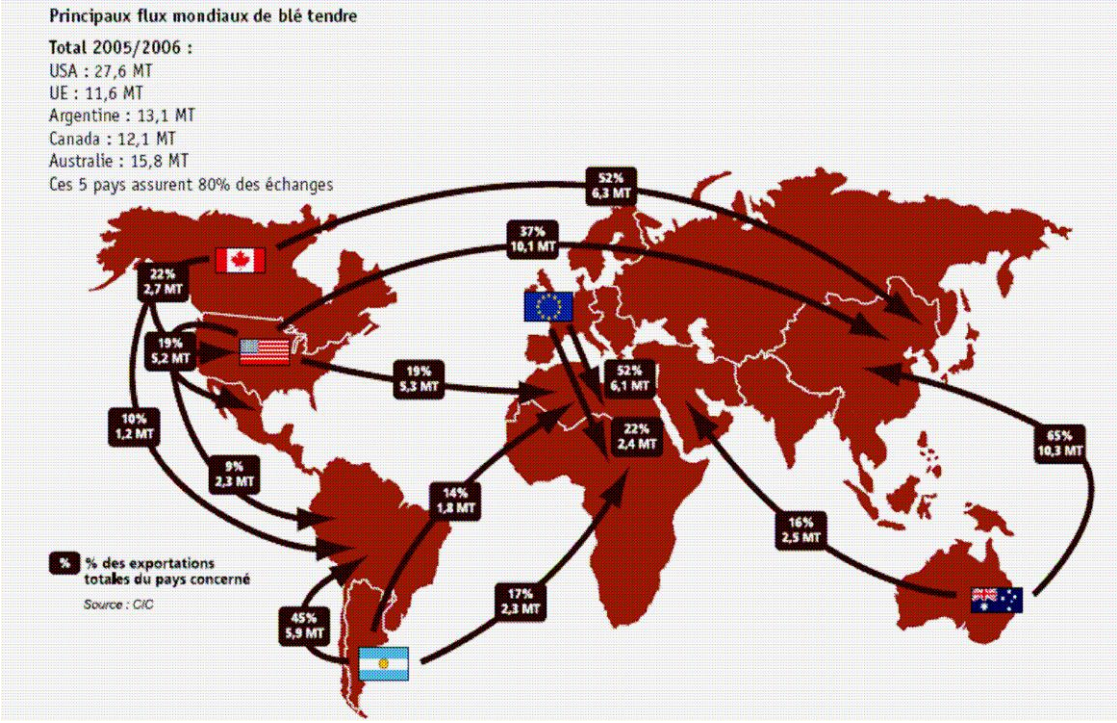
Tableau n° 1: Principaux pays exportateurs des blés dans le monde.

U Millions de Tonnes

Pays/Années	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006
Les 5 Premiers Pays exportateurs	**80,6**	**72,1**	**86,2**	**79,8**	**83,4**
- Argentine	11,5	10,0	13,1	8	8,7
- Australie	16,6	12,10	15,8	15,2	12,9
Canada	16,1	10,0	15,4	15,5	20
- Etats-Unis	25,9	25,5	28,2	26,9	26,2
- Union Européenne	10,5	14,5	13,6	14,2	15,8
Autres Pays exportateurs	**18,0**	**21,7**	**23,6**	**27,9**	**25,2**
- Dont Inde	3,5	5,0	1,7	0,6	0,2
- Dont Kazakhstan	4,0	4,5	2,7	2,8	5,1
- Dont Russie	4,3	5,0	7,9	10,5	8,4
- Dont Turquie	0,7	1,2	2,1	2,8	2
- Dont Ukraine	5,5	6,0	4,3	6,5	3,6
TOTAL MONDE	**98,6**	**93,8**	**109,8**	**107,7**	**108,6**

Source : Conseil International des Céréales, 2006 in (Kellou, 2008).

Carte n° 1: Principaux flux mondiaux de blé



Source : Conseil International des Céréales, 2006 in (Kellou, 2008).

Le blé dur est relativement peu produit dans le monde. La production mondiale de blé dur ne constitue en moyenne que quelques 5% de la production totale mondiale au cours des dix dernières années, 20% de la production de blé dur est essentiellement échangée dans le monde. Sept pays produisent quelques 80% d'une quantité moyenne entre 1999/2000 et 2003/2004 qui s'élève à 27,65 MT/An. (Bulletin mensuel d'Agriculture et agroalimentaire, Canada", 2004) in (Kellou, 2008).

Ce sont dans l'ordre d'indépendance décroissant : l'UE, la Turquie, le Canada et les Etats-Unis qui produisent une part relative de 67%. Les trois pays maghrébins (Maroc, Algérie et la Tunisie) ne partagent qu'environ 11,4% de la production mondiale de blé dur. L'Algérie est le 6ème producteur mondial de blé dur avec 3,4%, derrière le Maroc 5,2% et devant la Tunisie 2,8%. L'UE est le premier producteur mondial de blé dur. La production provient principalement d'Italie, d'Espagne, de France et de Grèce. L'UE est aussi le principal marché de consommation de cette denrée ; depuis le début des années 1990, elle est un importateur net de quantités considérables de blé dur (Tableau1) (Kellou, 2008).

B] La demande mondiale

La demande mondiale de blé devient de plus en plus concurrentielle avec l'augmentation des importations en volume, ainsi que du nombre de pays importateurs. En effet, la carte de la demande mondiale se compose actuellement de trois pôles d'importations qui sont :
- l'Afrique du Nord ;
- le Proche Orient ;
- l'Asie méridionale et l'Asie orientale.

Ainsi, selon le Conseil International des Céréales (CIC) le groupe constitué de la Chine, du Japon et de la Corée du Sud concentre 30% des importations mondiales en volume (sur la période 2000-2005). Il est principalement approvisionné par les Etats-Unis, le Canada et l'Australie (Tableau 2).

L'Afrique draine quant à elle un cinquième (1/5) des échanges mondiaux, dont plus de la moitié (64%) est destinée aux pays du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie et Egypte). Les fournisseurs de ce continent sont essentiellement l'Union Européenne et les Etats-Unis. L'Amérique du sud, surtout le Brésil, et le Proche Orient représentent chacun un dixième (1/10) du marché. Leurs fournisseurs respectifs sont l'Argentine d'une part, les Etats-Unis et l'Australie d'autre part (Kellou, 2008).

Tableau n° 2: Les principaux pays importateurs de blé dans le monde.

U : Millions de Tonnes

En M t	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006
UE	10.3	11.2	7.0	7.1	6.6
Brésil	7.1	6.9	5.5	6.1	7.1
Mexique	3.1	3.0	3.6	3.5	3.5
Iran	5.6	3.5	0.2	1	0.3
Egypte	7.1	6.4	7.9	7.7	7
Japon	5.7	5.9	5.4	5,5	5.5
Algérie	5.8	5.1	3.9	5,7	4.4
Indonésie	3.8	4.1	4.8	4,9	4.7
Corée du sud	4.0	4.0	3.6	3.9	3.5
Maroc	3.0	2.9	2.3	2,5	1.7
Irak	2.7	2.4	3.1	4.6	4
Philippines	2.8	3.4	2.5	2.8	2.6

Source : Conseil International des Céréales, 2006 in (Kellou, 2008).

Les quatre pays de l'Afrique du Nord, soit l'Algérie, le Maroc, la Tunisie et la Libye, forment le plus grand marché d'importation de blé dur du monde. Les aliments à base de blé dur font partie d'une tradition culturelle bien ancrée dans ces pays. Le blé dur est surtout consommé sous forme semoule et de couscous. Certains pains traditionnels sont également faits à partir de farine de blé dur, notamment en Algérie et au Maroc. La production intérieure ne suffit pas aux besoins, de sorte que les importations annuelles ont avoisiné en moyenne 3,3 Mt au cours des 5 dernières années, ce qui représente près de 55 % de la consommation annuelle. Étant donné l'imprévisibilité des pluies hivernales, la production de cette région varie grandement. Ainsi, au cours des dix dernières années, elle a atteint un maximum de 5,6 Mt en 1996-1997 et un minimum de 1,7 Mt en 2000-2001 (Kellou, 2008).

Le CIC a déclaré que la production de 2002-2003 a atteint les 2,5 Mt, soit légèrement en deçà de la moyenne et en baisse par rapport à la récolte de 3,2 Mt engrangées l'année précédente. Cette baisse est due à l'aridité qui a frappé de nombreuses régions. En 2003-2004, le CIC a enregistré que la production nord-africaine avait atteint 4 Mt, ce qui représente une hausse de 60 % par rapport à 2002-2003 et le niveau le plus élevé depuis 1998-1999.

L'Algérie est le premier importateur mondial de blé dur avec une moyenne annuelle de 1 909 000 Tonnes ; soit 36,8%. Les importations algériennes ont considérablement augmenté depuis 1991/92 dépassant les 2 MT/An contre 1,4 MT/An entre 84/85 et 90/91. La part algérienne dans la demande mondiale de blé dur a, par ailleurs, augmenté pour arriver à 44,3% entre 93/94 et 95/96. En 1994/95, l'Algérie a enlevé la moitié du blé dur échangé sur le marché mondial, soit 49% (Kellou, 2008).

c] La consommation mondiale

L'explication que nous pouvons donner à l'évolution dans la consommation de blé surtout dans les pays en voie de développement est la suivante.

En premier lieu, il faut noter que l'augmentation de la consommation de blé à travers le monde est la réponse aux principaux paramètres tels la croissance démographique, l'urbanisation et le revenu par habitant. Dans un pays comme l'Algérie où la croissance démographique était à un moment donné parmi les plus élevés au monde et où le nombre d'habitants a sextuplé en l'espace d'un siècle (en 1901, il était de 4 800 000 habitants, en 2006 il est estimé à 33 000 000 habitants. La facture alimentaire ne pouvait que suivre une courbe ascendante pour suivre l'évolution démographique. Il en est de même pour les pays en voie de développement qui rassemblaient environ 2.3 milliards de personnes en 1965 et qui en regroupent près de 5 milliards en 2005, ce qui représente 70% de la population mondiale.

L'augmentation de la consommation de blé est aussi due à l'apport que contient ce produit. En effet, le blé est la principale ressource alimentaire de l'homme, pour ses apports en glucides.

Le tableau ci-dessous (Tableau 3) indique que la consommation de blé au niveau mondial a progressé de près de 60% en l'espace de deux décennies et que les pays en voie de développement sont des foyers importants de consommation de blé ; comme ces pays sont reconnus pour avoir des déficits vivriers ils représentent de ce fait des cibles commerciales privilégiées pour les pays exportateurs. La promotion de nouvelles habitudes alimentaires est une des raisons principales qui ont permis la progression de la consommation de blé à travers le monde. En effet, la consommation de blé a nettement progressé depuis 1950 dans les pays (tels que le Japon) où cette céréale était inconnue (Kellou, 2008)

Tableau n° 3 : Evolution de la consommation totale de blé au niveau mondial.

U : Millions de Tonnes

	1965	1985	2000
Monde	**285**	**520**	**690**
Pays industrialisés	180	250	272
Pays en développement	105	270	41 5 à 420
Dont			
Afrique du Nord	9	20	+ de 30
Amérique Latine	13	26	35 à 40
Afrique Noire	2	7	16 à18
Chine	31	95	145
Inde	18	46	75
Proche Orient	15	37	+ de 55

Source : Conseil International des Céréales, 2006 in (Kellou, 2008)

2-2- En Algérie

2-2-1- Place du blé dans la consommation alimentaire des ménages

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. Effectivement, les céréales constituent la base du modèle de consommation alimentaire dans ce pays, comme dans la plupart des pays méditerranéens. 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiques journaliers provenaient de ces produits en 2003 et le blé représentait 88% des céréales consommées (Padilla et Oberti, 2000) in (Kellou, 2008). L'Algérie se situe ainsi au premier rang mondial pour la consommation de blé avec plus de 200 kg en 2003, l'Egypte se situant à 131 kg et la France à 98 (Tableau 4).

Tableau n° 4 : Consommation par tête de blé dans quelques pays, 1961-2003.

U : KG

	1961	1970	1980	1990	2000	2003	Var. 1961-2003
Algérie	110	120	182	193	190	201	82%
Tunisie	146	153	195	205	202	194	33%
Maroc	130	129	153	180	172	179	38%
Italie	162	176	173	149	150	152	-6%
Égypte	79	87	125	148	136	131	65%
France	126	97	96	92	97	98	-22%
Monde	55	57	65	70	68	67	22%

Source : FAOSTAT 2005 in (Kellou, 2008).

On comprend, à travers ces chiffres, que le blé et ses dérivés basiques destinés à l'alimentation humaine (pain et semoule) constituent des produits qualifiés de stratégiques et font en conséquence l'objet d'une politique gouvernementale attentive. A travers les données disponibles actuellement, les consommateurs algériens apparaissent particulièrement diversifiés.

Répartis sur une large échelle de revenus, ils sont soumis à des influences culturelles contradictoires, ils peuvent être attachés aux traditions (consommation préparée d'une manière traditionnelle) ou plus au moins tentés par les signes de modernité (restauration de masse et consommation de produits issus de l'industrie alimentaire). La résultante des comportements de ces consommateurs, c'est-à-dire le modèle de consommation algérien, change donc en fonction de l'évolution de la composition de la population et ce, par rapport au :

- degré d'urbanisation ;
- à l'évolution démographique (taux de croissance annuel : 2,28%) ;

- au tassement des revenus et à la libéralisation des prix des produits de première nécessité.

Concernant les blés et dérivés, leurs poids dans les régimes alimentaires de l'Algérien ne semblent pas diminuer rapidement, cela d'autant moins que les valeurs nutritionnelles refuges, dont les dérivés de blé sont porteuses, ont démontré qu'elles constituaient un antidote efficace face à la diminution importante des revenus (baisse du pouvoir d'achat) (Kellou, 2008).

Depuis la libéralisation des prix et l'augmentation relative de ces derniers pour les blés et leurs dérivés, on observe une diminution très importante du gaspillage et une certaine rationalité de la part des consommateurs qui exigent en contrepartie des produits céréaliers de qualité meilleure car ces derniers (semoule, farine, pâte) ont tendance à se substituer à d'autres aliments composants les protéines nobles (viande, poisson …) (Talamali, 2004).

2-2-2- Evolution de la culture céréalière au niveau national

A. La superficie

La céréaliculture, d'une manière générale, est pratiquée dans la moitié des exploitations agricoles, qui sont au nombre de 588 621 en 2001 (Dernier recensement agricole en Algérie). Il est aussi possible de préciser les limites des zones géographiques où la céréaliculture domine. A cet effet, on distingue trois zones céréalières en fonction des quantités de pluie reçues au cours de l'année et des quantités de céréales produites (Carte 2) (Chehat, 2005) :

a] Une zone à hautes potentialités (Z1) : on y trouve une pluviométrie moyenne supérieure à 500 mm/an, avec des rendements moyens de 20qx/ha (plaines de l'Algérois et Mitidja, bassin des Issers, vallées de la Soummam et de l'Oued El Kébir, vallée de la Seybouse…). Cette zone couvre une SAU de 400 000 ha dont moins de 20% sont consacrés aux céréales.

b] Une zone à moyennes potentialités (Z2) : caractérisée par une pluviométrie supérieure comprise entre 400 et 500 mm/an, mais sujette à des crises climatiques élevés, les rendements peuvent varier de 5 à 15qx/ha (coteaux de Tlemcen, vallées du Chélif, massif de Médéa…). La zone englobe une SAU de 1 600 000 ha dont moins de la moitié est réservée aux céréales.

c] Une zone à basses potentialités (Z3) : caractérisée par un climat semi-aride et située dans les hauts plateaux de l'Est et de l'Ouest et dans le Sud du Massif des Aurès. La moyenne des précipitations est inférieure à 350 mm par an. Ici, les

rendements en grains sont le plus souvent inférieurs à 8qx/ha. La SAU de la zone atteint 4,5 millions d'ha dont près de la moitié est emblavée chaque année en céréales.

Si on s'intéresse d'une manière plus précise au blé, on constate qu'il occupe une place très importante dans la structure spatiale de l'activité agricole. Il occupe environ 60% des superficies céréalières emblavées qui représentent environ 45% de la SAU. Actuellement, la superficie moyenne du blé se situe à environ 1 664 345 Ha. (Tableau 5), (Figure 1).

Ces espaces cultivés sont marqués par une forte diversification agro-pédo-climatique, car les variations de la pluviométrie contribuent jusqu'à 50% à la différence des rendements d'une année à l'autre, et où la céréaliculture est difficilement substituable. On remarque que pour certaines années, les superficies récoltées ne représentent que 1/3 des superficies emblavées. On peut expliquer cette situation par les années de sécheresse qui touchent le pays, donc nous pouvons confirmer que la culture du blé en Algérie est fortement tributaire des eaux de pluie (Chehat, 2005)

Carte n° 2 : Localisation des zones céréalières en Algérie.

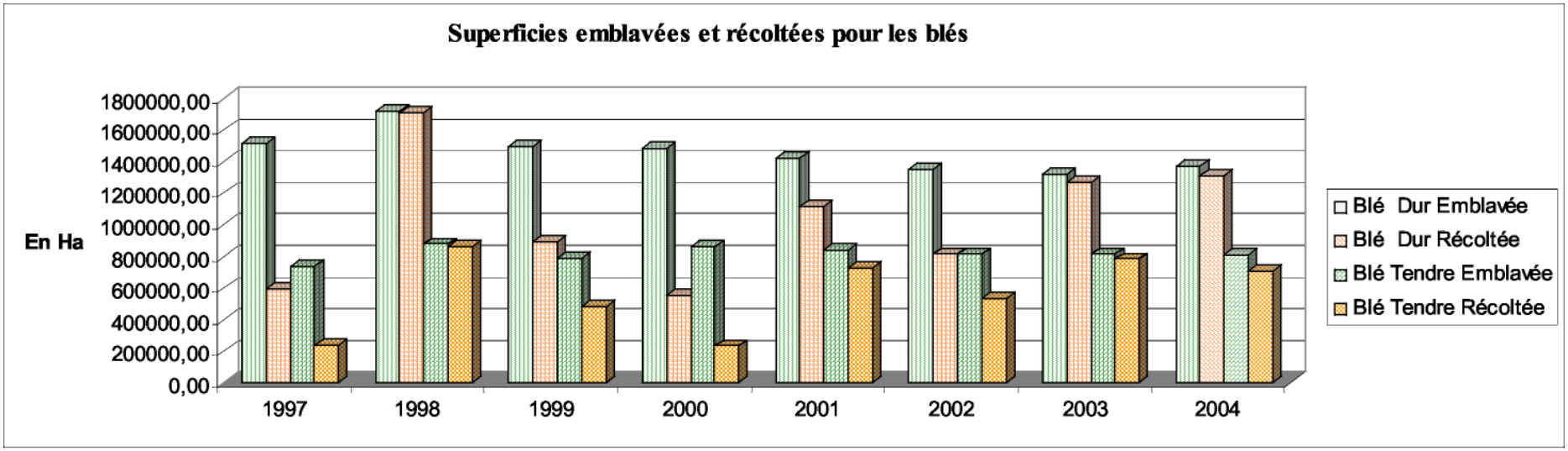
Tableau n° 5 : Superficies emblavées et récoltées pour le blé dur et le blé tendre.

		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Blé Dur	Superficie récoltée	1 510 940	1 714 720	1 487 960	1 485 830	1 419 040	1 350 740	1 321 580	1 372 495
	Superficie emblavée	590 920	1 707 240	889 090	554 470	1 112 180	813 890	1 265 370	1 307 590
Blé Tendre	Superficie récoltée	734 420	874 210	791 140	860 170	834 760	813 770	812 510	808 750
	Superficie emblavée	234 320	859 910	483 310	232 100	724 230	534 670	782 200	703 010

U : HaSource :

DRDPA/MADR7 2005 in (Kellou, 2008).

Figure n° 1 : Superficies emblavées et récoltées pour les blés.



Source : DRDPA/MADR 2005

B. Les Rendements

Bien que le calcul des rendements ne prenne en compte que les superficies récoltées, on le trouve faible et surtout très aléatoire.

Comparativement à la moyenne mondiale, qui est de 29 Qx/Ha pour 2004, le rendement du blé algérien n'est que pour les meilleures années 50% de la moyenne mondiale. Ils sont en moyenne de 10,5 Qx/Ha, (Tableau 6) (ils sont parmi les plus faibles dans le monde) (Kellou, 2008).

Tableau n° 6 : Evolution des rendements par espèces (par rapport aux surfaces récoltées).

U : Qx /Ha

Espèce /Campagne	1999 2000	2000 2001	2001 2002	2002 2003	2003 2004	2004 2005	Moyenne 1995-2005 par Ha
Blé dur	8,9	11,1	11,7	14,2	15,3	15	11,5
Blé tendre	9,7	11,1	9,4	14,9	10,4	15,1	10,9

Source : FAOSTAT/MADR 2006 in (Kellou, 2008).

Figure n° 2 : Evolution du rendement

Source : FAOSTAT/MADR 2005 in (Kellou, 2008).

L'ensemble des enquêtes menées sur la baisse des rendements, a montré que la tendance générale des exploitations céréalières est à la minimisation du risque par la simplification des itinéraires techniques appliqués à la culture des blés. De ce point de vue, il faut relever que les opérations culturales considérées comme moins indispensables (réduction des façons culturales, suppression du roulage après semis, de la fertilisation chimique et du désherbage) sont supprimées dans la majorité des exploitations céréalières. La simplification volontaire des itinéraires techniques se répercute inévitablement et de manière négative sur le rendement même lorsque les conditions climatiques ont été favorables (Chehat, 2005).

C. La Production

La production des céréales en Algérie présente une caractéristique fondamentale depuis l'indépendance à travers l'extrême variabilité du volume des récoltes.

Cette particularité témoigne d'une maîtrise insuffisante de cette culture et de l'indice des aléas climatiques. Cette production est conduite en extensif et elle est de caractère essentiellement pluvial.

Prenant en considération ces éléments qui caractérisent la production de blé, on peut facilement prédire que celle-ci ne pourrait satisfaire la demande d'une population qui dépasse actuellement 32 millions d'habitants et qui est potentiellement et traditionnellement consommatrice de ce produit.

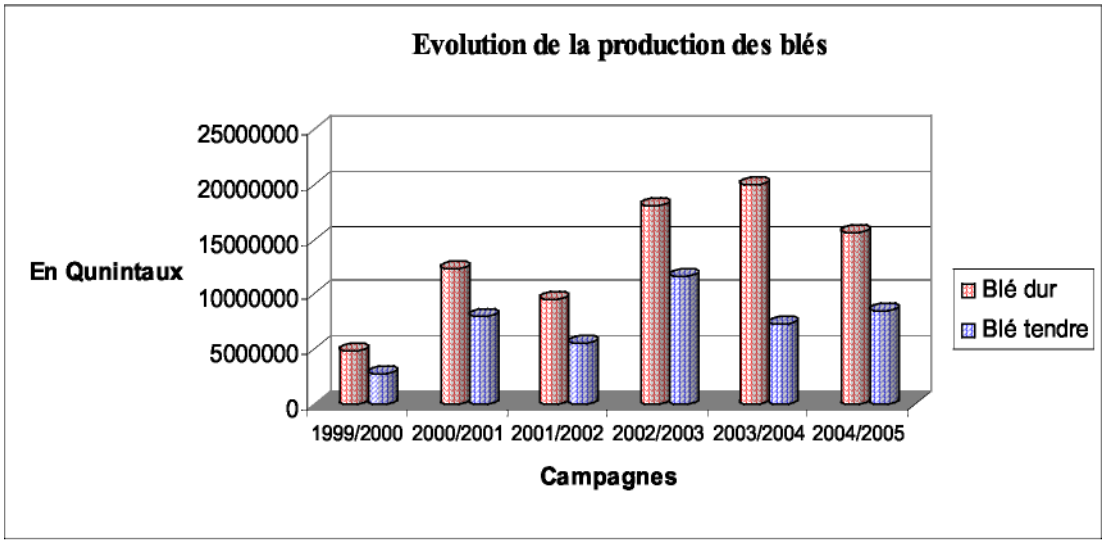
A titre indicatif, la production du blé pour la campagne 2004/2005 a été de l'ordre de 2 600 000 (MT) alors que la demande annuelle dépasse largement les 6 000 000 MT (Kellou, 2008).

Tableau n° 7 : Evolution de la production des blés.

Spéculations	**1999 2000**	**2000 2001**	**2001 2002**	**2002 2003**	**2003 2004**	**2004 2005**
Blé dur	4 863 340	12 388 650	9 509 670	18 022 930	20 017 000	15 687 090
Blé tendre	2 740 270	8 003 480	5 508 360	11 625 590	7 290 000	8 460 185
Total blés	7 603 610	20 392 130	15 018 030	29 648 520	27 307 000	24 147 275

Source : FAOSTAT/MADR 2006

Figure n° 3 : Evolution de la production de blé.



Source : FAOSTAT/MADR 2006

- La faiblesse de la production nationale : pourquoi ?

A ce propos, dans un secteur aussi important que l'agriculture qui fut jadis l'activité de base du paysannat algérien, les pouvoirs publics, à travers le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural ont mis en place un ensemble d'actions visant à accroître et à moderniser la productivité dans le secteur agricole.

Ces actions représentent une nouvelle politique agricole entreprise lors de la campagne agricole 2000-2001 à savoir le Plan National de Développement Agricole (PNDA). Concernant la filière céréalière, le soutien comprend principalement l'action d'*encadrement*, d'*appui technique*, de la *multiplication des semences* et de la *collecte* des blés de consommation et leurs semences.

En effet, 537 millions de dollars ont été alloués en soutien à la filière céréalière depuis 1998. L'Etat a initié et financé un Programme d'Intensification de la Céréaliculture (PIC) dans les zones potentielles de production. L'opération a été reconduite par la suite dans le cadre du PNDA.

Toute une politique d'encouragement de la céréaliculture implique le soutien à la mise en oeuvre des itinéraires techniques pour l'intensification de la production céréalière en intégrant la protection des revenus des agriculteurs par la stabilisation des prix à la production et l'instauration d'une prime à la collecte des blés, (570 et 770 DA la tonne, respectivement pour les blés durs et tendres livrés aux centres de stockage).

L'Etat a également apporté son soutien aux investissements dans la perspective de la modernisation des exploitations agricoles, la réduction des taux de crédit pour la mécanisation des labours et la systématisation des préfinancements entre les agriculteurs et les coopératives pour l'achat des intrants industriels.

L'Etat a accordé, en 1999, 195 millions de dollars en soutien à la filière céréalière. Ce montant est passé à 537 millions de dollars en l'an 2000, ce qui représente un taux d'accroissement de 175%, mais la démarche n'a pas eu un impact significatif sur la sphère de la production céréalière.

Exception faite d'une amélioration substantielle des volumes de blés collectés, les superficies dédiées à la culture des blés ont baissé significativement, alors que les rendements et la production en blé ont évolué de manière erratique. Les raisons de cette stagnation sont nombreuses : une pluviosité capricieuse, la chute de grêle, les inondations et l'apparition de certaines maladies, notamment la rouille que les agriculteurs ne savent pas traiter. La conséquence en a été un accroissement des importations et une baisse des blés locaux collectés dans l'approvisionnement du marché interne.

La production nationale des deux variétés de blé (tendre et dur) ne couvre que 30% des besoins du marché national estimés à plus de 60 millions de quintaux. L'une des premières contraintes réside dans la faiblesse de la politique agricole, le moins que l'on puisse dire, est qu'elle reste fort indigente puisque, à l'exception de l'instrumentation des aides publiques, elle néglige, voire évacue la nécessité de procéder à des réformes profondes des structures foncières, du secteur de la recherche agronomique et des politiques de financement des exploitations agricoles (Kellou, 2008).

3. Biologie de *Triticum turgidum* ssp. *durum*

3-1- Description générale.

Le blé dur *(Triticum turgidum* ssp. *durum)* est une monocotylédone de la famille des Graminées, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum.* En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre *(Triticum aestivum L.).*

Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (Bozzini, 1988). Comme pour le blé tendre, il existe des variétés de blé dur demi-naines. Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entrenoeuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines (Clarke *et all.,* 2002). Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale. Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale, mais tous ne grènent pas nécessairement (Bozzini, 1988). Comme pour d'autres graminées, les feuilles de blé dur se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal.

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenoeuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur.

Le blé dur est bien adapté aux régions à climat relativement sec, où il fait chaud le jour et frais la nuit durant la période végétative, ce qui est typique des climats méditerranéens et tempérés. Les semences peuvent lever à aussi peu que 2 °C, même si la température optimale est de 15 °C (Bozzini, 1988). La plus grande partie du blé dur produit dans le monde est constituée de blé de printemps; toutefois, il existe des variétés de blé dur d'hiver (qui ont besoin de vernalisation pour amorcer la transition de la phase végétative à la phase reproductrice); ces variétés ont été évaluées en vue de la production dans le Sud des États-Unis (Domnez *et all*., 2000; Schilling *et all*., 2003).

3-2- Biologie de la reproduction de *Triticum turgidum* ssp. *durum*

Le blé dur comprend surtout des espèces autogames. Durant la floraison, les fleurs demeurent généralement fermées (fleurs cléistogames), et les trois anthères éclatent et libèrent le pollen (anthèse). Les fleurs peuvent aussi s'ouvrir avant la libération du pollen. Selon DeVries (1971), les fleurs de blé demeurent ouvertes de 8 à 60 minutes selon le génotype et les conditions du milieu. Après la déhiscence des anthères, de 5 à 7 p. 100 du pollen est libéré sur le stigmate, de 9 à 12 p. 100 demeure dans l'anthère et le reste est dispersé. Le pollen de blé demeure généralement viable pendant 15 à 30 minutes. La floraison peut durer de trois à six jours, selon les conditions météorologiques. Elle débute habituellement juste au-dessus du centre de l'épi, puis se poursuit en s'étendant vers l'apex et la base de l'épi. Les fleurs non fécondées s'ouvrent habituellement, exposant le stigmate réceptif au pollen étranger. La durée de réceptivité du stigmate de blé dépend de la variété et des conditions du milieu, mais se situe entre 6 à 13 jours (DeVries, 1971). Une fois fécondée, l'ovaire grossit rapidement. Deux à trois semaines après la fécondation, l'embryon est physiologiquement fonctionnel et peut produire une nouvelle plantule (Bozzini, 1988).

Le cycle des blés peut donc se décomposer en deux phases majeures ; une phase d'élaboration de l'appareil végétatif allant de la germination jusqu'à la floraison, et une phase de développement du grain débutant à la floraison et se terminant à la maturité physiologique (Gate, 1995). La première phase correspond à l'accumulation de biomasse et d'azote via l'absorption d'eau, d'azote du sol et l'activité photosynthétique. Cette phase correspond également au développement de l'épi et des épillets. Durant cette phase se détermine le nombre potentiel de grains par épis à travers le nombre d'épillets.

Au cours de la deuxième phase, les grains se développent (embryogenèse et remplissage du grain) et l'appareil foliaire se dégrade. L'azote et le carbone des feuilles qui se dégradent (on dit qu'elles deviennent sénescentes) sont remobilisés vers le grain. Environ 60% de l'azote et de carbone présent dans le grain à maturité provient de cette remobilisation (Barbottin *et al.* 2005). Le complément provenant de l'assimilation tardive de l'azote du sol. Cette phase post floraison voit donc l'élaboration progressive des grains à travers leur prise de volume.

4- La spécificité du climat des hauts plateaux

Trois ensembles fortement contrastés climatiquement caractérisent le territoire algérien:

- Le Sahara, ensemble désertique aride (pluviométrie moyenne inférieure à 100 mm/an).

- Le littoral et les massifs montagneux : le climat est de type méditerranéen, avec des pluies très violentes en hiver provoquant une forte érosion. En été, les précipitations sont extrêmement rares et les chaleurs très fortes. Les pluies pouvant atteindre 1600 mm/an sur les reliefs sont irrégulières d'une année sur l'autre et inégalement réparties.
- Les hauts plateaux occupent environ 9% de la superficie totale, dont 5 millions d'ha de terres agricoles, sont caractérisés par un climat semi aride (pluviométrie comprise entre 100 et 400 mm/an) (FAO, 2005).

Les hauts plateaux qui concernent plus de 80% de la céréaliculture algérienne, sont sous la triple influence de l'Atlas tellien qui limite les précipitations hivernales, de l'Atlas saharien et du Sahara, et de l'altitude qui entraîne des gelées tardives (Baldy, 1993).

Baldy (1974) a résumé les principales contraintes climatiques affectant le rendement des céréales en Algérie :

- Caractères aléatoires des pluies d'automne, avec deux conséquences :
  - risques de sécheresse affectant la germination et la levée ;
  - risques d'orages violents rendant difficiles les semis et risquant de les retarder.

- Basses températures hivernales en situation d'altitude (minima sous abris de l'ordre -10 °C, qui peuvent se traduire par des températures de -15 °C au niveau du feuillage).

- Irrégularité des pluies de printemps : des déficits hydriques au cours de la phase fin tallage-début montaison réduisent le nombre d'épillets formés, puis le développement des organes sexuels, le développement des tiges, et enfin des feuilles du dernier entre-nœud :des déficits hydriques plus tardifs (post floraison) sont très néfastes à la formation des grains.

- Gelées de printemps (pouvant atteindre – 2 °C à -3 °C sous abri, soit – 6 °C à -8 °C au niveau des feuilles), qui détruisent les apex en cours de différenciation ; les risques de gelées peuvent se présenter, dans certaines zones, jusqu'à la floraison.

- Déficit hydrique et coups de chaleur après la floraison : ils limitent le remplissage du grain et provoquent de l'échaudage.

5- LES CONTRAINTES ABIOTIQUES ET LEURS EFFETS SUR LA PLANTE

L'amélioration génétique du blé dur des zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adopter la plante à la variabilité du milieu de production (Amokrane, 2001). Sous les conditions agroclimatiques de culture, le matériel végétal subit tout au long de son cycle, de nombreuse contraintes qui influent de manière variable sur le potentiel de production. La variation des rendements des céréales des zones semi arides tire son origine en grande partie des effets de ces contraintes abiotiques (Bouzerzouz et Benmahammed, 1994).

5-1- L'éclairement

La lumière est la source d'énergie qui permet à la plante de décomposer le CO_2 atmosphérique pour en assimiler le carbone et réaliser la photosynthèse des glucides. La lumière est donc un facteur climatique essentiel et nécessaire pour la photosynthèse (Diehl, 1975). Néanmoins, elle peut devenir une source de stress par son intensité, éclairement trop faible ou trop élevé, conduisant à des phénomènes de photosensibilisation dangereux pour la plante (Leclerc, 1988). Sous les conditions de cultures des hautes plaines, c'est plutôt l'excès de l'éclairement qui est un stress, conduisant à la photo inhibition des centres réducteurs des photosystèmes (Ykhlef, 2001).

5-2- La température

Comme toute plante, le blé dur a un optimum écologique du point de vue température. Au delà de cet optimum, la plante souffre et elle est pénalisée d'autant plus que les valeurs prises par ce facteur écologique s'en écarte trop (Papadakis, 1932). La température rythme la croissance et le développement de la plante. Son action est permanente tout le long du cycle. Elle conditionne l'absorption des éléments nutritifs, l'activité photosynthétique, l'accumulation de la matière sèche et le passage d'un stade végétatif à un autre (Van Oosterom *et al.*, 1993, Mekhlouf *et al.*, 2006).

5-2-1- Les basses températures

Le degré de sensibilité de la céréale au froid est très variable dans le temps et fonction des stades végétatifs. Les basses températures hivernales entravent la croissance, en début du cycle, des génotypes sensibles et sont nécessaires pour la satisfaction des besoins des variétés vernales (Bouzerzour *et al.*, 1995). Lorsqu'elles se présentent tardivement au printemps, leur avènement coïncide avec le stade méiose, elles détruisent alors les grains de pollen et les ovaires (Abbassenne, *et al.*, 1997).

Les blés cultivés traditionnellement dans le bassin méditerranéen sont de type semi-alternatif. Leur floraison est assez tardive leur permettant d'échapper aux basses températures printanières. L'adoption de cultivars de type printemps, insensible à la photopériode et aux besoins négligeables en températures vernales sur les hautes plaines orientales ont montré le risque des épiaisons précoces induites, chez de tels génotypes, par des températures hivernales plus douces (Bouzerzour *et al*., 2002, Mekhlouf *et al.*, 2006).

Paulsen et Heysen (1983) observent des dégâts très importants sur blé tendre, au stade épiaison, dues à des températures de l'ordre de 0,3°C sous abri. La température de l'ordre de + 6°C est rapportée comme étant destructive au stade formation du grain de pollen (Gate, 1995).

Pendant la phase de montaison, les effets des basses températures, dans la plage des – 5˚C a +3˚C se manifestent par des limitations de la croissance et la destruction des jeunes feuilles et des talles, dans les cas sévères. Sutka (1994) montre, à partir de l'analyse d'un croisement diallèle de blé tendre, que le contrôle génétique de la tolérance au froid est de nature additive.

Les résultats de l'analyse de substitution chromosomique montrent qu'aux moins 10 chromosomes interviennent dans le contrôle de la tolérance au froid et que les chromosomes 5D et 5A sont les plus actifs (Sutka 1994). Mekhlouf *et al.*, (2001) notent une grande variabilité de réponses des génotypes de blé dur vis à vis de cette contrainte.

5-2-2- Les températures élevées

Les hautes températures interviennent aussi comme contrainte limitant le potentiel de production des zones semi-arides. Elles affectent les organes floraux, la formation du fruit, ainsi que le fonctionnement de l'appareil photosynthétique. Au cours de la montaison, elles entraînent la réduction du tallage-épi.

La méiose et la phase de remplissage du grain sont particulièrement sensibles à cette contrainte. Les seuils de 25 à 27 °C sont rapportés comme étant très pénalisants. Le nombre de grains/épi et le poids du grain sont fortement affectés (Cackett et Wall, 1971; Gate *et al*., 1996, Fellah *et al.*, 2002).

L'avènement de cette contrainte, si elle est accompagnée par un déplacement des masses d'air chaud venant du sud, exagèrent les effets sur la plante en augmentant la transpiration, la respiration, engendrant la sénescence foliaire, qui est suivie par la sénescence de la plante entière si ce phénomène, connu localement sous le vocable de sirocco, perdure au delà de trois jours (Baldy, 1974).

Globalement les températures élevées réduisent la taille et le poids des organes. Leur incidence demeure plus faible sur le nombre d'organes émis. Les variétés tardives sont généralement celles qui sont les plus exposées à ce type de contrainte. Sous ces conditions limitantes, elles accusent des baisses de rendements liés à la coïncidence de la phase de remplissage avec la période d'élévation de la température (Bouzerzour *et al*., 1995).

Les génotypes précoces esquivent et minimisent le plus souvent les effets de cette contrainte (Abbassenne *et al.*, 1997). Monneveux *et al.*, (2002) notent que les températures supérieures à 30°C, après floraison, ont des effets négatifs sur le stockage des assimilats et la qualité de la graine.

5-3- Le stress hydrique

L'eau constitue le milieu interne des plantes. C'est une véritable matrice vitale du fonctionnement cellulaire. A l'exception des grains mûrs, les différents organes de la plante renferment entre 80 et 90 % d'eau d'imbibition. Cette eau est nécessaire au fonctionnement de la plante.

L'eau d'imbibition qui s'évapore suite à la transpiration est renouvelée en permanence par l'eau absorbée par les racines. Lorsque l'absorption ne peut satisfaire la demande de la transpiration, alors le stress hydrique s'installe (Levitt, 1980).

Sous stress hydrique la plante perd une partie de l'eau d'imbibition et ses processus physiologiques sont alors affectés. La transpiration dépend du rayonnement, de la température de l'air ambiant, de la canopée et des mouvements aérodynamiques de l'air (Levitt, 1980). La quantité d'eau transpirée est fonction aussi de l'indice foliaire et du degré d'ouverture, du diamètre et de la fréquence des stomates (De Raissac, 1992) Le rythme d'absorption est fonction de l'humidité relative du sol et du développement du système racinaire (Baldy *et al.*, 1993).

Les besoins en eau du blé atteignent des valeurs très importantes, au regard des quantités de pluies que reçoit l'étage bioclimatique semi-aride. Ces besoins sont fonction du type de variétés, et varient de 450 à 600 mm. Sous conduite pluviale et sur les hautes plaines orientales, ces besoins sont rarement satisfaits suite à la faiblesse et à l'irrégularité des pluies (Baldy et *al.*, 1993). La phase critique pour l'eau débute avec le stade gonflement et se termine 20 jours après l'épiaison, date de réalisation du palier hydrique (Oweiss *et al.*, 1998).

Le régime des pluies méditerranéennes est très irrégulier dans l'espace et le temps. L'efficacité de ces pluies pour la céréale dépend fortement des techniques culturales appliquées, des caractéristiques hydrodynamiques des sols et du rythme de développement de la variété cultivée (Kribaa, 2002). La fréquence des événements pluvieux tend à décroître à partir du mois d'avril, alors que la température devient de plus en plus forte. La demande climatique s'accentue à un moment où se détermine le rendement en grain (Mekhlouf *et al.*, 2006).

Selon le stade végétatif où il survient, le stress hydrique affecte différemment la plante. Au stade montaison, il provoque un arrêt de croissance des tiges. Il s'ensuit une diminution du nombre de talles fertiles dont la conséquence est une réduction du nombre de grains /m^2. Au stade floraison, c'est la destruction des organes floraux qui prédomine et au cours de remplissage du grain, il y a une diminution du niveau et de la durée du pallier hydrique, dont la conséquence est une chute de poids moyen du grain (Triboi *et al.,* 1985).

6- Mécanisme d'adaptation aux stress

L'adaptabilité au milieu est un phénomène essentiel chez les plantes qui ne possèdent pas la capacité de se déplacer vers un environnement plus favorable à leur croissance. Elle est aussi essentielle pour que la culture puisse s'exprimer et produire tant soit peu ou à la limite survivre et se reproduire.

L'adaptation est donc synonyme de survie, mais elle est définie aussi comme la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans les zones sujettes à des stress de périodicités connues (Papadakis, 1932).

La notion d'adaptation se confond parfois avec celle de résistance et de tolérance au stress. En fait l'adaptation n'est que la résultante de la tolérance aux contraintes. Une plante adaptée est donc celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Ceccarelli *et al.,* 1992, Fellah *et al.,* 2002).

Il existe chez les plantes des différences du point de vue adaptation au milieu. Levitt (1980) mentionne que la résistance peut prendre trois formes distinctes:

- L'esquive ou échappement à la contrainte est un mécanisme d'adaptation des plantes vis à vis des contraintes abiotiques. Les variétés qui se distinguent par cette caractéristique, se développent en dehors de la période de contrainte intense, grâce à la modulation du cycle de développement pour l'adapter à la situation prévalente (Dakheel *et al*., 1993, Simane *et al*., 1993, Mekhouf *et al.*, 2006).

- L'évitement de la déshydratation des tissus est la situation où la plante fait appel à différents mécanismes pour se maintenir à un niveau de la contrainte nettement inférieur à celui exercé par l'environnement. C'est ainsi que certains génotypes de blé dur évitent la contrainte hydrique en favorisant le développement de leur système racinaire en profondeur pour chercher de l'eau qui leur permet de réduire des effets du déficit hydrique qu'ils endurent (Ali Dib *et al*., 1992).

- La résistance au stress ou à la déshydratation des tissus qui se manifeste sous la forme d'un ensemble de mécanismes qui induisent chez la plante une capacité à accepter la contrainte mais sans subir les effets. C'est la résistance génétique. Elle permet à la plante de résister à la déformation mécanique, à la dégradation membranaire et de maintenir ses activités métaboliques sous des niveaux de contrainte assez élevés

Tableau 8. Principaux caractères impliqués dans les mécanismes de tolérance à la sécheresse (Turner *et al.,* 2001).

Mécanisme	**Utilité**	**Facilité de sélection**
1- Esquive		
Phénologie	Très haute	Facile
Plasticité de développement	Haute	Facile
2- Evitement de la déshydratation		
Contrôle stomatique	Haute	Difficile
ABA	Discutable	Difficile
Ajustement osmotique	Fonction des espèces	Difficile
Développement racinaire	Haute	Très difficile
3- Tolérance à la déshydratation		
Stabilité membranaire	Haute	Facile
Potentiel hydrique létal	Haute	Difficile
Proline	Discutable	Facile

6-1- Adaptations phénologiques

L'amélioration de la production des zones arides et semi-arides passe nécessairement par l'introduction de la tolérance aux stress aux nouvelles variétés pour mieux les adapter à la variabilité, souvent de nature imprévisible, du milieu de production. Quoiqu'il reste très difficile de faire un progrès quelconque, lorsque les stress qui entravent le développement de la plante sont nombreux et imprévisibles, pouvant se manifester à n'importe quel stade de la plante (Feyerherm *et al.*, 1992).

Sous climat de type méditerranéen, les stress localisés en fin de cycle sont les plus fréquents pour ne pas dire omniprésents. Dans ce cadre la phénologie de la plante est le moyen le plus simple et le plus utilisé pour échapper à ce type de stress.

La phénologie est un phénomène relatif à la périodicité des événements morpho-physiologiques de la plante (développement et croissance) et leur interaction avec la variabilité climatique du milieu de production (Kirby et *al*, 1985).

La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire les effets des stress, consiste à raccourcir la durée du cycle de la variété. La phénologie rythme le développement

de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production (Bouzerzour *et al.* 1998).

La réalisation des différents stades de développement du blé dépend essentiellement de la température (vernales et somme des degrés-jours accumulés), de la photopériode et de la spécificité génétique liée à la précocité de la variété en question (Cattivelli *et al.,* 2002). Les dates de réalisation des stades végétatifs, sauf conditions extrêmes, sont peu affectées par les conditions de nutrition.

La précocité à l'épiaison et à maturité est un mécanisme important d'esquive de la sécheresse tardive. Chaque jour de gagnée en précocité génère un gain de rendement variant entre 30 et 85 kg/ha (Fischer et Maurer, 1978).

En milieu ou le gel tardif est une contrainte à la production des céréales, une précocité excessive n'est d'aucune utilité, au contraire, elle risque d'être une source d'instabilité des rendements en grains. Une précocité modérée peut cependant constituer un avantage lors de la reprise de la croissance après un bref stress (Bouzerzour *et al.,* 1998).

6-2- Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou meilleur développement du système racinaire (Slama *et al.,* 2005).

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (Turner *et al.,* 2001). L'aptitude des racines à exploiter les réserves en eau du sol sous stress est une réponse particulièrement efficace pour l'élaboration de la production de graines (Passioura, 1977).

Le développement du système racinaire, joue un rôle essentiel dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante. Bensalem *et al*. (1990) notent qu'un système radiculaire extensif permet au blé de mieux résister à une contrainte hydrique. Baldy (1974), Benlaribi *et al*.(1990) et Ali Dib *et al*.(1992), soulignent la relation positive entre la rapport de la matière sèche aérienne /matière sèche racinaire et la sensibilité à la sécheresse. Hurd (1974), Sullivan et Ross (1979) et Al Hakimi (1995) notent l'existence d'une corrélation positive, en conditions sèches, entre le rendement le développement racinaire chez les céréales à paille.

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement pour les zones arides. Mekliche (1983) trouve une liaison positive et significative entre le rendement grain et la hauteur de la paille. Ceci s'expliquerait par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieur (Bagga *et al.* 1970).

Fisher et Maurer (1978) mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés nains et semi nains. Alors que Bouzerzour (1998) montre que les variétés de blé dur à paille courte, sous stress sévères en fin de cycle, ont une bonne adaptation et une meilleure productivité que les blés hauts et tardifs.

La réduction de la surface foliaire, quand le stress hydrique est très important, est un mécanisme de réduction des besoins en eau. O'toole et Cruz (1980), montrent que l'enroulement des feuilles entraîne une diminution de 40% à 60% de la transpiration, le phénomène d'enroulement des feuilles peut se manifester quand la sévérité du stress est de -0,8 à -1,0 MPa et on observe l'enroulement complet vers -2,0 à -2,5 MPa, ce qui correspond à des conditions de déficit hydrique intense (Morgan, 1984)

L'enroulement du feuillage chez le blé joue un rôle important dans la réduction de la transpiration, sans diminution de l'activité photosynthétique. La morphologie et la surface des feuilles sont des caractéristiques liées à la réduction des pertes d'eau par la plante. Cette régulation est rythmée par l'ouverture et le nombre de stomates par unité de surface foliaire (Hurd 1974).

D'après Acevedo et Ceccarelli, (1987), le port des feuilles serait lié à la tolérance à la sécheresse. Chez l'orge, les feuilles verticales étroites seraient plus favorables à une adaptation au stress hydrique que les feuilles larges et flasques.

La durée de la surface verte ou la stabilité de la chlorophylle est une autre caractéristique qui est utilisée en sélection pour la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Acevedo *et al* ., 1991). La concentration en chlorophylle de la feuille étendard, mesurée deux semaines après l'anthèse montre une corrélation significative avec le rendement grain sous stress thermique (Reynolds *et al*., 1994).

Reynolds *et al.,* (1994) montrent l'existence d'une différence de 5°C entre la température de l'air et celle de la canopée de certains génotypes de blé conduits sous stress thermique. Il observe des écarts de température allant jusqu'à 10°C au dessous de la température de l'air pour certaines lignées. Ils suggèrent que la température de couvert végétal comme un excellent outil de sélection pour la résistance au stress thermique.

La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des tiges, la couleur claire des feuilles et la présence de cire induisent une augmentation de la réflectance qui conduit à une réduction des pertes en eau. Clarke *et al.,* (1989) montrent que la glaucescence réduit le taux de déperdition d'eau (transpiration cuticulaire) en conditions sèches et que les variétés qui ont une glaucescence élevée donnent dans ces conditions, des rendements plus élevés que les variétés à faible glaucescence. Clarke et Richards (1988), montrent que la glaucescence réduit la transpiration résiduelle de 10% en moyenne. La comparaison de deux lignées isogéniques pour ce caractère montre que les quantité de cire épicuticulaires et la glaucescence influent également sur la transpiration résiduelle, celle-ci étant supérieure de 30% chez la lignée non glaucescente et à faible teneur en cire.

La présence des barbes chez les céréales augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la maturation de grain (Nemmar, 1980). La photosynthèse, chez les génotypes barbus comparativement aux génotypes glabres, est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures lors du remplissage des grains (Fokar *et al.,* 1998).

En comparant trois variétés de blé dur, Slama, (2002) trouve que la variété ayant la barbe la plus développée, sous contrainte hydrique, présente le meilleur rendement. En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama *et al.,* 2005).

6-2- Adaptations physiologiques

Le maintient d'un potentiel hydrique élevé dans la plante peut être obtenu par une réduction de la transpiration s'effectuant par la cuticule et les stomates incomplètement fermé (Belhassen *et al*., 1991). Le contrôle stomatique équilibre le bilan hydrique de la plante, restaure la turgescence et la croissance, et protège les organelles des feuilles sensibles vis-à-vis du déficit hydrique (De Raissac, 1992). Chez le blé, la transpiration résiduelle ou cuticulaire représente plus de 50% de la transpiration totale, chez les plantes soumises à une contrainte hydrique (Clarke et Romagosa, 1991).

En situation de déficit hydrique, la plante ferme ses stomates pour réduire ses pertes en eau (Tardieu et Dreyer, 1997). La régulation, de l'ouverture et la fermeture des stomates dépend du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (Turner, 1997). Une faible conductance stomatique induit une fermeture des stomates rapide en conditions de déficit hydrique. Les génotypes à faible conductance sont plus sensibles au déficit de vapeur et à la baisse du potentiel hydrique foliaire que les génotypes à forte conductance.

Une faible conductance est généralement proposée comme critère favorable à l'adaptation à la sécheresse (Turner, 1986). Cependant la fermeture stomatique réduit l'assimilation du CO2 et conduit inévitablement à une réduction de l'activité photosynthétique. En conséquence, l'intérêt d'une réponse stomatique plus ou moins rapide au déficit hydrique résulte d'un compromis entre la réduction de l'assimilation du CO2 et la nécessité d'éviter la déshydratation (Ludlow et Muchow, 1990).

La détermination de la fonction de l'ouverture stomatique reste encore en débat (Cochard *et al*., 1996). Néanmoins, l'effet de plusieurs facteurs agissant sur l'ouverture stomatique a été montré : l'augmentation de l'irradiation a pour conséquence d'ouvrir les stomates tandis que l'augmentation de la concentration en CO2 ou du déficit de vapeur dans l'air induisent un processus inverse (Hinckley et Braatne, 1994). De nombreuses études ont mis en évidence des facteurs internes à la plante agissant sur les processus de régulation stomatique.

L'effet de l'acide absicique (ABA) en tant qu'inducteur de la fermeture stomatique a été largement documenté (Wartinger *et al*., 1990; Davies et Zhang, 1991), mais il y a encore des incertitudes sur son origine et sur sa contribution exacte à ce phénomène (Dreyer, 1997).

Selon Monneveux et This (1997), la tolérance est un abaissement du potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence, rendu possible grâce au phénomène d'ajustement osmotique. Ce dernier est réalisé grâce à une accumulation des solutés (principalement vacuolaire) conduisant à un maintien du potentiel de turgescence (Blum, 1989 ; Morgan *et al*., 1986 ; Turner, 1986). L'ajustement osmotique permet à différentes échelles de tolérer la déshydratation. En effet, l'accumulation des solutés dans la vacuole et dans le cytosol contribue au maintien de la turgescence d'une part et à la protection des organes jeunes, des membranes et des systèmes enzymatiques d'autre part. les solutés responsables de l'osmorégulation sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés et des sucres. Certains constituants inorganiques peuvent être présent. Parmi les acides aminés, l'accumulation de la proline pourrait conduire à une osmorégulation plus efficace. Elle a été depuis longtemps observée chez les plantes soumises à un stress abiotique.

L'accumulation de la proline est indépendante des stades de développement, elle est liée à l'alimentation hydrique (Monneveux et Nemmar, 1986) et l'intensité du stress hydrique (Al Hakimi et Monneveux, 1993). Blum et Ebercon (1976) notent qu'il existe une relation

entre la capacité d'accumulation de la proline et l'aptitude de récupération de la plante à l'issue du déficit hydrique et suggèrent que l'acide aminé sert de source d'énergie lors du retour aux conditions normales. La prolines ne semblerait pas jouer un rôle direct dans l'ajustement osmotique, elle serrait plutôt un symptôme de souffrance (Korichi, 1992).

Kameli et Losel (1995) considèrent que les sucres contribuent à eux seuls pour près de 95% dans l'ajustement osmotique. Ils sont reconnus comme étant des paramètres d'adaptation au stress hydrique. Il existe une relation positive qui semble se dégager, en situation de déficit hydrique, entre la capacité d'accumulation des sucres solubles et l'aptitude à maintenir une teneur relative en eau élevée (Al Hakimi et Monneveux, 1993). L'ajustement osmotique peut être aisément évalué à partir des mesures de potentiel osmotique et de teneur relative en eau, l'accumulation des sucres solubles étant la cause essentielle de la baisse du potentiel osmotique (Rekika, 1997).

D'après Salsac et Monneveux (1991), le potassium (K+) est le cation majeur accumulé dans la vacuole puisqu'il contribue à lui seul à environ 70% de la réduction du potentiel hydrique (Gate, 1995) à côté de celui-ci, on retrouve également du magnésium (Mg++) et peu de calcium (Ca++). On a pu démontrer un rôle important de l'ion potassium (K+) dans les phénomènes d'ouverture et de fermeture des stomates. Les quantités transférées de l'ion K+ peuvent rendre compte de l'augmentation de la pression osmotique observée, donc du phénomène de turgescence (Laval et Maziliac, 1979). Morgan (1992) trouve que le potassium contribue à peu prés à 78 % dans l'ajustement osmotique, d'autres solutés inorganiques sont présents en faible concentration et contribuent dans la réponse au stress hydrique. Par ailleurs, Hafez Khan *et al.* (1993) montrent que l'ajustement osmotique est dû à une hydratation élevée ou contenu relatif en eau élevé. En effet, la caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau (Rekika, 1997). La teneur relative en eau est étroitement corrélée à l'ajustement osmotique et peut être considérée comme un critère simple de sélection dans un programme d'amélioration génétique, comparée aux potentiels hydrique, osmotique ou de turgescence (Rekika, 1997).

Il existe une relation entre l'osmorégulation et le rendement en grain chez le blé dur et le blé tendre, la production de grain est faite grâce à une osmorégulation élevée dans 11-17% des cas chez le blé tendre et 7% des cas chez le blé dur (Morgan *et al*., 1986). Selon Rekika (1997), la corrélation observée entre la capacité d'ajustement osmotique et le rendement en conditions semi-arides des lignées, confirme le rôle de l'ajustement osmotique dans la tolérance au déficit hydrique.

Au cours de la période de remplissage du grain, la luminosité élevée associée au déficit hydrique et à l'élévation de la température ont généralement un effet synergique sur le développement de la photo-inhibition (Lawlor 1994). L'absorption excessive de la lumière peut être une cause de dommages des plantes conduites sous stress, lorsque la fermeture des stomates réduit de la disponibilité du CO_2 et affecte par conséquence le transport des électrons, en limitant la consommation de l'énergie nécessaire à l'assimilation (Boyer, 1987). La fermeture des stomates induit souvent une élévation de la température foliaire ce qui précipite la photo-inhibition.

Dans ce contexte, la fluorescence chlorophyllienne est une méthode rapide et non destructive qui permet d'avoir une idée du statut énergétique lié à la photosynthèse (Pn) d'une plante donnée conduite sous stress (Havaux, 1988). Le PSII est très sensible à la photoinhibition. Le rapport de la fluorescence variable (Fv) à la fluorescence maximale (Fm), obtenu à partir de la courbe de Kaustky, donne une mesure du rendement quantique potentiel du PSII. Ce rapport Fv/Fm, prend en général des valeurs variant de 0,75 à 0,85 pour les

plantes non stressées. Il est positivement lié au rendement quantique de la photosynthèse nette des feuilles non photo-inhibées (Ritchie *et al.*, 1990).

La photoinhibition, causée par un excès de flux de photons, est la cause principale de la réduction du rapport Fv/Fm, sous conditions naturelles (Long *et al*., 1994). La réduction du rapport Fv/Fm est indicatrice de la photoinhibition chez les plantes stressées. Cette réduction peut être réversible (photo-protection) ou irréversible (Araus et Logan, 1994). La réduction de Fv/Fm peut être due à une augmentation du Fo, indiquant l'ouverture de tous les accepteurs d'électrons et un quenching photochimique minimal, qui est une caractéristique de la destruction partielle ou totale des centres de réactions du PSII ou du non transfert de l'énergie d'excitation des antennes vers les centres de réactions. Comme elle peut avoir comme origine un abaissement de la valeur de Fm, indicatrice de l'augmentation du quenching non photochimique.

La photoinhibition conduit à ces deux états, mais la seconde situation est dite photoprotection parce qu'elle fournit à la plante un moyen moins pénalisant d'utiliser l'excès d'énergie d'excitation captées par les antenness (Long *et al*., 1994). Selon Araus *et al.*, (1998), la surface sous la courbe Fo et Fm est proportionnelle à la dimension, du pool d'accepteurs d'électrons réduits du PSII. Un simple indicateur de ce pool est la moitié du temps (1/2 t) mis par la fluorescence pour faire le parcours entre Fo et Fm.

7 - Efficacité d'utilisation de l'eau

Généralement l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) exprime le rapport de la matière sèche totale produite à l'évapotranspiration pendant une période donnée (Richards *et al.*, 2002). Si cette période est spécifique au cycle cultural, on parle d'efficacité d'utilisation nette (EUE nette) ; si elle s'étale durant toute l'année, on parle d'efficacité d'utilisation brute (EUE brute) (Bos, 1985). Lorsque la production considérée n'est pas la biomasse totale, mais une partie de celle-ci, telles que les grains ou les fruits, on parle alors d'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement.

D'un point de vue économique, l'efficacité de l'eau est définie comme le rapport du rendement économique à la quantité d'eau utilisée (Gardner *et al*., 1985).

7-1 Efficacité d'utilisation de l'eau comme critère de sélection

L'efficacité d'utilisation de l'eau, comme objective de sélection, peut être définie dans différents domaines qui dépendent de l'échelle et de l'unité de mesure considérée (figure 1) sachant que A est le taux de photosynthèse nette exprimé en µmol/m2/s de CO2 ; T, est le taux de transpiration exprimé en mmol/m//s d'H2O et Δ13C est la discrimination isotopique du carbone exprimée.

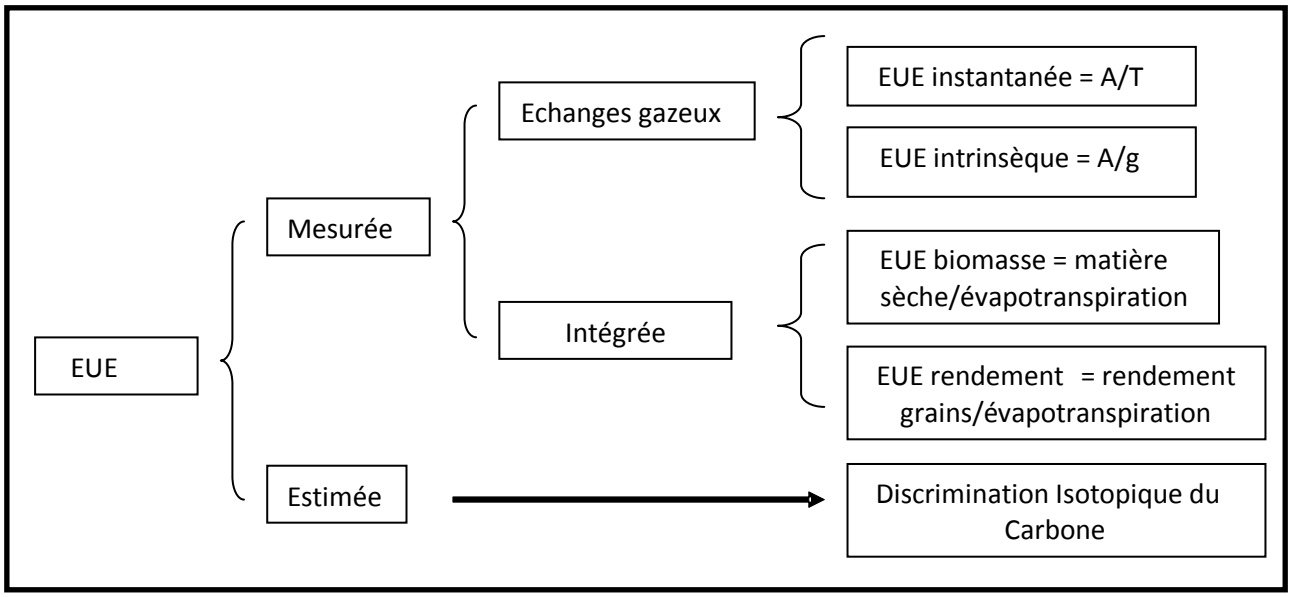


Figure 1. Echelle d'étude de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Tambussi, *et al*., 2007).

Toutes les définitions potentielles ont en commun : un échange d'eau contre une unité de production.

Pour les fermiers et les agronomes, l'efficacité d'utilisation de l'eau correspond au rapport de la matière sèche produite à l'évapotranspiration de la culture (EUE), exprimée par la relation suivante :

$$EUE = W / [1 + (Es/T)] \qquad (1)$$

Où W est l'efficacité de la transpiration (matière sèche/transpiration), Es est l'eau perdue par évaporation de la surface du sol et T est l'eau perdue par transpiration du végétal (Richards, 1991).

La relation (1) montre que l'efficacité d'utilisation de l'eau peut être améliorée soit par, l'augmentation de l'efficacité de la transpiration, soit par une réduction de l'évaporation du sol. L'importance relative de chacune des composantes de EUE varie selon la distribution des pluies. Si les pluies sont rares pendant la saison de croissance, et que la culture utilise uniquement l'eau stockée dans le sol, alors l'augmentation de l'efficacité de la transpiration (W) offre une belle opportunité pour l'amélioration de EUE. En revanche, si l'alimentation en eau de la culture repose uniquement sur les pluies, alors la réduction de l'évaporation du sol (Es) fournit un autre moyen pour l'amélioration de EUE (Richards *et al.*, 2002).

Pour les physiologistes, l'unité de base de la production est le gain d'un mole de carbone dans la photosynthèse (A) par rapport à l'eau transpirée (T). Donc, cette définition correspond à l'EUE instantanée à l'échelle des échanges gazeux de la feuille (A/T). Ces deux définitions peuvent être reliées par l'équation suivante (Passioura, 1977):

$$Rendement = ET * T/ET * W * HI \qquad (2)$$

Dans cette relation, le rendement est défini comme étant une fonction du produit de; l'eau utilisée par la culture (évapotranspiration ET), la proportion de la transpiration actuelle de la culture (T/ET), l'efficacité de la transpiration pour la production de biomasse (W) et qui correspond à la quantité de biomasse produite par millimètre d'eau transpirée et enfin le ratio entre le rendement en grain et la biomasse aérienne (HI) (Condon *et al.*, 2004).

Dans la relation (2), aucune des composantes n'est vraiment indépendante l'une des autres (Condon *et* Richards, 1993), mais chacune d'elles peut faire l'objet d'amélioration génétique. L'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle foliaire, A/T, est directement et uniquement liée à l'une de ces composantes, W, qui est l'efficacité de la transpiration pour la production de biomasse. Potentiellement donc, A/T peut influencé l'une des trois autres composantes (Condon *et al.*, 2004).

7-2 Sélection pour l'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle de la feuille

La recherche pour l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau agronomique par la sélection pour une grande efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle de la feuille a été longtemps attractive (Fischer, 1981).

A/T peut être décrite mathématiquement en notant en premier que A est le produit de la conductance stomatique pour le CO_2, G_c et le gradient de la concentration du CO_2 entre l'extérieur (C_a) et l'intérieur (C_i) de la feuille (équation 3):

$$A = G_c(C_a - C_i) \qquad (3)$$

Deuxièmement, T est le produit de la conductance stomatique de la vapeur d'eau G_w et le gradient de la concentration de la vapeur d'eau, à l'intérieur (W_i) et l'extérieur (W_a) de la feuille (équation 4)

$$T = G_w(W_i - W_a) \qquad (4)$$

Puisque la concentration du CO_2 est plus grande à l'extérieur de la feuille, alors que celle de l'eau est plus grande à l'intérieur, le ratio A/T devient donc équation (5):

$$A/T = [G_c (C_a - C_i)] / [G_w(W_i - W_a)] \qquad (5)$$

L'équation 4 peut être simplifiée par l'équation 6, sachant que le ratio entre la diffusion du CO_2 et de l'eau dans l'air est égale à 0,6 :

$$A/T \approx 0{,}6\ C_a(1 - C_i/C_a) / (W_i - W_a) \qquad (6)$$

L'équation (6) indique deux voies possible pour l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle de la feuille :

soit, par l'augmentation du numérateur du rapport ($1-C_i/C_a$) pour sélectionner des génotypes qui ont une faible valeur de C_i/C_a.

La faible valeur de Ci/Ca peut refléter une valeur faible de la conductance stomatique, une grande capacité photosynthétique ou la combinaison des deux (Farquhar et *al.*, 1989). Théoriquement, la réduction de C_i/C_a de 0,7 à 0,6 aboutit à un gain de 33% d'efficacité

d'utilisation de l'eau, sachant que cette dernière est proportionnelle à la valeur ($1-C_i/C_a$). Cependant, des disfonctionnements peuvent avoir lieu. Par exemple, si la baisse de la valeur de C_i/C_a est due à une augmentation de la capacité photosynthétique, ceci conduit à une augmentation de l'assimilation du CO_2 pour chaque unité de mesure, et si la baisse de (C_i/C_a) est due à une faible conductance stomatique, alors elle conduit à une diminution de l'assimilation du CO_2.

Outre la diminution de l'assimilation du CO_2, une autre pénalité accompagne la conductance stomatique : si la conductance de la couche externe de la feuille n'est pas très élevée, la température foliaire et la concentration en vapeur d'eau à l'intérieur de la feuille (W_i) augmentent et en parallèle la concentration en vapeur d'eau à l'extérieur de la feuille et la conductance baissent. Les modifications de W_i et W_a aboutissent à l'augmentation de la transpiration par unité de conductance stomatique, et par conséquence à l'augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau comme prédite par l'équation (6) (Condon *et a*l., 2002,2004).

La deuxième voie est de rendre la valeur de (W_i-W_a) plus petite, par diminution des pertes en eau en abaissant le gradient de la transpiration. Durant le dernier siècle, les sélectionneurs de nombreuses espèces cultivées, ont exploité la variation génétique associée à la précocité, la réponse à la photopériode et au besoin en vernalisation, pour générer d'énormes variations dans la phénologie des cultures. Cette variation phénologique a permis aux cultures de croître successivement dans des régions et à des moments de l'année ou la demande évaporative prévalente est faible, ce qui engendre une élévation de A/T et une augmentation des rendements des cultures.

8- Discrimination isotopique du carbone

Le CO_2 Atmosphérique est composé de 98.89% de ^{12}C et 1.11% de ^{13}C et de 0.10 à 0.11% de ^{14}C. Chez les plantes C3, la proportion du 13C est plus petite que celle de l'atmosphère, car, les espèces de type C3 discriminent contre le ^{13}C pendant la photosynthèse. La discrimination isotopique du carbone ($\Delta^{13}C$) est la répartition sélective du carbone lors de la photosynthèse. Cette discrimination est liée à la différence de masse entre le ^{12}C (isotope léger, plus abondant) et le ^{13}C (isotope lourd, moins abondant) (Merah , 2000).

Ce phénomène de discrimination est dû à quelques mécanismes physiologiques et biochimiques :

1) le coefficient de diffusion dans l'air qui est inversement proportionnel à la racine carrée de la masse moléculaire, par conséquent, le ^{13}C est diffusé plus lentement à travers les stomates que le ^{12}C, soit un fractionnement d'environ 4‰ pour les C3.

2) le ^{12}C est favorisé par les enzymes lors des processus chimiques (carboxylation) à cause de son faible poids moléculaire, sa forte énergie vibrationnelle et sa faible force de liaison comparée à celle du ^{13}C. Cela mène au fractionnement isotopique proche de 30 ‰ au sein du tissu végétal des plantes en C3. Comme le carbone est assimilé dans les tissus de la plante, où une composition isotopique distincte évolue, qui n'est pas en état d'équilibre stable avec l'air environnant (Farquhar *et al*. 1982; O'Leary, 1988; Farquhar *et al*., 1989).

La discrimination isotopique du carbone ($\Delta^{13}C$) est une mesure du ratio $^{13}C/^{12}C$ dans le matériel végétal, relativement au même ratio de l'air qui l'entoure et d'où elle puise le CO_2 .et qui peut être défini comme suit (Farquhar et Richards, 1984) :

$$\Delta^{13}C = [(R_a/R_p) - 1] * 1000 \qquad (7)$$

ou R_a est la valeur du ratio $^{13}C/^{12}C$ dans l'atmosphère et R_p est celle du matériel végétal. Pour des raisons de commodité l'unité de $\Delta^{13}C$ est exprimée en (‰). Chez les plantes de type C_3, le ratio C^{13}/C^{12} a une valeur proche de 1,02 donnant une valeur de $\Delta^{13}C$ proche de 20‰.

L'expression approximative suivante (équation 8) a été développée par Farquhar et Richards (1984) pour expliquer deux processus majeurs; le fractionnement associé à la diffusion du CO_2 dans les espaces intercellulaires (a = 4,4‰) et le fractionnement associé à la carboxylation du CO_2 par la Rubisco dans les produits primaires de la photosynthèse (b ≈ 28‰)

$$\Delta^{13}C = a + (b - a)C_i/C_a \qquad (8)$$

La valeur 28‰ de b est une approximation parce qu'il existe des sources supplémentaires de la variation de $\Delta^{13}C$, telles que celles associées au métabolisme et à la respiration et qui restent mal définies et dont la magnitude est faible dans la plus part des situations (Brugnoli et Farquhar, 2000). Les valeurs numériques citées dans la formule (8) donnent :

$$\Delta^{13}C \approx 4,4 + 23,6\ Ci/Ca \qquad (9)$$

Depuis les équations précédentes le $\Delta^{13}C$ est positivement corrélée avec le ratio C_i/C_a. Au départ, il a été noté que L'EUEi devrait être négativement corrélée avec le rapport C_i/C_a; par conséquent le $\Delta^{13}C$ et L'EUEi l'un vis-à-vis de l'autre devraient l'être aussi. Il y a eu de nombreuses études qui ont prouvé que cette corrélation négative entre $\Delta^{13}C$ et L'EUEi est forte pour beaucoup d'espèces en C3. La théorie proposée par Farquhar *et al.*, (1982) reliant le $\Delta^{13}C$ à L'EUEi était donc bien établie pour les deux, la feuille et la plante entière.

8-1 Relation entre $\Delta^{13}C$ et l'efficacité d'utilisation de l'eau

Le fait d'admettre que $\Delta^{13}C$ pourrait fournir une mesure relativement simple et indirecte de la variation du rapport A/T (Farquhar *et al.,* 1982; Farquhar et Richards, 1984) a relancé la perspective de l'exploitation de la variation de l'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle foliaire pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau.

Cependant, Il a été montré dans d'autres travaux, qu'il existe une légère variation de Ci/Ca parmi les espèces de type C3, et qu'elle est l'unique différence substantielle entre les espèces de type C3 et C4 (Fischer, 1981; Tanner et Sinclair, 1983). Depuis des études novatrices ont mis en évidence pour plusieurs espèces C3 que la variation en $\Delta^{13}C$ reflète étroitement la variation dans le ratio Ci/ Ca (Farquhar *et al.*, 1982; Farquhar et Richards, 1984).

Brugnolli et Farquhar (2000), ont mesuré $\Delta^{13}C$ *in situ* à partir du courrant d'air à l'entrée et à la sortie de la feuille ainsi qu'au niveau des photosynthétats extraits fraîchement des feuilles ou mesuré dans la matière sèche des tissus. La variation de $\Delta^{13}C$ entre les génotypes des espèces de type C3 est assez importante.

Théoriquement, cette variation est substantielle pour A/T et pour l'efficacité d'utilisation de l'eau ainsi que pour le potentiel de production de la matière sèche (Farquhar et Richards, 1984).

Des corrélations négatives entre $\Delta^{13}C$ et l'efficacité d'utilisation de l'eau par les plantes ont été enregistrées chez plusieurs espèces (Farquhar *et al.*, 1989; Hall *et al.*,1994; Condon et Hall, 1997). Depuis, $\Delta^{13}C$ est considéré comme un caractère à forte héritabilité qui est relativement facile à manipuler dans la sélection des populations (Condon et Richards, 1992; Rebetzke *et al.*,2002). La mesure de $\Delta^{13}C$ peut être effectuée sur des échantillons de matériel végétal frais ou stocké, c'est est une technique relativement rapide qui peut être automatisée. Cependant, de sérieuses difficultés sont survenues lorsqu'on a essayé de passer de l'association entre $\Delta^{13}C$ et l'efficacité d'utilisation de l'eau des feuilles et des plantes entières vers l'association entre $\Delta^{13}C$ et l'efficacité d'utilisation de l'eau et le rendement obtenu au champ.

8-2 Relation entre rendement en grains et $\Delta^{13}C$ chez les céréales

Selon Semcheddine (2007), des incohérences entre $\Delta^{13}C$ et le rendement ont été observée et répertoriées dans de nombreuses études impliquant les céréales, tels que le blé tendre (*Triticum aestivum* L.), le blé dur (*T. turgidum* var. D.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.) rendent difficile l'utilisation de la discrimination isotopique du carbone $\Delta^{13}C$ dans la sélection pour l'amélioration agronomique de l'efficacité d'utilisation de l'eau.

L'association négative entre $\Delta^{13}C$ et A/T à l'échelle foliaire et les associations négatives observées entre $\Delta^{13}C$ et l'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle de la plante dans plusieurs études menées dans des pots, ont toujours révélé des corrélations négatives entre le rendement des cultures et $\Delta^{13}C$.

Aussi, beaucoup d'études sur des collections de céréales cultivées, en Australie sous régime pluvial ou irrigué et dans d'autre régions (Sayre *et al.*,1995; Fischer *et al.*,1998), ont montré que les relations entre le rendement en grains et $\Delta^{13}C$ ont été rarement négatives, si ce n'est souvent des relations positives ou neutres. Beaucoup de ces études associant $\Delta^{13}C$ et la productivité chez les céréales ont utilisé des groupes de génotypes qui diffèrent entre eux non seulement par $\Delta^{13}C$, mais aussi par la date de floraison et la hauteur, deux caractéristiques qui peuvent influencées considérablement les productions, indépendamment de $\Delta^{13}C$ (Condon *et al.*, 1987, 1993, 2002; Condon et Richards, 1993; Condon et Hall, 1997), en région méditerranéenne (Voltas *et al.*,1999; Merah *et al.*,2001; Royo *et al.*, 2002; Araus *et al.*,2003)

Il existe plusieurs raisons qui peuvent expliquer que de nombreuses études ont montré des relations variables entre le rendement et $\Delta^{13}C$. Chez les céréales un faible $\Delta^{13}C$ (donc un fort A/T) est un caractère dominant en matière l'utilisation de l'eau, probablement plus important en matière de taux de croissance du végétal. En effet, en l'absence de déficit hydrique du sol, les génotypes à faible $\Delta^{13}C$ ont tendance à croître moins vite que ceux à fort $\Delta^{13}C$, et par conséquent, ils produisent moins de biomasse et de rendement grain (Condon et Richards, 1993; Condon *et al.*,1993, 2002; Lopez-Casteneda *et al.*,1995).

Une raison évidente largement citée fait que chez les cultures de céréales, $\Delta^{13}C$ est associé au caractère dominant du taux de croissance. En effet, la différence dans $\Delta^{13}C$ en absence de déficit hydrique du sol résulte de la variation de la conductance stomatique. Les génotypes à faible conductance stomatique ont tendance à avoir un fort A/T et un faible $\Delta^{13}C$.

Dans ce cas, A/T sera vraisemblablement associé à un faible taux de photosynthèse par unité de surface foliaire et un taux de croissance faible.

La faible conductance, n'est pas la seule raison qui explique l'association entre $\Delta^{13}C$ et le caractère dominant du taux de croissance de la culture. Chez les céréales, la variation de $\Delta^{13}C$ peut résulter aussi de la variation da la capacité photosynthétique (Condon *et al*.,1990; Morgan et Le Cain, 1991). Si la faible valeur de $\Delta^{13}C$ est le résultat d'une forte capacité photosynthétique, alors il y aura un fort taux de photosynthèse par unité de surface foliaire et donc un taux de croissance de la culture plus rapide. Les augmentations substantielles de la capacité photosynthétique sont facilement réalisées grâce à une concentration en azote dans les petites feuilles qui interceptent moins la lumière. Cette faible interception peut ralentir le taux de croissance (Condon et Richards, 1993; Condon et Hall, 1997). Si l'interception de la lumière n'est pas réalisée ou l'est promptement, comme dans les cultures en sec, alors la forte capacité photosynthétique ne va pas entrainer une augmentation de la croissance.

Par ailleurs, des génotypes de céréales à faible capacité photosynthétique peuvent avoir une croissance plus rapide, une corrélation positive entre la production de biomasse à l'anthèse et $\Delta^{13}C$ (Condon *et al*., 1990). Ainsi, chez les céréales, une grande capacité photosynthétique ne peut être nécessairement associée à un plus fort taux de croissance de la culture.

8-3- Interaction entre croissance et utilisation de l'eau

Indépendamment de sa base physiologique, chez les génotypes des céréales, le caractère dominant de la croissance à travers un faible $\Delta^{13}C$, a des implications importantes pour l'efficacité agronomique de l'utilisation de l'eau. Les plus importantes relations entre $\Delta^{13}C$ et le rendement ont été observées dans des milieux ou des saisons durant lesquels, les irrigations complémentaires ou les précipitations régulières, maintenaient un statut hydrique élevé du sol durant le cycle de croissance. Dans ces environnements, la rapide croissance des génotypes à forte discrimination isotopique du carbone, se traduit souvent et directement par, une plus grande production de biomasse finale et de rendement en grains (Condon *et al*.,1987, 2002; Sayre *et al*.,1995; Fischer *et al*.,1998).

A maturité, les génotypes à faible $\Delta^{13}C$ qui produisent moins de biomasses et de rendements, n'exploitent pas l'eau restante dans le sol (Condon *et al*.,2002).

Dans les environnements moins favorables, une limitation en eau suite à une variation en quantité où dans le temps, peut interagir avec le caractère dominant de la croissance et de l'utilisation de l'eau des génotypes à faible $\Delta^{13}C$, pour générer des relations complexes entre le rendement et $\Delta^{13}C$. (Condon et Hall,1997).

Si les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ épuisent l'eau disponible dans le sol très rapidement avant la floraison, ce sera une pénalité pour leur rendement (Fischer, 1981). Cependant, la pénalité en matière de rendement et d'utilisation de l'eau par la culture, associés à la rapide croissance des génotypes de céréales à forte $\Delta^{13}C$, n'est pas aussi grande à celle prévue. En fait, la croissance rapide des génotypes de céréales à fort $\Delta^{13}C$, a toujours été considérée comme avantageuse dans les environnements ou pendant les saisons où les fréquences de chute de pluies précoces dans la saison sont très importantes, mais ceci n'est pas le cas pour les stades avancées en climat méditerranéen typique (Condon *et al*., 1993; Condon et Hall, 1997; Voltas *et al*., 1999; Merah *et al*., 2001; Royo *et al*., 2002; Araus *et al*., 2003).

Dans ce genre d'environnement, l'évaporation de la surface du sol représente près de 50% des précipitations de la saison de culture (Cooper *et al.*, 1987). Les études, où l'eau utilisée a été bien répartie entres les plantes et le sol, ont montré que la plus forte transpiration associée au fort $\Delta^{13}C$ résulte de la différence d'utilisation de l'eau total jusqu'à l'anthèses bien que les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ aient une croissance plus rapide à ce critique stade de développement (Condon *et al.*, 1993, 2002; Lopez-Castaneda *et al.*, 1995). La raison de ceci est que, contrairement aux génotypes tardifs à faible $\Delta^{13}C$, les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ et à croissance précoce, arrivent à couvrir rapidement le sol, et par là, à bien réduire l'évaporation du sol lorsque les chutes de pluies sont fréquentes. Parce que l'eau total utilisée jusqu'à l'anthèse était similaire, les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ produisent plus de biomasse et arrivent à la transloquer pour produire un nombre élevé de grains et de rendement.

Les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ peuvent produire plus de biomasse à l'anthèse en puisant la réserve en eau du sol (Condon *et al.*, 1993). La faible croissance après la floraison comparée aux génotypes à faible $\Delta^{13}C$ qui sont plus économes dans l'utilisation de l'eau. Les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ donnent plus de rendement, grâce à la production d'un grand nombre de grains (associée à une plus grande production de biomasse à l'anthèse) et grâce à leur capacité à les remplir, probablement par translocation de grandes quantités d'assimilats stockées. Dans les mêmes environnements, les génotypes à faible $\Delta^{13}C$ n'arrivent pas à utiliser efficacement les assimilats stockées. Ceci est dû à leurs faibles réserves engendrées par une moindre production de biomasse à l'anthèse, ou bien les assimilats stockées n'étaient pas utiles, car les génotypes à faible $\Delta^{13}C$ avaient plus de réserves hydriques dans leurs sol dont ils se servaient pour le remplissage des grains grâce à une forte photosynthèse (Condon et Hall, 1997). En dépit de leurs faibles croissances après la floraison, les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ réalisent des rendements élevés, car ils ont tendance à avoir un indice de récolte très élevé.

Pour résumer la complexe association entre $\Delta^{13}C$, la croissance, l'utilisation de l'eau et le rendement chez les céréales, le caractère conservatif de la croissance associé avec le faible $\Delta^{13}C$ et la forte A/T a été développé pour interagir avec l'ampleur et le moment des limitations en eau, afin de générer des effets divers sur la structure des composantes du rendements précédemment citée (équation 1).

Dans certaine études, une grande efficacité de transpiration pour la production de biomasse (W), reflétant une forte A/T à l'échelle foliaire, a été compensée par une utilisation réduite de l'eau totale de la culture. Les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ ont donné plus de rendement et ont épuisé toute l'eau contenue dans le profil du sol. Les génotypes à faible $\Delta^{13}C$ extraient moins d'eau et perdent plus d'eau par évaporation du sol. Dans la combinaison de ces deux facteurs (moins d'extraction et plus d'évaporation), quelques fois il a été observé chez les génotypes à faible $\Delta^{13}C$, une transpiration considérablement faible comparée à celle des génotypes a fort $\Delta^{13}C$ (Condon *et al.*, 1993, 2002).

Donc souvent, il n'y a pas eu de relation entre le gain en biomasse et une forte A/T, et fréquemment entre la production de biomasse et le faible rendement. La forte production de biomasse chez les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ a été le plus souvent réalisée à l'anthèse, cette différence à l'anthèse a été substantiellement reflétée par un nombre de grains et un rendement élevés chez les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ bien qu'ils aient produit moins de biomasse à après l'anthèse. Tout en prenant en compte le rendement, dans quelques études, les relations positives entre la production de biomasse et $\Delta^{13}C$ ont été soutenues par les relations positives entre l'indice de récolte (HI) et $\Delta^{13}C$ qui est probablement due, en partie, à une forte translocation des réserves stockées chez les génotypes à fort $\Delta^{13}C$.

Chapitre II

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL ET METHODES

1- Dispositif et protocole expérimental

L'expérimentation a été réalisée durant la campagne agricole 2008/2009. L'essai a été mené sur le site expérimental de la Station Agricole ITGC,situé au lieu dit : « Rmada », à 7 km au sud ouest de la ville de Sétif. La parcelle expérimentale se trouve à une altitude de 958 mètres, avec une latitude (N) de 36° 08 et 5° 20 de longitude (E), ses coordonnées géographiques ont été mesurées à l'aide d'un GPS 'Garmin 12'.

Le matériel végétal est composé d'un groupe de 08 variétés dont le listing est donné au tableau 9 est semé le 01/12/2008 sur des parcelles élémentaires de 6 rangs de 5 m de long avec un espace inter-rang de 20 cm, soit une superficie parcellaire de 6 m². Le dispositif expérimental est constitué de blocs complètement randomisés avec cinq répétitions dont la dernière a été réservée aux prélèvements et estimations du poids spécifique de la feuille.

Le précédent cultural est une jachère labourée. Les techniques culturales appliquées à l'expérimentation sont un labour profond réalisé au cours des mois de l'hiver, suivi de passages du cover-croop, au printemps pour reprendre le labour et détruire les adventices installés. L'épandage de 46 unités/ha de superphosphate à 46%, et du passage d'un cultivateur sont effectués juste avant l'opération semis. L'apport de 75 kg/ha d'engrais azoté sous forme d'urée à 46%, suivi du désherbage au GranStar [Tribunéron méthyle], à raison de 12 grammes mélangés dans 250 l d'eau/hectare, sont réalisés au stade plein stade tallage.

Tableau n° 9 : Description du matériel végétal

N°	Nom	Source
1	**Waha**	Lignée CIMMYT/ICARDA (Cham1) lancée en Algérie en 1986
2	**Oued Zenati**	Variété locale
3	**Polonicum**	Variété locale
4	**Mexicali**	Variété CIMMYT lancée en 1975
5	**Altar**	Variété CIMMYT lancée en 1984
6	**Sooty**	Variété CIMMYT lancée en 2000
7	**Dukem**	Variété CIMMYT lancée en 2000
8	**Kucuk**	Variété CIMMYT lancée en 1984

2- SUIVI ET NOTATIONS

Pour éviter l'effet de bordure lors des notations, on a choisi dès le semis quatre stations de 01 ml par parcelle élémentaire sur les deux lignes du milieu. Les mesures effectuées ont porté sur:

2-1- L'humidité du sol

Un prélèvement de sol est effectué par décade à l'aide d'une tarière pédologique sur une profondeur de 60 cm .Pour chaque prélèvement, trois échantillons de terre sont constitués soit un échantillon par niveau de profondeur de 20cm et ceci durant tout le cycle végétatif. Les échantillons sont pesés à l'état frais et passés à l'étuve à 85°C pendant 48h pour déterminer l'humidité pondérale du sol selon la formule suivante :

Humidité pondérale (%) =[(Poids frais – Poids sec) / Poids sec] x 100

2-2 Rendement et composantes du rendement

La date de réalisation du stade épiaison qui correspond à la sortie de 50% des épis de la gaine de la feuille étendard de la parcelle élémentaire notée. Cette date sert à la détermination de la durée de la phase végétation (PVG), comptée en jours, de la levée à la date de réalisation du stade épiaison.

Nous avons comptabilisé la phase située entre 50% de la levée et 50% de l'épiaison, puis transformé le nombre de jours calendaires correspondant, en somme de température par cumul des températures moyennes journalières positives.

Au stade deux nœuds, nous avons prélevé un échantillon de 10 plants/génotype qu'on a pesé, passé à l'étuve à 120 °C puis repeser pour calculer la matière sèche. Aussi, on a prélevé un autre échantillon de 10 plants/variété qui a servi pour calculer le coefficient de tallage herbacé.

Sur toutes les stations nous avons noté le nombre de plant levé. A maturité, nous avons récolté les stations séparément. Sur chacune d'elle nous avons estimé la biomasse aérienne, la hauteur, le nombre d'épis.

La fertilité a été calculée sur un échantillon de 10 épis de chaque station. Ces mêmes grains ont été pesés pour estimer le poids de mille grains. Le rendement final a été calculé par pesée de grains de chaque station.

2-3 Teneur en chlorophylle

Sur le milieu de la feuille drapeau de dix plants de chaque variété, nous avons mesuré la teneur moyenne en chlorophylle total (a+b), en utilisant un chlorophylle-mètre digital de type SPAD 501 qui donne des lectures en unité SPAD.

On note que pour chaque variété on a effectué quatre mesures étalées entre les stades épiaison et remplissage

2-4- Surface et poids spécifique de la feuille drapeau

Dix feuilles étendards de chaque variété sont coupées à la base du limbe après l'arrêt de la croissance, puis photographiées à l'aide d'un appareil photo numérique (Fuji à 3 méga pixels de résolution), chaque photo est traitée par le logiciel Image Tools 3.00 pour le calcul de la surface foliaire.

Les feuilles sont ensuite mises à l'étuve à 85°C pendant 48 heures pour avoir leur poids sec.

Le poids spécifique de chaque variété est exprimé par le rapport du poids de la feuille (g) sur sa surface (cm^2).

2-5- Teneur relative en eau (TRE)

La teneur en eau relative est souvent considérée comme un excellent indicateur de l'état hydrique de la plante, elle a été déterminée sur un échantillon de 5 feuilles de chaque génotype par la méthode de **Henson *et al.* (1982)** qui consiste à couper la feuille au niveau de la base du limbe et de la peser immédiatement (poids frais ; PF), l'extrémité sectionnée est ensuite mise dans de l'eau distillée à 4 °c et à l'obscurité pendant une durée minimale de 18 à 20 heures afin d'obtenir un taux maximal de rehydratation (poids à pleine turgescence .PPT).

La feuille est à nouveau pesée après dessiccation à l'étuve (80 °C / 24 heures ; PS). Les valeurs de la teneur relative en eau sont déterminées à partir de la formule :

TRE = (PF - PS) / (PPT - PS) x 100

Pour étudier l'évolution de la teneur en eau relative sous l'effet du stress hydrique, nous avons effectué 4 mesures.

2-6 Expression de la sénescence

Les feuilles ont été photographiées sur une surface noire, entre 11 :00 et 12 :00 h MST (Midi Solar Time), avec une camera numérique en couleur équipée d'un autofocus automatique. Les images enregistrées sous forme numérique et stockées dans la camera en fichier JPEG (*Joint Photographics Expert Group*) ont été transférées de la caméra vers la mémoire ordinateur pour être analysées. L'analyse est effectuée à l'aide du logiciel IPP (*Image Pro Plus*), comportant un système de mesure automatique de la surface foliaire (en pixels). La sénescence de la feuille (S) correspond au rapport « gris /noire » de l'image (Adamsen *et al*., 1999). Les mesures ont été effectuées à huit reprises depuis l'anthèse jusqu'à la fin de sénescence sur quatre feuilles drapeau de chaque variété. Les huit dates de mesure sont exprimées en somme de températures après la floraison (Σt1 à Σt8) et les valeurs correspondantes de la sénescence (S1 à S8) en pourcentage.

En plus de la sénescence (S), trois paramètres sont calculés pour caractériser la dynamique de la sénescence par la méthode NAI. La sénescence moyenne (Sa) a été calculée avec les valeurs S1 à S8. La date correspondant à la moitié de la sénescence de la feuille drapeau (Σ50) a été évaluée à partir de la courbe expérimentale S = f(Σt) comme la somme des températures correspondant à 50% de S. la vitesse de la sénescence (Vs) a été calculée pour chaque date de mesure de la sénescence comme suit : (Σti+1 – Σti) / (Sti+1 – Sti) et la valeur maximale (Vs max) a été notée pour chaque variété (Hafsi *et al.*2000).

3- Le Logiciel *Budget*

Budget avec sa base de données est un modèle de simulation conçu en 2004, il est la propriété de la faculté d'agriculture et des sciences biologiques appliquées de l'université de Leuven, Belgique. C'est un logiciel téléchargeable (*freeware)* sur son site: http://www.iupware.be, d'une capacité de 1.76 Mo.

Budget comporte une base de données de paramètres par défaut, relative à certains types de culture, de sols et de climats et permet aux utilisateurs d'établir leur propre simulation en introduisant leurs données. Le logiciel peut faire des simulations du comportement de l'état hydrique du sol et de la cinétique de croissance du végétal .Il permet également de calculer les différentes composantes du bilan hydrique du sol, la période de stress hydrique et peut même prédire le rendement. Il a un programme accessoire « *ETo* version 1.0 » qui permet d'estimer l'évapotranspiration potentielle de référence.

3-1 Entrées du modèle

Elles sont d'ordre climatiques, édaphiques et culturales. Les données sont classées en cinq modules de paramètres :

3-1-1 Précipitations

Elles sont fournies par des stations météorologiques. Selon leurs disponibilités, les précipitations sont saisies (en millimètre) par jour, par décade ou par mois. Pour notre étude nous avons utilisé les données provenant de la station météo de la wilaya de Sétif.

3-1-2 Evapotranspiration de référence ETo

Elle est introduite (en millimètre) par jour, par décade ou par mois. Elle peut être obtenue par mesure sur des cases lysimétriques ou estimées à partir des formules empiriques. Dans notre expérimentation, nous l'avons estimé à partir de la formule de Penman Montheil (1990), modifiée et recommandée par la FAO (1998), En utilisant le logiciel ETo (2000).

3-1-3 sol

Les données requises sont ; la texture du sol, le nombre et la profondeur des horizons ainsi que leurs caractéristiques hydriques (capacité de rétention, capacité aux champs, point de flétrissement...etc.), le drainage et le ruissellement des eaux en surface. Dans notre essai, ses deux derniers paramètres ont été négligés.

3-1-4 Matériel végétal

Le matériel végétal représente le quatrième module avec 09 paramètres requis : la durée des stades de croissance du végétal et les coefficients de culture correspondants, le paillage en surface, le taux du couvert végétal, le niveau de croissance des racines durant le cycle, le taux d'extraction de l'eau suivant la profondeur d'enracinement, la tolérance à la salinité, le coefficient de la tolérance au stress hydrique (selon l'épuisement de la RFU), le coefficient de stress due à un engorgement en eau et enfin le coefficient de sensibilité du rendement durant les phases de croissance.
Dans notre expérimentation, nous avons fixé les mêmes paramètres pour tous les génotypes, sauf ceux relatifs aux stades de croissance (levée, épiaison et maturité) qui ont été paramétrés.

3-1-5 Programmation

Le dernier module comporte de nombreux paramètres dont nous citons quelques uns : il s'agit surtout de l'établissement des conditions initiales et finales de la simulation telle que la réserve en eau du sol, les coefficients de calcul de l'évaporation (équation de Ritchie), la procédure de calcul des pluies efficaces, etc.

3-2 Sorties du modèle et simulation

Une fois que tous les paramètres sont introduits et la période de simulation fixée, le programme offre la possibilité de sortie de nombreux paramètres qui sont présentés sous forme numérique et graphique. Aussi, *BUDGET* indique si un stress hydrique se manifeste ainsi que la prédiction du taux de diminution du rendement potentiel.

4- Analyse statistique

L'analyse de variance, les régressions linéaires, les matrices de corrélation et les comparaisons de groupes de moyennes ont été réalisées en utilisant :
Vista (The Visual Statistics System), version 6.4, (2001)
Past, version 0.45, (2001)
Le test LSD pour la comparaison des moyennes a été effectué par le logiciel *STATISTICA*, version 5.1
Graphpad Prism (version 4.00) a servi pour établir les figures.

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

RESULTATS ET DISCUSSIONS

6-1-RESULTATS

6-1-Températures et pluviométrie :

Les conditions climatiques de la campagne 2008/09 sont caractérisées par un hiver froid et une répartition irrégulière de la pluviométrie, dont 56,6 % du cumul total (332,4 mm) sont enregistrés au cours des mois de janvier, février et avril (Figure 5). Le printemps très pluvieux a favorisé un bon développement de la végétation. Comparativement aux campagnes 1981/2000 caractérisées par un hiver très froid, pluvieux suivi d'un printemps chaud, enregistrant le maximum de pluie au mois de mai. L'été était sec et chaud (Figure 6).

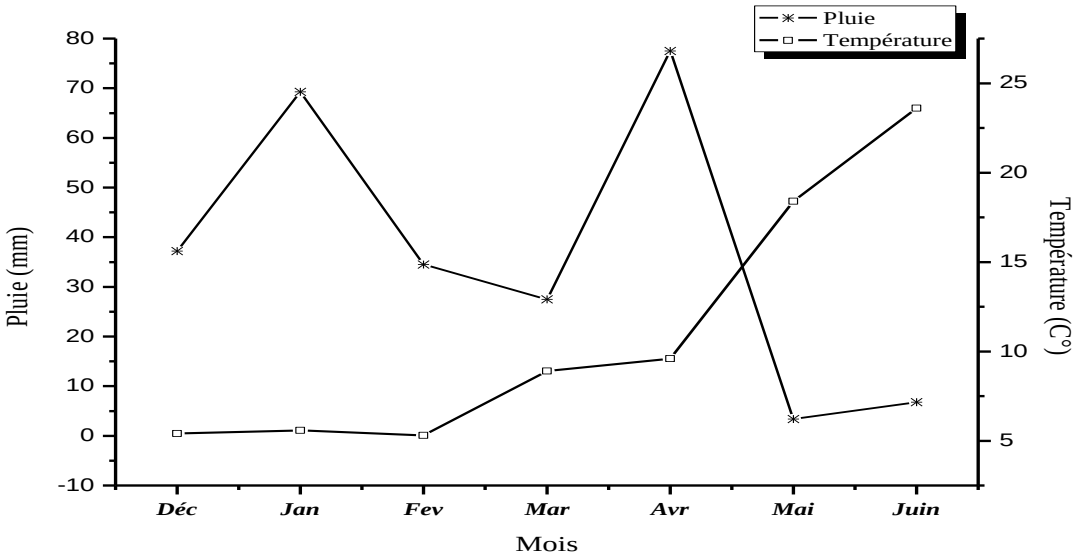


Figure 5. Diagramme ombrothermique campagne (08/09)

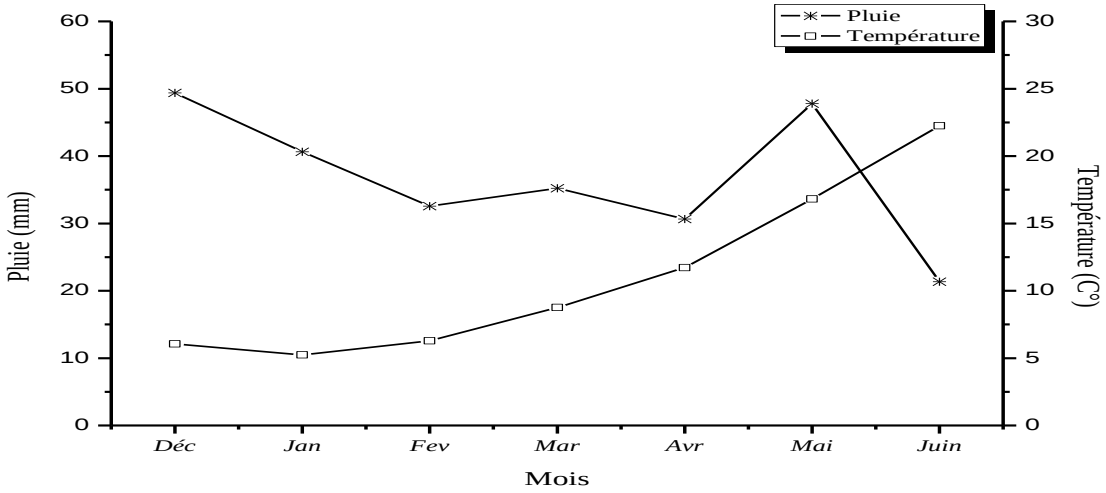


Figure 6. Diagramme ombrothermique de la période 1981-2008

En outre, la comparaison des deux diagrammes ombrothermiques (Figure 5) et (Figure 6) montre que la saison sèche au cours de la campagne 2008/09 a débuté plutôt (mi avril), par contre elle diminue vers la fin du mois de mai pour à la période 1982/2005.

6-2 Humidité du sol

Le suivi de l'humidité pondérée du sol par décade au cours du cycle végétatif sur les trois niveaux de profondeur, montre de grandes fluctuations (figure 7).

Ces variations sont le résultat de l'interaction de la composante "pluie, température, vent, radiations " avec le stade de développement de la culture.

Les variations de ces teneurs en eau sont aussi fonction de l'interaction complexe entre les mécanismes hydrauliques du sol (remontée capillaire, percolation, drainage) d'une part et le développement racinaire d'autre part.

Sur la figure 7, on observe une variation spatio-temporelle de la réserve hydrique du sol. A l'échelle du temps, on constate que pour le même horizon, la réserve hydrique présente de très grandes fluctuations selon les différentes dates. A l'échelle de l'espace, on constate que pour la même date, la réserve hydrique n'est pas similaire chez les différents horizons.

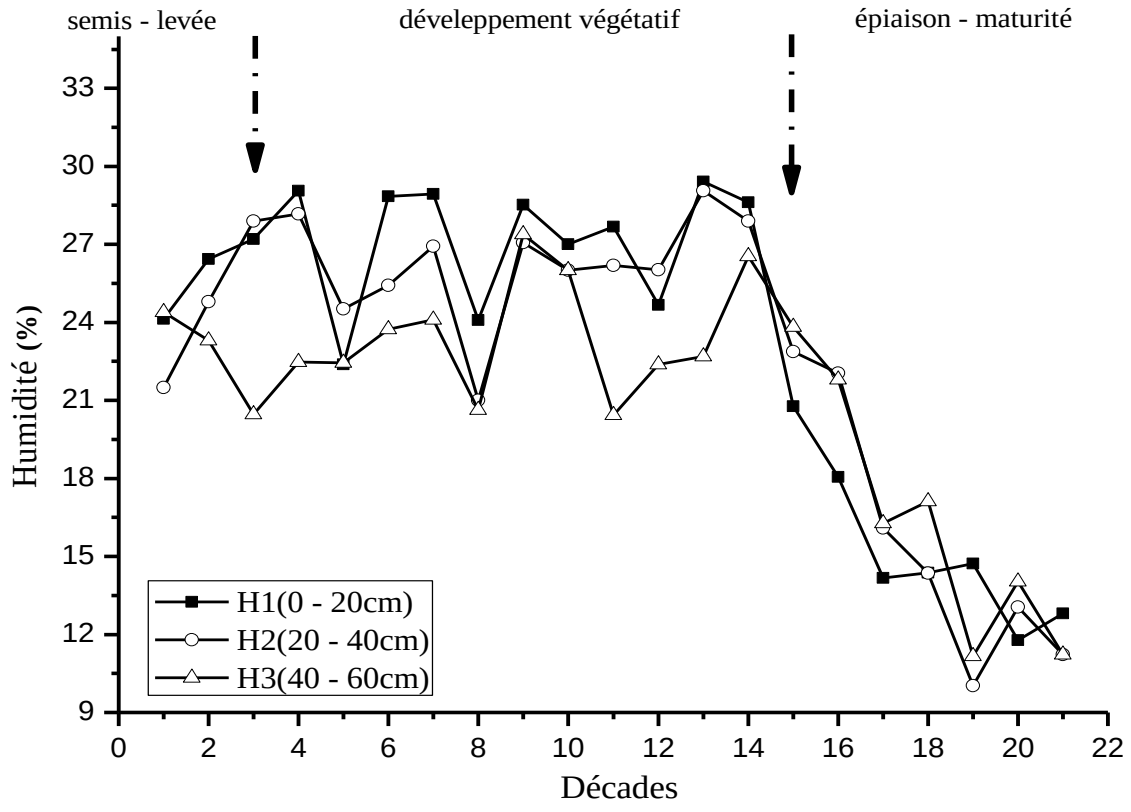


Figure 7. Fluctuation de l'humidité pondérée (observée) du sol au cours du cycle végétatif

1-3 Elaboration du rendement

1-3-1 Levée et tallage herbacé

La phase depuis le semis jusqu'à 50% de plants levés, a pris en moyenne 27,55 jours. Sooty, Mexicali et Kucuk ont enregistré 27 jours seulement, alors que Altar a accompli cette phase en 29 jours. La levée complète a été observée en moyenne après 37,87 jours du semis. L'analyse de variance du nombre de talles/m² montre une différence significative entre les parcelles de l'essai. L'installation des génotypes peut être considérée comme homogène.

Les variétés Altar et Kucuk occupent mieux leur milieu et couvrent bien le sol en produisant plus de talles herbacées avec 2,07 et 2,066 talles/plant, comparé à Waha et Oued zenati qui enregistrent 2,011 et 2,013 talles/plant respectivement (tableau 10).

Tableau 10. La levée et le tallage herbacé

Génotype	50 % levée (en jours)	100 % levée (en jours)	Talles/m²	coefficient de tallage
Oued zenati	28	37	468,75 **a**	2,013
Altar	29	41	417,5 **b**	2,07
Sooty	27	37	453,75 **ac**	2,025
Polonucum	28	37	454,063 **c**	2,047
Waha	28	37	528,438 **d**	2,011
Dukem	28	37	409,063 **b**	2,072
Mexicali	27	40	429,063 **b**	2,061
Kucuk	27	37	491,563 **a**	2,066
Moyenne	**27,75**	**37,87**	**456,523**	**2,045**

1-3-2 Epiaison

Ce caractère varie de 129 jours pour la variété Altar qui est la plus précoce à 136 jours pour les variétés locales Oued Zenati et Polonucum . La moyenne est de 133.12 jours (tableau 11).

Tableau 11. Chronologie de l'épiaison et de la maturité

Génotypes	50% épiaison (en jours)	100% épiaison (en jours)	Maturité (en jours)	semi - 50% épiaison
Oued zenati	136	139	24	164
Altar	129	133	24	158
Sooty	134	137	23	161
Polonucum	136	139	24	164
Waha	132	135	24	160
Dukem	133	136	25	161
Mexicali	130	133	27	157
Kucuk	135	138	24	162
Moyenne	**133,125**	**136,25**	**24,375**	**160,875**

1-3-3 Tallage épi

Le nombre moyen d'épis par m² est de 286,25 épis/m². L'analyse de variance fait ressortir une différence significative entre les génotypes. Polonicum et Oued Zenati produisent moins d'épis (244,06 et 249,68 épis/m²) et de talles (1,09 et 1,02 épis/plant) respectivement, tandis que, Kucuk et Mexicali ont le meilleur peuplement épis avec; 336,25 et 312,81 épis/m². En moyenne, leurs talles sont de 1,41 et 1,51 épis/plant, respectivement. La comparaison du nombre d'épis moyen produit par plant fait ressortir deux groupes homogènes (tableau 12).

Tableau12.Nombre d'épis et tallage

Génotype	Epis/m²	Epis/plant
Oued zenati	249,68 **a**	1,02 **a**
Altar	271,87 **ab**	1,34 **ab**
Sooty	271,56 **ab**	1,21 **ac**
Polonicum	244,06 **a**	1,09 **a**
Waha	294,68 **ab**	1,11 **a**
Dukem	309,06 **ab**	1,62 **b**
Mexicali	312,81 **ab**	1,51 **bc**
Kucuk	336,25 **b**	1,41 **ab**
Moyenne	**286,25**	**1,29**

1-3-4 Nombre de grains par m² et fertilité épi

L'analyse de la variance indique qu'il existe une différence significative entre les génotypes pour le nombre de grains par épi et le nombre de grains par mètre carré. Kucuk produit 11579,77 grains/m², sa fertilité est de 34,43 grains/épi. Oued Zenati est le moins fertile de tous les génotypes avec 28,41 grains/épi, il produit aussi le moins de grains par unité de surface soit 7094,13 grain/m² (tableau 13).

1-3-5 Poids de mille grains

Les variétés locales enregistrent des valeurs de PMG élevées avec 47,8 g et 41,9 g pour Oued Zenati et Polonicum respectivement, alors que celui de Waha est le plus faible avec 28,9 g . L'analyse de la variance du poids de mille grains montre une différence significative entre les génotypes, qui sont répartis en quatre groupes homogènes (tableau 13).

1-3-6 Biomasse aérienne et hauteur des chaumes

L'analyse de variance de la biomasse aérienne montre une différence significative entre les variétés testées. Toutefois, Oued Zenati et Mexicali arrivent à produire les biomasses les plus élevées : 9105 et 8643,8 Kg/ha, respectivement alors que Dukem avec 6237,5 t/ha enregistre la plus faible biomasse.

Les huit variétés présentent une hauteur moyenne de 78,44 cm avec un minimum de 64,53 cm pour la variété Dukem (qui est une variété précoce), et un maximum de 102,13 cm et 101,52 pour les variétés Oued Zenati et Polonicum (qui sont des variétés locales). L'analyse de variance montre une différence très hautement significative. La comparaison des moyennes a mis en évidence 3 groupes (tableau 13).

1-3-7 Rendement grain

La moyenne générale est de 2667,96 Kg/ha, le rendement le plus élevée est enregistré par la variété Mexicali (3193,75 Kg/ha) et le plus faible (2200 Kg/ha) par la variété Dukem. L'analyse de variance montre une différence très hautement significative. Le test de comparaison des moyennes montre 3 groupes (tableau13).

1-3-8 Indice de récolte

L'indice de récolte (HI) est significativement différent d'une variété à une autre. On note qu'Altar a enregistré le plus fort indice, soit 0,4 alors qu'Oued Zenati a le plus faible indice 0,28. La comparaison des moyennes de l'indice de récolte met en évidence trois groupes homogènes (Tableau 13).

Tableau13.Valeurs moyennes du rendement et de ses composantes.

Génotype	RDT (Kg/ha)	Nombre de grains par épi	RDT/Epi (g)	Nombre de grains par m²	PMG (g)	Biomasse (Kg/ha)	Hauteur (cm)	HI
Oued zenati	2550 **ab**	28,412 **a**	1,347	7094,13	47,8 **a**	9105 **a**	102,13 **a**	0,28 **a**
Altar	2931,25 **ac**	35,238 **b**	1,337	9580,33	37,7 **bd**	7287,5 **ab**	70,68 **b**	0,4 **b**
Sooty	2656,25 **ab**	39,475 **b**	1,305	10719,94	30,2 **c**	6912,5 **b**	73,28 **b**	0,38 **b**
Polonucum	2468,75 **ab**	33,962 **b**	1,47	8288,86	41,9 **d**	7862,5 **ab**	101,52 **a**	0,31 **c**
Waha	2693,75 **ab**	38,675 **c**	1,142	11397,05	28,9 **c**	7759,4 **ab**	70,98 **b**	0,34 **bc**
Dukem	2200 **b**	35,15 **b**	0,965	10863,56	29,2 **c**	6237,5 **b**	64,53 **c**	0,35 **bc**
Mexicali	3193,75 **c**	35,338 **b**	1,222	11054,15	35,1 **bc**	8643,8 **a**	73,08 **b**	0,36 **b**
Kucuk	2650 **abc**	34,438 **b**	1,142	11579,77	32,6 **bc**	7556,3 **ab**	71,33 **b**	0,35 **bc**

1-4 Evaluation de quelques paramètres du feuillage

1-4-1 Teneur en chlorophylle

L'analyse de la chlorophylle montre des différences en quantité entre les variétés. Oued Zenati a la teneur la plus faible 28,57 unités SPAD. Les variétés précoces Mexicali et Sooty enregistrent des moyennes supérieures 32,57et 32,08 unités SPAD respectivement (tableau 14).

La teneur moyenne en chlorophylle varie entre un maximum de **51,55** unités SPAD notée à une somme de températures de **148,50 °C** , somme qui correspond au début de l'épiaison et un minimum de **4,31** unités SPAD, à une somme des températures de **443,8 °C** qui correspond au remplissage des grains (tableau 14).

Le rendement grain des différentes variétés semble être associé aux valeurs SPAD (r = 0.601) sans qu'il soit significatif statistiquement; ce même constat est rapportée par Singh et al. (2002) chez le blé (Figure 7).

Tableau14. Evolution de la teneur de la chlorophylle totale de la feuille drapeau (unité SPAD) en fonctionde la somme des températures après floraison

Génotypes	Sommes de températures après la floraison					Moyennes
	148,50	**188,2**	**271**	**352,8**	**443,8**	
Oued Zenati	47,20	44,13	38,70	7,67	5,17	**28,57**
Altar	50,97	45,87	37,23	6,13	5,57	**29,15**
Sooty	55,87	51,27	37,10	12,63	3,53	**32,08**
Polonicum	50,50	45,17	36,13	16,13	2,57	**30,10**
Waha	52,90	45,70	33,93	9,03	5,50	**29,41**
Dukem	53,60	49,63	33,33	17,80	2,50	**31,37**
Mexicali	53,80	51,73	45,67	6,83	4,80	**32,57**
Kucuk	47,63	45,10	35,47	12,63	4,90	**29,15**
Moyennes	**51,55**	**47,32**	**37,19**	**11,10**	**4,31**	

1-4-2 Teneur relative en eau

La teneur en eau relative minimale est de 52,66 % caractérisant la variété Altar, par contre le maximum est atteint par la variété Waha avec 62,03 %. La moyenne est de 56,48%.

Selon le tableau 15, la réduction de la teneur en eau relative provoquée par le stress est passée de 78,33 après épiaison à 37,93 % à la maturité.

Tableau15. Evolution de la Teneur Relative en Eau de la feuille drapeau (%) en fonction de la somme des températures après épiaison

Génotypes	Somme des températures après épiaison				Moyennes
	23,95	**184,7**	**375,1**	**484,4**	
Oued Zenati	75,16	63,25	50,52	44,44	**58,34**
Altar	79,93	60	47,31	23,4	**52,66**
Sooty	81,95	62,5	47,1	40,42	**57,99**
Polonicum	80,48	64,59	46,62	37,93	**57,4**
Waha	77,48	68,86	57,14	44,64	**62,03**
Dukem	75,27	49,64	54,21	32,5	**52,9**
Mexicali	77,59	59,68	46,36	39,58	**55,8**
Kucuk	78,82	57,02	42,59	40,54	**54,74**
Moyennes	**78,33**	**60,69**	**48,98**	**37,93**	

1-4-3 La surface foliaire

Les variétés locales Polonicum et Oued Zenati ont les plus grandes feuilles drapeau avec des superficies de 21,66 et 20,77 cm² respectivement, tandis que la variété Kucuk a enregistré la plus petite superficie avec 13,19 cm². La moyenne générale de la surface foliaire est de 16,36 cm² et l'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les variétés. Deux groupes sont apparus lors de la comparaison des moyennes (Tableau 16).

1-4-3 Le poids spécifique

L'analyse de variance n'a pas révélé de différences significatives entre les variétés pour le poids spécifique de la feuille drapeau. La moyenne générale est de 0,00635 g/cm² allant de 0,00489 et 0,00505 g/cm² pour les variétés locales Oued Zenati et Polonicum respectivement à 0,00808 g/cm² pour la variété Waha (Tableau 16).

Tableau16.Valeurs moyennes de la surface foliaire et du poids spécifique

Génotype	Surface F (cm²)	Poids sec (g)	Poids spécifique (g/cm²)
Oued zenati	20,77 **a**	0,104	0,00489 **a**
Altar	15,28 **ab**	0,1026	0,00692 **a**
Sooty	15,35 **ab**	0,0964	0,00644 **a**
Polonucum	21,66 **a**	0,103	0,00505 **a**
Waha	14,46 **ab**	0,1069	0,00808 **a**
Dukem	15,24 **ab**	0,1026	0,00671 **a**
Mexicali	14,95 **ab**	0,0926	0,00622 **a**
Kucuk	13,19 **b**	0,0881	0,00648 **a**
Moyenne	**16,36**	**0,0995**	**0,00635**

1-5 Evaluation de quelques paramètres physiologiques

1-5-1 Efficacité d'utilisation de l'eau

Les variétés précoces ont une EUE pour le rendement en grains moyenne supérieure (9.88 kg/mm/ha) que celle des variétés locales (9.10 kg/mm/ha). Mexicali et Dukem enregistrent respectivement les valeurs maximales et minimales 11,60 et 7,99 kg/ha/mm (Tableau 17).

Cependant les variétés locales ont des EUE pour la production de biomasse plus élevées ; 33,01 et 28,57 pour Polonicum et Oued Zenati. Les variétés locales ont un comportement différent des variétés précoces ; elles produisent moins de grains par rapport aux pailles, ayant un rapport grain/paille de 0.29, contrairement aux variétés améliorées qui ont un rapport de 0.36.

1-5-2 Efficacité de transpiration

On note que, Oued Zenati et Mexicali enregistrent l'efficacité de transpiration pour la production de biomasse la plus élevée soit 41,50 et 39,43 grammes/mm/m², tandis que Dukem a la plus faible W = 28,45 grammes/mm/m² d'eau transpirée soit un écart relatif de 32 et 28 % respectivement (Tableau 16).

La moyenne de l'efficacité de transpiration pour le rendement grains est de 12 ,17 grammes/mm/m², variant de 10,036 grammes/mm/m² pour la variété Dukem, à 14,570 grammes/mm/m² pour Mexicali. (tableau 17).

Tableau 17. Efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) et efficacité de la transpiration (W) en grammes/millimètre/m² d'eau

Génotype	WUE grain	WUE Biomasse	W grains	W Biomasse
Oued zenati	9,246	33,013	11,623	41,500
Altar	10,651	26,481	13,372	33,246
Sooty	9,652	25,118	12,118	31,535
Polonucum	8,971	28,570	11,263	35,869
Waha	9,788	28,195	12,289	35,399
Dukem	7,994	22,665	10,036	28,456
Mexicali	11,605	31,409	14,570	39,433
Kucuk	9,629	27,457	12,089	34,472
Moyenne	**9,692**	**27,864**	**12,170**	**34,989**

1-5-3 Sénescence de la feuille drapeau

Pour toutes les variétés, l'allure de la sénescence en relation avec sa durée telle que mesurée par la méthode NAI est de type sigmoïde. Un effet hautement significatif à été noté pour Sa qui a enregistrée une moyenne de 42,95%. La variété Mexicali a la plus petite moyenne de sénescence 35,31 % donc c'est elle qui reste verte le plus longtemps. En revanche, les variétés Oued Zenati et Waha qui ont des moyennes de sénescence de 49,30 et 48,07 % respectivement c'est-à-dire qu'elles sont les premières à se dessécher et se faner (tableau 17). Ces résultats sont confirmés aussi par le paramètre (Σ50 S) somme des températures à 50% de sénescence où la variété Oued Zenati a totalisé le plus faible cumul 290,9°C (la sénescence a commencé tôt), alors que la variété Mexicali a la plus grande somme avec 338,85°C (la sénescence est retardée) (tableau 18).

Tableau 18. Valeurs moyennes de la sénescence durant tout le cycle (Sa), du cumul des températures à 50%de S (Σ50 S), de la vitesse moyenne (Vsa) et de la vitesse maximales de la sénescence de la feuille drapeau (Vs max).

Génotype	Sa (%)	Σ50 S	Vs max	Vsa
Oued Zenati	49,30 **a**	290,9 **ab**	1,212 **a**	0,380 **a**
Altar	38,96 **b**	333,54 **e**	0,751 **b**	0,333 **a**
Sooty	42,57 **c**	305,17 **cd**	1,269 **a**	0,380 **a**
Polonicum	43,24 **c**	312,82 **d**	0,875 **b**	0,390 **a**
Waha	48,07 **a**	269,77 **f**	0,802 **b**	0,325 **a**
Dukem	40,31 **b**	298,59 **bc**	0,916 **b**	0,386 **a**
Mexicali	35,31 **d**	338,85 **e**	1,065 **ab**	0,382 **a**
Kucuk	45,19 **e**	286,63 **a**	0,875 **b**	0,415 **a**

2-Discussion des résultats

2-1 Rendement grain et précocité

Le timing des événements phénologiques représente un facteur important pour l'adaptation dans un environnement donné (Richards, 1991; Shorter *et al.*, 1991). En zone méditerranéenne, la période de floraison optimale en condition pluviale, pour les blés se trouve bornée par les gelées précoces printanières d'une part et d'autre part par la sécheresse tardive et le stress thermique qui coïncide avec la phase de remplissage. La transition des variétés locales tardives vers les variétés modernes (précoces) grâce aux efforts d'amélioration, chez le blé dur a été caractérisée par une avancée dans la date de floraison (Blum *et al.*, 1989), mais les conséquences d'une floraison précoce sur les événements phénologiques qui précèdent la floraison sont peu connues et de même sur les mécanismes par lesquels cette précocité est régie.

Dans notre cas, le rendement grain est en relation négative au nombre de jours d'épiaison (jours après levée) (r = -0,73) et évidemment pour tous les génotypes (Figure 8).

La variation dans le rendement grain, au sein du même environnement et entre des environnements différents, est corrélée d'une manière consistante au nombre de grains plutôt qu'au poids du grain (Shanahan *et al.*, 1984), avec toutefois une plus grande diminution du poids du grain par rapport au nombre de grains en cas de stress hydrique en post-anthèse (Fischer and Maurer, 1978). Les génotypes qui épient et fleurissent tôt peuvent échapper au risque de stress hydrique et ainsi établir un potentiel large pour la taille du grain mais leur courte croissance végétative pourrait induire une plus faible fertilité de l'épi (Gebeyehou *et al.*, 1982) et une grande exposition aux gelées.

Dans un travail qui comportait le même groupe de variétés, Semcheddine (2008) a trouvé que les génotypes locaux (Oued Zenati et Polonicum) ont une épiaison plus tardive que celle des autres génotypes testés. Une forte corrélation existe entre la précocité à l'épiaison et le rendement. En effet, la date repère de 50% d'épiaison est négativement corrélée au rendement (r=-0,91), et en prenant la date repère de 100% d'épiaison, on constate une nette augmentation du coefficient de corrélation entre la précocité à l'épiaison et le rendement. Aussi, les résultats indiquent que les génotypes les plus précoces à l'épiaison sont les moins stressés.

Il semble donc, que les génotypes modernes qui sont plus précoces esquivent le stress de fin de cycle. La précocité au stade épiaison est une composante importante d'évitement des stress de fin de cycle chez le blé dur. L'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire dans les régions arides à semi arides compte tenu de la distribution aléatoire des précipitations (Mekhlouf *et al.*, 2006). Fisher and Maurer (1978) notent que chaque jour gagné en précocité génère un gain en rendement de 30 à 85 kg/ha.

2-2 Relations entre le rendement et ses composantes

2-2-1 Biomasse aérienne

Les efforts en amélioration durant le vingtième siècle ont fait augmenter le rendement du Blé dans divers environnements avec des gains allant de 5 à 71 kg/ha (Calderini *et al.,* 1999). Ces gains génétiques dans le rendement ont contribué à 50% du total des gains de la productivité du blé (Slafer *et al.,* 1994).La répartition de la biomasse dans les organes de reproduction a été le principal facteur responsable de ce gain (Cox *et al.,* 1988; Austin, 1989; Siddique *et al.,* 1989; Slafer and Andrade, 1989; Calderini *et al.,* 1995). Les variétés améliorées dans plusieurs régions du monde ont déjà été atteint leur potentiel optimal qui est d'environ 62 % (Austin *et al.,* 1980). La supériorité des variétés modernes de Blé dur en termes de rendement grain a été attribuée largement aux changements de l'indice de récolte, avec de faibles augmentations dans la production de biomasse et dans le nombre de grains/m² (Austin *et al.,*1980, 1989; Siddique *et al.,* 1989; Slafer and Andrade, 1993; Brancourt-Hulmel *et al.,* 2003)

L'amélioration de la biomasse et la photosynthèse est un objectif majeur pour l'amélioration du potentiel de rendement du blé (Waddington *et al.*, 1987).

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison peut-être utilisée comme un indicateur de la capacité différentielle des génotypes a faire une bonne utilisation des facteurs du milieu au cours de la période de la pré-anthèse. Les génotypes qui accumulent rapidement une biomasse élevée au stade épiaison souffrent moins des effets des stress de la post-anthèse qui sont plus fréquents.

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est la résultante de la contribution de plusieurs caractères comme la hauteur du chaume, la durée de la phase végétative, la vitesse de croissance végétative et le nombre de grains produits par unité de surface de sol (Mazouz, 2006).

Dans cette étude, la production de biomasse aérienne à maturité diffère d'un génotype à un autre, avec un léger avantage en faveur des génotypes locaux (Oued Zenati et Polonicum). Ces derniers se distinguent aussi par une hauteur plus élevée, qui est en relation positive (r = 0,64) avec la biomasse aérienne (figure 9).

Chez les céréales à petits grains, la biomasse où la surface foliaire aux stades précoces du développement a été aussi positivement corrélée au rendement grain sous des environnements de type Méditerranéen, en raison de la réduction des pertes d'eau du sol par évaporation d'une part et l'accroissement de l'efficacité d'utilisation de l'eau , d'autre part (La relation entre le rendement et l'eau disponible pour la culture à travers les précipitations et /ou l'irrigation), quand la croissance se déroule dans la saison froide (López-Castañeda et Richards, 1994; Hafid *et al.,* 1998).

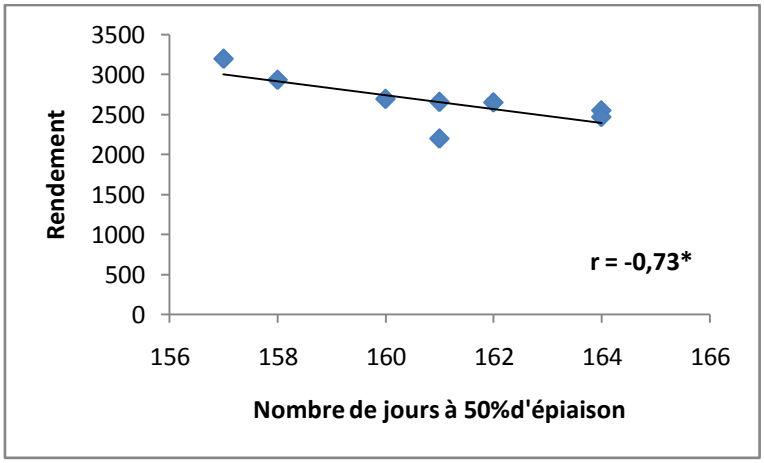


Figure 8. Relation entre précocité et rendement grain.

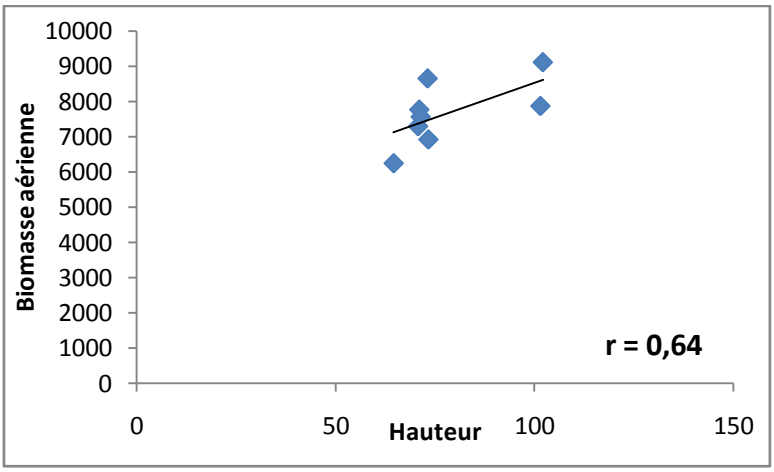


Figure 9. Relation entre la biomasse et la hauteur.

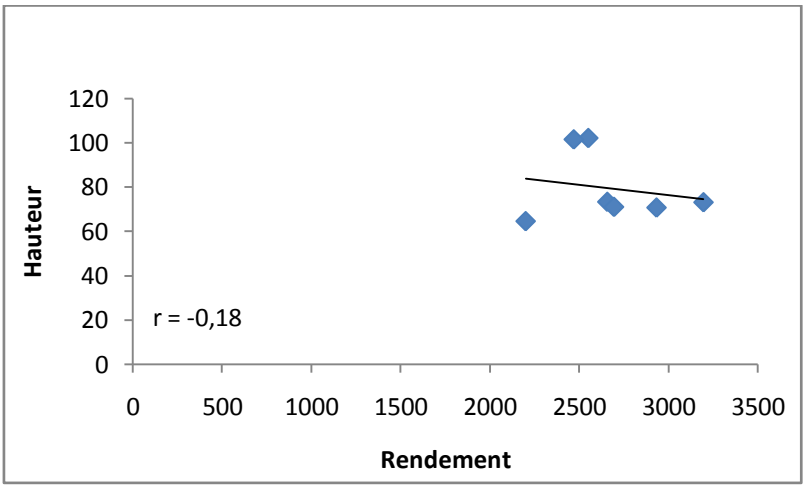


Figure 10. Relation entre le rendement et la hauteur.

2-2-2 Hauteur

Hanson *et al.*(1985) font remarquer que l'augmentation de la biomasse aérienne au stade épiaison peut venir d'une haute paille, comme c'est le cas des variétés anciennes. La hauteur associée à une meilleure répartition de la matière sèche produite conduit le plus souvent à l'amélioration du nombre de grains produits/m² et du rendement.

Dans notre cas, la hauteur n'est pas significativement corrélée au rendement mais la relation entre eux est de type négatif (r = -0,18) (Figure 10) alors qu'elle est positivement corrélée avec le PMG (r =0,88), la surface foliaire (r =0,94) et la précocité (r = 0,71) et elle est corrélée négativement au poids spécifique (r = -0,83), au nombre de grains /m² (r = -0, 89) et à l'indice de récolte (r = -0,79).

Semcheddine (2008) cite qu'en dépit d'une meilleure hauteur et d'une bonne production de biomasse, le rendement en grains de Oued Zenati et Polonicum demeure inférieur et différent significativement de celui des génotypes introduits. Puisque on note une relation négative entre la production de biomasse et le rendement (r = -0,56) d'une part, et la hauteur et le rendement (r= -0,93) d'autre part. Des relations significatives entre le rendement et la biomasse à l'anthèse où durant la période de remplissage ont été rapportées chez le blé tendre (Turner, 1997), l'orge (Ramos *et al.,* 1985) et le blé dur (Boggini *et al.,* 1990; Villegas *et al.,* 2001; Ramdani, 2004).

Rouabhi (2008) à trouvé que la hauteur de la paille était négativement corrélée avec le rendement (r = -0.89). Et les variations du rendement sont expliquées à 78.81% par la hauteur de la paille, Machado *et al.,* (2002) rapportent que la hauteur explique 61% des variations de rendement chez le maïs.

2-2-3 L'indice de récolte

Le rendement grain peut être exprimé comme étant le résultat de trois processus physiologiques : les radiations interceptées par les organes photosynthétiques, la conversion des radiations interceptées en matière sèche et la répartition de cette matière sèche sous forme d'un indice de récolte (Harvest Index) (Hay and Walker, 1989).Le premier processus est lié à la surface photosynthétique et par conséquent à l'indice foliaire ; le second est lié à l'efficience photosynthétique. La biomasse totale est le résultat de ces deux processus. L'indice cultural est le ratio entre le rendement grain et la biomasse aérienne (Donalds et al., 1976), son amélioration peut être atteinte à travers une amélioration du poids du grain et/où du nombre de grains/épi (Passioura,1977).

L'indice de récolte n'est pas corrélé ni au rendement grain (r= 0.43), ni à la biomasse aérienne (r = -0,59), alors qu'il est négativement corrélé à la hauteur (r = -0,79), à la surface foliaire (r = -0,73) et à la précocité (r = -0,76) pour tout le lot de variétés expérimentées (Figure 11, 12). L'ensemble des variétés précoces dans notre cas a enregistré un indice de récolte (Harvest Index) supérieur à celui des variétés locales allant dans le même sens que les travaux de Merah *et al*., (2001) dans une étude de comparaison des performances de variétés locales et améliorées.

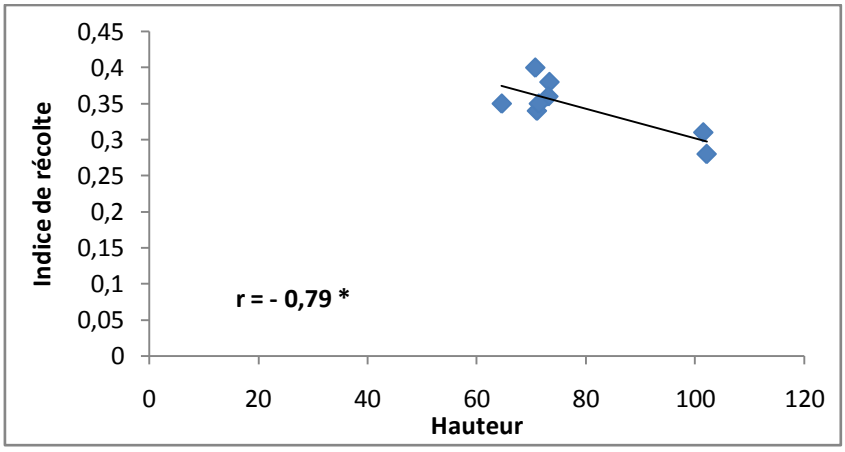


Figure 11. Relation entre l'indice de récolte et la hauteur.

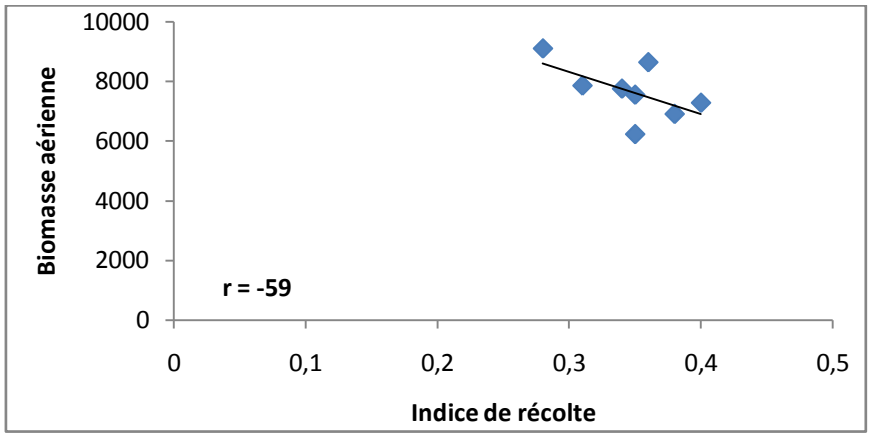


Figure 12. Relation entre l'indice de récolte et la biomasse aérienne.

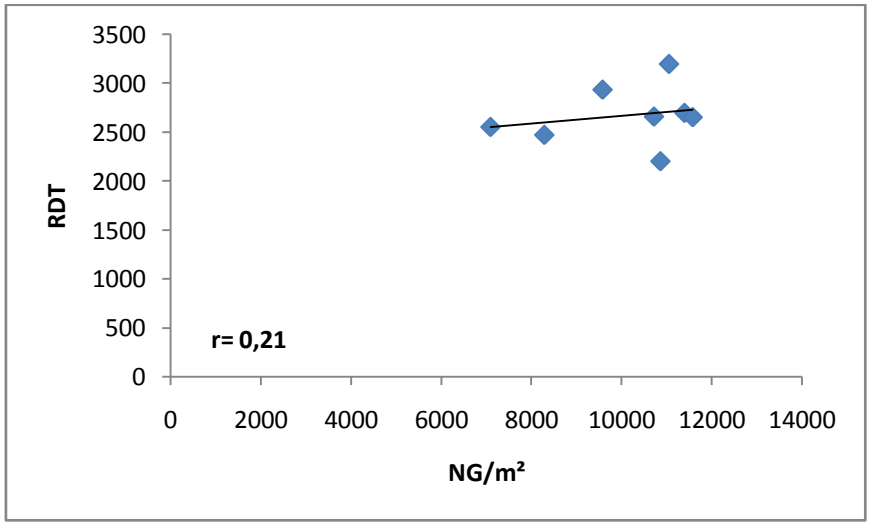


Figure 13. Relation entre le nombre de grains/m² et le rendement.

Semcheddine (2008) a rapporté que la supériorité du rendement en grains des génotypes modernes, s'est traduite par une supériorité de l'indice de récolte (HI). Chez ce dernier groupe, HI varie entre un minimum de 33,3% pour Dukem et un maximum de 37,7% pour Altar, alors que pour Oued Zenati et Polonicum, il est respectivement de 22,1 et 25,4%. Enfin, il est à noté que le rendement est très fortement corrélé à l'indice de récolte (r = 0,97). En revanche, une relation négative associe HI à la Hauteur (r = -0,96) et à la biomasse aérienne.

2-2-4 Fertilité

L'itinéraire de formation du rendement suit une cinétique qui débute par la formation des épis, suivi des sites des graines par épi. Il se termine par le remplissage des graines. Les stress précoces affectent la formation des épis et les sites des grains par épi. Alors que les stress les plus tardifs affectent beaucoup plus le poids individuel de grain et le nombre de grains formés par unité de surface ensemencée (Fischer, 1985).

L'effet de compensation entre composante du rendement rend souvent l'effet des stress moins visible, ainsi une forte réduction des épis produits par m² et compensée par une augmentation de la fertilité des épis voire par celle du poids du grain, de même une réduction des grains produits par m² est compensée par une augmentation du poids individuel du grain (Wardlaw, 2002 ; Bahlouli *et al.,* 2005).

Le rendement en grains intègre deux composantes majeures, le nombre de grains /m2 et le poids moyen du grain (Slafer et Rawson, 1994). Dans notre essai, on constate que le rendement n'est pas corrélé au nombre de grains/m2 (r = 0,21) (figure 13).

En effet les génotypes modernes présente un nombre de gains/m² élevé comparé aux génotypes locaux. Ceci peut s'expliquer d'une part, par la bonne fertilité des génotypes introduits qui est en moyenne de 36,38 grains/épis alors que pour les deux génotypes locaux, elle est de 31,18 grains/épis, et d'autre part, par le fait que les génotypes modernes produisent plus d'épis par unité de surface qui est en moyenne de 299,37 épis/m², comparés à Oued Zenati et Polonicum, avec seulement 246,87 épis/m². En effet, on observe une corrélation entre le nombre de grains/m² et la fertilité (r =0,75), entre le nombre de grains/m² et nombre d'épis/talle (r =0,61) ainsi qu'entre le nombre de grains/m² et le poids spécifique de la feuille drapeau (r =0,78) (figure 14 et 15). Parmi les paramètres qui sont corrélés négativement avec le nombre de grains/m² on note : la hauteur (r = -0,89), le PMG (r = - 0,93) et la surface foliaire de la feuille drapeau (r = -0,92)

Semcheddine (2008), a noté que le poids moyen des grains diminue considérablement avec l'augmentation du nombre de grains/m², et le coefficient de corrélation entre ces deux variables est de r = -0,88.

Ces résultats corroborent ceux de Shanahan *et al.* (1984) qui ont indiqué que la variation dans le rendement grain, au sein du même environnement où entre environnements différents, est plus liée au nombre de grains qu'avec le poids du grain, mais une réduction

dans le poids des grains est plutôt plus probable qu'une baisse du nombre de grains en période post anthèse en conditions de sécheresse (Fischer et Maurer, 1978).

Le stress hydrique peut réduire le potentiel de toutes les composantes du rendement, particulièrement le nombre d'épis fertiles par unité de surface ainsi que le nombre de grains par épi (Giunta *et al*., 1993; Simane *et al.*, 1993; Abayomi et Wright, 1999). Cependant le poids du grain est négativement influencé par les températures élevées et la sécheresse durant la maturation (Chmielewski et Kohn, 2000).

Fischer (1985) a montré que la période critique pour l'élaboration du nombre de grains se situe 20 jours avant l'anthèse. D'autres études ont confirmé ce résultat et étendent cette période critique à 10 jours après l'anthèse (Savin et Slafer, 1991; Ortiz-Monasterio *et al.*, 1994; Abbate *et al.*, 1995, 1997).

2-2-5 Poids de mille grains (PMG)

Le nombre de grains par unité de surface est la composante la plus liée aux variations du rendement grain du blé et par conséquent, le poids moyen du grain peut être une importante source de variation du rendement grain (Calderini *et al.*, 1999), particulièrement dans les régions caractérisées par des stress. (Acevedo *et al.*, 1999).

Une faible association est enregistrée entre le rendement grain et le PMG de l'ensemble des variétés (r = 0.038). Housley *et al.*, (1982); Bruckner and Frohberg, (1987) ; notent que l'absence de relation significative entre le rendement et le PMG. Elhani *et al* ., (2007) rendent cette association en conditions pluviales au stress hydrique en post anthèse et particulièrement lors du remplissage grain. Des résultats similaires ont été reportés par Del Blanco *et al.*, (2001) et Ozturk and Aydin (2004), qui montrent une corrélation positive entre le PMG et le rendement.

La fertilité épi et le poids de mille grains sont négativement corrélés chez l'ensemble des génotypes (r = -0.93) (figure 16).

2-2-6 Nombre d'épi par m²

Les travaux sur le tallage épi et sa contribution à l'élaboration du rendement grain chez les génotypes de blé dur en conditions méditerranéennes ne sont pas nombreux. La compréhension de cette contribution peut aider à la sélection des génotypes adaptés et hautement productifs. (Elhani *et al.*, 2007). Une faible association est enregistrée entre le rendement grain et le nombre d'épis par m² (r = 0.17).

Moragues *et al.*, (2006) notent que les génotypes évoluant dans les régions froides et humides produisent plus de talles par rapport aux génotypes des régions plus sèches (comparaison faite entre les variétés de la rive nord et sud de la méditerranée).

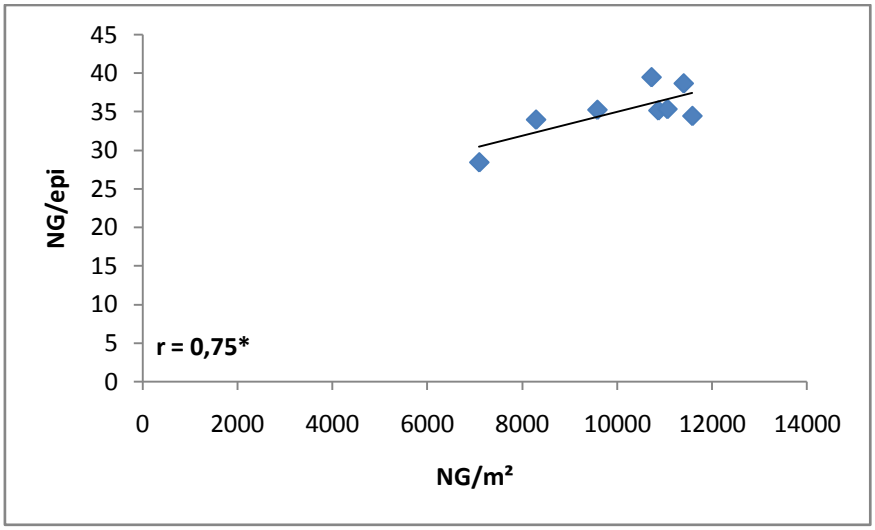


Figure 14. Relation entre le nombre de grains/m² et le nombre de grains/épi.

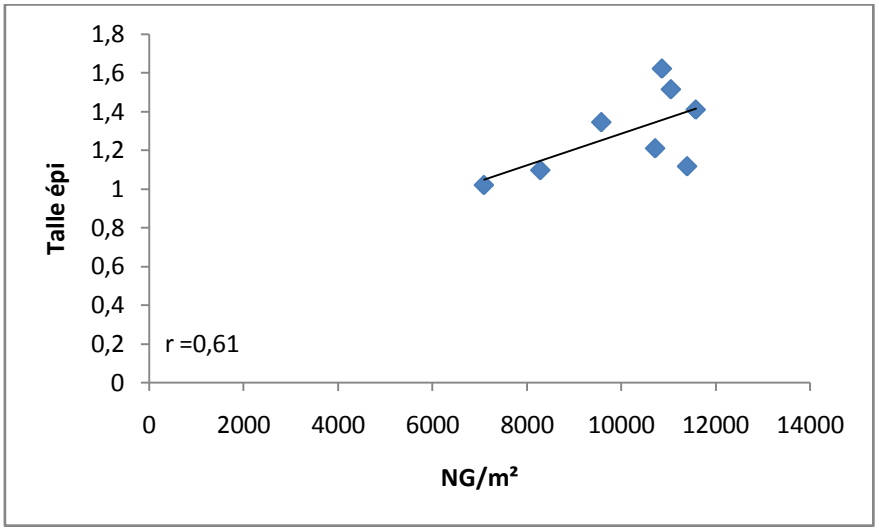


Figure 15. Relation entre le nombre de grains/m² et le nombre de épis/talle.

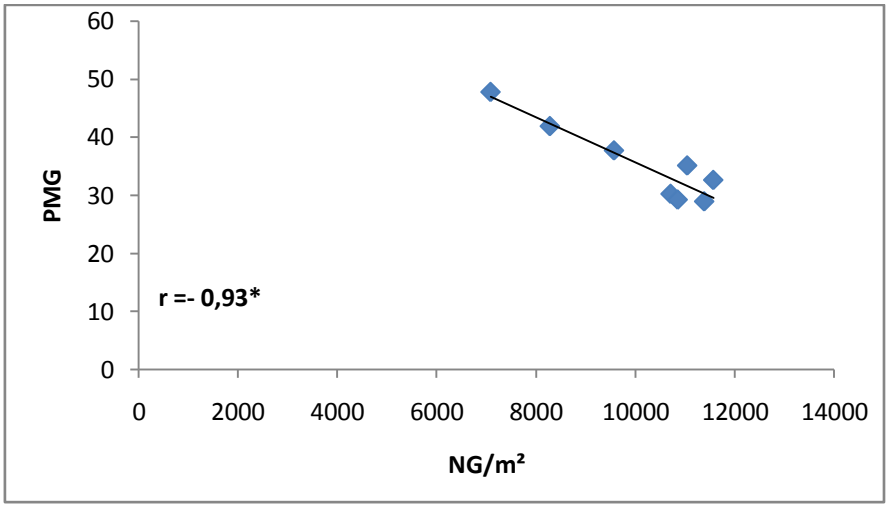


Figure 16. Relation entre le nombre de grains/m² et le poids de mille grains.

2-3 Relations entre le rendement et les paramètres du feuillage

2-3-1 Surface foliaire

Pour réduire leurs besoins hydriques en conditions de déficit hydrique, certaines variétés diminuent la surface du limbe (Darera *et al.,* 1969). Pour Adjab (2002), l'augmentation de la surface foliaire du blé soumis à un stress modéré où sévère pourrait être un caractère d'adaptation.

Des corrélations négatives entre toutes les variétés sont enregistrées entre la surface foliaire de la feuille drapeau et l'indice de récolte (r = -0.73) et entre la surface foliaire et le nombre d'épis /m² (r = -0.84) ; Alors qu'elle sont positives entre la surface foliaire et la hauteur (r = 0.94) et entre la surface foliaire et le PMG (r = 0.82).

2-3-2 Poids spécifique de la feuille (PSF)

Le déficit hydrique peut engendrer un épaississement de la feuille (Kramer, 1969). En effet, Dubey, (1994) pense que l'augmentation du poids spécifique foliaire chez les plantes stressées est due au rétrécissement des cellules qui provoque une diminution du volume et même du suc intracellulaire ce qui le rend plus concentré. Dans une étude sur des cultivars de riz, Cabuslay *et al.* (2002) ont montré que le stress hydrique agit positivement sur le poids spécifique et la corrélation du poids spécifique avec le rendement est positive. Des résultats similaires ont été obtenus sur l'avant dernière feuille chez l'orge (Bort *et al.,* 1998) et chez le blé (Araus *et al.,* 1997).

Dans notre cas, il n'y a pas eu de relation observée entre le poids spécifique et le rendement (r = 0.18), alors que les corrélations enregistrée pour ce paramètre sont positives avec la fertilité (r = 0.74) et le nombre de grains /m² (r = 0,78), et elles sont négatives avec la hauteur (r = -0.83), le PMG (r = -0.81), la sénescence foliaire (r = -0.76) et la surface de la feuille drapeau (r = -0.81) pour l'ensemble des variétés.

2-3-3 Teneur relative en eau

La teneur relative en eau ou turgescence foliaire est une caractéristique génotypique qui est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'eau dans la feuille qui soit à même de garantir la continuité de l'activité métabolique dont, entre autre, la photosynthèse. Cette capacité est liée aux possibilités de la plante à s'alimenté, de manière constante en eau (système racinaire), au contrôle des pertes d'eau par les surfaces évaporantes (nombre et diamètre des stomates, résistance stomatique à la sortie de la vapeur d'eau) et à l'ajustement osmotique (Araus *et al.,* 1991).

Lorsque la teneur relative en eau diminue en fonction des génotypes, le rendement est revu à la baisse. Ceci rejoint la théorie qui dit que les génotypes ayant une forte teneur en eau relative produisent plus (Boukecha, 2001). Les dimensions de la feuille interviennent dans le

maintient d'une teneur en eau conséquente. Les feuilles aux larges dimensions sont moins turgescents que les feuilles aux dimensions plus réduites (Bouzerzour *et al.*, 1998), les génotypes présentant une turgescence élevée perdent plus d'eau par unité de temps comparativement à ceux qui sont moins turgides (Harrat, 2003).

Les résultats de notre étude ne montre pas relation entre la TRE et le rendement (r = 0.01), ni entre la TRE et le poids spécifique de la feuille drapeau (r = 0.09).

2-4 Relations entre le rendement et les paramètres physiologiques

2-4-1 Vitesse de remplissage de grain

Chez les céréales, la durée de remplissage est déterminée principalement par les températures (Sofield *et al.*, 1977; Slafer and Rawson, 1994; Wheeler *et al.*, 1996). Pour les blés, les températures élevées (>31°C) en post anthèse peuvent affecter le remplissage du grain (Al-Khatib and Paulsen, 1984; Randall and Moss, 1990; Stone et al., 1995; Wardlaw and Moncur 1995), cependant, l'action de la température avant la floraison peut affecter aussi le rendement grain (Wardlaw *et al.*, 1989; Tashiro and Wardlaw, 1990; Hunt *et al.*, 1991)

Les températures élevées au moment de l'anthèse peuvent réduire la fertilité ainsi que l'indice de récolte (Wheeler *et al.*, 1996). Le déficit hydrique lors de l'anthèse ou le début du remplissage, peut également affecter le poids du grain par l'inhibition de la translocation des assimilats des parties végétatives vers les épis (Wang *et al.*, 2005).

Le suivi de l'accumulation de la matière sèche du grain a montré différentes cinétiques pour les variétés testées (Figure 16), en effet les vitesses de remplissage exprimées à partir des pentes de régression ont mis en évidence plusieurs niveaux de translocation en fonction des cumules de température, où les variétés précoces enregistrent tous des pentes supérieures à celles des variétés locales, Sooty enregistre la pente la plus élevée de 0.2I et Oued zenati la plus faible de 0.15 (Figure 18).

L'explication de ces performances des génotypes améliorés est due à l'esquive par le raccourcissement de la durée du cycle (Sayre *et al* . 1995). Ainsi, Randall and Moss, 1990; Hawker and Jenner, 1993; Stone and Nicolas, 1995; notent que plus de 23% de la réduction du rendement grain dans différentes expérimentations était due à l'exposition à des températures extrêmes durant quatre jours consécutifs en période de remplissage du grain.

Il semble que les températures élevées qui ont caractérisé la période de remplissage du grain aient eu un effet réducteur du poids du grain. En effet, une corrélation négative (r = -0.70) entre le PMG et les vitesses de remplissage est notée traduisant l'action négative des cumuls élevés de températures durant une échelle réduite de temps à savoir la période du remplissage du grain dans notre cas. La vitesse de remplissage du grain est positivement corrélée au nombre de grain /épi (r = 0,78) et à la teneur en chlorophylle (r = 0, 78).

Abayomi *et al.*, (1999) rapportent aussi, que les effets du stress hydrique sur le blé sont plus graves lorsqu'ils interviennent aux stades tardifs du développement de la plante et du remplissage ; La sénescence tardive des feuilles des variétés locales est probablement la raison qui a favorisé le PMG.

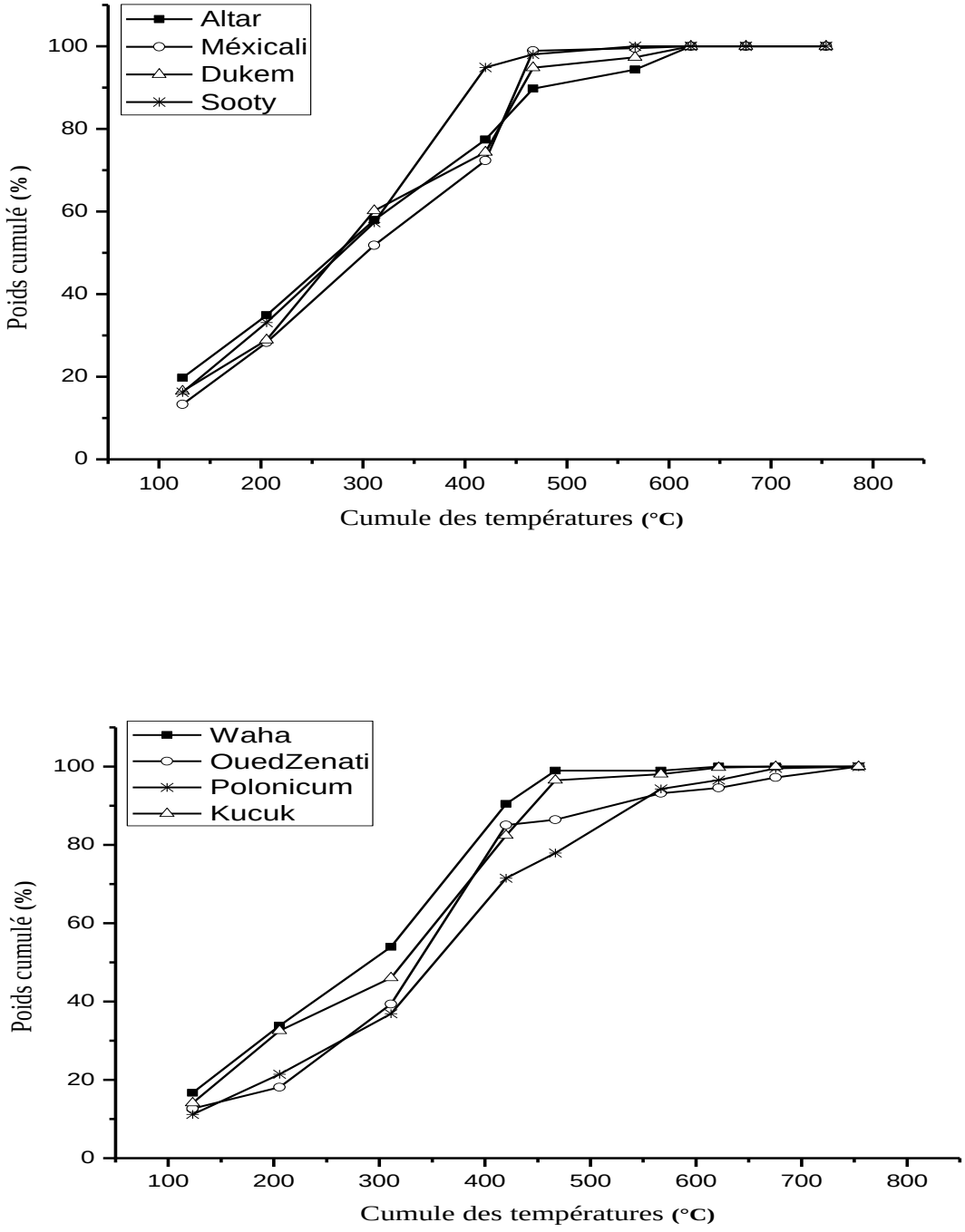


Figure 17. Evolution du poids cumulé des grains (%) en fonction du cumul des températures

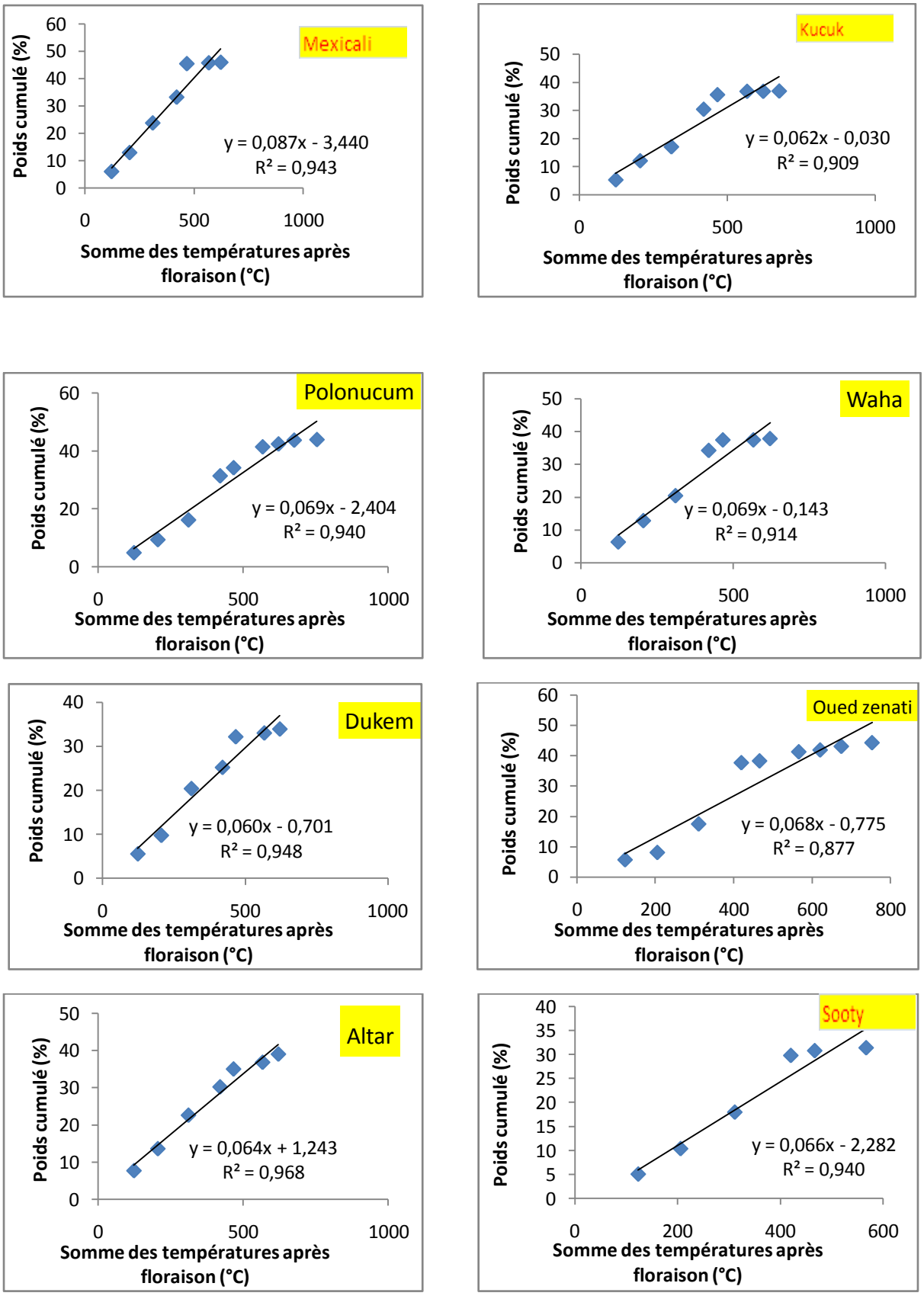


Figure 18. Vitesse de remplissage variétale en fonction des cumuls de température

2-4-2 sénescence foliaire

Selon la figure 19, l'allure de la courbe de sénescence de type sigmoïde est en accord avec les travaux antérieurs (Lutts *et al.,* 1996). Cependant, les paramètres de cette courbe différent entre les variétés comme le montre cette large variation pour Σ50 et Vsmax (Tableau 18).

La raison pour laquelle il n'y a pas eu de relation entre la sénescence et le rendement (r = -0.48) grain doit être cherchée dans la faible variation du rendement.

Parmi les corrélations qui relient la sénescence aux autres paramètres étudiés on note la sénescence moyenne est positivement corrélée à la précocité (r =0, 72) alors qu'elle négativement corrélée au tallage épi (r = -0,71). La vitesse de sénescence quand a elle, est négativement corrélée au poids spécifique de la feuille drapeau (r = -0,76).

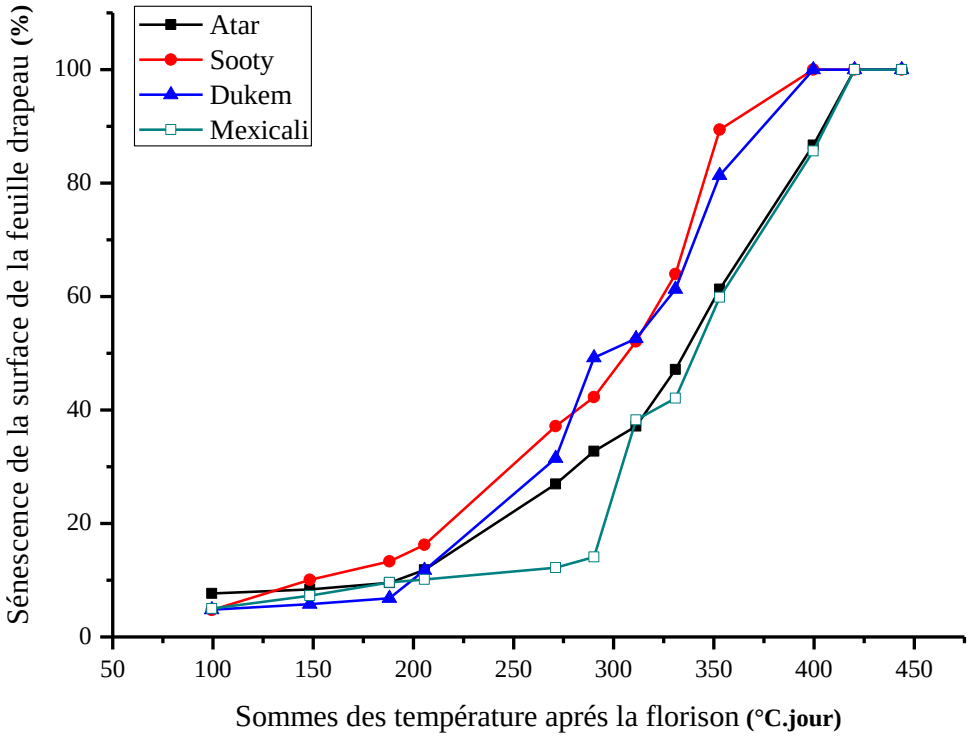
Hafsi (2001), a trouvé que plusieurs variétés, sont caractérisées par une sénescence précoce et progressive. Vsmax n'est pas liée aux autres paramètres de la sénescence suggérant que les génotypes peuvent avoir les même fins de remplissage du grain (longue et lente ou coiurte et rapide accumulation de la matière sèche). Une baisse rapide de la photosynthèse nette due à la sénescence de la feuille a été mesurée par Moss (1975). Sous l'effet d'un stress terminal, cette décroissance de l'activité photosynthétique mène à une réduction du rendement généralement associé avec la sénescence.

Cette étude a établit clairement que la méthode basée sur l'analyse numérique de l'image est d'un grand intérêt pour mésuser la sénescence des feuilles de céréales. La plupart des études concernant le rapport entre la sénescence et le rendement ont été basées jusqu'ici sur l'appréciation visuelle longue de la sénescence. L'analyse numérique de l'image permet des mesures rapides de la sénescence. Selon Adamsen *et al.(*1999), cette technique permettrait de détecter des changements de sénescence au cours d'une journée.

2-4-3 Efficacité d'utilisation de l'eau et de la transpiration en relation avec la discrimination isotopique du carbone

Durant le dernier siècle, les sélectionneurs de nombreuses espèces cultivées, ont exploité la variation génétique associée à la précocité, la réponse à la photopériode et au besoin en vernalisation, pour générer d'énormes variations dans la phénologie des cultures. Cette variation phénologique a permis aux cultures de croître successivement dans des régions et à des moments de l'année ou la demande évaporative prévalente est faible, ce qui engendre une élévation de l'efficacité d'utilisation de l'eau et une augmentation des rendements des cultures.

Dans cet essai, les résultats indiquent que les génotypes les plus précoces surtout au stade épiaison (Waha ; Mexicali et Altar) ont la meilleur efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement en grains (figure 19). L'efficacité d'utilisation de l'eau est positivement corrélée au rendement et à l'efficacité de la transpiration, soit des coefficients de corrélations r = 0,99 et 0,99 respectivement, alors qu'elle est négativement corrélée à la précocité (r = -0,73) .



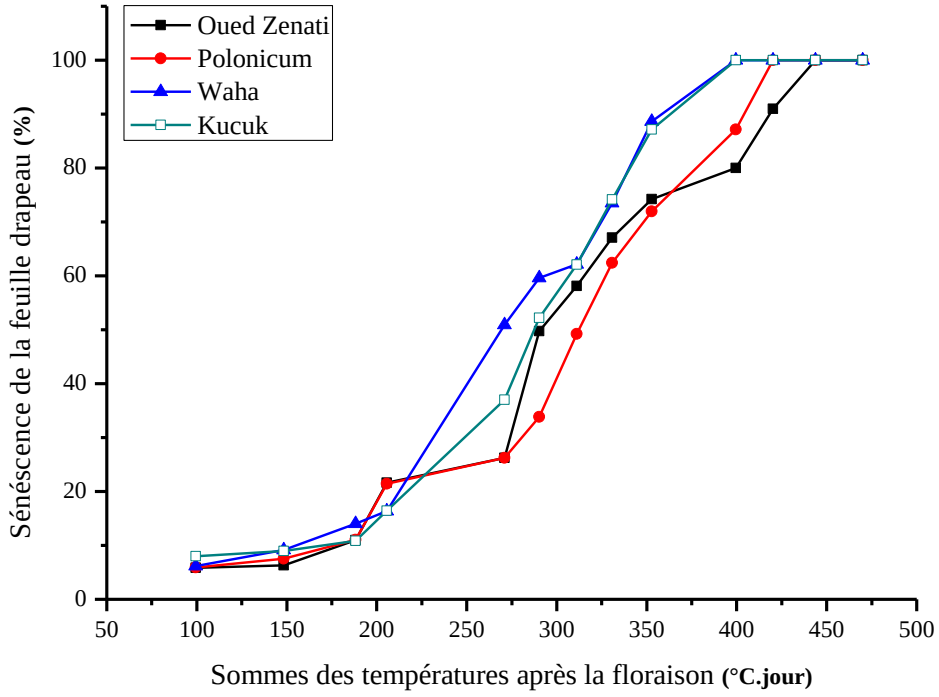


Figure 19. Evolution de la sénescence de la feuille drapeau.

Les résultats montrent que les génotypes qui utilisent efficacement l'eau pour la production de grains sont ceux qui ont subit le moins de stress hydrique, que ce soit à l'échelle du cycle cultural entier ou au niveau des différents stades phénologiques. Ces génotypes se distinguent aussi, par une meilleure efficacité de la transpiration. A titre d'exemple, Mexicali qui a subit le moins de stress à tous les stades phénologiques et qui a la meilleure efficacité d'utilisation de l'eau pour produire des grains (EUE= 11, gramme/mm/m²), se distingue aussi, par l'efficacité de la transpiration la plus élevée (W= 14,570 gramme/mm /m²).

La difficulté majeure à laquelle se heurte l'utilisation de la discrimination isotopique du carbone $\Delta^{13}C$ dans la sélection pour l'amélioration agronomique de l'efficacité d'utilisation de l'eau est d'incohérences observées entre $\Delta^{13}C$ et le rendement. Ces incohérences ont été bien répertoriées dans de nombreuses études impliquant les céréales, tel que le blé tendre (Triticum aestivum L.), le blé dur (T. turgidum D.) et l'orge (Hordeum vulgare L.).

Semcheddine (2008) a trouvé que l'efficacité d'utilisation de l'eau et l'efficacité de la transpiration pour le rendement en grains sont significativement et positivement corrélées à la discrimination isotopique du carbone, r= 0,80 et 0,81 respectivement. En effet, Les génotypes locaux, Oued Zenati et Polonicum qui ont le plus faible rendement ; 3,63 et 4,34 t/ha respectivement, la plus faible efficacité d'utilisation de l'eau pour la production de grains ; ils produisent respectivement 1,02 et 1,22 gramme de grains pour chaque millimètre d'eau consommée, ainsi que la plus faible efficacité de la transpiration, sont les génotypes qui discriminent moins contre le carbone ^{13}C, ils enregistrent un Δ 13C = 15,88 et 15,92‰ respectivement.

Les composantes du rendement telle que le nombre d'épis/m², le nombre de grains/épis et le nombre de grains/ m² sont aussi associés significativement et positivement à la discrimination isotopique du carbone. Par contre, on observe une forte corrélation négative entre la hauteur et la discrimination isotopique du carbone (r= -0,83). Alors que, les génotypes modernes qui transpirent et utilisent efficacement l'eau pour le rendement, sont les plus discriminants contre le ^{13}C. Une forte corrélation positive est observée entre la discrimination isotopique du carbone d'une part et le rendement en grains et l'indice de récolte, d'autre part (Semcheddine, 2008).

Ces résultats sont en accord avec d'autre études réalisées sur des collections de génotypes de céréales cultivées, en Australie sous régime pluvial ou irrigué (Condon *et al.,* 1987, 1993, 2002; Condon and Richards, 1993; Condon and Hall, 1997), en région méditerranéenne (Voltas *et al.,* 1999; Merah *et al.,* 2001; Royo *et al.,* 2002; Araus *et al.,* 2003) et même dans d'autres régions (Sayre *et al.,* 1995; Fischer *et al.,* 1998). Les relations entre le rendement en grains et $\Delta^{13}C$ ont été rarement négatives, si ce n'est souvent des relations positives ou neutres. Beaucoup de ces études associant $\Delta^{13}C$ et la productivité chez les céréales ont utilisé des groupes de génotypes qui diffèrent entre eux non seulement par $\Delta^{13}C$, mais aussi par la date de floraison et la hauteur, deux caractéristiques qui peuvent influencées considérablement les productions, indépendamment de $\Delta^{13}C$.

Chez les génotypes de céréale, le caractère dominant de la croissance à travers un faible $\Delta^{13}C$, a des implications importantes pour l'efficacité d'utilisation de l'eau. Les plus importantes relations entre $\Delta^{13}C$ et le rendement ont été observées dans des milieux ou des saisons durant lesquelles les irrigations complémentaires ou les précipitations régulières maintiennent un statut hydrique élevé du sol. Dans ces environnements, la croissance rapide des génotypes à forte discrimination isotopique du carbone se traduit souvent et directement par une production en biomasse et en grains plus importante (Condon *et al.*, 1987, 2002; Sayre *et al.*, 1995; Fischer *et al.*, 1998). A maturité, les génotypes à faible $\Delta^{13}C$ produisent moins de grains et de biomasse en situation de stress hydrique (Condon *et al.*, 2002).

Le rendement en grain s'est associé positivement à la discrimination isotopique. En revanche, la production de biomasse aérienne est corrélée négativement à la discrimination isotopique. En effet, dans des environnements soumis à des contraintes hydriques, les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ produisent plus de biomasse à l'anthèse en puisant les réserves hydriques du sol d'une manière intensive (Condon *et al.*, 1993). Les génotypes à fort $\Delta^{13}C$ rendent mieux grâce à la production d'un grand nombre de grains associée à une plus grande production de biomasse à l'anthèse et à une meilleure translocation des grains.

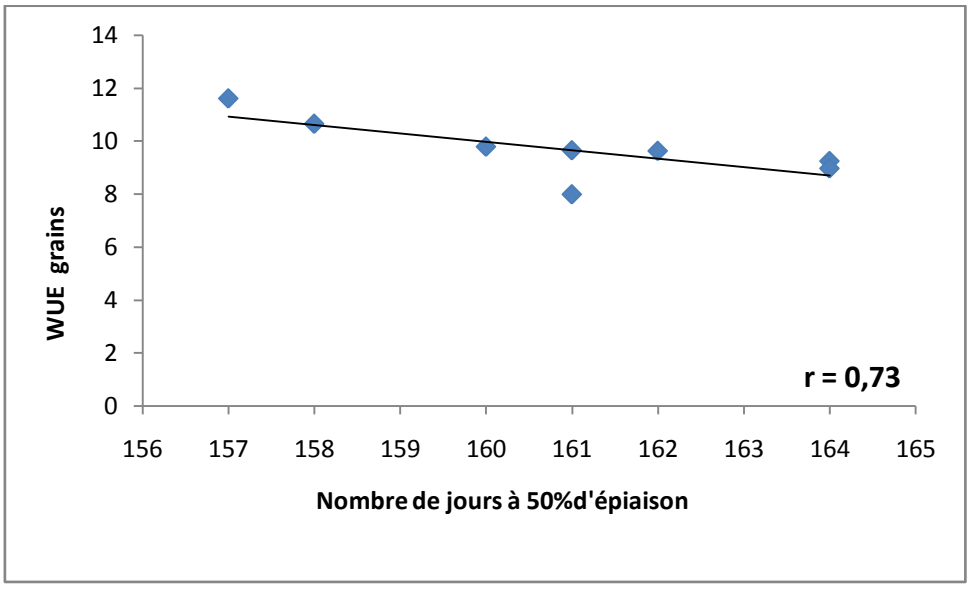


Figure 20. Relation entre l'efficacité d'utilisation de l'eau et le nombre de jour à 50%de l'épiaison.

Chapitre IV

SYNTHESE

Synthèse de l'association du rendement et la discrimination isotopique du carbone (CID) ainsi que leurs stabilités.

Une étude de la discrimination isotopique du carbone (Δ) composée de quatre séries d'expériences a été effectuée de 2003 - 2008. Dans la première expérience, un ensemble de huit génotypes a été testé pour évaluer le rapport entre la discrimination isotopique du carbone et le rendement en grains, sous différents régimes de précipitation. La collection de blé dur testée comporte deux vieux cultivars algériens (Polonicum, Oued Zenati) et six variétés d'une sélection CIMMYT/ICARDA (Sooty9/Rascon39, Dukem12/2*Rascon, Kucuk, Mexicali, Waha). Le même ensemble de génotypes a été testé en 2004-2005 et 2005-2006 pour évaluer l'influence interannuelle de la variation climatique. Ces cultivars représentent un large éventail de caractéristiques agronomiques. Les valeurs de la discrimination isotopique du carbone (Δ) obtenues dans les études des années précédentes (Hafsi et al., 2007) ont permis la sélection de trois parents pour analyser la variation génotypique de Δ de deux croisements : Waha et Mexicali (ΔG élevé) et Oued Zenati (ΔG faible). En 2003-2004, les deux croisements ont été réalisés, Mexicali/Waha (haut ΔG/haut ΔG) et Oued Zenati/Mexicali (ΔG bas / ΔG élevé). Les cultivars parentaux et les populations F2 ont ensuite été cultivés en 2005-2006 et les F4 pour les deux croisements ont été récoltés en Juin 2007. Pour la saison 2007/2008, trois catégories de plantes ont été choisies et semées de la population F4 en fonction de la similarité de leur date d'épiaison et de leur hauteur. Les évaluations de l'héritabilité réalisée ont été obtenues, et le degré d'association entre Δ et le rendement en grains a été estimé. En même temps, deux essais expérimentaux ont été effectués dans deux sites (Beni Fouda et Ain Abbessa) pendant la compagne 2006/2007. Un des objectifs assignés à ces expérimentations est l'utilisation du modèle du bilan hydrique "Budget" pour évaluer l'efficacité d'utilisation de l'eau de la culture. Le premier essai a été effectué à Aïn Abessa (Long 36 ° 18'14 "N, 5 ° Lat 18'7"E, 1166m) situé dans le nord de hauts plateaux de Sétif, et le second à Beni Fouda, à l'est de Sétif (Long 36 ° 10 ', Lat 5 ° 20', 1180 m). La baisse relative du rendement escomptée sous différents niveaux de stress hydrique à différents moments de la phase de végétation a été estimée en utilisant l'approche du coefficient de stress de la FAO Ky (Doorenbos et Kassam, 1979).L'efficacité d'utilisation de l'eau a été également estimée pour l'expérience Ain d'Abessa.

L'objectif principal du projet proposé est d'évaluer le potentiel d'utilisation de la discrimination isotopique du carbone comme un outil pour la sélection du blé tolérant la sécheresse.

Les objectifs spécifiques sont:

• l'évaluation de la relation entre la discrimination isotopique du carbone et le rendement en grains sous différents scénarios climatiques.

• l'évaluation du rôle de la discrimination isotopique du carbone dans l'activité photosynthétique et le pouvoir de la translocation des assimilats.

• Identification des lignées à variabilité génotypique de discrimination isotopique pouvant servir dans les programmes de sélection du blé en Algérie.

3.2. Rendement en grains (2000-2001 et 2001-2002)

Le rendement en grain (GY) variait de 0,38 à 1,66 t ha-1 au cours des deux premières saisons. La moyenne GY de la saison 2001-2002 a été significativement plus élevés que celle de la saison 2000-2001. Le rendement grains globale n'a pas été affectée par les génotypes, mais il a été affectée de façon significative par les saisons et l'interaction saison x génotype. L'effet génotype sur le rendement a été significatif dans la saison 2 mais pas dans la saison 1. Le rendement grains le plus élevé a été obtenu par les cultivars Kucuk (0,99 t ha-1) et Yavaros (1,66 t ha-1) dans la saison 1 et 2, respectivement.

3.3. Discrimination isotopique du carbone (2000-2001et 2001-2002)

Globalement, un effet hautement significatif du génotype, de la saison et de l'interaction génotype x saison a été trouvé sur la discrimination isotopique du carbone de la feuille et des grains. Les valeurs de la discrimination isotopique du carbone de la feuille (ΔL) dans tous les génotypes étaient plus hautes que la discrimination isotopique du carbone de grain (ΔG) dans les deux saisons. Les moyennes de ΔL et de ΔG étaient significativement plus élevés en saison 1 par rapport à la saison 2. En saison 1 Dukem12/Rascon21 ont montré la plus haute ΔL (17.94 ‰), suivie de Mexicali (17,78 ‰) et Kucuk (17,22 ‰). En saison 2, Yavaros a affiché la plus haute ΔL (15.62 ‰), suivie par Dukem12/Rascon21 (15.46 ‰) et Sooty9/Rascon57 (15.32 ‰). Dans la saison 1, Cado/Boomer33 a montré ΔG la plus élevée (14,76 ‰), suivie par Kucuk et Dukem12/Rascon21 (14,64 et 14,55 ‰, respectivement). En saison 2, la plus haute ΔG (13,81 ‰) a été montrée par le génotype Waha suivie par Tilo1/Lotus4 et Kucuk (13,57 et 13,37 ‰, respectivement). Le génotype Waha a montré ΔG similaire dans les deux saisons.

3.4. Rendement en grains (2003-2004)

La moyenne GY dans la station de Khroub a été significativement plus élevés que dans la station de Sétif. Globalement, GY a été affectée de façon significative avec les génotypes. Le rendement en grains a également été affectée de manière significative avec l'emplacement et l'interaction emplacement x génotype.

3.5. Discrimination isotopique du carbone (2003-2004)

En plus de ce travail, nous avons commencé un programme de sélection entre les

variétés locales caractérisées par un faible ΔG ,et les lignées avancées du CIMMYT avec un ΔG élevé.

Tableau 19. Analyse de variance, moyenne et écart-type (SD) pour les rendements en grains (GY), Discrimination isotopique du carbone des grains (ΔGM) à maturité.

	GY	Δ m
σ^2 Genotype	21.05***	0.51*
σ^2 Trials	281.40***	24.92***
σ^2 Genotype* Trials	19.20***	0.36ns
Trial 1(2004/2005)		
Mean	27.14 (a)	15.11 (a)
SD	0.44	0.03
σ^2 Genotype	16.44*	0.66***
Trial 2(2005/2006) Date1		
Mean	20.93 (a)	16.45 (a)
SD	0.60	0.06
σ^2 Genotype	39.03**	0.37**
Trial 3(2005/2006) Date2		
Mean	26.73 (b)	17.26 (b)
SD	0.47	0.07
σ^2 Genotype	10.05ns	0.29*

*** Significatif à P = 0,001; ** Significatif à P = 0,01; * Significatif à P = 0.05; NS non significatif, les valeurs moyennes sur la même colonne, sans une lettre commune sont significativement différentes (P <0,05) selon test de comparaison de Duncan.

Tableau 20. Rendement de grain et discrimination isotopique du carbone des différents cultivars (saison 2004-2005).

Cultivar	**Rendement grain (t ha^{-1})**	**Δ (‰)**
Oued Zenati	2.63	14.17
Altar	2.81	15.22
Sooty	2.99	15.24
Polinicum	2.39	14.62
Waha	2.73	15.44
Dukem	2.39	15.36
Mexicali	2.91	15.56
Kucuk	2.92	15.26
Moyenne	2.72	15.11

Les conclusions des études de 2001-2002 et 2003-2004 ont été que deux variétés locales avec un Δ faibles ont été identifiées et une variété CIMMYT avec un Δ élevé, et ces derniers ont été déjà croisées. Les graines F2 seront évalués pour la sélection divergente.

Des différences significatives entre les génotypes ont été observées pour le rendement en grain et ΔG (Tableau 18). La valeur moyenne du rendement de grain pour tous les génotypes était environ 1,3 fois plus supérieur dans l'essai 2004/2005 que le premier essai en 2006. Les valeurs ΔG pour les trois essais effectués de 2004 à 2006 sont respectivement 15.11; 16.45 et 17.26 (‰). La plus grande différence entre les génotypes extrêmes pour ΔG a été observée dans la saison 2005 (1,39 ‰). La plus petite gamme pour ΔGm a été observée dans le deuxième essai de 2006 (0,98 ‰). L'effet de l'environnement, entendu comme la combinaison de la région et le total des précipitations, sur le rendement de grain et Δ du grain était beaucoup plus élevé que celui de la variabilité génotypique. Pour CID, aucune différence significative n'a été observée entre les génotypes et les essais (Tableau 19).

En 2004/2005, environ 60% de la pluviométrie totale a été enregistrée au cours des 90 premiers jours du cycle de culture, par conséquent un déficit hydrique important s'est produit au cours de la période de remplissage du grain. Le rendement grain moyen pour tous les génotypes était d'environ 2,72 t / ha (Tableau 19). L'effet génotype sur le rendement en grain était significative mais faible ($p < 0,018$), tandis que l'effet génotype pour Δ était hautement significative ($P < 0,001$). Le rendement en grain et les valeurs Δ ont été légèrement supérieures à celles déclarées par Hafsi *et al.* (2001 et 2007) dans la même région, ce qui suggère que le stress de la sécheresse été moins sévère dans les conditions actuelles. Les faibles valeurs de Δ des vieux cultivars algériens Oued Zenati et Polinicum ont déjà été observées dans des études précédentes (Hafsi *et al.,* 2001 et 2007), suggérant que les faibles Δ sont une caractéristique de ces deux anciens génotypes locaux.

La corrélation entre Δ et le rendement en grain n'est pas significative ($r = 0.434$ns) lorsque tous les cultivars ont été testés ensemble. L'association est devenue significative, toutefois, en éliminant les cultivars Oued Zenati (Δ faible, faible rendement), un ancien cultivar ayant une très bonne adaptation spécifique aux conditions des Haute-Plateaux, et Waha (Δ élevé, haut rendement), est la plus rapide et la plus sensible aux gelées tardives des cultivars. Aucune corrélation n'a été observée entre le rendement en grain et ΔG en 2005 et 2006.

Dans cette étude, la période qui coïncide avec le remplissage du grain, en général Mai, a été très sec pour les deux saisons soutenues par la haute température (Fig.21).

Des rapports précédents sur l'orge (Hordeum vulgare L.) et le blé dur en conditions méditerranéennes ont trouvé une forte dépendance de Δ grain à l'égard des précipitations durant les dernières phases (de l'épiaison et l'anthèse à la maturité) du cycle des cultures (Araus *et al,* 1999).

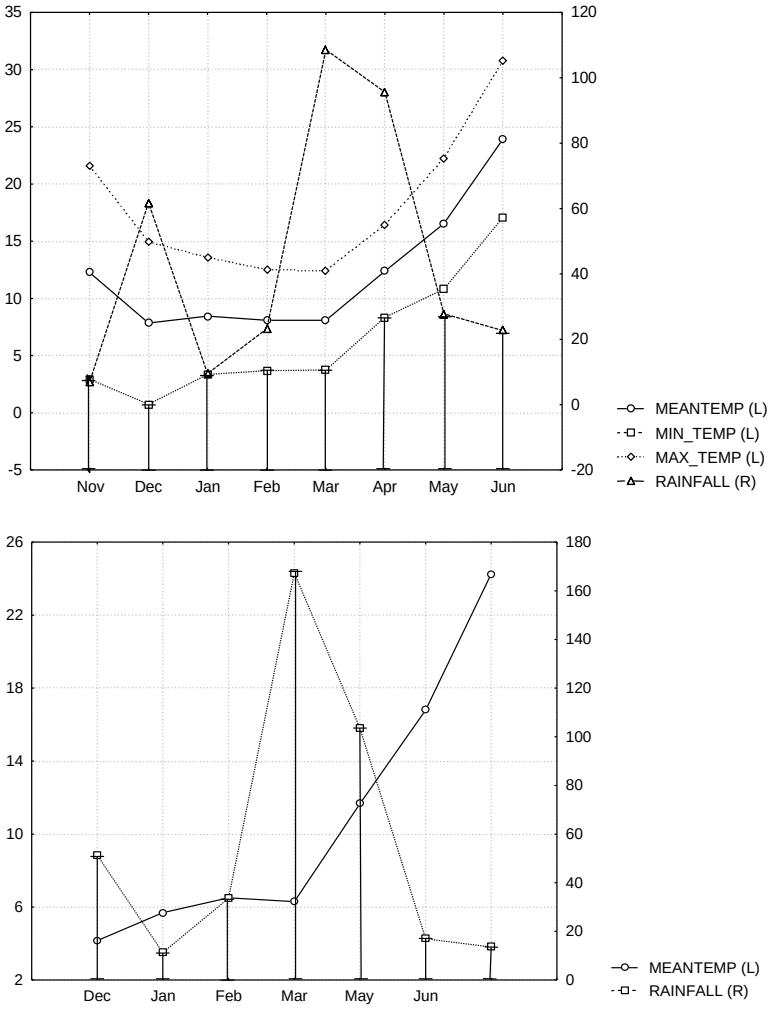


Figure 21. Température et précipitations à la station de Khroub (ci-dessus) et dans la station de Sétif (ci-dessous).

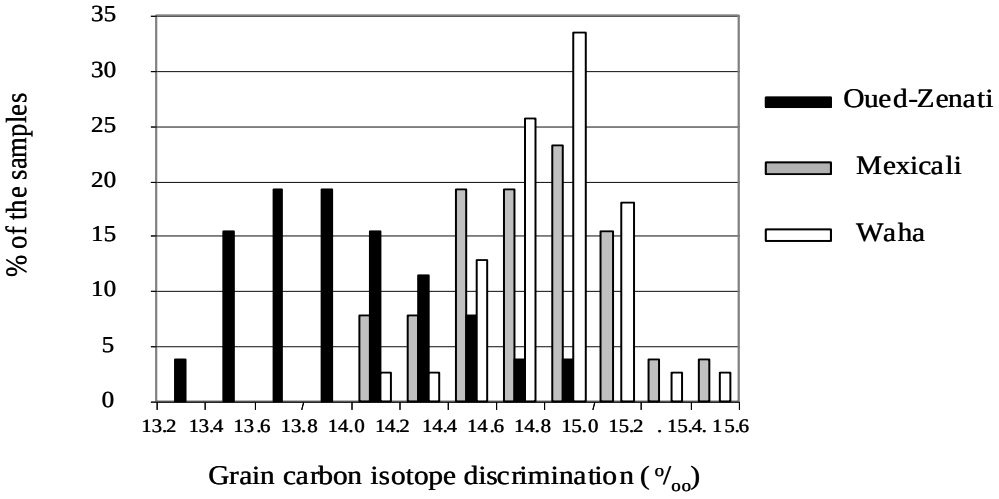


Figure 22. La répartition de la valeur Δ grain pour chacun des trois cultivars.

La distribution des valeurs Δ , pour chacun des trois cultivars utilisés comme progéniteurs, a révélé une grande variation (Fig.22). Cette variation peut être due, pour une petite partie, à un certain niveau d'hétérozygotie chez les cultivars, lié à la allogamie résiduelle qui est observé dans les conditions méditerranéennes en blé dur. Elle est toutefois susceptible d'être due principalement aux variations environnementales affectant différemment les plantes F2. Cette grande variation suggère la difficulté de sélectionner pour Δ sur les plantes individuelles F2. Les valeurs Δ au sein des populations F2 Oued Zenati / Mexicali (ΔG faible / ΔG élevé) et Mexicali / Waha (ΔG haut / ΔG haut) (Fig. 23 et 24) sont très dépendants des valeurs des parents, avec des effets transgressive constaté dans le cas du croisement Mexicali / Waha (ΔG haut / ΔG élevé). La variation de CID des parents a été plus importante que celle observée dans les F2 des deux croisements (Fig. 25). Le gain de CID entre F3/F2 est d'environ 2 (‰) pour le croisement Oued Zenati / Mexicali et 1.75 (‰) pour le second croisement Mexicali /Waha (Tableau 21, 22).

Une tentative a été fait pour classer les génotypes selon le niveau de stabilité utilisant le rendement en grain et la valeur correspondante du CID pour chaque génotype (Tableau 22) selon Finlay et Wilkinson (1963). La relation entre le rendement moyen des grains et la moyenne CID à travers les six essais était significative (Fig.23).

3.6. Projet de la période: 2007-2008

Les précipitations totales enregistrées à Beni Fouda, Aïn Abessa était 356,1 et 397,61 mm respectivement. Du tallage jusqu'à l'épiaison, les précipitations représentent 70 % et 65 % dans les stations d'Ain Abessa et de Beni Fouda respectivement. Seulement 14% du total des précipitations a eu lieu entre l'anthèse et la période de remplissage du grain à Beni Fouda. La simulation avec le modèle Budget a montré un stress hydrique intense pour cette période.

Des différences significatives entre les génotypes ont été observés pour le rendement en grains, la biomasse, le nombre épis / m², le nombre grains par épi et le poids de mille grains (PMG). La différence entre les deux sites a été significative ($P < 0,0001$) pour toutes les composantes citées ci-dessus, excepté PMG. L'effet d'environnement sur le rendement de grain était significatif et plus favorable à Ain Abessa (Tableau 22). La valeur moyenne de rendement de grain pour tous les génotypes était 59,29 q/ha dans la station d'Ain Abessa et 51,19 q/ha dans Beni Fouda. Les valeurs CID étaient différentes de manière significative pour le site de Beni Fouda et étaient étendues de 17,007 à 15,254 ‰ pour Waha et Oued Zenati respectivement.

Tableaux 21 et 22. Moyenne des valeurs CID à 15 et 20% d'intensité sélection pour les deux croisements dans la population F2 et F3.

Population F2

Croisement	Moyenne de 15% Haut CID	Moyenne de 15% bas CID	Moyenne de 20% Haut CID	Moyenne de la population
Oued Zenati/Mexicali	14.6372	13.2446	14.6193	14.0708
Mexicali/Waha	14.9811	14.3352	14.9203	14.6535

Population F3

Croisement	Moyenne de 15% Haut CID	Moyenne de 15% bas CID	Moyenne de 20% Haut CID	Moyenne de la population
Oued Zenati/Mexicali	17.0437	15.0482	16.9736	16.1812
Mexicali/Waha	17.3077	15.6224	17.1413	16.4055

Tableau 23. Analyse de variance, moyenne pour le rendement grain (GY), la biomasse, grains / épi, épis / m² et le poids de mille grains (PMG).

	Biomasse (g/m²)	**rendement grain** (q/ha)	**grains / épi**	**épis / m²**	**PMG** (g)
σ² Genotypes	NS	***	***	***	***
σ² Sites	***	***	***	***	NS
σ² Genotypes*Sites	NS	***	NS	NS	NS
Site d'Ain Abessa					
Moyenne	1851.1(a)	59.29(a)	40.24(a)	492.56 (a)	36.19 (a)
Site de Beni Fouda					
Moyenne	1583.8(b)	51.19(b)	30.10(b)	263.21 (b)	36.33(a)

*** Significatif à P<0.001 ; NS non significatif ; les valeurs moyennes sur la même colonne sans lettre commune sont significativement différentes.

Les faibles valeurs de Δ des anciens cultivars algériens Oued Zenati et Polinicum ont déjà été notées dans des études précédentes (Hafsi *et al.,* 2001 et 2007), suggérant que ces faibles Δ sont une caractéristique de ces deux anciens génotypes locaux. Le facteur ayant le plus d'influence sur les performances des meilleures variétés typiques de la Méditerranée est sans aucun doute la production élevée de la biomasse aérienne. Dans des milieux prédisposés à la sécheresse, cette caractéristique peut résulter d'une grande capacité à extraire l'eau des sols ou d'une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE), cette dernière déterminée par une plus grande efficacité de transpiration et / ou une croissance plus rapide du couvert qui réduit la proportion relative d'eau perdue par évaporation. La corrélation entre le CID et le rendement en grain était significative à (P <0,080).

Dans cette étude, la période qui coïncide avec le remplissage du grain en général était très sec pour les deux sites soutenue par les hautes températures. Les rapports précédents sur l'orge (*Hordeum vulgare L.)* et le blé dur en conditions méditerranéennes ont trouvé une forte dépendance de Δ grain à l'égard des précipitations durant les dernières phases (de l'épiaison et l'anthèse à la maturité) du cycle des cultures (Araus *et al*, 1999).

Le facteur de stress hydrique estimé à partir du modèle de Budget à différents stades phénologiques semble être inférieur au stade épiaison comparée à la période du remplissage du grain et à l'anthèse avec plus d'effet du stress hydrique pour les cultivars locaux (Tableau 21).

Dans la population F4, on a observé une différence significative entre les croisements (p<0.0003) pour l'index de récolte et entre les croisements à la date (p<0.0004). L'indice de récolte variait de 0,28 à 0,35 pour les deux croisements. Le croisement Oued Zenati / Mexicali a donné plus de plantes avec une hauteur importante (Tableau 22). Aucune différence significative n'a été observée entre les croisements et les dates. Le nombre de grains est un déterminant majeur du rendement dans le blé et c'est l'un des facteurs qui contribuent à améliorer le rendement grain, particulièrement sous la sécheresse.. Dans cette région, la récolte pourrait aussi être réduites par le stress de gel qui coïncide avec l'anthèse. Les croisements ont montré une différence significative avec 33,1 et 29,27 grains / épi pour les croisements (Δ haut / Δ haut) et (Δ bas / haut Δ) respectivement.

L'analyse de variance a montré une variation très significative de CID pour la population F4 entre les deux croisements MW/OM1 (P <0,0232) et OM1/OM2 (P <0,000003). Δ s'est étendu dans la population F4 de 13,91 à 16,27 ‰ pour MW, tandis que OM1 et OM2 ont un aire de répartition de 14,96 à 16.4 et de 14,34 à 15.67 respectivement. Les estimations d'héritabilité Réalisée, sur la base de 15% d'intensité de sélection étaient intermédiaire à élevé: $h^2 = 0,5708$, $h^2 = 0,6644$ et $h^2 = 0,7771$ pour OM1, OM2 et MW respectivement. L'héritabilité élevée de Δ indique que le bon gain de la sélection peut être prévu plus tôt en matériaux parentaux ayant une date de floraison similaire.

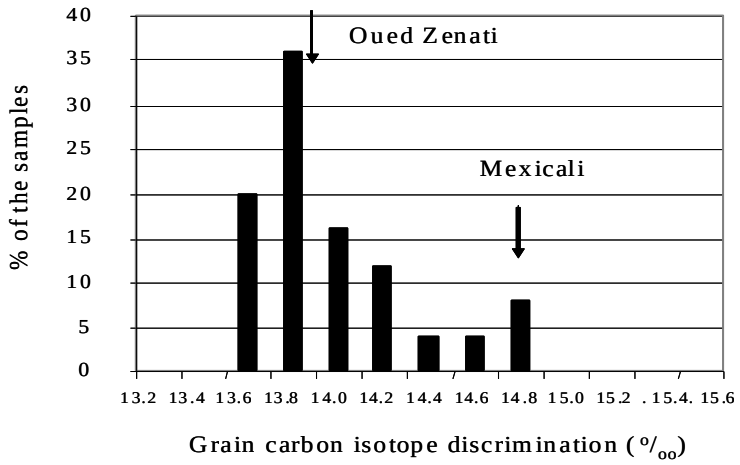


Figure 23. Les valeurs Δ au sein des populations F2 de Oued Zenati / Mexicali.

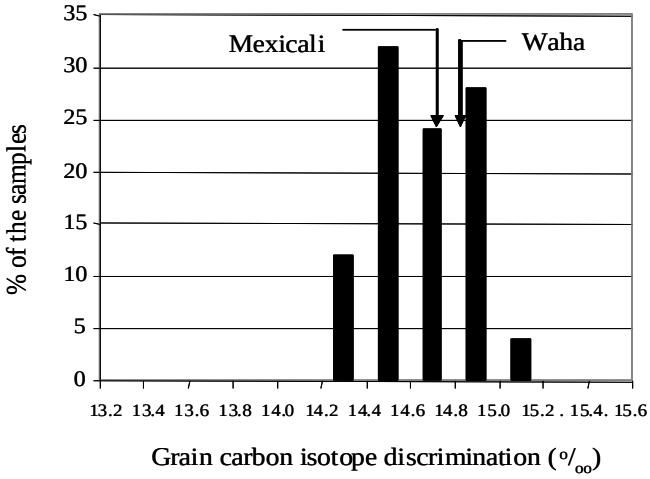


Figure 24. Les valeurs Δ au sein des populations F2 de Mexicali / Waha.

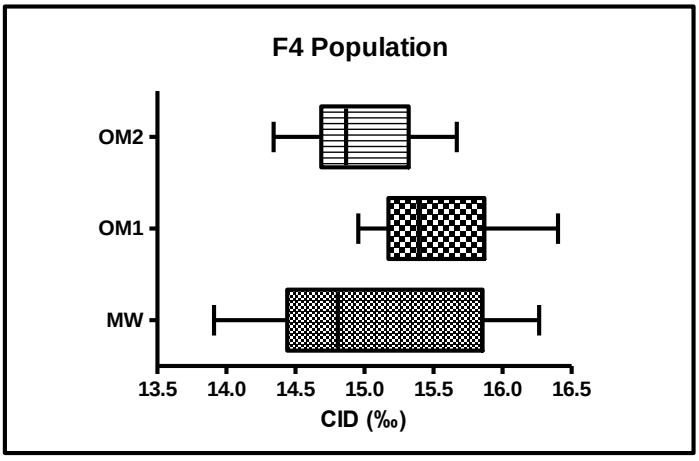


Figure 25. Variation de CID des croisements MW, OM1 et OM2.

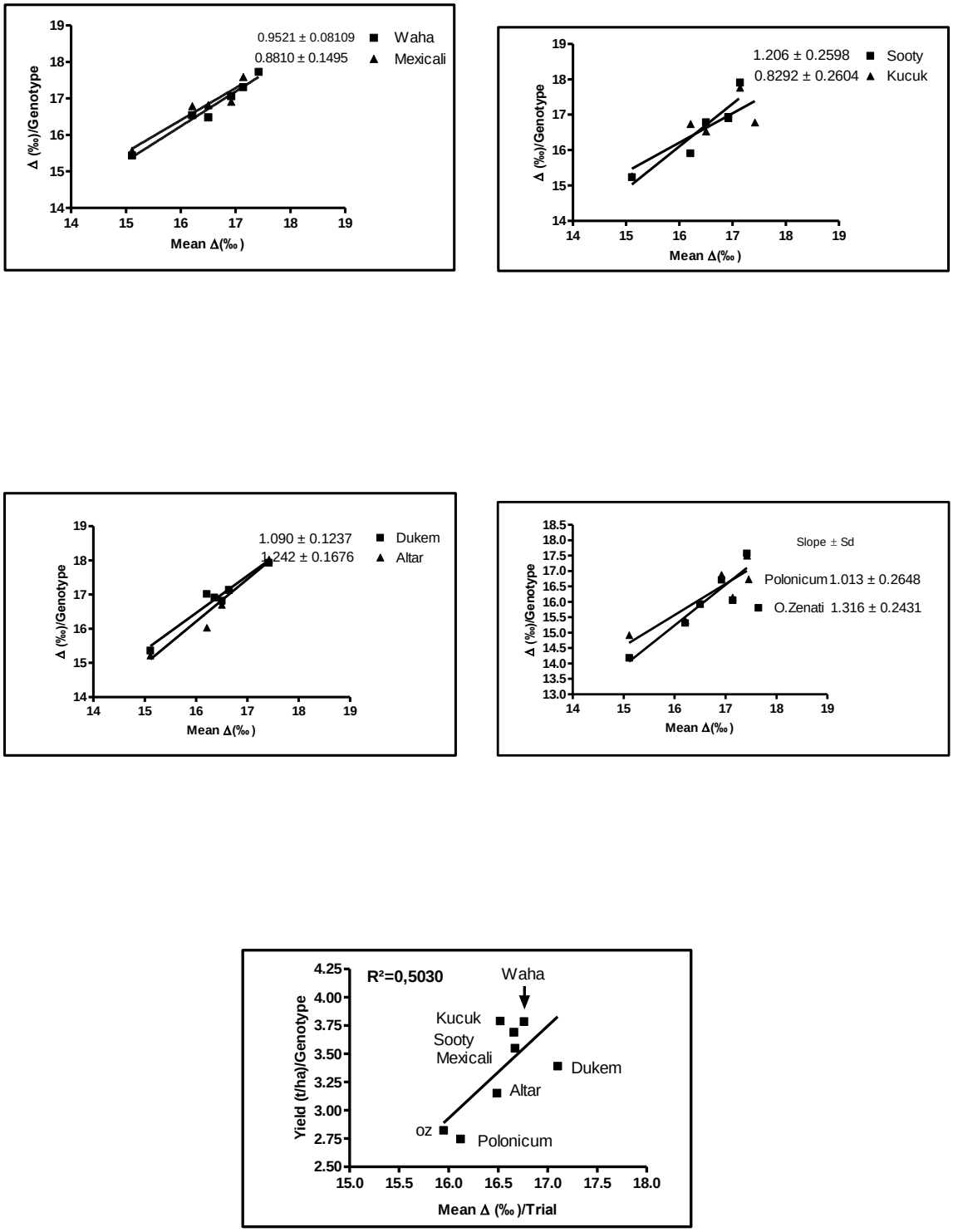


Figure 26. Stabilité du CID dans les environnements.

Conclusion de la synthèse

Il semble que le sous-ensemble de cultivars modernes obtenus par le programme de sélection de blé dur de CIMMYT / ICARDA a en moyenne, une valeur Δ supérieur (16,78 ‰) que le sous-ensemble des cultivars locaux (15.82 ‰). Ce résultat est en bon accord avec les résultats obtenus précédemment dans le même type d'environnements. Il peut être expliqué par une faible conductance stomatique ou plus probablement par moins d'efficacité de remobilisation, reflétée dans leur indice de récolte inférieur. Les cultivars locaux, et notamment Oued Zenati, a eu un bon rendement , malgré les conditions environnementales difficiles des Hauts-Plateaux, en raison principale de leur meilleure adaptation phénologiques. Les résultats des expériences actuelles, ainsi que ceux des études précédentes (Hafsi *et al.,* 2003 et 2007) suggèrent que Δ a un intérêt limité en tant que facteur prédictif du rendement dans ce type d'environnement. Le manque de corrélation entre les valeurs Δ et le rendement en grain est susceptible d'être dû à une forte contribution des assimilât de la pré-anthèse et à une limitation d'absorption sur les rendement, brisant ainsi l'association observée entre Δ et le rendement (Hafsi *et al.,* 2003) . Le stade d'épiaison a coïncidé avec une forte sécheresse et gelée qui ont fortement réduit le nombre potentiel de grain.

Les résultats de la présente synthèse ont confirmé que la relation entre la discrimination isotopique du carbone et rendement en grains rapporté par plusieurs auteurs sous climat méditerranéen est instable dans nos conditions et souligne la nécessité d'une définition précise des conditions environnementales. Cette relation n'est pas confirmée dans des conditions de stress très sévère, en particulier lorsque la capacité d'absorption est affectée. Ils suggèrent que les programmes de sélection dans les Hauts Plateaux algériens doivent être fondés sur des croisements entre des cultivars locaux, maintenant une capacité d'absorption élevée dans des conditions de stress et les cultivars modernes ayant des valeurs élevées de Δ, avec une sélection complémentaire concernant au cours des premiers cycles, le nombre de grains par épi (capacité d'absorption) et, dans les familles F3 ou F4 ayant la plus grande capacité d'absorption sur les valeurs Δ.

L'efficacité de transpiration (TE) a été reconnue comme une source importante de variations de rendement sous sécheresse chez le blé dur. Dans le cas de Beni Fouda, l'évapotranspiration dépasse la disponibilité en eau du sol.

La relation entre la moyenne CID des cinq dernières expériences et le rendement en grains des deux essais effectués en 2006/2007 était significatif et le rendement en grain moyen était plus élevé dans la station d'Ain Abessa par rapport à Beni Fouda. Les résultats selon Turner (1979) ont montré que WUE varié de 11,615 à 18.543 kg/ha/mm pour le génotype local Oued Zenati et Altar respectivement (Tableau 21).. Farquhar et Richards (1984) ont rapporté que les valeurs Δ peuvent être utilisés pour évaluer WUE chez les cultivars de blé en raison du rapport négatif entre Δ et WUE.

CONCLUSION

CONCLUSION

La production agricole en zone semi aride d'altitude est fortement limitée par plusieurs contraintes abiotiques, dont les principales sont la sécheresse et les gelées printanières. Ces deux phénomènes très fréquents, créent des variations importantes du rendement en grain d'une année à l'autre. Stabiliser la production sous ces conditions est aussi importante que de chercher à l'améliorer. Certains génotypes se stabilisent mieux que d'autres par leurs caractéristiques phéno-morphologiques. Cette étude a permis de décrire le comportement de quelques variétés de Blé dur et leurs relations avec quelques caractéristiques physiologiques.

Les résultats montrent que les génotypes qui ont subit moins le stress hydrique à l'épiaison sont plus précoces (Mexicali, Altar, Waha...etc.). En revanche, les génotypes tardifs (Oued zenati et Polonicum) ont montré plus de sensibilité vis-à-vis du stress hydrique. Les génotypes précoces ont réalisé les meilleurs rendements en grains et ils ont eu une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau pour la production de grain.

Les variétés introduites précoces sont caractérisées par un fort tallage épis, un nombre de grains /m² élevé et une fertilité épis considérable. Le rendement grain et l'indice de récolte important sont l'expression d'une bonne teneur en chlorophylle, un poids spécifique élevé et une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. Les variétés locales ont montré une supériorité pour le PMG, la biomasse aérienne, la hauteur des chaumes, la TRE (teneur relative en eau), la surface foliaire et par une sénescence lente.

L'analyse du rendement à travers ses composantes a mis en évidence diverses associations, signalées dans des études antérieures. Les deux types de variétés testées (locales et améliorées) présentent deux comportements distincts vis-à-vis de leurs capacités à utiliser efficacement l'eau. En effet, les génotypes locaux produisent plus de biomasse au détriment du grain, ce qui leur permet d'avoir une EUE (biomasse) plus importante. Le choix de ce type de variétés par les agriculteurs vient probablement de la vocation de cette zone agropastorale. En revanche, les variétés introduites ont un potentiel de production plus important.

Ces résultats nous amènent à dire qu'il est souhaitable de développer un matériel végétal qui se distingue par sa capacité à accumuler plus de biomasse aérienne à l'épiaison. Cette biomasse doit être associée à une production élevée de grains /m².

La méthode basée sur l'analyse numérique de l'image est d'un grand intérêt pour mesurer la sénescence des feuilles de céréales. La plupart des études concernant le rapport entre la sénescence et le rendement ont été basées jusqu'ici sur l'appréciation visuelle longue de la sénescence. L'analyse numérique de l'image permet des mesures rapides de la sénescence et pourrait s'associer à d'autres critères de sélection en conditions de stress hydriques.

Les résultats de la synthèse de la relation entre la discrimination isotopique du carbone et le rendement en grains rapporté par plusieurs auteurs sous climat méditerranéen est instable dans nos conditions et souligne la nécessité d'une définition précise des conditions environnementales. Cette relation n'est pas confirmée dans des conditions de stress très sévère, en particulier lorsque la capacité du puits (en l'occurrence la fertilité) est affectée. Les programmes de sélection dans les Hauts Plateaux algériens doivent être fondés sur des croisements entre des cultivars locaux, maintenant une fertilité élevée dans des conditions de stress et les cultivars précoces ayant des valeurs de discrimination isotopique du carbone élevées, avec une sélection au cours des premiers d'une fertilité élevée dans les familles F3 et F4.

Références bibliographiques

Abayomi Y., Wright D., 1999. Effects of water stress on growth and yield of spring wheat (*Triticum aestivum L*.) cultivars. *Trop. Agric*. **76**, 120–125.

Abbassenne F., Bouzerzour H., Hachemi L., 1997. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Annales Agronomiques INA,* **18** : 24-36.

Abbate P.E., Andrade F.H., Culot J.P., 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci. (Camb.)* **124,** 351–360.

Abbate P.E., Andrade F.H., Culot J.P., Bindraban P.S., 1997. Grain yield in wheat: effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Res*. **54**, 245–257.

Acevedo E., Ceccarelli S., 1987. Role of physiologist-breeder in a breeding program for drought résistance conditions. in : Drought Resistance in Cereals, Baker, F.W.G. (éd.). CAB, Wallingford, pp. 117-139.

Acevedo E., Craufurd P.Q., Austin R.D., Perez Marco P., 1991. Traits associated with high grain yield in barley in low yielding environments. *J. Agric. Sci. Camb*, **116**:23-36.

Acevedo E.H., Silva P.C., Silva H.R., Solar B.R., 1999 ; Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. The Haworth Press Inc., New York, pp. 295–331

Adamsen F.J., Pinter P.J., Barnes E.M., Lamorte R.L., Wall G., Leavitt W., Kimbell B.A., 1999. Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Sci*., **39** : 719-724.

Adjab M., 2002. Recherche des traits morphologiques, physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique chez différents génotypes de blé dur (*Triticum durum desf)*. Thèse de Magister ,faculté des Sciences, Univérsité Badji Mokhtar, Annaba, 84p.

Al Hakimi A., 1995. Sélection sur base physiologique et utilisation des espèces tétraploïdes du genre Triticum pour l'amélioration génétique de la tolérance à la sécheresse du blé dur. Thèse de doctorat, Montpellier, 220 pages.

Al Hakimi A., Monneveux P., 1993. Variation of some physiological traits of drought tolerance in tetraploid wheats. In Damania, A.B. (ed): Biodiversity and Wheat improvement. John Wiley and sons, Chichester-New York- Brisbane-Toronto-Singapore, 199-216 p.

Al Hakimi A., Monneveux P., Galiba G., 1995. Soluble sugars, proline, and relative water content as traits for improving drought tolerance in triticum durum. *J. Gen. Breed*. **49** : 234-244.

Al-Khatib K., Paulsen GM., 1984. Mode of high temperature in jury to whet during grain development. *Physiologoa Platarum* **61**, 363-368.

Ali Dib T., Monneveux P., Araus J.L., 1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie.* **12** : 381-393.

Amokrane A., 2001. Evaluation et utilisation de trois sources de germoplasme de blé dur (*Triticum durum Dref*). Thèse de Magister, institut d'agronomie, Université El Hadj Lakhder, Batna, 80 P.

Annichiarico P., Chiari T., Bazzani F. and Bellah F., 2002. Reponses of durum wheat cultivars to Algerian environments II. Adaptative traits. *J. Afric. Environ. Intern. Develop*. **96** : 261-271.

Annichiarico P., Abdellaoui Z., Kelkouli M., Zerargui H., 2005. Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi-dwarf durum wheat cultivars in Algeria. *J. Afr. Sci.***143**: 57-64.

Araus J.L., Logan K.P., 1994. Comparative leaf structure and pattern of photoinhibition after neotropical palm Scheelea zinensis. *Am.J.Botany*. **81** : 726-738.

Araus J.L.; Amaro T.; Zuhair Y.; Nachit M.M., 1997. Effect of leaf structure and water status on carbon isotope discrimination in field-grown durum wheat. *Plant Cell Environ*.**20** 1484-1494.

Araus J.L., Amaro T., Voltas J., Nakhoul H., Nachit M.M., 1998. Chlorophyll florescence as a selection criteria for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *FCR*, **55** : 209 – 223.

Araus J.L., Villegas D., Aparicio N., Garcia del Moral .LF., El Hani S., Rharrabti Y., Ferrio J.P., Royo C., 2003. Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Science* **43**, 170–180.

Austin R.B., Bingham J., Blackwell R.D., Evans L.T., Ford R.A., Morgan C.L., Taylor M., 1980. Genetic improvement in winter wheat yield since 1900 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci.* **94**, 675–689.

Austin R.B., 1989. Genetic variation in photosynthesis. *J. Agric. Sci*. **112**, 287–294.

Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hassous K.L., 2005. Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum Desf.)* cultivars under semi-arid conditions. *Journal of Agronomy* **4** : 360-365.

Bagga A.K., Ruwal K.N., Asana R.D., 1970. Comparaison of responses of some indian and semi-dwarf Mexican wheats to inrrigated cultivation. *Indian J. Agric. Sci.,* **40** : 421-427.

Baldy G., 1974. Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leurs influences sur la production des principales zones céréalières. Document du Projet céréale, 170 pages.

Baldy C.,1993. Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale. Relationships whith osmotical potential, carbon isotop ratio and grain yield. In tolérance à la sècheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale. (Monneveux, P & Benselam,M. eds.). *Colloque* **55** : 83-99 INRA ed , Paris.

Baldy C., Ruelle P., Fernandes A., 1993. Résistance à la sécheresse du sorgho-grain en climat méditerranéen. *Sécheresse*, **4** : 85-93.

Barbottin A., Lecomte C., Bouchard C., Jeuffroy M.H., 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effects. *Crop Science* **45**, 1141-1150.

Belhssen E., This D., Monneuveux P., 1995. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers Agricultures*. **4** / 251 – 261.

Benlaribi M., Monneveux P., Grignac P., 1990. Etude des caractères d'enracinement et leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum Dref*). *Agronomie,* **16** : 305-322.

Bensalem M., Vierra Da Siva J.B., 1990. Mécanismes physiologiques de résistance à la sécheresse et création variétale. Rapport d'activité numéro 1, MA/DGFRA/INRAT, Tunisie, 23 pages.

Blum A.; Ebercon A.; 1976. Genotypic responses in sorghum to drought stress.III. Free proline accumulation and drought resistance. *Crop Sci.*, **16**: 428-431.

Blum A., 1989. Plant breeding for stress environments. Boca Raton : CRC Press eds ; 223p

Boggini G., Palumbo M., Calcagno L., 1990. Characterization and utilization of Sicilian Landraces of durum wheat in breeding programmes. In: Srivastava, J.P., Damania, A.B. (Eds.), Wheat Genetic Resources: Meeting Divers Needs. John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 223–234.

Bos M.G., 1985. Summary of ICID definitions on irrigation efficiencies. In : Les besoins en eau des cultures. Conférence internationale, Paris, 11-14 septembre 1984. Paris : Institut national de la recherche agronomique (Inra), 889-99.

Bouzerzour H., Benmahammed A., 1994. Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateau of eastern Algeria. *Rachis*, **12**: 11-14.

Bouzerzour H., Zerargui H., Dekhili M., 1995. Relationships among duration of vegetative and grain filling periods, yield components and grain yield in durum wheat. *Awamia*, **75** : 15-23.

Bouzerzour H., 1998. Sélection pour le rendement, la précocité à l'épiaison et la biomasse aérienne chez l'orge (Hordeum vulgare L.) en zone semis aride. Thèses Doctorat d'Etat, Université Constantine :170 pages.

Bouzerzour H., Djekoune A., Benmahammed A., Hassous L.K., 1998. Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Cahier d'Agriculture* ***8*** : 133-137.

Bouzerzour H., Benmahammed A., Benkharbache N., Hassous K.L., 2002. Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Revue Recherche Agronomique de l'INRAA*, **10** : 45-58.

Boyer P., 1987. Plant productivity and environment. *Science* **218** : 443-448.

Bozzini A. 1988. Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. Dans Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology.* AACC (Minnesota), États Unis. p. 1-16.

Brancourt-Hulmel M., Doussinault G., Lecomte C., B´erard P., Le Buanec V., Trottet M., 2003. Genetic Improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to1992. *Crop Sci.* **43**, 37–45.

Bruckner P.L., Frohberg R.C., 1987. Rate and duration of grain fill in spring wheat. *Crop Sci*. **27**, 451–455.

Brugnoli E., Farquhar G.D. 2000. Photosynthetic fractionation of carbon isotopes. In: Leegood RC, Sharkey TD, von Caemmerer S, eds. Photosynthesis: physiology and metabolism. Advances in Photosynthesis, Vol. 9. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 399–434.

Buck H., Nisi J., 2007. Wheat Production in Stressed Environments, Proceedings of the 7th International Wheat Conference, 27 November–2 December 2005, Mar del Plata, Argentina. Developments in Plant Breeding. VOLUME 12

Cackett K.E., Wall P.C., 1971. The effect of altitude and season length on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum L.*). in Rhodesia. Rhod. *J. Agri. Res*. **9** : 107-121.

Calderini D.F., Dreccer M.F., Slafer G.A., 1995. Genetic improvement in wheat bread and associated traits.Are-examination of previous results and the latest trends. *Plant Breed*. **114**, 108–112.

Calderini D.F., Reynolds M.P., Slafer G.A., 1999. Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. The Haworth Press Inc., New York, pp. 351–377.

Cattivelli L., Baldi P., Crosatti N., Di Fonzo N., Stanca M., 2002. Chromosome regions and stress related sequences involved in resistance to abiotic stress in Triticeae. *Plant Molecular Biology*, **48** : 649-665.

Ceccarelli S., Grando S., Hamblin J., 1992. Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica* **64** : 49-58.

Chehat F., 2005. Les politiques céréalières en Algérie. Rapport Annuel. Agri-Med. Agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région Méditerranéenne, CIHEAM 2006.

Chmielewski F., Kohn W., 2000. Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. *Agric. Forest Meteorol*. **102**, 253–261

Clarke J.M., Richards R.A., 1988. The effect of glaucesness, epicuticular wax, leaf age, plant height and growth environement on water loss rates of excised wheat leaves. Can; *J.Plant Sci.* **68**: 957-982.

Clarke J.M., Romagosa I., Jana S., Srivastava J.P., McCaig T.N., 1989. Relation of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environements. Can*; J.Plant Sci*. **69** : 1057-1081.

Clarke J.M., Romagosa I., 1991. Evaluation of excised leaf water loss rate for selection of durum wheat on dry environments. In Acevado E., Conesa A.P., Monneveux P. and Srivastva J.P. (eds.) Physiology-breeding of winter cereals for stressed mediteranean environments. *Colloque* n° **55**, INRA, Paris, 401-414.

Clarke J.M., W.A. Norvell, F.R. Clarke et T.W. Buckley., 2002. Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, **82**:27-33.

Cochard H., Ridolfi M., Dreyer E.,1996. Responses to water stress in an ABA-unresponsive hybrid poplar (Populus koreana ´ trichocarpa cv. Peace). II. Hydraulic properties and xylem embolism. *New Phytol.* **134** : 455-461.

Condon A.G, Richards R.A, Farquhar G.D., 1987. Carbon isotope discrimination is positively correlated with grain yield and dry matter production in field-grown wheat. *Crop Science* **27**, 961–1001.

Condon A.G., Farquhar G.D., Richards R.A., 1990. Genotypic variation in carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat. Leaf gas exchange and whole plant studies. *Australian Journal of Plant Physiology* **17**, 9–22.

Condon A.G, Richards R.A., 1992. Broad sense heritability and genotype x environment interaction for carbon isotope discrimination in field-grown wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* **43**, 921–934.[

Condon A.G., Richards R.A., 1993. Exploiting genetic variation in transpiration efficiency in wheat: an agronomic view. In: Ehleringer JR, Hall AE, Farquhar GD, eds. Stable isotopes and plant carbon-water relations. San Diego, CA: Academic Press, 435–450.

Condon A.G., Richards R.A., Farquhar G.D., 1993. Relationships between carbon isotope discrimination, water-use efficiency and transpiration efficiency for dryland wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* **4**, 1693–1711.

Condon A.G., Hall A.E., 1997. Adaptation to diverse environments: genotypic variation in water use efficiency within crop species. In: Jackson LE, ed. Agricultural ecology. San Diego, CA: Academic Press, 79–116.

Condon A.G, Richards R.A., Rebetzke G.J., Farquhar GD., 2002. Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Science* **42**, 122–131.

Condon A.G., Richards R.A., Rebetzke G.J., Farquhar G.D., 2004. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, No. 407, Water-Saving Agriculture Special Issue, pp. 2447–2460.

Cooper P.J.M., Gregory P.J., Keatinge J.D.H., Brown S.C., 1987. Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in northern Syria.2. Soil water dynamics and crop water use. *Field Crops Research* **16**, 67–84.

Cox T.S., Shroyer R.J., Ben-Hui L., Sears R.G., Martin T.J., 1988. Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. *Crop Sci*. **28**, 756–760.

Croston R.P., Williams J.T., 1981. A world survey of wheat genetic resources. *IBRGR.* Bulletin /80/59, 37 pages.

Dakheell A.J., Nadji I., Mahalazkshmi V., Peacock J.M., 1993. Morphophysiological traits associated with adaptation of Durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Apects of Applied Biology*. **34** : 297-307.

Darera N.F.; Marshall D.R.; Balaam L.N.; 1969. Genetic variability in root development in relation to drought tolerance in spring wheat expt; *Agric* **5**, pp327-337.

Davies W.J . Zhang J., 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu Rev Plant Phys Mol Bio*. **42** : 55-76.

Del Blanco I.A., Rajaram S., Kronstad W.E., 2001; Agronomic potential of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop Sci*. **41**, 670–676.

De Raissac M., 1992. Mécanismes d'adaptation à la sécheresse et maintien de la productivité des plantes cultivées. *Agro Trop*. **46** : 29-39.

DeVries A.P., 1971. Flowering Biology of Wheat, Particularly in View of Hybrid Seed Production - A Review. *Euphytica,* **20**:152-170.

Diehl R., 1975. Agriculture générale. Edition J.B. Baillière. 396 pages.

DIXON J. (2007). The Economics of Wheat: Research challenges from field to fork, in H.T. Buck et al. (eds.), Wheat Production in Stressed Environments, 9–22.

Donalds C.M.; Hambling J.; 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advaces in Agronomy*,**28**, 361-411.

Donmez E., R.G. Sears, J.P. Shroyer, G.M. Paulsen., 2000. Evaluation of Winter Durum Wheat for Kansas. » Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Publication N° 00-172-S.

Dreyer E., 1997. Photosynthesis and drought in forest trees. Trees-Contributions to Modern Tree Physiology. (Rennenberg, H., Eschrich, W. and Ziegler, H., eds.). *Backhuys Publishers, pp. 215-238.

Dubey R.S.; 1994. Protein synthesis by plants under stressful conditions, in: M. Pessarakli (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, New York, , pp. 277_/299.

Elhani S.; V. Martos; Y. Rharrabti; C. Royo; L.F. Garcıa del Moral; 2007. Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum L. var. durum*) grain yield and its components grown in Mediterranean environments ; *Field Crops Research* **103** 25–35.

FAO., 2005. L'irrigation en Afrique en chiffres. Algérie. Enquête AQUASTAT, pp 11.

Farquhar G.D., O'Leary M.H., Berry J.A., 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology* **9**, 121–137.

Farquhar G.D., R.A. Richards; 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Aust. J. Plant Physiol.* **11**:539–552.

Farquhar G.D., Ehleringer J.R., Hubick K.T., 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **40**, 503–537.

Feldman M., 1976. Taxonomic Classification and Names of Wild, Primitive, Cultivated, and Modern Cultivated Wheats. Dans : Simmonds, N.W. (éd)., *Evolution of Crop Plants.* Longman, Londre. p 120-128.

Feldman M., 2001. Origin of Cultivated Wheat . Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) *The World Wheat Book: a history of wheat breeding.* Intercept Limited, Andover, Angleterre, p 3-58.

Fellah A., Benmahammed A., Djekoun A., Bouzerzour H., 2002. Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*). *Actes de l'IAV*, Hassan II, (Maroc) **22** : 161-170.

Feyerherm A.M., Sears R.G., Paulsen G.M., 1992. Utilizing genotype by weather interactions for selecting wheat cultivars. *Agro. J.* **84** : 391-394.

Finlay K.W., Wilkinson G.N.,1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust. J.Agri.Res.* **14**: 742.

Fischer R.A., Maurer R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. 1.Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* **29**, 897–912.

Fischer R.A., 1981. Optimizing the use of water and nitrogen through breeding of crops. *Plant and Soil* **58**, 249–278.

Fischer R.A., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci. (Camb.)* **105**, 447–461.

Fischer R.A., Rees D., Sayre K.D., Lu Z-M., Condon A.G., Larque Saavedra A., 1998. Wheat yield progress is associated with higher stomatal conductance, higher photosynthetic rate and cooler canopies. *Crop Science* **38**, 1467–1475.

Focar M., Nguyen H.T., Blum A., 1998. Heat tolerance in spring wheat. Grain filling. *Euphytica* **104** : 9-15.

Gardner F.P., Pearce R.B., Michell R.L., 1985. Physiology of crop plants. Ames (Iowa, ÉtatsUnis): Iowa State University Press, ; 336 p

Gate P.H., 1995. Ecophysiologie du blé. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 351p.

Gate P., Vignier L., Vadon B., Souici D., Minkov D., Lafarga A., Zairi M., 1996. Céréales en milieu Méditerranéen. Un modèle pour limiter les risques climatiques . *Perspectives Agricoles.* **217** : 59-70.

Gebeyehou G., Knott D.R., Baker R.J., 1982. Relationships among duration of vegetative and grain filling phases, yield components, and grain yield in durum wheat cultivars. *Crop Sci.* **22**, 287-290.

Giunta F., Motzo R., Deidda M., 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* **33**, 399–409.

Hafez Khan A., Ashraf M.Y. et Azmi A.R., 1993. Osmotic ajustement in wheat. A response to water stress. *Pak.J. Sci.ind. res.*, **vol.36, 4**: 151-154.

Hafid R.E., Smith D.H., Karrou M., Samir K., 1998. Morphological attributes associated with early-season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica* **101**, 273–282.

Hafsi M., 2001. Adaptation du blé dur dans les condition des hautes plaines sétifiennes. Thèse de doctorat d'Etat ès-sciences. Faculté des sciences, UFAS, Sétif, Algérie, p 80.

Hafsi M.; P. Monneveux, O. Merah; A. Djekoune; 2001. Carbon isotope discrimination and yield in durum wheat grown in the high plains of Sétif (Algeria). *Secheresse*, **12**:3743,(in English summary),

Hafsi M.; W.F.Pfeiffer ; P. Monneveux; 2003. Flag leaf senescence, carbon isotope discrimination in durum wheat under semi arid conditions. *Cereal Res.Commun*.**31**:161-168.

Hall A.E., Richards R.A, Condon A.G, Wright G.C, Farquhar G.D., 1994. Carbon isotope discrimination and plant breeding. In: Janick J, ed. Plant breeding reviews, Vol. 12. New York: Wiley, 81–113.

Hanson AD., May AM., Grumet R., Bode J., Jamiesson GC., Rhodes D., 1985. Betaine synthesis in chenopods: localization in chloroplast. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 82, 3678-3682.

Harlan J.R., 1975. Crops and man. Eds John Wiley and Sons. NY. 350 pages.

Harrath N.,2003. Analyse génétique de l'intégrité cellulaire et de la vitesse de desséchement foliaire chez le blé dur (*Triticum durum Desf*.). Thèse de Magister. Institut des sciences de la nature, Cente Universitaire Larbi Ben Mhidi, OEB, 50 pages.

Havaux M., 1988. Effect of temperature on the transition between state 1 and 2 in intact maize leaves. *Plant physiol.* **26** : 245-251.

Hay, R.K.M.,Walker, A.J., 1989. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Longman Scientific and Technical, Harlow. Hsu, J.C., 1996. Multiple Comparisons: Theory and Methods. Chapman & Hall, London, p. 277.

Henson I.E., Mahalakchmi V., Bilinger F.R., Alagarswamy G., 1982. Osmotic adjustment to water stress in pearl millet (*Pennistum americanum L. Leeke*) under field conditions. *Plant cell and environment*, **5**, 147-154.

Hinckley T.M., Braatne J., 1994. Stomata. In : Plant-environment interactions. Wilkinson RE, eds. New York : Marcel Dekker Inc, pp. 323-355.

Housley T.L., Kirleis A.W., Ohm H.W., Patterson F.L., 1982. Dry matter accumulation in soft red winter wheat seeds. *Crop Sci*. **22**, 290–294.

Hunt L.A.; van der Poorten G.; Pararajasingham S.; 1991. Post anthesis temperature effects on duration and rate of grain-filling in some winter and spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science* **71**: 609-617.

Hurd E.A., 1974. Phenotype and drought resistance in wheat. *Agricultural Meteorology* **14**: 19-25.

Kamelli A., Losel D.M., 1995. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustement in wheat leaves under stress. *J. Plant Physiol.* **145** : 363-366.

Kellou R., 2008. Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pole de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Aude coop. Thèse de Master of Science du CIHEAM – IAMM n° 93.

Khlestkina E.K., E.A. Salina, 2001. Genome-specific markers of tetraploid wheats and their putative diploid progenitor species. *Plant Breeding,* **120**: 227-232.

Kimber G., E.R. Sears, 1987. Evolution in the Genus *Triticum* and the Origin of Cultivated Wheat. Dans : Heyne, E.G. (éd), *Wheat and Wheat Improvement.* American Society of Agronomy, Madison (WI). P. 31.

Kirby E.J.M., Appleyard M., Fellows G., 1985. Effects of sowing date and varieties on main shoot leaf emergence and number of leaves of barley plant. *Agronomie,* **5** : 117-126.

Korichi M., 1992. Contribution à l'étude de l'ajustement osmotique et de la réponse protéique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Diplôme d'Etudes Approfondies, Bases de la production végétale, Université de Montpellier II. Sciences et Techniques de Lan ;guedoc / Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Monpellier.

Kramer P.J.; 1969. Plant and Soil Water Relationships, Tata McGraw-Hill, Bombay, India, 360 p.

Kribaa M., 2002. Effet de la jachère sur les sols en céréaliculture pluviale dans les zones semi-arides méditerranéennes. Cas des hautes plaines Sétifiennes en Algérie. Thèse d'Etat INA El-Harrach, 170 pp

Krishnamurthy L.V., Vadez M.; Jyotsna Devi R., Serraj S.N., Nigam, Sheshshayee M.S., Chandra R. Aruna, 2007. Variation in transpiration efficiency and its related traits in a groundnut (Arachis hypogaea L.) mapping population, *Field Crops Res*.

Laval-Martin D., Maziliac P., 1979. TP et TD de physiologie végétale Ed. Hermann Paris, 338 p.

Lawlor D.W., 1994. Physiological and biochemical criteria for evaluating genotypic responses to heat and related stresses. In: Saunders D.A., and Hettel G.P, Wheat in heat stressed environments, irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems, Mexico, D.F., Cimmyt, 127- 142

Leclerc JC., 1988. Ecophysiologie végétale. Editions l'université de Saint Etienne. 350 p.

Levitt J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. I chelling, freezing, ad high temperature stresses. 2 ed. Academic press. NY. 640 pp.

Long S.P., Humphries S., Falkowske P.G., 1994. Photoinhibition of Pn in nature. *An. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* **45** : 633-662.

López-Castañeda C., Richards R.A., 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments II. Phasic development and growth. *Field Crops Res*. **37**, 63–75.

López-Castañeda C., Richards R.A., Farquhar G.D., 1995. Variation in early vigor between wheat and barley. *Crop Science* **35**, 472–479.

Ludlow M.M., Muchow R., 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv Agron* ; **43** : 107-53.

Lutts S., Kinet J.M., Bouharmont J., 1986. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oriza sativa L.*) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, **78**: 389-398.

Machado S., E. D. Bynum, T. L. Archer, R. J. Lascano, L. T. Wilson, J. Bordovosky, E. Segarra, K. Bronson, D. M. Nesmith, W. Xu.; 2002. Spatial and temporal variability of corn growth and grain yield: Implications for site-specific farming. *Crop Science* **42**:1564-1576.

Mazouz L., 2006. Etude de la contribution des paramètres phéno morphlogiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum Dsf*.) dans l'étage bioclimatique semi aride. Mémoire de Magister. Dept Agr, Fac Sci, UHL, Batna, Algérie.

Mekhlouf A., Bouzerzour H., Dehbi F., 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 : Procceeding séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides. Oum El Bouaghi, 23 : 75-80.

Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A., Harkati N., 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi- aride. *Sécheresse* (sous presse).

Mekliche Hanifi L., 1983. Etude agronomique, analyse diallèle et cytogénétique de quatre variétés de blé tendre cultivées en Algérie. Thèse de Magister INA, El Harrach, 150 pages.

Merah O.,2000. Carbon isotope discrimination and mineral composition of three organs in durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *Plant biology and pathology*. iscussed.© 2001Académiedes sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. 355-363

Merah O., Monneveux P., Nachit M., Deléens E., 1999. La composition isotopique du carbone, critère intégrateur du fonctionnement phytosynthétique : application à l'amélioration génétique du blé dur en conditions méditerranéennes. *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*. Volume **8**, Numéro **1**, 37.

Merah O., Deleens E., Souyris I., Nachit M., Monneveux P., 2001. Stability of carbon isotope discrimination and grain yield in durum wheat. *Crop Science* **41**, 677–681.

Merah O., Deleens E., Teulat B., Monneveux P., 2001. Productivity and carbon isotope discrimination in durum wheat organs under a Mediterranean climate. C R Acad. Sci. Paris. **324** : 51- 57.

Monneveux P., Nemmar M., 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*T. aestivum* L.) et chez le blé dur (*T. durum* L.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie* : **6**, 583-590.

Monneveux P., 1991. Quelles strategies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hivers. In : l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. AUPELF-UREF. Ed. John Libbey. Eurotest : 165-186.

Monneveux P., This D. 1997. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés : *Sécheresse* n°**1**, vol **8**, 29-37.

Monneveux P., Reynolds M.P., Aguilar J.G., Singh R.P., 2002. Effects of the 7DL-7AJ translocation from Leghopurum elongatum on wheat peld and related morpho-physiological traits under different environments. *Plant breeding*. **122** : 379-384.

Moragues M.; Garcı´a del Moral L.F.; Moralejo M.; Royo, C.; 2006. Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin: II. Biomass production and allocation. *Field Crop. Res*. **95**, 182–193.

Morgan J.A., LeCain D.R., 1991. Leaf gas exchange and related leaf traits among 15 winter wheat genotypes. *Crop Science* **31**, 443–448.

Morgan J.M., 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann Rev. Plant. Physiology* **35** : 299-319.

Morgan J.M., Gordan A.G., 1986. Water use, grain yield and osmoregulation in wheat. *Aust J Plant Physiol* ; **13** : 523-32.

Morgan J.M., Hare R.A., Fletcher R.J., (1986). Genetic variation in osmoregulation in bread and durum wheats and its relationship to grain yield in a range of field environments. *Aust. J. Agric. Res*. 37, 449-457.

Moss D.N., 1975. Studies on increasing photosynthesis in crop plants. In R.H. Burris, C.C. Black (eds) ; CO2 métabolisme and plant productivity. pp 31-41, Univ. Park Press, Baltimore. USA.

Nemmar M., 1980. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*T durum dsf*) et chez le blé tendre (*T aestivum L.*) : étude l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique. Thèse D.A.A. ENSA. Montpellier 63 pp.

O'Leary M.H., 1988. Carbon isotopes in photosynthesis. *Bioscience* **38(5):** 328-336.

Ortiz-Monasterio R.J.I., Dhilon S.S., Fischer R.A., 1994. Date of sowing effects on grain yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India. *Field Crops Res*. **37**, 169–184.

O'toole J.C., Cruz R.T., 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.* **51** : 993-997.

Oweiss Th.Y., Zhang H., 1998. Water use efficiency : index for optimizing supplemental irrigation of wheat in water scarce areas. *J. Applied Irrigation Science.* **33** : 321-336.

Ozturk A., Aydin F., 2004. Effects of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *J. Agron. Crop Sci.* **190**, 93–99

Papadakis J.S., 1932. Ecologie agricole. Eds Jules Duculot. Gembloux. 303 pp.

Passioura J.B., 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of Australian Institute of Agricultural Science*. **43** : 117 - 120.

Paulsen G.M, Heysen E.G., 1983. Grain production of winter wheat after spring freeze injury. *Agro. J.* **75** : 105-107.

Ramdani A., 2004. Impact of Spanish and Italian breeding activities on durum wheat yield and associated morpho-physiological and quality traits throughout the 20th century. Thèse de Ph.D. Département de Production végétale, Université de Lleida, Lleida, Espagne.

Ramos J.M., Garcı´a del Moral L.F., Recalde L., 1985. Vegetative growth of winter barley in relation to environmental conditions and grain yield. *J. Agric. Sci*. **104**, 413–419.

Randall P.J.; Moss H.J.; 1990. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research* **41**: 603-617.

Rebetzke G.J., Condon A.G, Richards R.A, Farquhar G.D., 2002. Selection for reduced carbonisotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. *Crop Science* **42**, 739–745.

Rekika Dj., 1997. Identification et analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en condition de sécheresse chez le blé dur. Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. Thèse de Doctorat. ENSA de Montpellier. 158 p.

Reynolds M.P., Balota M., Delgado M.I.B., Amani I., Fischer R.A., 1994. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant. Physiology*. **21** : 717- 730.

Richards R.A., 1991. Crop improvement for temperate Australia : future opportunities. *Field. Crops Res.* **26**:141–169.

Richards R.A., Rebtzke G.J., Van Herwaardlen A.F., Dugganb B.L., Condon A.G., 1997. Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture.* **36** : 254 - 266.

Richards R.A., Rebetzke G.J, Condon A.G, Van Herwaarden A.F., 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci* **; 42** : 111-121.

Ritchie S.W., Yeu N.G., Holaday A.S., 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes. Differing in drought resistance. *Crop Science*. **30** : 105-111.

Rouabhi A., 2008. Efficacité d'utilisation de l'eau et sélection de variétés de blé dur sous les conditions du climat semi aride. Mémoire de Magister, Département d'Agronomie, Université FERHAT ABBAS. SETIF.

Royo C., Villegas D., Garcia del Moral L.F., Elhani S., Aparicio N., Rharrabti Y., Araus J.L. 2002. Comparative performance of carbon isotope discrimination and canopy temperature depression as predictors of genotype differences in durum wheat yield in Spain. *Australian Journal of Agricultural Research* **53**, 561–569.

Salsac L., et Monneveux P., 1991. Relation entre la nutrition minirale et la tolérance au déficit hydrique. In : Physiology-breeding of winter cereals for stressed mediteranean environments. Acevado E., Conesa A.P., Monneveux P. and Srivastva J.P. (eds.). *Colloque* n° **55**, INRA, Paris, 49-66.

Savin R., Slafer G.A., 1991. Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar. J. *Agric. Sci. (Camb.)* **116**, 1–7.

Sayre K.D, Acevedo E., Austin R.B., 1995. Carbon isotope discrimination and grain yield for three bread wheat germplasm groups grown at different levels of water stress. *Field Crops Research* **41**, 45–54.

Schilling A.S., A.O. Abaye, C.A. Griffeya, D.E. Branna, M.M. Alleya et T.H. Prid gena., 2003. Adaptation and Performance of Winter Durum Wheat in Virginia. *Agron J.*, **95**: 642-651.

Semcheddine N., 2007. Utilisationde la discrimination isotopique du carbone comme critère de sélection du blé dur en relation avec le bilan hydrique. Mémoire de Magister, Département d'Agronomie, Université FERHAT ABBAS. SETIF, 101 pages.

Shanahan J.F., Smith D.H., Welsh J.R., 1984. An analysis of post-anthesis sink-limited winter wheat grain yields under various environments. *Agron. J.*, **76**: 611-615.

Shorter R.; R.J. Lawn, G.L. Hammer; 1991. Improving genotypic adaptation in crops-A role for breeders, physiologist and modellers. *Experimental Agriculture* **27** : 155-175.

Siddique K.H.M., Kirby E.J.M., Perry M.W., 1989. Ear to stem ratio in old and modern wheats: relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Res*. **21**, 59–78.

Simane B., Peacock J.M., Struik P.C., 1993. Differences in development plasticity growth rate among drought. Resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum L. var.durum). Plant and Soil,* **157** : 155-166.

Slafer G.A., Andrade F.H., 1989. Genetic improvement in wheat bread (*Triticum aestuvum L*.) yield in Argentina. *Field Crops Res*. **21**, 289–296.

Slafer G.A., Andrade F.H., 1993. Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crop Res.* **31**, 351–367.

Slafer G.A., Rawson H., 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologist and modellers. *Aust. J. Plant Physiol.* **21**, 393–426.

Slama A., 2002. Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.

Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M., Zid B., 2005. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* ; **16 (3)** : 225-9.

Sofield I.; Evans L.T.; Cook M.G.; Wardlaw I.F.; 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* **4**: 785-797.

Stone P.J., Nicolas M.E., 1995. A survey of the effects of high temperature during grain fill on yield and quality of 75 wheat cultivars. *Aust. J. Agro. Res.* **46** : 475-492.

Stone P.J.; Savin R.; Wardlaw I.F.; Nicolas M.E.; 1995. The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat I. Grain growth. *Australian Journal of Plant Physiology* **22**: 945-954.

Sullivian C.Y., Ross W.M. 1979. Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. In: Stress physiology in crop planted, H. Mussel and R.C. Staples, Eds, A John Willey and Sons Publication: 263-281.

Sutka J., 1994. Genetic control of frost tolerance in wheat. *Euphytica* **77** : 277-282.

Talamali L., La nouvelle république du 23, 24 et 26 septembre 2004 - La libéralisation du marché des céréales en Algérie. [En ligne]. In : http://www.Algerie-dz.com.

Talbert L.E., N.K. Blake, E.W. Storlie et M. Lavin., 1995. Variability in wheat based on lowcopy DNA sequence comparisons. *Genome*, **38**: 951-957.

Tambussi E.A., Bort J., Araus J.L., 2007. Water use efficiency in C3 cereals under Mediterranean conditions: a review of physiological aspects. Ann Appl Biol 150, pp 307–321

Tanner C.B., Sinclair T.R., 1983. Efficient water use in crop production: research or re-search? In: Taylor HM, Jordan WR, Sinclair TR, eds. Limitations to efficient water use in crop production. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA, 1–27.

Tardieu F., Dreyer E., 1997. Régulation des échanges gazeux par les plantes soumises à la sécheresse. In L'eau dans l'espace rural. Production végétale et qualité de l'eau. edited by INRA Éditions. Institut National de Recherche Agronomique. pp. 41-5.

Tashiro T.; Wardlaw I.F.; 1990. The response to high temperature shock and humidity changes prior to and during the early stages of grain development in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* **17**: 551-561.

Triboi E., Planchon J., Magne J., 1985. Déterminisme du poids moyen du grain chez le blé. Effet sur la variation du rendement. *CR Acad. Agri de France.* **71** : 871-886.

Turner N.C., 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crops plants. in : Stress Physiology in Crop Plants, Mussell, H. et Staples, R.C. (éds). Wiley Intersciences, New York, pp. 303-372.

Turner N.C., 1986. Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol;* **13** :175-90.

Turner N.C.,1997. Further progress in crop water relations. *Adcences in Agronomy* **58**: 293 338.

Turner N.C., Wright GC, Siddique K.H.M., 2001. Adaptation of grain legume to water-limited environments. *Adv Agron ;* **71** : 193-231.

Van Oosterom E.J., Ceccarelli S., Peacock J.M., 1993. Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean envionments. *Journal of Agricultural Sciences Cambridge* **121** : 304-313

Van Slageren M.W., 1994. *Wild wheats: a monograph of Aegilops L. and Amblyopyrum (Jaub. & Spach) Eig (Poaceae).* Wageningen Agriculture University Papers, 1994(7).

Villegas D., Aparicio N., Blanco R., Royo C., 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Annals Bot.* **88**, 617–627.

Voltas J., Romagosa,I., Lafarga, A., Armesto,A.P., Sombrero, A., Araus, J.L., 1999. Genotype by environment interaction for grain yield and carbon isotope discrimination of barley in Mediterranean Spain. *Australian Journal of Agricultural Research* **50**, 1263–1271.

Waddington S.R., Osmanzai M., Yoshida M., Ransom J.K., 1987. The yield of durum wheats released in Mexico between 1960 and 1984. *J Agric Sci Camb* **108**: 469–477.

Wall AM, R. Ripley, M.D. Gale, 1971. The position of a locus on chromosome 5B of *Triticum aestivum* affecting homoeologous meiotic pairing. *Genet Res.,* **18**: 329-339.

Wang G.Z., N.T. Miyashita, K. Tsunewaki, 1997. Plasmon analyses of *Triticum* (wheat) and *Aegilops:* PCR-single-strand conformational polymorphism (PCR-SSCP) analyses of organellar DNA. *PNAS.,* **94**: 14570-14577.

Wang Z.; Li S.; Vera C.L.; Malhi S.S.; 2005. Effects of water deficit and supplemental irrigation on winter wheat growth, grain yield and quality, nutrient uptake, and residual mineral nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. **36,** 1405–1419.

Wardlaw I.F.; Dawson I.A.; Munibi, P.; Fewster, R.; 1989; The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. II. Survey procedures and general response patterns. *Australian Journal of Agricultural Research* **40:** 1-13.

Wardlaw I.F.; Moncur L.; 1995. The response of wheat to high temperature following anthesis. I.The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology* **22**: 391-397.

Wardlaw I.F., 2002. Interaction between drought and high temperature during grain filling in wheat in controlled environments. *Annals of Botany*. **90** 469-476.

Wartinger A., Heilmeier H., Hartung W., Schultze E.D., 1990. Daily and seasonal courses of leaf conductance and abcisic acid in the sylem sap of almond trees (*Prunus dulcis M.)* under desert conditions. *New Phytol*. **116** : 581-587.

Wheeler T.R.; Hong T.D.; Ellis R.H.; Batts G.R.; Morison J.I.L.; Hadley P.; 1996. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (Triticum aestivum) in response to temperature and CO2. *Journal of Experimental Botany* **47**: 623-630.

Yaklef N., 2001. Photosynthèse, activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum Dref*). Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri, Constantine. 146 P.

Annexe

Annexe 1. Analyse de variance des variables mesurées.

Coefficient de tallage					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Bloc	3	0,00126	0,00042	0,113	0,952
Bariété	7	0,0193	0,00276	0,742	0,64
Résiduel	21	0,078	0,00371		
Total	31	0,0986	0,00318		

Nombre épis / m²					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Bloc	3	4726,563	1575,521	1,151	0,352
Variété	7	33078,125	4725,446	3,451	0,013
Résiduel	21	28753,906	1369,234		
Total	31	66558,594	2147,051		

Tallage épis					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Bloc	3	0,106	0,0355	1,102	0,37
Variété	7	1,284	0,183	5,704	<0,001
Résiduel	21	0,676	0,0322		
Total	31	2,066	0,0667		

Hauteur					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Bloc	3	99,449	33,15	6,257	0,003
Variété	7	5990,311	855,759	161,524	<0,001
Résiduel	21	111,259	5,298		
Total	31	6201,019	200,033		

NG/Epi					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Bloc	3	12,968	4,323	1,248	0,318
Variété	7	223,526	31,932	9,218	<0,001
Résiduel	21	72,746	3,464		
Total	31	309,24	9,975		

Biomasse aérien					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**

Bloc	3	95668,896	31889,632	6,237	0,003
Variété	7	234144,092	33449,156	6,542	<0,001
Résiduel	21	107379,15	5113,293		
Total	31	437192,139	14102,972		

PMG					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Bloc	3	16,666	5,555	0,549	0,654
Variété	7	1267,887	181,127	17,891	<0,001
Résiduel	21	212,602	10,124		
Total	31	1497,155	48,295		

RDT (Kg/ha)					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Bloc	3	876953,125	292317,708	6,516	0,003
Variété	7	2483984,38	354854,911	7,91	<0,001
Résiduel	21	942109,375	44862,351		
Total	31	4303046,88	138807,964		

Harvest Index					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Variété	7	0,0411	0,00587	13,79	<0,001
Bloc	3	0,00528	0,00176	4,137	0,019
Résiduel	21	0,00894	0,000426		
Total	31	0,0553	0,00178		

Surface Foliaire					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Variété	7	266,774	38,111	3,658	0,008
Résiduel	24	250,070	10,420		
Total	31	516,843			

Poids Spécifique					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Variété	7	0,0000291	0,00000416	0,323	0,936
Résiduel	24	0,000309	0,0000129		
Total	31	0,000338			

50 s					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**

Variété	7	11513,395	1644,771	76,495	<0,001
Résiduel	16	344,028	21,502		
Total	23	11857,424			

Vsa					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Variété	7	0,0670	0,00957	0,994	0,470
Résiduel	16	0,154	0,00962		
Total	23	0,221			

Vs max					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Variété	7	0,762	0,109	6,484	<0,001
Résiduel	16	0,269	0,0168		
Total	23	1,030			

Sa %					
Source of Variation	**DF**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
Variété	7	458,919	65,560	58,268	<0,001
Résiduel	16	18,002	1,125		
Total	23	476,921			

Résumé :

Huit variétés de blé dur représentant une diversité de caractéristiques agronomiques, ont fait l'objet d'une évaluation de la relation entre la discrimination isotopique du carbone (CID) et le rendement grain d'une part et d'autre part l'évaluation de la relation entre le CID et le poids spécifique de la feuille drapeau dans la région de Sétif .L'étude comporte deux anciennes variétés locales (Polonicum, Oued Zenati) et six lignées avancées de blé dur du programme d'amélioration CIMMYT/ICARDA. Une synthèse a fait également l'objet de la relation du CID comme critère de sélection en relation

avec les performances de l'ensemble des variétés de blé dur étudiées . Les résultats de notre expérimentation montrent que les génotypes qui ont subit moins de stress hydrique à l'épiaison sont plus précoces (Mexicali, Altar, Waha...etc..) contrairement aux génotypes tardifs (Oued Zenati et Polonicum) qui ont subit plus de stress hydrique durant la phase terminale de remplissage du grain. Les meilleurs rendements en grains ont été enregistrés par les génotypes précoces grâce à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau . L'association du CID avec le poids spécifique de la feuille drapeau n'a pas été mise en évidence dans cette étude. Il semble que le sous-ensemble de cultivars modernes obtenus par le programme de sélection de blé dur du CIMMYT / ICARDA a en moyenne, une valeur de CID supérieure (16,78 ‰) que le sous-ensemble des cultivars locaux (15.82 ‰) dans la partie synthèse. Globalement, les résultats ont confirmé que la relation entre la discrimination isotopique du carbone et le rendement en grains rapporté par plusieurs auteurs sous le climat méditerranéen est instable dans nos conditions et souligne la nécessité d'une définition précise des conditions environnementales.

Mots clés *:* Sélection, blé, efficacité d'utilisation de l'eau, discrimination isotopique du carbone, Sétif.

Abstract:
Eight durum wheat genotypes representing a diversity of agronomic characteristics, were the object of an evaluation of the relationship between carbon isotope discrimination (CID) and grain yield in semi arid stage of the Setif region during the crop year 2008-09. The study included two old local cultivars (Polonicum, Oued Zenati) and six advanced lines from the CIMMYT / ICARDA durum wheat breeding program. The specified of this work is that he provides a synthesis on the value of CID as a criterion of selection in relation with the performances of all the varieties of durum wheat studied in semi dry environment. The results showed that genotypes which have suffered less of drought stress at heading are more earlier (Mexicali, Altar, Waha ... etc..). Contrary to the late genotypes (Oued Zenati and Polonicum) which have undergoes more water stress. The early genotypes realized the best grain yields and they have a better water use efficiency for grain production, and it seems that the sub-set of modern cultivars obtained by the CIMMYT / ICARDA durum wheat breeding program has on average, a Δ value higher (16.78 ‰) than the subset of local cultivars (15.82 ‰). The results of the synthesis establish confirmed that the relationship between carbon isotope discrimination and grain yield reported by several authors under Mediterranean climate is unstable in our conditions and it needs for a precise definition of environmental conditions.

Keywords: Selection, wheat, water use efficiency, carbon isotope discrimination, Sétif.

الملخص:

ثمانية أصناف من القمح الصلب ذات تنوع من حيث الصفات الزراعية, كانت موضع تقييم للعلاقة بين تمييز نظير الكربون والمردود الحبي في الوسط الشبه الجاف لمنطقة سطيف خلال السنة الزراعية 08-2009. تضمنت الدراسة صنفين محليين قديمين (Polonicum, Oued zenati) وستة سلالات متقدمة من برنامج التحسينCIMMYT/ ICARDA . إن خاصية هذا العمل تكمن في تقديمه لمجمل أو ملخص عن قيمة تمييز نظير الكربون كمعيار انتخاب أو انتقاء بالنسبة لأداء جميع أصناف القمح الصلب المدروسة في المناطق الشبه الجافة. أظهرت النتائج أن الأصناف التي تعرضت قليلا للإ جهاد المائي في مرحلة التسبيل هي الأكثر إبكارا(Waha, Altar, Mexicali,…) على عكس الأصناف المتأخرة (Polonicum, Oued zenati) التي عانت من الإجهاد المائي. حققت الأصناف المبكرة أكبر محاصيل الحبوب و أفضل كفاءة استخدام المياه لإنتاج الحبوب كما تميزت على العموم بقيمةΔ (‰ 16.78) أعلى من الأصناف المحلية (‰ 15.82). أكدت نتائج التقرير أو الملخص المنجز أن العلاقة بين التمييز نظير الكربون والمردود الحبي التي أبلغ عنها العديد من المؤلفين تحت مناخ البحر الأبيض المتوسط غير مستقرة في ظل ظروفنا وتشدد على ضرورة وضع تعريف دقيق للظروف البيئية.

كلمات مفتاحيّة : انتخاب,القمح ,كفاءة استخدام المياه ، تمييز نظير الكربون، سطيف