

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

UNIVERSITE EL-HADJ LAKHDAR – BATNA



FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MEMOIRE DE MAGISTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Intitulé : Valorisation et Préservation des Ecosystèmes Arides
Option : Agrotechnie

Sujet :

Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans
l'adaptation du blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans l'étage
bioclimatique semi aride

Présenté par : MAZOUZ Lakhdar

Soutenu publiquement le : 14 Décembre 2006.....

Devant le jury composé de :

Mr B. OUDJEHIH
Mr H. BOUZERZOUR
Mr M. LAAMARI

M .C. - Université de Batna: Président
Prof.- Université de Sétif : Rapporteur
M. C.- Université de Batna : Examineur

Année : 2006



Remerciements

Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa mésirecorde, ce travail n'aura pas abouti.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à Monsieur Bouzerzour H, qui a fait preuve d'une grande patience et a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique m'ont permis de mener à terme ce projet. Son encadrement était des plus exemplaires. Qu'il trouve ici, le témoignage d'une profonde gratitude.

Mes vifs remerciements vont aussi à Monsieur Oudjehih B pour avoir bien voulu présider le jury. Monsieur Yahia A pour avoir accepté de juger ce travail. Monsieur Laamari M pour avoir bien voulu faire partie du jury. Monsieur Benmehammed A pour avoir participé à l'évaluation de ce travail.

Au personnel de l'ITGC de Sétif ainsi que celui de l'ITCMI d'Oum El Bouaghi.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail, je dis **merci !**

Résumé

Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (Triticum durum Desf.) dans l'étage bioclimatique semi aride

La présente étude a été conduite au cours de l'année universitaire 2002/2003, sur les sites expérimentaux de la station ITGC de Sétif et de l'ITCMI d'Oum El Bouaghi. Elle a pour objectif la mise en évidence du rôle de quelques paramètres phénologiques et morphologiques comme la durée de la période végétative, la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison et la hauteur du chaume dans l'adaptation d'une vingtaine de génotypes de blé dur (Triticum durum Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Le matériel végétal a été mis en place dans un dispositif en blocs avec trois répétitions sur le site de Sétif et une seule répétition sur celui d'Oum El Bouaghi. Les mesures ont porté sur la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison, la durée de la phase végétative, le rendement et ses composantes, l'efficacité d'utilisation par la biomasse et le rendement des eaux de pluie, la vitesse de croissance végétative. Pour le site d'Oum El Bouaghi, en plus de ces paramètres, la teneur relative en eau (TRE) et la teneur en protéines du grain (TPG) ont été mesurées. Les résultats indiquent qu'un haut rendement est issu de la réalisation d'un nombre élevé de grains par mètre carré, le nombre de grains/m² et la hauteur du chaume contribuent fortement à la formation de la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison, La biomasse aérienne et l'indice de récolte de par leurs effets directs assez élevés participent à l'élaboration du rendement.

Mots clés : blé dur (Triticum durum), adaptation, biomasse à l'épiaison, hauteur du chaume, rendement, indice de récolte, semi-aride, période végétative.

ملخص

العنوان : دراسة مساهمة الخصائص الفينولوجية و المورفولوجية في تأقلم القمح الصلب
(Triticum durum Desf.) تحت المناخ شبه الجاف .

أُنجزت هذه الدراسة خلال العام الجامعي 2003/2002 على مستوى محطة الأبحاث الزراعية للمحاصيل الكبرى (ITGC) بسطيف و نظيرتها بالمعهد التقني للخضر و المحاصيل الصناعية بأم البواقي . تهدف الدراسة إلى إبراز الدور الذي تلعبه بعض الخصائص الفينولوجية و المورفولوجية مثل طول الفترة الخضرية ، الكتلة الإحيائية المتراكمة في مرحلة الإسبال و طول الساق في تأقلم عشرين نمطا وراثيا من القمح الصلب في منطقة المناخ شبه الجاف . تم زرع هذه الأنماط وفقا للتصميم التجريبي المتمثل في القطاعات الكاملة الموزعة بثلاثة مكررات بسطيف و بمكرر واحد بأم البواقي . تمثلت القياسات في الكتلة الإحيائية في مرحلة الإسبال طول الفترة الخضرية ، المردود و مكوناته نجاعة إستعمال مياه الأمطار لإنتاج المردود و الكتلة الإحيائية ، سرعة النمو الخضري ، المحتوى النسبي للماء و نسبة البروتينات في الحبة . تشير النتائج المحصل عليها إلى أن المردود العالي هو نتيجة تكوين عدد الحبات بالمتربع، هذا الأخير يساهم مع طول الساق في تكوين الكتلة الإحيائية في مرحلة الإسبال التي بدورها تساهم إلى حد بعيد إلى جانب مؤشر الحصاد في تكوين المردود النهائي .

الكلمات المفتاحية : قمح صلب ، تأقلم ، الكتلة الإحيائية أثناء الإسبال ، طول الساق ، المردود، مؤشر الحصاد ، شبه جاف .

Summary

Study of the contribution of phenological and morphological traits to the adaptation of durum wheat (*Triticum durum*. Desf) under semi-arid conditions.

The present investigation was conducted during the 2002/2003 academic year on the ITGC experimental of Setif and the ITCMI experimental of Oum El Bouaghi. The objective was to investigate of the contribution of some phenological and morphological traits such as the duration of the vegetative phase, above ground biomass accumulated at heading and plant height to the adaptation of twenty varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid conditions. plant material was grown in a randomized complete blocs design with three replications at Setif site and with only one replication at Oum El Bouaghi site. Measured traits were crop dry matter accumulated at heading, duration of vegetative period, grain yield and yield components, water use efficiency to produce above ground biomass and grain yield, crop growth rate. At Oum El Bouaghi experimental site were measured too, leaf relative water content and grain protein content. The results showed that high yield was due to the contribution of high grain number /m². grain number/m² and plant height contributed at heading. Biomass and harvest index showed significant direct effects on grain yield formation.

Key words: durum wheat, adaptation, biomass, plant height, grain yield, harvest index, semi-arid.

Liste des tableaux

- **Tableau -1-** Production ($\times 10^6$ T) mondiale de blé dur. (CIC, 2000).
- **Tableau-2-** Production, consommation et importations ($\times 10^3$ T) du blé dur en Afrique du Nord (CIC, 2000).
- **Tableau - 3-** Caractéristiques des grandes zones de production des céréales Algériennes. (MADR, 1992).
- **Tableau -4 -** Ecart entre les besoins en eau et la pluviométrie du cycle de la culture de blé dur de la région de Sétif. (Oudina et al, 1988).
- **Tableau -5-** Listes des variétés de blé dur étudiées, origine et randomisation au champ.
- **Tableau -6-** valeurs moyennes des variables mesurées sur les deux sites expérimentaux de Sétif et Oum El Bouaghi.
- **Tableau -7-** Valeurs moyennes des variables mesurées caractéristiques des 4 géotypes à haut (HRDT) et à faible rendement grain (FRDT) sur les deux sites expérimentaux de Sétif et Oum El Bouaghi.
- **Tableau -8-** Coefficients de simple corrélation entre les variables mesurées par site et inter-sites (au dessous = Sétif, au dessus =OEB, diagonale = inter-sites).
- **Tableau -9-** Effets directs et indirects des variables contribuant à la formation de la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison.
- **Tableau -10-** Effets directs et indirects des variables contribuant à la formation du rendement grain.
- **Tableau -11-** surface foliaire, poids spécifique foliaire et teneur relative en eau des blés durs testés sur le site d'Oum El Bouaghi.
- **Tableau -12-** valeurs moyennes des variables mesurées sur feuillage au site d'Oum El Bouaghi.
- **Tableau -13-** coefficients de simple corrélation entre les variables mesurées sur feuillage et le rendement, la biomasse à épiaison et la hauteur du chaume sur le site d'Oum El Bouaghi.

- **Tableau -14-** caractéristiques du feuillage pour les 04 meilleurs génotypes sur le site d'Oum El Bouaghi.
- **Tableau -15-** taux de protéines pour les 04 meilleurs génotypes (OEB).

Liste des annexes

- **Annexe -1-** précipitations (P, mm) et température (T° c) moyennes mensuelles de la campagne 2002/2003 du site expérimental d'Oum El bouaghi. (ITCMI, 2003).
- **Annexe -2-** valeurs génotypiques des variables mesurées sur le site d'Oum El Bouaghi.
- **Annexe -3-** carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des caractères mesurés sur le site de Sétif.
- **Annexe -4-** moyennes génotypiques des variables mesurées sur le site de Sétif.
- **Annexe -5-** paramètres du feuillage sur le site d'Oum El Bouaghi.
- **Annexe -6-** taux de protéines du grain des 20 génotypes sur le site d'Oum El Bouaghi.

Liste des figures

- **Figure-1**- Origine génétique du blé dur (Triticum durum Desf.) (Croston et Williams, 1981).
- **Figure-2**- Production et consommation du blé dur en Algérie. (CIC, 2000).
- **Figure-3**- Importations du blé dur selon l'origine par l'Algérie. (CIC, 2000).
- **Figure-4**- Importations du blé dur et de la semoule par l'Algérie. (CIC, 2000).
- **Figure-5**- cycle de développement du blé. (Henry et De Buyser, 2000)
- **Figure-6**- Mécanismes de résistance des plantes aux stress abiotiques. (El Jaafari et Paul, 1993).
- **Figure - 7** - origine de la proline accumulée sous stress. (Mekhlouf, 2000).
- **Figure-8**- essai installé à Sétif. (station ITGC).
- **Figure-9**-essai blé dur d'Oum El Bouaghi. (station ITCMI).
- **Figure -10- A** : variation des précipitations mensuelles de la campagne 2002/2003 sur les sites expérimentaux de Oum El Bouaghi et Sétif.
- **Figure -10-B** : variation de la température mensuelle de la campagne 2002/2003 sur les sites expérimentaux de Oum El Bouaghi et sétif.
- **Figure-11**- Performances de rendement grain de génotypes a adaptations spécifique (Belikh2 et Waha) et large (Mrb5 et Bicre).
- **Figure -12**- Modèles d'élaboration du rendement du blé dur testés.

Liste des abréviations

Abréviation	explication
PSII :	photosystème II.
EUE :	efficience de l'utilisation de l'eau.
Wt :	eau totale consommée.
BIO :	biomasse aérienne
QTL :	quantitative traits loci (loci des caractères quantitatifs).
ADN :	acide désoxyribonucléique.
ITCMI :	Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles.
ITGC :	Institut Technique des Grandes Cultures.
OEB :	Oum El Bouaghi.
NE (m ²)	nombre d'épis par mètre carré.
PMG (g)	poids de mille grains.
NGM (/m ²) :	nombre de grains par mètre carré.
NGE :	nombre de grains par épi.
HT (cm):	hauteur du chaume en centimètres.
PVG (j) :	durée de la période végétative en jours.
HI (%) :	indice de récolte.
RDT (g/m ²)	rendement en grammes par mètre carré.
BOE (g/m ²)	biomasse à l'épiaison.
BOM (g/m ²)	biomasse à maturité.
VCV (g/m ² /j	vitesse de croissance végétative.
EUR (g/m ² /mm) :	efficience d'utilisation des eaux
EUB (g/m ² /mm)	efficience d'utilisation des eaux pluviales par la biomasse aérienne à maturité.
HRDT :	haut rendement.
FRDT :	faible rendement.

<u>SOMMAIRE</u>	PAGE
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
1-LA CULTURE DU BLE DUR: HISTORIQUE, ORIGINE ET CLASSIFICATION	3
2- IMPORTANCE DE LA CULTURE DU BLE DUR	4
2-1- DANS LE MONDE	4
2-2-EN ALGERIE	7
3- LES ZONES DE PRODUCTION DU BLE DUR EN ALGERIE	9
4-BIOLOGIE ET CYCLE VEGETATIF DU BLE DUR	10
4-1- LES STADES ET PHASES REPERES	11
4.1.1 GERMINATION-LEVEE	11
4.1.2 TALLAGE	12
4.1.3 MONTAISON-GONFLEMENT	12
4.1.4 EPIAISON- FLORAISON	12
4.1.5. REMPLISSAGE DU GRAIN	13
3-2- L'ITINERAIRE DE L'ELABORATION DU RENDEMENT	14
GRAIN	
3-2-1- LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES	14
3-2-2- LA BIOMASSE AERIENNE ET LA HAUTEUR DU CHAUME	16
3-2-3- LA DUREE DU CYCLE DE CROISSANCE-DEVELOPPEMENT	18
5- STRESS ABIOTIQUES ET EFFETS SUR LA PLANTE	19
5-1-STRESS ABIOTIQUES	19
5-1-1- L'ECLAIREMENT	19
5-1-2- LA TEMPERATURE	20
5-1-2-1- LES BASSES TEMPERATURES	20
5-1-2-2- LES TEMPERATURES ELEVEES	21
5-1-2-3- LE STRESS HYDRIQUE	22
→EFFETS DU STRESS HYDRIQUE AU NIVEAU DE LA PLANTE	22
→EFFETS DU STRESS HYDRIQUE AU NIVEAU CELLULAIRE	23
6- MECANISMES D'ADAPTATION AUX STRESS ABIOTIQUES	23
6-1- L'ESQUIVE COMME MECANISME D'ADAPTATION AU MILIEU	25
6-2- MORPHOLOGIE DE LA PLANTE ET ADAPTATION AU MILIEU	26
6-3- PHYSIOLOGIE DE LA PLANTE ET ADAPTATION AU MILIEU	28
7- SELECTION POUR L'ADAPTATION ET SELECTION POUR LE RENDEMENT	35

CHAPITRE-II- MATERIEL ET METHODES	
1-LOCALISATION ET MISE EN PLACE DE L'EXPERIMENTATION	41
2- SUIVI ET NOTATIONS	43
3- ANALYSE DES DONNEES	45
CHAPITRE III- RESULTATS ET DISCUSSION	
1-CLIMAT DES SITES EXPERIMENTAUX DE LA CAMPAGNE 2002/03	46
2- COMPORTEMENT GENOTYPIQUE INTRA- ET INTER-SITES	47
3- LIAISONS ENTRE LES VARIABLES INTRA- ET INTER- SITES	50
4- LIAISONS ENTRE LA HAUTEUR DU CHAUME, LA DUREE DE LA PHASE VEGETATIVE, LA BIOMASSE ACCUMULEE AU STADE EPIAISON ET LE RENDEMENT	52
5-PARAMETRES DU FEUILLAGE SUR LE SITE D'OUUM EL BOUAGHI	59
6- TAUX DE PROTEINES DU GRAIN	62
- CONCLUSION	64
- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	66
- ANNEXE	81

INTRODUCTION

L'Algérie importe actuellement jusqu'à $3,5 \times 10^6$ T de blé dur. Le rendement grain national de cette culture est le plus faible du bassin méditerranéen (Belaid, 2000). La majeure partie des emblavures se trouve localisée sur les hautes plaines caractérisées par l'altitude, des hivers froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier. La pluviométrie et les températures sont sujettes à de grandes variations intra et inter-annuelles, qui affectent sérieusement les rendements (Bouzerzour *et al.* 2002).

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 basses températures hivernales et printanières qui handicapent le plus cette spéculation (Annichiarico *et al.* 2002, Annichiarico *et al.* 2005). Tout progrès sensible des agrosystèmes basés sur cette culture, dans l'étage bioclimatique semi-aride, semble conditionné par l'amélioration de l'efficacité de l'eau (Richards *et al.* 1997).

L'utilisation de variétés locales bien adaptées aux conditions les plus difficiles, mais possédant un faible potentiel de rendement grain est presque de règle, alors que l'adoption des nouvelles obtentions reste conditionnée par la stabilité de la production et la gestion du risque (Merah *et al.* 1999, Bahlouli *et al.* 2005a). Les contraintes abiotiques souvent mises en cause sont les basses températures printanières (gel tardif), la sécheresse (déficit hydrique) et les hautes températures terminales (Mekhlouf *et al.* 2005, Bahlouli *et al.* 2005a).

La sélection variétale est pratiquée sur la base du rendement grain (Mekhlouf et Bouzerzour, 1998). Les résultats de plusieurs études s'accordent à montrer que le rendement grain est un caractère très variable, polygénique de nature, de faible héritabilité et le plus souvent soumis à de fortes interactions génotype x lieu (Bouzerzour et Dekhili, 1995). L'efficacité de la sélection peut être

augmentée si des caractéristiques physiologiques et/ou morphologiques liées au rendement grain peuvent être identifiées et utilisées comme des critères de sélection indirecte (Acevedo et al, 1991, Richards *et al.* 1997, Sayre *et al.* 1998).

Le recours à des caractères agronomiques, utilisables en parallèle avec le rendement grain, dans le cadre d'une approche intégrative, pourrait constituer une méthode efficace dans la recherche d'une meilleure stabilité de la production (Benmahammed *et al.* 2005, Bensemmane et Bouzerzour, 2005). L'étude de la stabilité du rendement grain nécessite de lier la notion de régularité de production à des caractéristiques facilement mesurables sur la plante.

Plusieurs caractères adaptatifs, d'ordres morphologiques, phénologiques et physiologiques, participent à l'amélioration de la tolérance aux stress abiotiques. Ils donnent, de ce fait, une certaine régularité à la production en milieux variables (Eljaafari *et Paul.* 199; Boukeria, 2004; Bahlouli *et al.* 2005b).

La présente recherche se propose comme objectif d'étudier les rôles joués par la durée du cycle, la biomasse à l'épiaison et la hauteur du chaume dans la minimisation de la variation du rendement grain sous conditions climatiques variables des hautes plaines orientales.

CHAPITRE I- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1-LA CULTURE DU BLE 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 tétraploïde, remontant au VII^{ième} millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (Harlan, 1975).

Le blé dur est une espèce connue depuis la plus haute antiquité. Elle appartient au groupe tétraploïde, du genre *Triticum* qui comprend de nombreuses espèces. Le blé avec le riz (*Oriza* L.) et le maïs (*Zea mays* L.) constituent la base alimentaire des populations du globe. Ils semblent avoir une origine commune, issues d'une même espèce ancestrale qui aurait contenu tous les gènes dispersés chez les trois espèces actuelles (Yves et De Buyser, 2000).

Selon Mckee (1968), l'origine génétique du blé dur remonte au croisement entre deux espèces ancestrales *Triticum monococcum* et une graminée sauvage du nom de *Aegilops speltaoides*. Le blé dur, *Triticum durum*, appelé ainsi en raison de la dureté de son grain, possède, à l'inverse des espèces ancestrales originaires de Syrie et de Palestine, $2n=4x=28$ chromosomes. Le nombre chromosomique de base, hérité du genre *Triticum monococcum* est désigné par A et celui dérivé de l'*Aegilops* est dénommé B, de sorte que *Triticum durum* a une garniture chromosomique désignée par AB (Figure 1).

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 roche Orient. Chaque centre secondaire donna naissance à des groupes de variétés

botaniques aux caractéristiques phénologique, 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 basses 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).

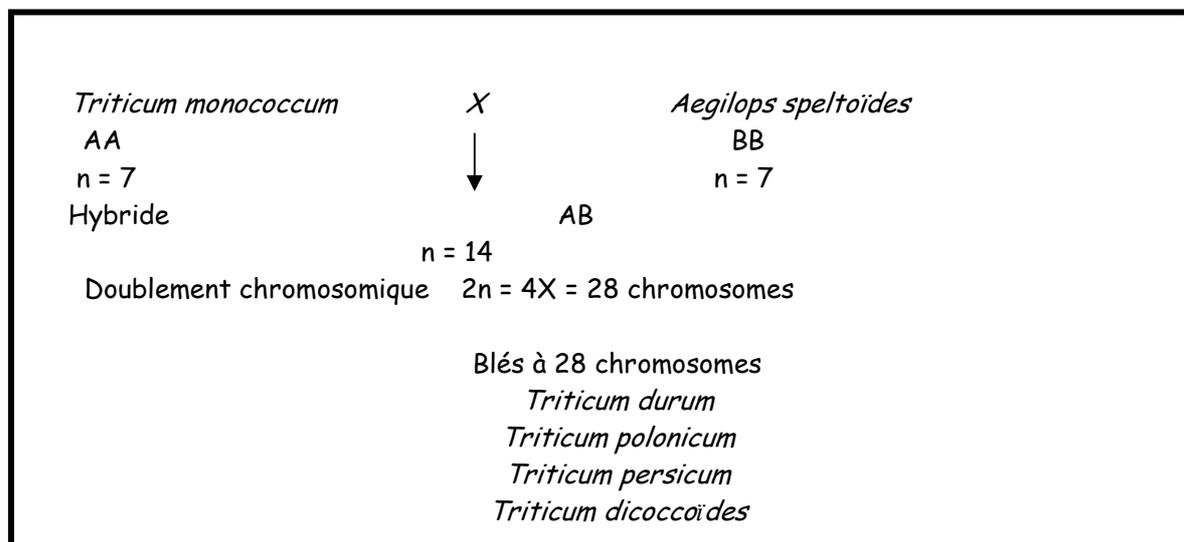


Figure-1- Origine génétique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Croston et Williams, 1981)

2- IMPORTANCE DE LA CULTURE DU BLE DUR

2-1- DANS LE MONDE

Les blés constituent la première ressource en alimentation humaine, et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles (Bonjean et Picard, 1990). La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par les aliments en grain dont 95 % sont produits par les principales cultures céréalières.

Les blés et le riz sont, sans doute, les plus importants en terme de superficies consacrées à leur production, avec 51 % de la superficie annuelle allouées aux céréales principales (FAO, 1977). Le blé dur représente environ 8% des superficies cultivées en blés dans le monde dont 70 % sont localisées en conditions méditerranéennes (Monneveux, 2002). La Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et les pays d'Afrique du Nord sont, en effet, parmi les principaux producteurs (Merah *et al.* 1999).

Le conseil international des céréales (CIC) évalue la production mondiale de blé dur pour 1999-2000 à $32,5 \times 10^6$ T, comparativement aux $36,7 \times 10^6$ T produits en 1998-1999. Les stocks des trois principaux exportateurs de blé dur, le Canada, l'Union Européenne et les Etats-Unis, ont chuté de $1,1 \times 10^6$ T pour atteindre $3,1 \times 10^6$ T, comparativement à la moyenne décennale de $4,2 \times 10^6$ T. Pour 1999-2000, les échanges mondiaux de blé dur sont évalués à $6,5 \times 10^6$ T, en hausse par rapport aux $6,3 \times 10^6$ T enregistrés en 1998-1999 (Tableau 1; CIC, 2000).

Tableau -1-Production ($\times 10^6$ T) mondiale de blé dur CIC, 2000).

Pays producteurs	Années	
	1998	1999
Union Européenne	8.4	7.4
Canada	6.1	4.0
Turquie	4.0	3.5
Etats-Unis	3.8	3.1
Syrie	2.6	1.5
Algérie	1.5	1.1
Maroc	1.5	0.8
Tunisie	1.1	1.2
Kazakhstan	1.0	1.5
Autres	3.0	2.5
Total	33.0	26.6

L'Algérie, le Maroc, la Tunisie et la Libye, absorbent plus de 40 % des échanges de blé dur à l'échelle mondiale. Dans la plupart des pays d'Afrique du Nord et d'Asie de l'Ouest, le blé dur occupe une place primordiale dans l'alimentation des populations. Il entre dans la composition d'un grand nombre de plats et aliments traditionnels: couscous, pains, galettes, pâtisseries et pattes alimentaires (Monneveux, 2002). Ce qui explique la forte demande qui exerce de fortes pressions sur les importations (Tableau 2).

Tableau-2- Production, consommation et importations ($\times 10^3$ T) du blé dur en Afrique du Nord (CIC, 2000).

AFRIQUE DU NORD : PRODUCTION, CONSOMMATION ¹ ET IMPORTATIONS ² DE BLÉ DUR						
	1991 -1995 ³	1996 -1997	1997 -1998	1998 -1999	1999 -2000^p	2000 -2001^p
.....milliers de tonnes.....						
ALGÉRIE						
Production	1 110	1 600	500	1 500	900	700
Consommation	2 662	3 358	3 158	3 400	2 900	2 800
Importations	1 552	1 758	2 658	1 900	2 000	2 100
MAROC						
Production	1 255	2 270	882	1 500	800	500
Consommation	1 452	2 623	1 402	2 000	1 270	1 100
Importations	197	353	520	500	470	600
TUNISIE						
Production	958	1 623	700	1 100	1 200	800
Consommation	1 163	1 746	1 251	1 350	1 600	1 250
Importations	205	123	551	250	400	450
LIBYE						
Production	112	100	100	100	100	100
Consommation	338	347	317	250	350	350
Importations	226	247	217	150	250	250
AFRIQUE DU NORD						
Production	3 434	5 593	2 182	4 200	3 000	2 100
Consommation	5 615	8 074	6 128	7 000	6 120	5 500
Importations	2 181	2 481	3 946	2 800	3 120	3 400

¹ reflète les changements de stocks, ² comprend la semoule, ³ moyennes des cinq campagnes
^p : prévision du CIC, juin 2000
 Source : CIC

Le blé dur prend, mondialement, la cinquième place après le blé tendre (*Triticum aestivum* L.), le riz (*Oryza sativa* L.), le maïs (*zea maydis* L.) et l'orge

(*Hordeum vulgare* L.) avec une production de plus de 30 millions de tonnes (Amokrane, 2001). Le plus gros producteur exportateur du blé dur est le Canada (Belaïd, 2000). Les exportations canadiennes représentent normalement, près de 60 % des échanges mondiaux de cette denrée. (CIC, 2000).

2-2-EN ALGERIE

Situé au nord de l'Afrique, au climat méditerranéen, le territoire algérien s'étend sur une superficie totale de 237.806.620 hectares dont seulement 3% représentent des terres arables (MARA, 1992). 8% soit 0.6 million d'hectare des superficies arables totales sont conduites sous irrigation. La moitié des terres cultivées est réservée à la céréaliculture. On admet généralement que la culture de blé dur a commencé et s'est développée en Algérie au lendemain de la conquête arabe (Laumont et Erroux, 1961).

Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie algérienne. Il couvre $1,5 \times 10^6$ ha sur les $3,0 \times 10^6$ ha consacrés à la céréaliculture. Le rendement est faible et irrégulier, il est de l'ordre de 8 q/ha. La production couvre près de 41% des besoins. En effet les capacités productives du blé dur sont relativement moins bonnes que celles du blé tendre ou de l'orge puisque sur plus de 120 années (1876 à 1996), la moyenne nationale de rendement grain du blé dur est de 5,5 contre 6,9 et 6,0 q/ha respectivement pour le blé tendre et l'orge. La distribution fréquentielle des rendements de ces 120 dernières années montre que l'essentiel (59 campagnes sur les 120) des rendements du blé dur se situe dans la plage des 4 à 6 q/ha (Amokrane, 2001).

Au cours des dix dernières années (1990-2000), l'Algérie a importé plus de 65 % du blé dur destiné à l'Afrique du Nord. La production moyenne de blé dur de l'Algérie se situe à $1,1 \times 10^6$ T pour les dix dernières années, alors que la consommation moyenne est de $2,7 \times 10^6$ T pour la même période. L'Algérie est le seul

des quatre pays nord-africains qui importe un volume significatif de semoule, en provenance de l'Union Européenne, se situant à $150 \times 10^3 T$ en moyenne par année (Figures 2, 3 et 4) (CIC, 2000).

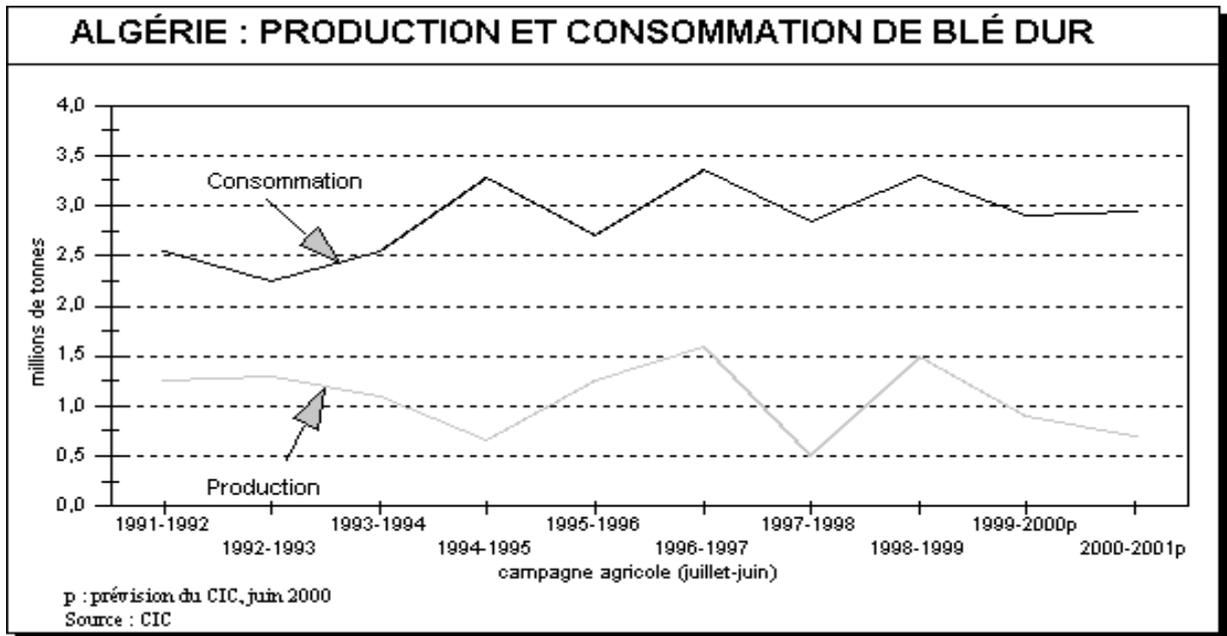


Figure-2- Production et consommation du blé dur en Algérie. (CIC, 2000)

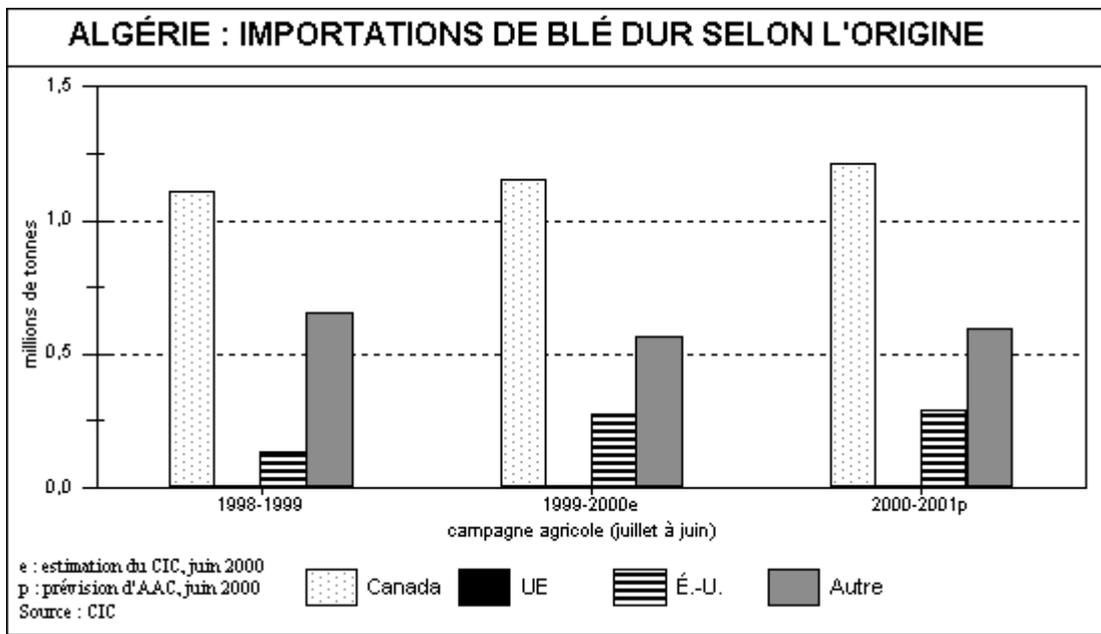


Figure-3- Importations du blé dur selon l'origine par l'Algérie (CIC, 2000).

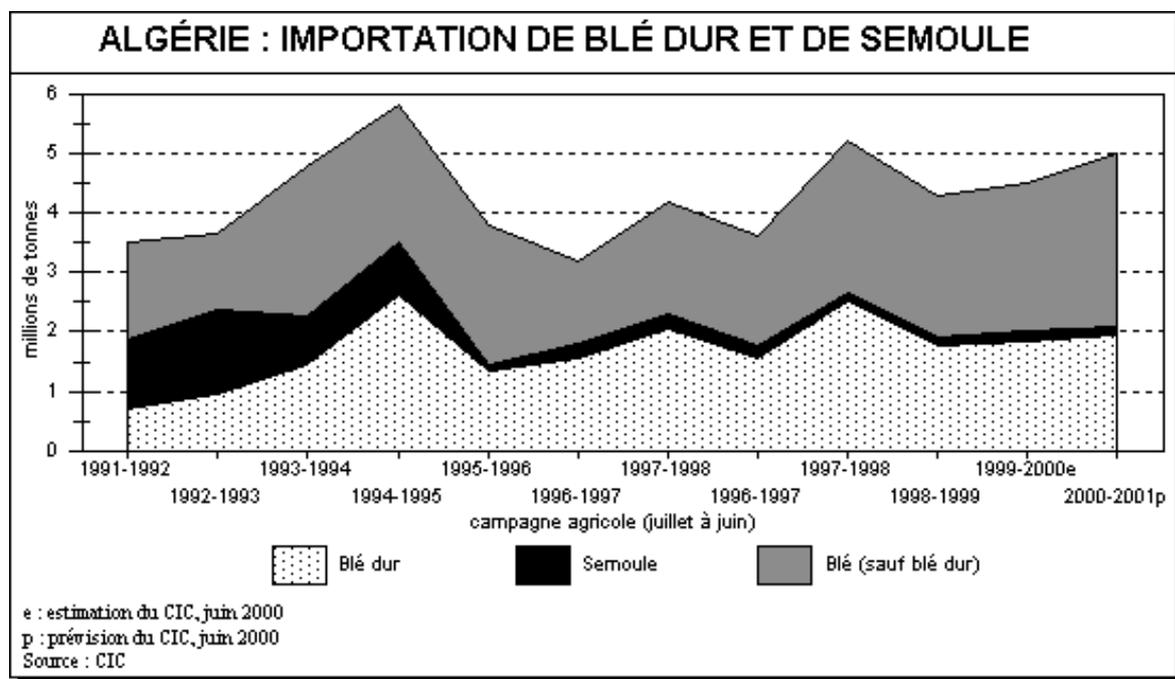


Figure-4- Importations du blé dur et de la semoule par l'Algérie (CIC, 2000).

3- LES ZONES DE PRODUCTION DU BLE DUR EN ALGERIE

La culture des céréales est pratiquée sur une aire géographique, très variable du point de vue climat, allant du subhumide à l'aride, avec une forte concentration de près de 50 % dans la franche 300 - 400 mm, qui marque d'une profonde empreinte la production, qualitativement et quantitativement (Mekhlouf, 1998). Cette répartition est souvent faite au détriment d'autres cultures qui seraient mieux appropriées à certaines régions, c'est le cas des cultures pérennes et fourragères (MADR, 1992).

La majeure partie des emblavures céréalières se trouve donc concentrée sur les hautes plaines. Cette région se caractérise par de l'altitude (900 à 1200m), des hivers froids, un régime hydrique irrégulier et faible (Baldy, 1974). La superficie cultivable empiète sur cinq grands ensembles qui se différencient surtout par le cumul annuel des pluies qui déterminent dans une large mesure le potentiel de

production (Tableau 2).

Les hautes plaines sont soumises à la triple influence de l'Atlas tellien, qui limite les précipitations hivernales, de l'Atlas saharien, qui est à l'origine de vents secs et desséchants intervenants dès le printemps, et de l'altitude qui entraîne des gelées tardives (Baldy, 1974). Ces contraintes climatiques limitent du potentiel de production de ces zones, accentué par le fait que la céréaliculture est conduite en pluviale. Le déficit hydrique coïncide avec les stades végétatifs déterminants où les besoins de la plante en eau deviennent intenses (Tableau 3, Oudina *et al.* 1988).

Tableau - 3- Caractéristiques des grandes zones de production des céréales Algériennes (MARA, 1992).

Zones	Pluie (mm)	Céréales (10 ³ ha)	Jachère (10 ³ ha)	Stress
Littoral	>600	64	0	néant
Plaines intérieures	450-600	850	400	gel
Hauts plateaux	350-450	1 500	900	gel, sec
Steppe	200-350	400	0	sec
Montagne	350-600	300	0	--

Tableau -4- Ecarts entre les besoins en eau et la pluviométrie du cycle de la culture de blé dur de la région de Sétif (Oudina *et al.* 1988)

Mois	11	12	1	2	3	4	Total
Pluie moyenne (mm)*	53	52	60	45	43	36	289
Besoins semis précoce	90	60	60	90	120	150	570
Ecarts	37	8	0	45	77	114	281
Semis tardif		60	60	90	120	150	480
Ecarts		8	0	45	77	114	191

*moyenne Seltzer 1913-1925

4-BIOLOGIE ET CYCLE VEGETATIF DU BLE DUR

Le blé appartient à l'ordre des *Poales* (*Glumiflorae*), famille des *Poaceae* (*Gramineae*), tribu des *Triticeae*, genre *Triticum*. la tribu des *Triticeae* se compose de 18 genres qui sont subdivisés en deux sous-groupes, *Triticinae* et *Hordeinae*. les

principaux genres dans le sous-groupe *Triticinae* sont *Triticum*, *Aegilops*, *secale*, *Agropyron* et *Haynaldia* (Odenbach *et al.* 1985 in Kellou 2003). Le blé dur est une graminée monocotylédone composée d'un appareil végétatif herbacé, qui comporte un système racinaire fasciculé, une tige plus ou moins creuse et des feuilles engainantes. (Jonard, 1970).

Plusieurs auteurs ont décrit le cycle de développement du blé, en le décomposant en deux périodes: une période végétative, et une période reproductrice. D'autres considèrent que la maturation constitue une troisième période. Les modifications morphologiques résultent à la fois de processus de croissance et de processus de développement.

Ces deux processus sont complémentaires et indissociables. Ils aboutissent à la production de matière sèche, résultant de la transformation de ressources du milieu par l'intermédiaire de capteurs aériens (feuilles: surfaces photosynthétisantes) et capteurs souterrains (racines: capteurs d'eau et d'éléments minéraux).

La croissance consiste en une augmentation irréversible des dimensions et du poids des différents organes constitutifs de la plante. C'est une notion quantitative. Le développement consiste en l'apparition d'organes nouveaux ou le franchissement par la plante d'une étape différente mais complémentaire de la précédente. C'est une notion qualitative (Papadakis, 1938). Croissance et développement sont mesurées selon plusieurs échelles dont celle de Feekes (Large *et al.* 1954). Une échelle permet la caractérisation des stades repères, elle repose sur la description de la morphologie du brin-mâitre.

4-1 - LES STADES ET PHASES REPERES

→ *Germination-levée*

Cette phase correspond à la mise en place du nombre de pieds/m².le sol est

percé par le coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille. La levée est notée quand 50 % des plantes sont sorties de la terre (fig.5). Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (Karou *et al.* 1998).

→ *Tallage*

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle des 2^{ème} et 3^{ème} feuille de la tige centrale, l'ensemble restant court noué, formant un plateau de tallage situé juste au niveau du sol. Ces talles primaires peuvent ensuite émettre des talles secondaires, lesquels à leur tour émettent des talles tertiaires (Belaid, 1986; Gates, 1995). La fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

→ *Montaison- Gonflement*

Elle se manifeste, à partir du stade épi à 1cm, par l'élongation du premier entre-nœud. Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-mâitre atteint 1cm de hauteur à partir de la couronne ou plateau de tallage (Gate, 1995). Ce stade est sensible aux basses températures variant entre +4 et 0°C). Selon Baldy (1984) la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit du nombre d'épis montants par unité de surface. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement).

→ *Epiaison- floraison*

L'épiaison se détermine par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière

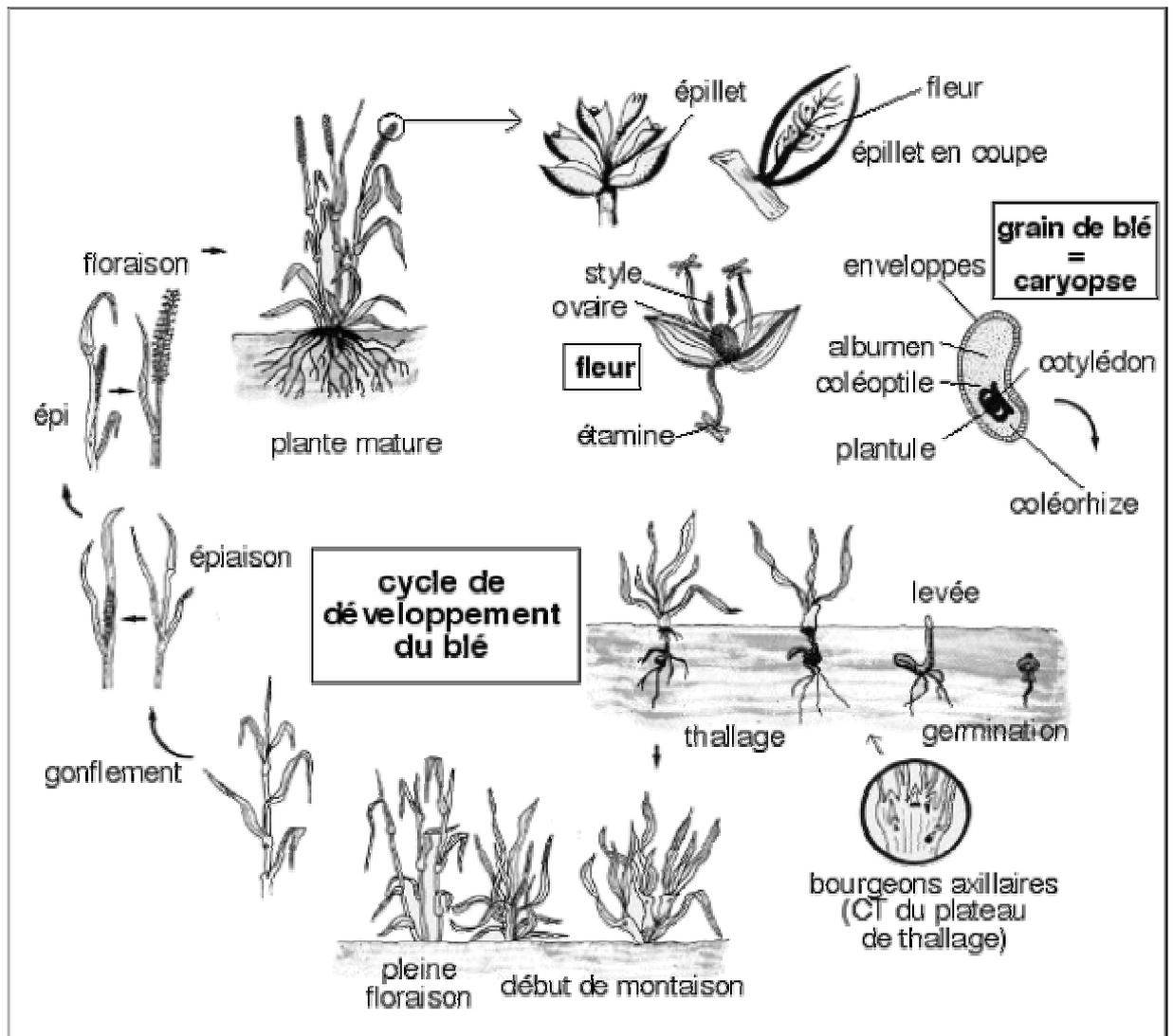


Figure -5- Cycle de développement du blé, d'après Henry et De Buyser, 2000.

feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement entre 4 à 8 jours après l'épiaison (Bahlouli *et al.* 2005b). Les basses températures au cours de ce stade réduisent fortement la fertilité des épis (Abbassenne *et al.* 1998).

→ Remplissage du grain

Après la fécondation, l'évolution du poids du grain se fait en trois étapes. La première est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, dont la teneur en eau est élevée. Suit la phase de remplissage actif du grain avec

les assimilats provenant de la photosynthèse de la feuille étandard et du transfert des hydrates de carbones non structuraux stockés dans le col de l'épi. La quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser : c'est le pallier hydrique.

Les fortes températures au cours de cette période provoquent l'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain : c'est l'échaudage du grain. Puis suit la phase de dessèchement du grain, qui perd de son humidité pour atteindre son poids sec final (Wardlaw, 2002).

4-2- L'ITINERAIRE DE L'ELABORATION DU RENDEMENT GRAIN

4-2-1- LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES

Le rendement grain s'élabore par étape au cours des différentes phases de développement. Les différentes composantes du rendement sont: le nombre d'épis produit par unité de surface, le nombre de grains porté par épi et le poids d'un grain moyen exprimé le plus souvent sous la forme de poids de 1000 grains. Le nombre d'épis s'élabore au cours de la montaison il est immédiatement suivi du nombre de sites des grains par épi qui se détermine au stade épiaison. Le poids du grain s'élabore au cours de la phase active du remplissage.

La formation des composantes est étalée dans le temps, elle est donc soumise à différentes conditions de croissance, comme elle subit aussi les effets de compensation entre composantes (Gallagher *et al.* 1976; Gate, 1995; Abbassenne *et al.* 1998). En région méditerranéenne, les meilleurs rendements sont essentiellement déterminés par le nombre d'épis et surtout par le nombre de grains produit par unité surface de sol qui est le produit des épis par le nombre de grains par épi.

Simane *et al.* (1993) signalent que l'une des raisons principales de la lenteur de l'amélioration des rendements dans les environnements où l'eau est limitante, est le peu de connaissances sur les relations entre les composantes du rendement et les

effets de compensation qui s'instaurent entre elles en fonction de la disponibilité de l'humidité. L'effet de compensation entre les composantes du rendement est un mécanisme de développement important qui est à même de reconstituer le rendement en grain lors de la reprise après stress (Blum, 1996). Cette compensation, entre la taille et le nombre, est le résultat des ressources limitées du milieu de production (Simane *et al.* 1993).

Bendjemaa (1977) note que l'augmentation du nombre d'épis, produit par unité de surface, se traduit par une diminution de leur fertilité. Blum et Pnuel (1990) remarquent qu'il n'y a aucune relation entre la capacité de tallage herbacé et le nombre d'épis montant par unité de surface. Abbassenne *et al.* (1997a) soulignent que les meilleurs rendements en grains de blé dur en zones semi-arides sont le résultat de la capacité génétique à produire plus d'épis par unité de surface associée à une bonne fertilité. Bouzerzour *et al.* (1998) montrent que les différences génotypiques du point de vue contribution du nombre de grains/m² au rendement viennent plus du nombre de grains/épi que du nombre d'épis/m² qui se forme en période plus favorable, chez l'orge.

Simane *et al.* (1993) remarquent que le nombre de grains par épi contribue plus directement au rendement en grain chez le blé dur conduit en conditions semi-arides. Ledent (1978) trouve que la fertilité est la composante du rendement la plus importante. Couvreur (1981) note que le poids moyen du grain, composante formée le plus tardivement, est associé négativement au nombre de grains formés par unité de surface.

Le poids du grain contribue très peu à la variation du rendement en grains des variétés locales sous stress, probablement à cause de la hauteur élevée de ces variétés qui supportent la croissance du grain par transfert des réserves des tiges, en conditions de stress (Blum *et al.* 1989). Nachit et Malik (1993) affirment, par

contre, que le poids moyen du grain joue un rôle important dans la détermination du rendement grain dans les environnements secs.

Selon Wardlaw (2002), c'est la durée de remplissage du grain qui a le plus grand effet sur le poids moyen du grain. Le taux de remplissage par grain explique mieux les différences de poids moyen du grain que les différences de durée des phases (Abbassenne *et al.* 1997a). Simane *et al.* (1993) trouvent que tous les effets directs des composantes du rendement sont positifs, suggérant que quand les autres composantes du rendement sont maintenues constantes, chaque effet direct aboutit à une augmentation du rendement.

4-2-2- LA BIOMASSE AERIENNE ET LA HAUTEUR DU CHAUME

Selon Richards *et al.* (1997), une biomasse élevée est une caractéristique désirable en milieux semi-arides. Siddique *et al.* (1989) soulignent que la biomasse élevée est la cause principale des rendements élevés enregistrés chez les variétés récentes. Un long cycle de développement est plus favorable à la production d'une biomasse aérienne élevée.

Les résultats obtenus par Abbassenne *et al.* (1997b) indiquent que le poids de la matière sèche de l'épi ou celui des épis/m², au stade épiaison, n'est souvent d'aucune utilité dans la prévision du rendement grain final. Dakheel *et al.* (1993) notent que l'indice de récolte est positivement corrélé avec le rendement grain sous tous types d'environnements.

Richards *et al.* (1997) remarquent que l'indice de récolte sous conditions de croissance non limitantes, est de 50%, il chute à des valeurs de 35% dans les régions arides. Ce qui fait douter sur les possibilités que l'amélioration de cet indice engendre des augmentations du rendement grain, sous stress hydrique. Ce rôle semble conditionné par la réalisation d'une biomasse aérienne élevée, dont le

maximum se matérialise sous forme de grains.

L'évaporation du sol, sous climat semi-aride, est une source majeure de perte d'eau. Réduire ou éliminer l'évaporation permet d'augmenter la quantité qui transite par le végétal et de la valoriser sous forme de matière sèche, ou celle qui est

stockée dans le profil du sol (Karou *et al.* 1998). Pour réduire l'évaporation du sol, il faut une installation rapide de la culture qui permet une complète couverture du sol, très tôt en début du cycle.

Les variétés dont le port est retombant, associé à une capacité élevée de tallage herbacée assurent cet objectif (Bensemame et Bouzerzour, 2005). L'interception de la radiation lumineuse est améliorée ainsi que l'activité photosynthétique. L'infiltration de l'eau dans le sol s'améliore aussi. Ces caractéristiques sont conditionnées par l'amélioration des capacités du génotype à croître sous les basses températures couramment enregistrées en fin d'automne début hiver.

Une croissance rapide en début du cycle peut, cependant, engendrer une plus grande consommation et un gaspillage d'eau avant l'anthèse, au détriment la part qui doit rester pour assurer un remplissage de grain satisfaisant (Sayre *et al.* 1998). Il faut chercher à trouver un équilibre entre la part d'eau économisée par suite de la réduction de l'évaporation du sol et celle utilisée suite à l'amélioration de la croissance sous basses températures.

Selon Oweis *et al.* (1998), en début du cycle l'évapotranspiration est constituée à plus de 60% par l'évaporation directe du sol. La réduction de l'évaporation du sol compense largement la surconsommation de la plante (El Hafid *et al.* 1998). Dans le cas où on aboutit à un épuisement excessif de l'eau stockée, tôt dans la saison, il faut cultiver des variétés ayant une faible vigueur précoce associée à un port étalé en hiver pour assurer une couverture raisonnable du sol

(Oosterom *et al.* 1993). Un port étalé et une faible vigueur précoce sont plus présents chez les variétés de type hiver.

Dakheel *et al.* (1993) notent que la hauteur du chaume présente une corrélation modérée avec le rendement en grains sous stress sévère. Cette liaison s'affaiblit à mesure que le stress s'amointrit, pour changer de signe lorsque la plante est conduite sous irrigation. Une paille relativement haute devient une caractéristique désirable sous stress hydrique. Elis et Brown (1986) notent que les variétés à paille longue deviennent plus productives dans les zones affectées par la sécheresse, comparativement aux variétés naines.

Nachit et Jarrah (1986) affirment que la stabilité d'expression de la hauteur est importante en condition de sécheresse. En conditions de stress hydrique, une paille haute est plus apte à stocker plus de réserves glucidiques, qui sont susceptibles d'être transférées vers le grain, au cours de la phase de remplissage.

Le pédoncule de l'épi prend sa forme définitive 10 à 15 jours après le stade épiaison, au moment où les stress hydrique et calorique deviennent de plus en plus intenses (Siddique *et al.*, 1991). C'est cette partie du chaume qui est en général le siège d'intense transfert d'hydrates de carbone pour la finition du grain lorsque le remplissage se réalise sous stress (Wardalaw, 2002; Bahlouli *et al.* 2005b). Nachit et Jarrah (1986) observent que le rendement grain est positivement lié à la longueur du pédoncule, en conditions de déficit hydrique.

4-2-3- LA DUREE DU CYCLE DE CROISSANCE-DEVELOPPEMENT

De nombreux travaux ont montré l'existence d'une relation positive entre la longueur du cycle et le potentiel de rendement. Le recours à une stratégie d'esquive des stress, par raccourcissement de la durée du cycle, conduit ainsi à sacrifier une part de la productivité. Ceci semble être le prix à payer lorsque le climat présente

une grande variabilité (Osteroom *et al.* 1993). Donmez *et al.* (2001) rapportent des gains génétiques significatifs dans le temps suite aux effets de la sélection pour le rendement grain et la durée du cycle. Ils notent que le rendement était corrélé à la réduction de la durée de la phase végétative et à la réduction de la hauteur du chaume. Ils suggèrent que les composantes du rendement qui se forment au cours de la phase végétative sont celles qu'il faut améliorer.

Ces dernières conditionnent plus le gain génétique du rendement comparativement aux composantes qui se forment au cours de la phase de remplissage. Ceci est due à la divergence des conditions climatiques prévalentes au cours de ces deux phases (Donmez *et al.* 2001). Lafitte et Courtois (2002) mentionnent parmi d'autres caractères, la durée de la phase végétative comme une source de l'interaction génotype x environnement du rendement en grains du blé. Les génotypes précoces sont plus productifs sous conditions de contraintes hydrique et thermique de fin de cycle.

5- STRESS ABIOTIQUES ET EFFETS SUR LA PLANTE

5-1 -STRESS ABIOTIQUES

L'amélioration génétique du blé dur des zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adapter 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 nombreuses 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 (Bouzerzour et Benmahammed, 1994).

5-1-1- L'ECLAIREMENT

La lumière est la source d'énergie qui permet à la plante de décomposer le

CO₂ 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 photo-systèmes (Ykhlef, 2001)

5-1-2- LA TEMPERATURE

5-1-2-1- LES BASSES TEMPERATURES

Les études du rythme de développement et de la productivité des variétés de céréales ainsi que la variabilité génotypique de réponses aux basses températures indiquent que les variétés précoces sont mieux dotées pour esquiver le déficit hydrique et les hautes températures de fin de cycle (Mekhlouf *et al.* 2002). La tolérance génétique aux basses températures est cependant nécessaire pour ce type de variété pour réduire les risques de rendement nul en année gélive (Mekhlouf *et al.* 2005, Annichiarico *et al.* 2005).

Les basses températures hivernales affectent rarement les blés sous climat méditerranéen, sauf au dessus de milles mètres, lors des années où le froid survient sans enneigement des sols. La plupart des blés cultivés montrent une résistance limitée au froid, mais les parties endommagées sont généralement remplacées par des talles plus jeunes (Baldy, 1993).

Masse *et al.* (1985) ont remarqué que les chutes de fertilité des épis en semis très précoces sont dues aux dégâts de gel des épis au cours de la montaison et que ceci est d'autant plus marqué que la variété est précoce à la montaison. Gate (1995) précise qu'une seule journée à une température minimale inférieure à -4°C

entre le stade épi-1cm et un nœud pénalise le nombre de grains par épi. Blouet *et al.* (1984) trouvent que des températures inférieures ou égales à -5°C sont néfastes durant la phase germination-levée. Pour réduire les risques de baisse de rendement grain liés aux effets du gel tardif, la tolérance aux basses températures est recherchée (Mekhlouf *et al.* 2001).

5-1-2-2- LES TEMPERATURES ELEVEES

Les hautes températures sont parmi les facteurs importants intervenant dans la limitation des rendements. Elles affectent fortement les organes floraux et la formation des fruits, ainsi que le fonctionnement de l'appareil photosynthétique (El Madidi et Zivy, 1993). Une chaleur excessive agit sur la plante en provoquant une déshydratation résultant d'une transpiration accélérée.

Si le sol ne peut assurer une alimentation suffisante en eau, il y a perte de turgescence et flétrissement. Ce phénomène peut être temporaire, la plante récupérant assez d'eau pendant la nuit par suite de la réduction de la transpiration. Si l'approvisionnement du sol est insuffisant, le flétrissement devient permanent avec coagulation du protoplasme et mort de la plante (Diehl, 1975).

La résistance au stress thermique est étroitement liée à l'alimentation de la plante en eau. Elle dépend également d'autres caractères morphologiques tels que la structure de la feuille et le nombre et dimensions des stomates (Diehl, 1975). L'activité physiologique du blé est maximale à 25°C ; des températures de 28 à 32°C sont considérées comme stressantes. Les hautes températures, au dessus de 30°C affectent le poids final du grain en réduisant la durée de remplissage du grain (El khatib et Paulsen, 1984; Jenner, 1994). Le stress thermique durant la période pré-anthèse modifie, non seulement le poids final du grain, mais aussi le nombre de

grains (Wardlaw *et al.* 1989). Au-delà de 32°C, on peut observer des dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à la destruction de l'organe ou de la plante (Belhassen *et al.* 1995).

Hauchinal *et al.* (1993) notent une réduction du rendement grain des semis tardifs, liée à une diminution du nombre d'épis et du poids moyen du grain, causée par les effets des hautes températures. Combe et Picard (1994) rapportent que le remplissage du grain est affecté par les hautes températures, surtout pendant le pallier hydrique.

5-1-2-3- LE STRESS HYDRIQUE

La notion de stress hydrique a toujours été assimilée à la notion de sécheresse. La sécheresse définit l'état de pénurie hydrique dont souffre un végétal (Morizet, 1984). Selon de Raissac (1992), il y a sécheresse dès que l'eau devient facteur limitant de la croissance et du rendement. Henin (1976) mentionne qu'il y a sécheresse dès que le déficit en eau provoque des réactions de défense de la part de la plante et qui se traduisent par un flétrissement des feuilles. Baldy (1986) définit la sécheresse comme une combinaison complexe de contraintes hydrique et thermique qui diffèrent considérablement d'un environnement de production à un autre et d'une année à une autre.

Le stress désigne une situation où le végétal n'est pas en état de complète turgescence. Les pertes d'eau de la plante par transpiration dépassent largement la quantité d'eau absorbée (Kramer, 1969). Le stress hydrique se traduit chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques, à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles (Mefti *et al.*, 2000).

→*Effets du stress hydrique au niveau de la plante*

Sous climat Méditerranéen, le stress hydrique peut intervenir à n'importe

quel stade du cycle de la culture (El-Haffid *et al.* 1998). Selon son intensité et la période de son apparition, le stress hydrique peut réduire ou inhiber la formation d'une ou plusieurs composantes du rendement. La baisse du rendement est donc variable et fonction du stade végétatif au cours duquel le stress hydrique intervient (Osteroom *et al.* 1993).

Au stade tallage, le déficit hydrique réduit le nombre de talles herbacées et montantes en épis (Black, 1970). Cette réduction est défavorable pour les variétés à faible capacité de tallage (Black, 1970; Baldy, 1973). Ali Dib *et al.* (1992) notent que le déficit hydrique en période de montaison affecte le nombre d'épis et la fertilité des épis.

En réduisant la taille des feuilles et la surface verte, le stress hydrique diminue l'indice foliaire et sa durée de vie et par conséquent de la capacité de photosynthèse du couvert végétal (Richards *et al.* 1997). Wardlaw (2002) note que la vitesse de transfert des assimilats est fortement réduite sous stress hydrique.

→ *Effets du stress hydrique au niveau cellulaire*

Le processus le plus sensible au stress hydrique est la croissance cellulaire ; la diminution de la turgescence réduit l'expansion cellulaire. (Rasmusson et Moss, 1972). Sous l'effet du stress hydrique, la diminution de la synthèse de la paroi cellulaire et des protéines entraîne la réduction de la croissance des jeunes pousses et des feuilles. Le stress hydrique réduit la vitesse d'élongation des cellules de la tige, en partie, à cause de l'accumulation de l'acide abscissique (Eckhart, 2002).

6- MECANISMES D'ADAPTATION AUX STRESS ABIOTIQUES

La plante utilise plusieurs mécanismes pour s'adapter à son environnement immédiat (Figure 6). Selon Sibi et Demarly (1995), l'adaptation se traduit en réponse à la contrainte, par une succession de modifications aux niveaux cellulaire, sub-cellulaire et moléculaire qui sont dépendants des potentialités génétiques de

l'espèce. Une variété adaptée est celle qui réagit positivement au bilan des variations pédoclimatiques pour donner un rendement final acceptable et stable à chaque récolte (Abbassene, 1997). Turner (1979) définit l'adaptation comme la capacité de la plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans les zones sujettes à des déficits hydriques périodiques. Selon Sibi et Demarly (1995), l'adaptation se traduit en réponse à la contrainte, par une succession de modifications aux niveaux cellulaire, sub-cellulaire et moléculaire qui sont dépendants des potentialités génétiques de l'espèce.

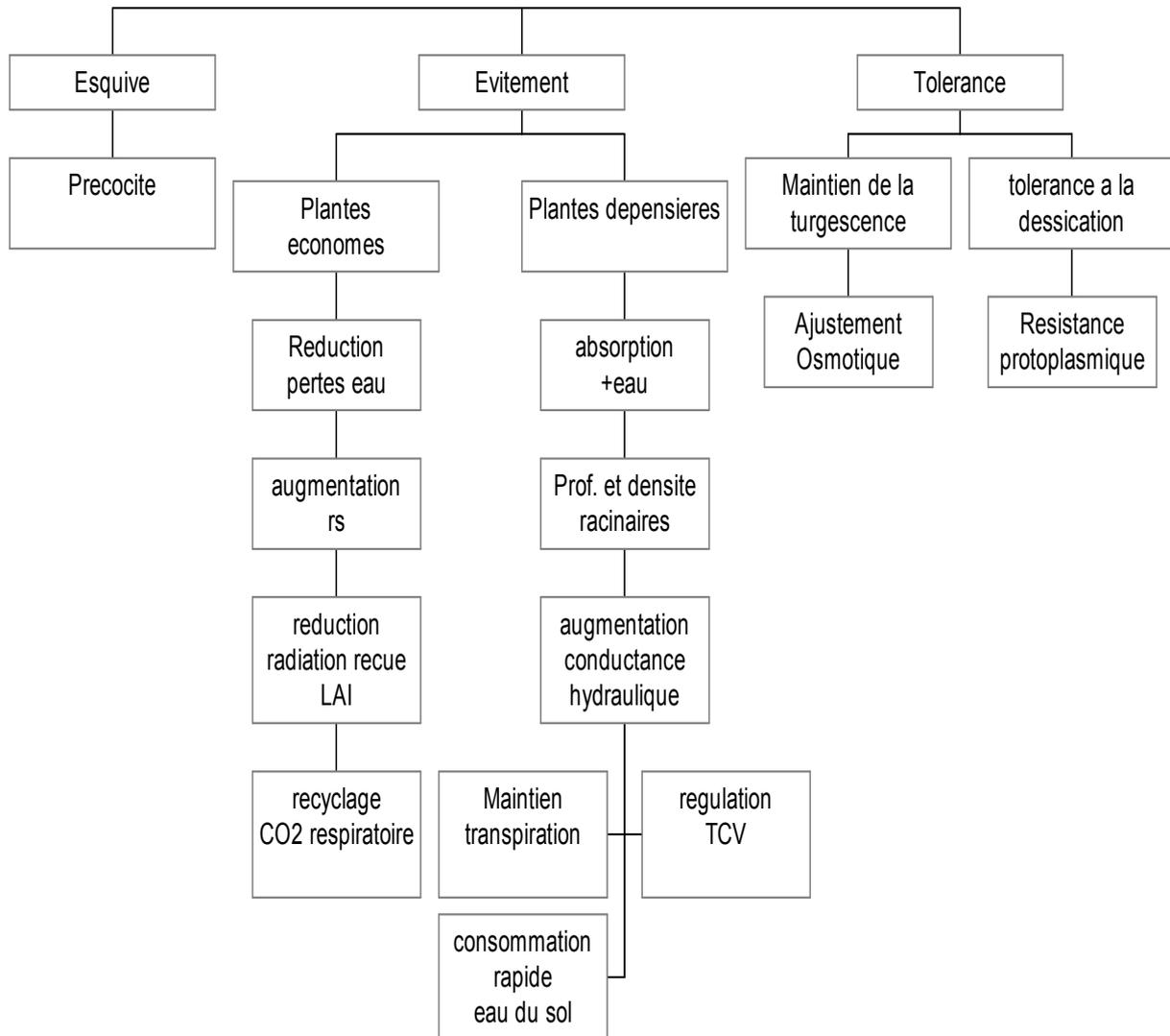


Figure -5- Mécanismes de résistance des plantes aux stress abiotiques (El Jaafari et Paul, 1993)

6-1 - L'ESQUIVE COMME MECANISME D'ADAPTATION AU MILIEU

La stratégie appliquée en amélioration variétale, pour réduire des 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 précocité à l'épiaison et à maturité est un mécanisme important d'esquive de la sécheresse tardive (Hadjichristodoulou, 1987). Chaque jour de gagnée en précocité génère un gain de rendement variant entre 30 et 85 kg/ha (Fischer et Maurer, 1978). La précocité a joué un rôle très important dans la

stabilité des rendements des blés dans les grandes plaines semi-arides, caractérisées par des températures excessives et des vents chauds et desséchants lors de la période de remplissage du grain (Sharma et Smith, 1986).

En milieu où 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- MORPHOLOGIE DE LA PLANTE ET ADAPTATION AU MILIEU

En milieux variables, les caractères morphologiques peuvent jouer des rôles assez importants qui réduisent la variabilité des rendements en grain (Harrat, 2003). Nemmar (1980) mentionne que 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 phase de maturation du grain.

Lors de la phase de remplissage du grain, la photosynthèse est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures chez les génotypes barbus comparativement aux génotypes glabres (Fokar *et al.* 1998). La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au déficit hydrique terminal tout au moins chez le blé dur (Hadjichristodoulou, 1985).

La hauteur de la plante apparaît comme un critère de sélection important particulièrement pour les zones arides. Mekliche-Hanifi (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 supérieure (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 (1993) 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.

Le développement du système racinaire, joue un rôle essentiel dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante. Bensalem *et al.* (1991) notent qu'un système racinaire extensif permet au blé de mieux résister à une contrainte hydrique. Baldy (1973), Benlaribi *et al.* (1990) et Ali Dib *et al.* (1992), soulignent la relation positive entre le rapport de la matière sèche aérienne /matière sèche racinaire et la sensibilité à la sécheresse. Hurd (1974), Sullivan (1983) et El Hakimi (1995) notent l'existence d'une corrélation positive, en conditions sèches, entre le rendement et le développement racinaire chez les céréales à paille.

Blum (1996) observe une diminution de la surface de la feuille, sous stress hydrique. Cette diminution est considérée comme une réaction de résistance moyenne ou d'adaptation au manque d'eau. Cette réduction de la surface foliaire est un moyen judicieux pour le contrôle des pertes d'eau. L'autre type d'adaptation foliaire développé par les plante face à un manque d'eau est l'enroulement de la feuille.

Chez le blé, l'enroulement foliaire observé chez certaines variétés résistantes peut être considéré comme un indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement de la déshydratation (Amokrane *et al.* 2002).

O'toole *et al.* (1980) montrent que l'enroulement des feuilles entraîne une diminution de 40 à 60 % de la transpiration. Ce phénomène intervient à des potentiels hydriques foliaires de -0.8 à -1.0 MPa. La glaucescence, la pilosité des

feuilles et des tiges, la couleur claire des feuilles induisent une diminution de la température par augmentation de la ré-émission de la lumière reçue ce qui conduit à une réduction des pertes en eau (Clarke *et al.* 1989)

6-3- PHYSIOLOGIE DE LA PLANTE ET ADAPTATION AU MILIEU

La survie des plantes, dans la plupart des environnements, nécessite la mise en place de capacités de résistance aux stress osmotiques causés par la sécheresse, la salinité ou la température (Hanifi, 1999). La tolérance au stress hydrique implique des changements du métabolisme cellulaire caractérisé par l'accumulation de certains produits qui peuvent être induits rapidement sous l'effet du stress (Ledoigt et Coudret, 1992).

Le maintien 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 fermés (Belhassen *et al.* 1995). 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).

La baisse du potentiel hydrique qui s'exprime par un maintien de la turgescence, est possible grâce au phénomène d'ajustement osmotique (Morgan,1984). Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques. L'ajustement osmotique est réalisé grâce à une accumulation des solutés conduisant à un maintien du potentiel de turgescence (Morgan *et al.* 1986). L'ajustement osmotique permet la protection des membranes et des systèmes enzymatiques des jeunes organes.

L'accumulation des solutés dans le cytoplasme permet à la plante de maintenir

sa turgescence et d'éviter la déshydratation (Morgan *et al.* 1986). Les solutés responsables de l'ajustement osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés et des sucres. Eckhart (2002) note que les solutés dont l'accumulation permet la diminution du potentiel osmotique et qui contribuent ainsi à l'ajustement osmotique sont des ions inorganiques tel que le potassium, les nitrates, les sucres solubles, les acides aminés et les acides organiques comme l'acide malique.

La plante peut recourir à la réduction de son potentiel hydrique (Ψ_w) par ajustement du potentiel osmotique (Ψ_π) grâce à l'accumulation de molécules solubles compatibles. Dans ce cas, la turgescence cellulaire est maintenue et la plante est capable de continuer ses fonctions métaboliques avec une quantité d'eau moindre (Morgan, 1984). L'accumulation de la proline en réponse au stress est un phénomène largement répandu chez les plantes (Yancey *et al.* 1982).

La proline joue un rôle d'osmoticum de part les fortes concentrations qu'elle atteint sous stress. Elle agit aussi comme un soluté compatible qui s'accumule à des fortes concentrations dans le cytoplasme sans interférer avec les activités métaboliques cellulaires (Samaras *et al.* 1995).

L'origine de la proline accumulée sous stress n'est pas totalement éclaircie. Elle est soit synthétisée de nouveau à partir de l'acide glutamique (Glu) ou via l'ornisitol (Orn) qui sont utilisés comme précurseurs. La synthèse via l'acide glutamique est la plus probable (Figure 5; Samaras *et al.* 1995).

Samaras *et al.* (1995) notent que l'accumulation de la proline dans la région apicale des racines du maïs (*Zea mays* L.) stressé fait suite à l'augmentation de la vitesse de déposition de cet acide. Ils démontrent que l'accumulation de la proline dans la zone apicale des racines du maïs stressé est due à un transfert. Il n'y a pas

de synthèse de *novo* à ce site comme il n'y a pas d'évidence d'une réduction du catabolisme de cet acide.

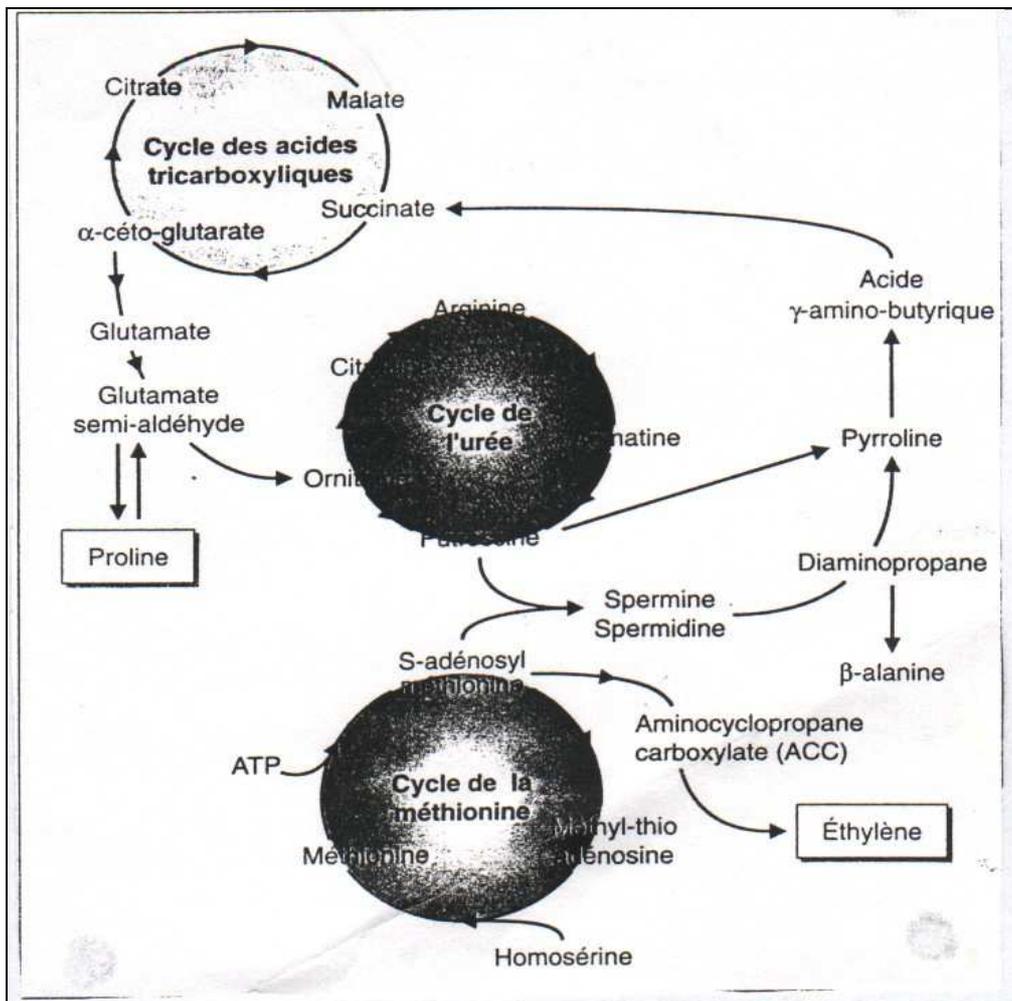


Figure 8 : Origine de la proline accumulée sous stress. (Mekhlouf,)

Rajasekaram et al (1997) suggèrent que la proline est requise par l'apex racinaire comme source d'énergie et d'azote. Hare et Cress (1997) suggèrent que sous stress la proline est transférée à partir des cellules sources, qui possèdent la

capacité de synthétiser la proline, vers des cellules cibles qui ont une forte demande en énergie. Ober et Sharp (1994) mentionnent que l'ABA est nécessaire pour l'accumulation de la proline sous faible potentiel. L'ABA joue probablement un rôle de régulateur dans le transport de la proline inter-sites, source et utilisateur (Ober et Sharp, 1994).

La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau. Clarke et Mc Craig (1982) attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress. Scofield *et al.* (1988) notent que la teneur en eau diminue lorsque le stress augmente, mais elle diminue plus vite chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes.

Cette caractéristique est étroitement corrélée à l'ajustement osmotique. Elle peut être considérée comme un critère simple de sélection dans un programme d'amélioration génétique, comparée aux potentiels hydrique, osmotique ou de turgescence, plus délicats à mesurer sur un grand nombre des plantes. El Hakimi *et al.* (1995) montrent que cette caractéristique présente un coefficient d'héritabilité élevé et qu'elle se fixe rapidement chez les lignées en ségrégation d'un croisement donné. Ainsi, les variétés tolérantes au stress hydrique, sont celles qui sont capables de perdre le moins d'eau par unité de temps et unité de surface, sous stress.

L'activité photosynthétique est un processus complexe, impliquant de nombreuses étapes photochimiques et biochimiques, aux cours desquelles l'énergie lumineuse absorbée par les pigments chlorophylliens, regroupés au sein des photosystèmes, est transformée en énergie chimique utilisable par la plante (Lawlor, 1987). Une partie de l'énergie captée par les chlorophylles est dissipée sous forme de chaleur et de fluorescence. La cinétique de la fluorescence est utilisée pour

étudier les effets des stress abiotiques sur le rendement de la photosynthèse et principalement sur l'activité des photo-systèmes PSII (Krause et Weis, 1984).

La mesure de la fluorescence est basée sur le principe qu'à l'obscurité, tous les centres PSII de la feuille sont ouverts. Ils sont donc aptes à recevoir les électrons de l'énergie lumineuse captés par les antennes réceptrices des chlorophylles. Comme à l'obscurité la photosynthèse est nulle, ces centres sont donc inactifs et de ce fait la fluorescence est à son niveau minimal noté F₀.

La saturation de la feuille par une lumière de forte intensité, inonde les centres PSII d'électrons, ces derniers sont dits, alors, réduits ou fermés. Cette lumière active les centres PSII qui sont excités. L'excitation est à son maximum suite à l'intensité de la lumière utilisée. La fluorescence atteint dans ce cas, son niveau le plus élevé, il est noté F_m (Havaux *et al.* 1991). Pour une feuille accoutumée à la lumière ambiante, la fluorescence a une valeur relative située entre F₀ et F_m. Selon Havaux *et al.* (1991), le rendement quantique (ou énergétique) de la photochimie des PSII ($\Phi_{P_{max}}$,) à saturation lumineuse maximale, est :

$$\Phi_{P_{max}} = (F_m - F_0) / F_0$$

La fluorescence variable (V) donne une mesure des sites PSII qui sont actifs donc fermés, V est mesurée par:

$$V = (F - F_0) / (F_m - F_0)$$

Les stress abiotiques affectent la photosynthèse. Ils affectent donc, entre autre, les centres PSII. V et $\Phi_{P_{max}}$, sont utilisés, selon Havaux *et al.* (1991), pour cribler les génotypes pour la tolérance vis à vis des stress.

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 (P_n) de la plante sous stress (Havaux *et al.* 1988). Le PSII est très sensible à la photoinhibition. Le rapport de la fluorescence variable (F_v) 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 valeur 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 (Schreiber et Bilger, 1993).

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 F0, 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 photo-protection parce qu'elle fournit à la plante un moyen moins pénalisant d'utiliser l'excès d'énergie d'excitation captées par les antennes (Osmond *et al.* 1987). 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.

La plante utilise, d'une manière générale, en photosynthèse plus de carbone ¹²C, qui est plus abondant dans l'atmosphère, que son isotope plus lourd, le carbone ¹³C, qui est relativement plus rare (Araus *et al.* 1998). La différence de proportions de ces deux isotopes, notée Δ , est, selon les travaux de Farquhar *et al.* (1982) une mesure intégrative de la physiologie de la plante et des effets de l'environnement qui interviennent dans les échanges gazeux de la photosynthèse.

Δ est positivement corrélé avec la concentration du CO₂ dans les espaces intercellulaires. Il est négativement corrélé avec l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE), efficacité mesurée par le rapport Photosynthèse/Transpiration (Pn/T) ou par le rapport biomasse aérienne/ eau totale consommée (BIO/Wt).

Condon *et al.* (1990) ont trouvé cependant que les plantes qui se caractérisent par une meilleure EUE, discriminent moins contre l'isotope ¹³C. Ces plantes intègrent donc plus de ¹³C dans la synthèse de leur tissus comparativement aux plantes non économes en eau. De ce fait la proportion de l'isotopes ¹³C des tissus est indicatrice d'une meilleure EUE chez un génotype donné, pour la période au cours de laquelle l'organe mesuré et analysé, s'est formé (Morgan *et al.* 1995). Ainsi Δ est de plus en plus préconisé comme un indicateur des capacités du génotype à mieux valoriser l'eau consommée.

Chez les plantes C₃, la discrimination contre l'isotope ¹³C, le Δ des tissus végétatifs est un indicateur du rapport entre le CO₂ intercellulaire (Pi) et celui de l'air (Pa). Pour des valeurs constantes du déficit de saturation entre la feuille et l'air ambiant, Δ est indicateur de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Hubick et Farquhar, 1989). La variation de Pi/Pa et de Δ ont pour origine des variations de la conductance stomatique (gs) et la capacité photosynthétique.

En principe, une corrélation négative entre le rendement et Δ est justifiée vu l'essentiel de la variation de Δ s'explique par la variation de la photosynthèse par

unité de surface (Wright *et al.* 1994). Cependant chez les céréales, ceci n'est pas toujours le cas et d'ailleurs les valeurs de Δ semblent plutôt positivement corrélées avec le rendement et avec la biomasse produite, sous stress et sous conditions optimales (Condon *et al.* 1987; Sayre *et al.* 1995).

L'association positive entre Δ et le rendement suggère que c'est la variation de la g_s , plutôt que celle de la capacité photosynthétique qui détermine Δ (Condon *et al.* 1992). Dans de telles situations l'EUE augmente parce que la contrainte stomatique sur la transpiration est plus importante que sur l'activité photosynthétique, même lorsque le rendement est négativement affecté suite aux effets stomatiques sur le rythme photosynthétique. Il est aussi possible qu'une diminution de Δ et donc une amélioration de l'EUE, peut être obtenue grâce à une augmentation de l'activité photosynthétique associée à une g_s constante.

7- SELECTION POUR L'ADAPTATION ET SELECTION POUR LE RENDEMENT

L'objectif de l'amélioration de la production des zones arides et semi-arides doit être la recherche de la tolérance aux stress afin d'arriver à une meilleure adaptation à la variabilité, de nature imprévisible, du milieu de production. Il faut pour cela, au cours de la caractérisation du milieu, identifier les stress les plus fréquents, pour leur trouver une stratégie d'évitement ou une source génétique de tolérance (Bouzerzour, 1998).

Il est plus difficile de faire un progrès quelconque, lorsque les stress qui entravent le bon développement de la plante augmentent en nombre, et surtout, lorsqu'ils sont imprévisibles parce qu'ils sont de nature intermittente, pouvant se manifester à n'importe quel stade de la plante. Dans de telles situations le semis de

plusieurs variétés voire d'espèces très contrastées réduirait des risques liés au semis d'une seule variété.

Etudiant la contribution de la génétique à l'amélioration des rendements, Feryerherm *et al.* (1984) ont observé que les progrès ont été plus importants en zones favorables tel qu'au Kansas, au Nebraska et en Oklahoma, où des gains de plus de 400 kg/ha ont été enregistrés sur la période 1950 à 1979. Par contre en zones variables, le gain a été plutôt modeste avec moins de 200 kg/ha au cours de la même période. La contribution de la génétique est donc étroitement liée à la variabilité climatique du milieu de production, plus cette dernière est forte, plus le gain génétique est faible, voire nul et plus difficile à stabiliser.

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. Elle est aussi essentielle pour que la culture puisse s'exprimer et produire tant soit peu ou à la limite survivre et se reproduire (Papadakis, 1932).

La notion d'adaptation se confond parfois avec celles 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 de point de vue adaptation au milieu. Levitt (1982) mentionne trois formes distinctes de résistance. La première se manifeste sous la forme d'un ensemble de mécanismes qui induisent chez la plante la capacité à accepter la contrainte mais sans en 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 même sous des niveaux assez élevés de la contrainte.

La deuxième est la situation où la plante fait appel à différents mécanismes (développement du système racinaire en profondeur) pour se maintenir à un niveau de contrainte nettement inférieur à celui exercé par le milieu extérieur. La troisième forme est la capacité de la plante à terminer l'essentiel de son cycle en dehors de la période de contrainte intense. Exprimée en terme de rendement en grains, Roseille et Hamblin (1981) définissent l'adaptation comme la capacité d'un génotype à donner des rendements grains élevés aussi bien en présence qu'en absence du stress.

La productivité s'exprime par le rendement le plus élevé qui s'écarte le moins du potentiel génétique du génotype en question. Elle est notée généralement dans les conditions de croissance plus favorables (Blum et Pnuel, 1990). Bouzerzour *et al.* (2000) ainsi que Fellah *et al.* (2002) montrent que les génotypes performants, en conditions favorables, perdent cette capacité sous conditions de contrainte abiotique. Il y a alors séparation de la capacité d'adaptation et celle de productivité.

L'adaptation est mieux définie selon Roseille et Hamblin (1981) par la différence (ΔY) entre les rendements obtenues en situations extrêmes (sous conditions de stress et sous conditions favorables) qui doit être minimisée : $\Delta Y = Y_1 - Y_2$, alors que la productivité est mieux définie par la moyenne de rendement (Y_i) qui doit être maximisée: $Y_i = (Y_1 + Y_2) / 2$. Un génotype adapté et productif est celui qui se distingue par une moyenne élevée de rendement et un écart réduit de rendement grain entre sites extrêmes.

Monneveux et This (1995) mentionnent que l'amélioration génétique de la tolérance à la sécheresse d'une espèce cultivée passe par une sélection pour des caractères liés au rendement en conditions de stress. Ceci vu l'inefficacité de la sélection directe pour le rendement grain (Benmahammed *et al.* 2005). Dans ce

sens la sélection pour la tolérance au stress est définie comme la capacité génotypique à maintenir un haut rendement en grains quelque soit les conditions de croissance prévalantes. C'est le concept de la stabilité du rendement (Cattivelli *et al.* 2002).

Pour avoir une bonne stabilité du rendement, le génotype idéal doit contenir le maximum, sinon la totalité des gènes contrôlant la tolérance aux stress. L'identification des composantes de la tolérance est, dans ce sens, un préalable pour assurer tout progrès futur du point de vue rendement grain, vu que le processus de sélection classique commence à connaître des limites suite aux effets des interactions génotype x environnement trop fortes dans les environnements sèches (Cattivelli *et al.* 2002).

Il est attendu de l'amélioration des connaissances au sujet des loci et gènes concernés par la tolérance au stress de faire évoluer la sélection du phénotype vers le génotype. C'est le principe de la sélection qui sera assistée par des marqueurs moléculaires (MAS). Elle aura le grand avantage de réduire l'effet masquant de l'environnement sur l'expression génique comme elle améliore par là même l'efficacité de la sélection pratiquée (Cattivelli *et al.* 2002).

Les gènes intervenant dans la régulation du processus de floraison sont très importants pour l'adaptation des variétés aux particularités environnementales (Acevedo, 1991). Ces gènes sont groupés en gènes de vernalisation (*Vrn*) et de photopériode (*Ppd*). Ils agissent en réponse aux stimulus environnementaux qui sont les basses températures et la durée du jour. Ces deux groupes de gènes agissent en interaction avec un troisième groupe de gènes (*Ea*) indépendants des stimulus environnementaux (*earliness per se genes*) (Worland *et al.* 1998).

La manipulation de la sensibilité à la photopériode est un objectif très important en amélioration des céréales afin d'optimiser la date d'épiaison et de

maturité à la variabilité climatique du milieu de production (Li *et al.* 1995). Comme d'autres caractéristiques désirables en sélection, la précocité est un caractère complexe montrant une variation phénotypique continue.

Elle est sous le contrôle d'une multitude de gènes désignés sous le vocable de loci des caractères quantitatifs (QTL). Ces QTL sont généralement très difficiles à identifier à cause de l'absence de ségrégation phénotypique discrète et à cause des effets mineurs des nombreux gènes associés à ce complexe caractère (Yano *et al.* 2000).

L'analyse des QTL comprend la sélection et l'hybridation de lignées parentales qui divergent pour un ou plusieurs caractères quantitatifs, suivie de l'étude de la descendance pour lier les QTL à des marqueurs de l'ADN. Les parties chromosomiques portant les QTL sont souvent très longs qu'elles peuvent inclure plusieurs fenêtres de lectures autrement dits d'autres loci non concernés par le caractère complexe en question (linkage).

Cette situation complique l'utilisation des QTL en amélioration des plantes ou leur introgression à l'intérieur de germoplasme élite à cause des caractères indésirables qui leur sont liés (Tanksley and Nelson 1996). L'étude des QTL est, de ce fait, le plus souvent restreinte à des portions chromosomiques les plus petites possible, pour qu'à la limite on est sur d'identifier et cloner un seul gène intégrant un QTL majeur.

Yano *et al.* (2000) décrivent l'application d'une cartographie de haute résolution dans l'identification d'un gène correspondant au QTL majeur *Hd1* qui contrôle la date d'épiaison du riz (*Oryza sativa* L.). Le gène *Hd1* est un homologue du gène *Constans* qui intervient dans le contrôle photopériodique de la floraison d'*Arabidopsis*, plante à jours longs (Putterill *et al.* 1995). Chez le blé, le gène *Ppd1* exerce un effet pléiotropique sur la plus part des caractères mesurables. Il réduit

la capacité de tallage suite à la réduction de la durée du cycle qui est lui est associée (Buck-Sorlin et Borner, 2001). Cette réduction de la durée du cycle induit aussi une réduction de la hauteur du chaume, résultat d'un entre-nœud en moins sur le brin maître et d'une moyenne de deux épillets par épi (Buck-Sorlin et Borner, 2001).

CHAPITRE-II- MATERIEL ET METHODES

1- LOCALISATION ET MISE EN PLACE DE L'EXPERIMENTATION

L'étude a été conduite sur les sites des Stations de la Recherche Agronomique ITCMI de Oum El Bouaghi et ITGC de Sétif au cours de la campagne agricole 2002/03. Les stations sont situées dans la région des hauts plateaux. La zone appartient au domaine semi-aride caractérisé par un climat continental typiquement méditerranéen. L'essai mis en place est constitué de 20 géotypes de blé dur (Tableau 5).

Tableau -5- Listes des variétés de blé dur étudiées, origine et randomisation au champ

Pedigree	Randomisation			Origine
1- Mrb16//Enté/Mario	1	31	57	Syrie
2- Inrat69	2	28	58	Tunisie
3- Sahel 77	3	27	49	Algérie
4- Bicre	4	26	48	Syrie
5-Senator Capelli	5	23	54	Italie
6- Massara1	6	29	41	Syrie
7-Hd/Mt//Huevos de Oro	7	21	45	Algérie
8- Cyprus1	8	25	42	Chypre
9- Chen's	9	24	47	Syrie
10- Belikh 2	10	35	59	Syrie
11-H3/Polonicum	11	40	46	Algérie
12- Mrb 5	12	32	56	Syrie
13- Semito	13	22	44	Italie
14- Waha	14	34	52	Algérie
15-Daki	15	36	60	Syrie
16- Beliouni3258	16	33	53	Algérie
17- MBBachir	17	38	50	Algérie
18- Heider	18	37	55	Syrie
19- 439/Ads/97	19	39	51	Italie
20- Derraa	20	30	43	Syrie

Le matériel végétal est semé sur des parcelles élémentaires de six rangs de 5 m de long avec un espace inter-rangs de 20 cm. La superficie parcellaire est de 6 m². Le dispositif expérimental des blocs complètement randomisés a été utilisé sur

le site de Sétif, dont le semis a été effectué le 17 du mois de novembre 2002. (fig.8).



Figure 8 : essai installé à Sétif. (Station ITGC).

L'essai installé à OEB (fig. 9), semé le 31 du mois de décembre 2002, est constitué d'une seule répétition, à cause de la quantité limitée des semences du jeu des variétés testées.

Le précédent cultural est une jachère intégrale sur le site de Sétif. Les techniques culturales appliquées sur ce site sont un labour profond réalisé au cours du mois décembre, suivi de deux passages du cover crop, au printemps pour reprendre le labour et détruire les adventices installées. 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, à raison de 12 grammes mélangés dans 250 l d'eau/hectare, sont réalisés au stade plein stade tallage.



Figure 9: Essai blé dur d'Oum El Bouaghi (station ITCMI)

2- SUIVI ET NOTATIONS

Le suivi a consisté en la prise des notations concernant la date d'épiaison, pour estimer la durée de la phase végétative, comptée en jours calendaires du semis au jour où 50% des épis sortent de leur gaine et la biomasse aérienne accumulée à ce stade. La vitesse d'accumulation de la matière sèche au cours de la période pré-anthèse est estimée par le rapport de la biomasse aérienne mesurée au stade épiaison sur la durée de la phase végétative.

A maturité, on a procédé à la récolte d'un segment de rang, long de 1 m, pour estimer le rendement, les composantes du rendement et la biomasse aérienne produite. La hauteur de la plante a été prise du sol au sommet de la strate moyenne des épis avant la récolte des essais. Le rendement grain a été aussi estimé à partir de la récolte machine des essais.

Le rendement grain et la biomasse aérienne du bottillon de végétation ont servi à déterminer l'indice de récolte. Le comptage du nombre d'épis produit par unité de surface de sol a été déterminé à partir de la végétation du bottillon

récolte. Le poids de 1000 grains est obtenu à partir du poids de 250 graines, comptées par parcelle élémentaire.

Le nombre de grains/épi et par unité de surface sont déduits par calcul. L'efficacité d'utilisation des eaux pluviales est obtenue par le rapport du rendement grain et la biomasse aérienne mesurée à maturité sur la pluie enregistrée au cours du cycle de développement.

□ Pour le feuillage ; et juste après récolte, 10 feuilles par variété ont été prises puis on a mesuré leur longueur ensuite la largeur d'une feuille a été mesurée ; la surface foliaire (SF, cm²) est définie comme la moitié du produit de la longueur totale (L, cm) par la largeur moyenne (l, cm) des feuilles. (Milroy et Goyen, 1995).
$$SF (cm^2) = \frac{1}{2} (L * l).$$

□ Appréciation du niveau hydrique du végétal :

L'un des principaux paramètres du niveau hydrique de la plante est la teneur relative en eau (TRE ou RWC). Celle-ci est obtenue selon la méthode de Barrs (1968) :

Les feuilles coupées au niveau de la base du limbe, sont pesées immédiatement (poids frais). Les feuilles sont ensuite placées dans des tubes à essai (1 tube / 10 feuilles / variété) contenant de l'eau de robinet pendant 4 heures à l'obscurité ; le poids de turgescence est déterminé. L'échantillon est ensuite mis à sécher à l'étuve à 80 ° c pendant 24 heures et pesé (poids sec).

La teneur relative en eau est ensuite calculée selon la formule :

$$TRE (\%) = 100 (PF - PS) / (PT - PS)$$

Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par :

$$PSF (mg / cm^2) = SF (cm^2) / PS (mg)$$

Avec : PF : poids frais,

PS : poids sec

PT : poids à la turgescence, SF : surface foliaire.

Le taux de protéines dans le grain est obtenu à partir de la formule :

$N \% \times 5.7$, le taux d'azote ayant été obtenu par analyse au laboratoire.

3- ANALYSE DES DONNEES

Les données collectées sont analysées selon le dispositif en blocs complètement randomisés, pour déterminer les différences significatives par variable (Steel et Torrie, 1980). Les corrélations intra et inter-sites sont aussi calculées pour étudier les similitudes de réponse des différentes variables mesurées. et notamment celles liant le rendement et les variables d'intérêt pour cette étude.

Les variables d'intérêt sont la hauteur de la plante la durée de la phase végétative et la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison. Ces variables sont incluses dans divers modèles d'élaboration du rendement et leurs contributions directes et indirectes via les autres variables mesurées sont déduites selon la méthode décrite in Dewey *et al*/1959.

CHAPITRE III- RESULTATS ET DISCUSSION

1-CLIMAT DES SITES EXPERIMENTAUX DE LA CAMPAGNE 2002/03

Les cumuls des précipitations enregistrées entre les mois de septembre 2002 à juin 2003, étaient de 387.5 et 521.8 mm respectivement pour les sites de Oum El Bouaghi et Setif (Figure 10-A).

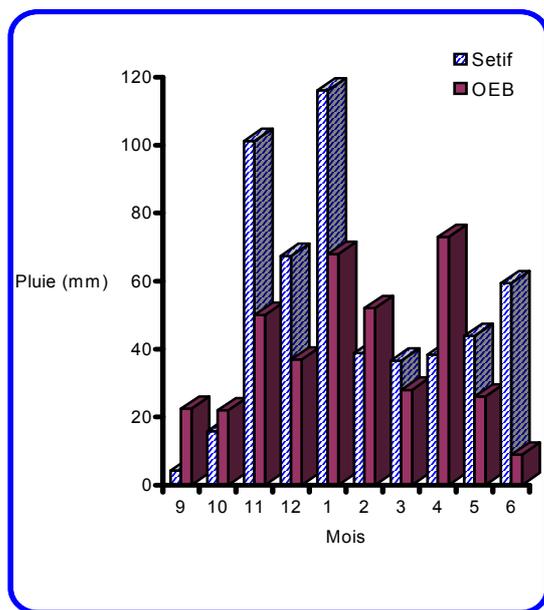


Figure -10- A : variation des précipitations mensuelles de la campagne 2002/2003 sur les sites expérimentaux de Oum El Bouaghi et Sétif.

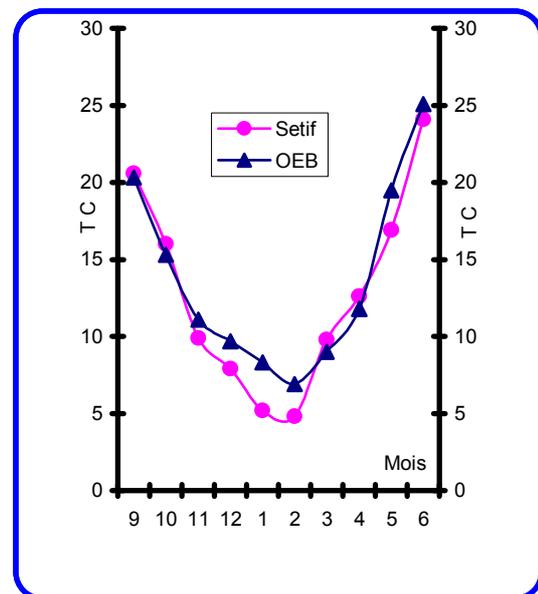


Figure -10-B : variation de la température mensuelle de la campagne 2002/2003 sur les sites expérimentaux de Oum El Bouaghi et sétif.

Le site de Sétif a reçu plus de pluies, surtout en hiver et au printemps, alors que celui de Oum El Bouaghi a été relativement plus pluvieux au début de l'automne. Le cumul de Oum El Bouaghi a été plus élevé de 88 mm que la normale calculée pour

la période 1987/1988 à 2002/2003. Cette campagne se classe en troisième position, du point de vu cumul sur les dernières 16 campagnes.

Du point de vu températures moyennes mensuelles, il a fait plus froid sur le site de Sétif au cours de l'hiver. Au cours de l'automne et le printemps les sites présentent des moyennes mensuelles très proches (Figure 10-B).

2- COMPORTEMENT GENOTYPIQUE INTRA- ET INTER-SITES

Les valeurs moyennes des variables mesurées caractéristiques de l'échantillon de géotypes évalués sur les deux sites sont données au tableau 6. Pour identifier les caractères qui accompagnent l'expression du rendement grain, la comparaison intra site des valeurs prises par les 4 meilleurs géotypes à ceux qui sont les moins performants pour le rendement grain est faite.

Tableau -6- Valeurs moyennes des variables mesurées sur les deux sites expérimentaux de Sétif et Oum El Bouaghi.

Sites Variables	OEB			Sétif			
	Mini	Max	Moy	Mini	Max	Moy	résiduelle
NE (m2)	90	274	141	260	546.6	424.8	1560.6
PMG (g)	44.0	60.4	<u>49.5</u>	32.5	52.7	44.9	9.92
NGM (/m2)	1798	9513	3932	3393	7506	4830.7	228715.6
NGE	18.3	34.7	<u>27.5</u>	6.7	20.0	11.8	0.55
HT (cm)	58.6	94.8	<u>75.6</u>	54.6	96.0	69.6	28.1
PVG (j)	117	126	121.5	131	142	135.7	51.0
HI (%)	17.2	43.0	<u>27.5</u>	11.3	22.2	16.7	2.1
RDT (g/m2)	100	430	192	147	271	217	473.5
BOE (g/m2)	92	338	160.4	342	936	559.2	5290.9
BOM (g/m2)	100	1000	544	1034	1794	1328	21344.1
VCV (g/m2/j)	0.74	2.9	1.3	2.58	6.64	4.11	
EUR (g/m2/mm)	0.25	1.10	0.49	0.28	0.52	0.42	
EUB (g/m2/mm)	0.25	1.93	1.40	1.98	3.43	2.54	

Cette comparaison montre que sur le site de Sétif les génotypes les plus performants sont Mrb5, Belikh2, Daki et Bicre. Par contre ceux qui sont les moins performants sont Ads, MBB, Senator et Waha.

Les différences entre ces deux groupes de génotypes émergent surtout pour le nombre de grains par épi, le nombre de grains produit par m², l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain, l'indice de récolte et la hauteur du chaume. Une augmentation des valeurs moyennes de ces variables, associée à une réduction de la hauteur du chaume sont en faveur des génotypes à haut rendement (Tableau 7).

Tableau -7- Valeurs moyennes des variables mesurées caractéristiques des 4 génotypes à haut rendement (HRDT) et à faible rendement grain (FRDT) sur les deux sites expérimentaux de Sétif et Oum El Bouaghi.

Sites Variables	Sétif		OEB	
	HRDT	FRDT	HRDT	FRDT
NE (m ²)	427.3	496.6	196.8	123.0
PMG (g)	43.9	43.4	48.4	48.6
NGM (/m ²)	5830	3811	5816	2813.2
NGE	14.09	7.82	29.2	22.4
HT (cm)	66.3	70.6	74.8	78.2
PVG (j)	134.9	135.2	119.3	123.8
HI (%)	19.6	12.4	37.8	25.2
RDT (g/m ²)	255.6	166.2	277.5	133.8
BOE (g/m ²)	540.8	544.3	217.5	125.7
BOM (g/m ²)	1315	1344	727.5	535.0
VCV (g/m ² /j)	4.01	4.03	1.74	1.02
EUR (g/m ² /mm)	0.48	0.31	0.71	0.34
EUB (g/m ² /mm)	2.51	2.57	1.87	1.37

Sur le site de Oum El Bouaghi les génotypes les plus performants sont Derraa, Mrb5, Bicre et Waha. Par contre ceux qui sont les moins performants sont

Sahell77 Belikh2, Cyprus1 et Belioni. Mise à part le poids de 1000 grains, les différences entre ces deux groupes de génotypes existent pour l'ensemble des variables mesurées dont l'augmentation est en faveur d'un haut rendement. Un haut

rendement sur ce site est associée à une réduction de la hauteur du chaume et de la durée de la phase végétative (Tableau 8).

La comparaison inter-sites montre que le site de Sétif a permis une meilleure expression de presque l'ensemble des variables mesurées hormis le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, la hauteur du chaume et l'indice de récolte. Ces dernières variables se sont mieux exprimées sur le site de Oum El Bouaghi (Tableau 6).

Parmi les génotypes performants, Mrb5 et Bicre montrent une large adaptation, aux deux sites. Belikh 2 et Waha montrent, plutôt, une adaptation spécifique à chaque site (Figure 8).

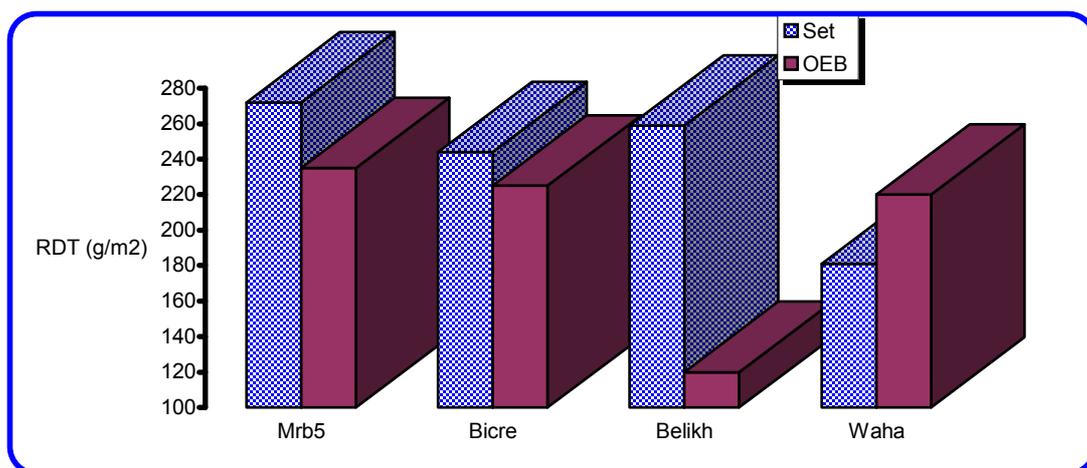


Figure-8- Performances de rendement grain de génotypes a adaptations spécifiques (Belikh2 et Waha) et large (Mrb5 et Bicre).

Il ressort de ces résultats que lorsque le milieu permet l'expression du potentiel génétique de l'ensemble des variables morphologiques, la compensation est de type négative. Les différences génotypiques de rendement sont dues à des différences exprimées chez un nombre réduit de variables liées, en relation avec le rendement

(nombre de grains par épi sur le site Sétif). Par contre lorsque le milieu limite l'expression d'un grand nombre de variables morphologiques, les différences de rendement entre géotypes émergent suite à la contribution concomitante de plusieurs variables.

3- LIAISONS ENTRE LES VARIABLES INTRA- ET INTER-SITES

Les coefficients de simple corrélation entre les différentes variables mesurées sur les deux sites et entre les deux sites sont donnés aux tableaux 8.

Tableau -8- Coefficients de simple corrélation entre les variables mesurées par site et inter-sites (au dessous = Setif, au dessus =OEB, diagonale = inter-sites).

	NE	PMG	NGM	NGE	HT	PVG	HI	RDT	BOE
NE	<u>0.075</u>	-0.459	0.902	0.200	-0.132	-0.009	0.782	0.887	0.525
PMG	-0.212	<u>-0.137</u>	-0.475	-0.247	0.181	0.073	-0.264	-0.326	-0.099
NGM	-0.024	-0.471	<u>-0.012</u>	0.581	-0.282	0.002	0.876	0.985	0.339
NGE	-0.763	-0.137	0.592	<u>-0.09</u>	-0.417	-0.182	0.401	0.586	-0.056
HT	-0.268	0.163	-0.410	-0.101	<u>-0.04</u>	0.122	-0.242	-0.271	0.156
PVG	-0.520	0.225	-0.222	0.189	0.711	<u>0.185</u>	0.278	-0.017	-0.334
HI	-0.245	0.262	0.575	0.519	-0.355	-0.178	<u>-0.106</u>	0.872	0.168
RDT	-0.155	0.200	0.731	0.564	-0.348	-0.154	0.797	<u>0.079</u>	0.361
BOE	-0.039	-0.378	0.131	0.084	0.294	0.326	-0.526	-0.154	<u>0.128</u>
BOM	0.202	-0.141	-0.056	-0.166	-0.166	0.075	-0.620	-0.061	0.699
VCV	0.034	-0.427	0.173	0.063	0.206	0.207	-0.523	-0.136	0.992
EUR	-0.155	0.200	0.731	0.564	-0.348	-0.154	0.797	1.000	-0.154
EUB	0.202	-0.141	-0.056	-0.166	0.166	0.075	-0.620	-0.061	0.699

Seuils: r5% = 0.444 et r1% =0.561 pour n-2 =18 ddl.

Le rendement grain, objectif principal de la sélection chez l'espèce étudiée, est positivement et significativement corrélé avec l'efficience d'utilisation de l'eau pour produire du grain, avec l'indice de récolte, le nombre de grains produits par unité de surface de sol et le nombre de grains par épi, sur le site de Sétif (Tableaux 9 et 10).

Tableau -8- Coefficients de simple corrélation entre les variables mesurées par site et inter-sites (au dessous = Setif, au dessus =OEB, diagonale = inter-sites).

	BOM	VCV	EUR	EUB
NE	-0.331	0.501	0.887	-0.331
PMG	0.163	-0.099	-0.326	0.163
NGM	-0.459	0.317	0.985	-0.459
NGE	-0.261	-0.049	-0.586	-0.261
HT	0.401	0.148	-0.271	0.401
PVG	-0.338	-0.405	-0.017	-0.338
HI	-0.728	0.128	0.872	-0.728
RDT	-0.442	0.339	1.000	-0.442
BOE	0.210	0.997	0.361	0.210
BOM	<u>0.215</u>	0.244	-0.442	1.000
VCV	0.716	<u>-0.189</u>	0.339	0.244
EUR	-0.061	-0.136	<u>0.079</u>	0.442
EUB	1.000	0.716	-0.061	<u>-0.052</u>

Seuils: $r_{5\%} = 0.444$ et $r_{1\%} = 0.561$ pour $n-2 = 18$ ddl.

Ces liaisons indiquent que chez la majorité des génotypes évalués sur ce site, un haut rendement est la résultante de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation des eaux de pluie pour produire du grain. Il est aussi le résultat d'une répartition équilibrée de la matière sèche accumulée entre les parties grain et paille, débouchant sur la production d'un nombre élevé de grains/m² qui se manifeste surtout chez les génotypes réussissant une bonne fertilité épi.

Sur le site de Oum El Bouaghi, le rendement grain est positivement et significativement corrélé avec les mêmes caractères identifiés sur le site de Sétif, en plus du nombre d'épis/m² (Tableaux 9 et 10).

Sur ce second site le rendement grain est dépendant aussi des différences entre génotypes pour la production des épis /m², en plus des autres variables mentionnées. Les nombres d'épis et de grains par épi contribuent conjointement pour donner un nombre de grains/m² élevé.

La réalisation par un génotype donné d'un nombre d'épis/m² élevé concomitant un nombre de grains/épi élevé n'est possible que si la valeur prise par la

première composante à se former (le nombre d'épis/m²) est relativement faible comparativement au potentiel. Ceci suite au effet de compensation qui lie ces deux composantes et qui est le plus souvent de type négatif.

Il ressort que sur les deux sites un haut rendement est le plus souvent issu de la réalisation d'un nombre de grains/m² élevé. Le nombre de grains/m² est lui même la résultante des épis/m² et des grains par épi. Ces deux composantes se forment au cours de la période pré-anthèse. Elles sont donc, de ce fait, bien représentées par la variable biomasse accumulée au stade épiaison.

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est aussi dépendante de la hauteur du chaume et de la durée de la phase végétative. Est-il possible connaissant la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison, de prédire le nombre de grains/m² et de ce fait le rendement grain, chez des génotypes de durée de phase végétative et hauteur de chaume connues?

4- LIAISONS ENTRE LA HAUTEUR DU CHAUME, LA DUREE DE LA PHASE VEGETATIVE, LA BIOMASSE ACCUMULEE AU STADE EPIAISON ET LE RENDEMENT.

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison peut-être utilisée comme un indicateur de la capacité différentielle des génotypes à 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.

Les effets directs et indirects de ces variables sur la réalisation du rendement grain sont étudiés selon les modèles d'élaboration du rendement donnés en figure 9.

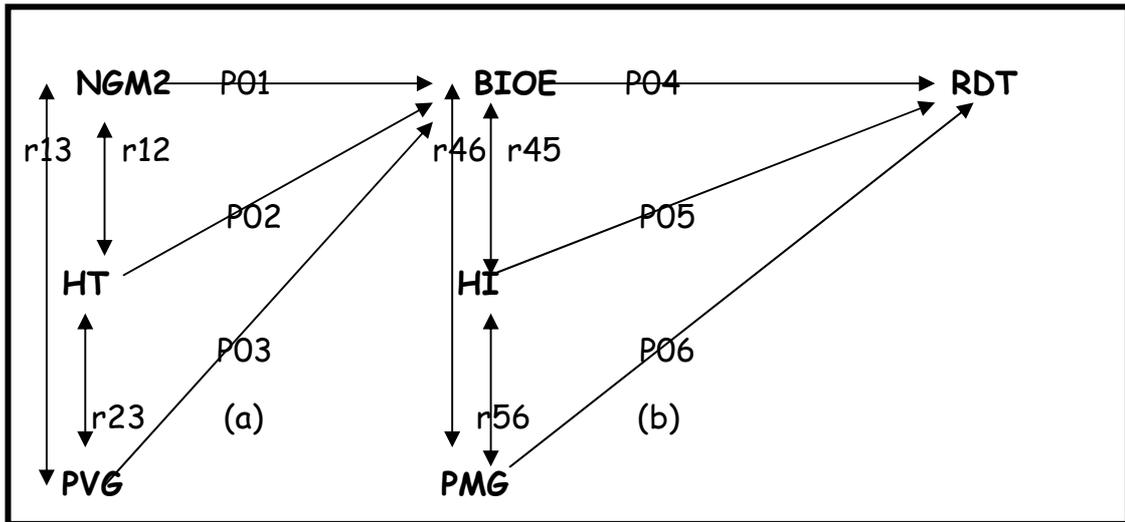


Figure-9- Modèles d'élaboration du rendement du blé dur testés.

Le modèle (a) stipule que la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est la résultante des contributions de la hauteur du chaume, de la durée de la phase végétative et du nombre de grains/m². La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison contribue, avec l'indice de récolte et le poids de 1000 grains, au rendement grain final (Modèle b).

L'effet direct le plus élevé sur la formation de la biomasse mesurée au stade épiaison, sur le site de OEB, est celui du NGM2. Il est suivi par celui de la hauteur du chaume. La durée de la phase végétative a peu d'effet direct sur la formation de la biomasse aérienne. Les effets indirects sont faibles à nuls (Tableau 11).

Pour le rendement grain et sur le même site, les effets directs les plus élevés sont ceux de la biomasse et de l'indice de récolte. Celui du poids de 1000 grains est nul. Les effets indirects sont faibles à nuls (Tableau 12).

Sur le site de Sétif, le NGM2 exerce un effet direct relativement élevé sur la formation de la biomasse comparativement à la corrélation qui lie ces deux variables (Tableau 11). L'effet indirect du NGM2 sur la biomasse via la hauteur du chaume est aussi appréciable en valeur mais de signe négatif.

Une paille haute conduit à une faible production de grains/m², ce qui réduit, indirectement, de la contribution de ce caractère à la formation de la biomasse aérienne. L'effet indirect par le biais de la durée de la phase végétative est nul (Tableau 11).

L'effet direct de la hauteur du chaume sur la biomasse aérienne est de même magnitude que la corrélation entre ces deux caractères. Les effets indirects sont relativement élevés et de signes négatifs via le NGM2 et positifs via la durée de la phase végétative (Tableau 11). Un faible NGM2 est associé à un chaume élevé, ainsi qu'une longue durée de la phase végétative, d'où la contribution indirecte à la biomasse aérienne.

L'effet direct de la durée de la phase végétative est élevé. Il est associé à des effets indirects nul via le NGM2 et de même magnitude que l'effet direct via la hauteur (Tableau 11).

Tableau -9- Effets directs et indirects des variables contribuant a la formation de la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison.

Site OEB		
- Effet direct du NGM2 sur la BIOE =	P01	=0.3820
- Effet indirect via la HT =	r12P02	=-0.0608
- Effet indirect via la PVG =	r13P03	=0.0001
- r BIOE/NGM2		=0.7618
- Effet direct de la HT sur la BIOE =	P02	=0.2156
- Effet indirect via le NGM2 =	r12P01	=-0.0231
- Effet indirect via la PVG =	r23P03	=-0.0083
- r BIOE/HT		=-0.0281
- Effet direct de la PVG sur la BIOE =	P03	=-0.0683
- Effet indirect via le NGM2 =	r13P01	=0.0002
- Effet indirect via la HT =	r23P02	=0.0263
- r BIOE/PVG		=-0.0370
Site Sétif		
- Effet direct du NGM2 sur la BIOE =	P01	=0.2873
- Effet indirect via la HT =	r12P02	=-0.1111
- Effet indirect via la PVG =	r13P03	=-0.0421
- r BIOE/NGM2		=0.1329
- Effet direct de la HT sur la BIOE =	P02	=0.2711
- Effet indirect via le NGM2 =	r12P01	=-0.1178
- Effet indirect via la PVG =	r23P03	=0.1349
- r BIOE/HT		=0.2938
- Effet direct de la PVG sur la BIOE =	P03	=0.1897
- Effet indirect via le NGM2 =	r13P01	=-0.0637
- Effet indirect via la HT =	r23P02	=0.1927
- r BIOE/PVG		=0.3261

Pour le rendement grain, la biomasse aérienne a un effet direct appréciable positif et un effet indirect important, mais de signe négatif, via l'indice de récolte. L'effet indirect via le poids de 1000 grains est nul (Tableau 12). Une biomasse aérienne élevée est souvent associée négativement avec l'indice de récolte, d'où la contribution négative de ce caractère via l'indice de récolte.

Tableau -10- Effets directs et indirects des variables contribuant a la formation du rendement grain.

Site OEB		
- Effet direct de la BIOE =	P04	=0.6654
- Effet indirect via HI =	r45P05	=0.0560
- Effet indirect via PMG =	r56P06	=-0.0069
- r RDT/BIOE		=0.7622
- Effet direct de HI =	P05	=0.3316
- Effet indirect via BIOE =	r45P04	=0.1118
- Effet indirect via PMG =	r46P06	=-0.0186
- r RDT/HI		=0.5084
- Effet direct du PMG =	P06	=0.0705
- Effet indirect via BIOE=	r46P04	=-0.0659
- Effet indirect via la HI =	r56P05	=-0.0875
- r RDT/PMG		=-0.3256
Site Sétif		
- Effet direct de la BIOE =	P04	=0.3877
- Effet indirect via HI =	r45P05	=-0.5159
- Effet indirect via PMG =	r56P06	=-0.0349
- r RDT/BIOE		=-0.1536
- Effet direct de HI =	P05	=0.9800
- Effet indirect via BIOE =	r45P04	=-0.2092
- Effet indirect via PMG =	r46P06	=0.0242
- r RDT/HI		=0.7971
- Effet direct du PMG =	P06	=0.0925
- Effet indirect via BIOE=	r46P04	=-0.1503
- Effet indirect via la HI =	r56P05	=0.2567
- r RDT/PMG		=-0.1998

L'effet direct de l'indice de récolte sur le rendement grain est le plus élevé en valeur. Ce caractère a un effet indirect négatif via la biomasse aérienne et un effet indirect nul via le poids de 1000 grains (Tableau 12). Le poids de 1000 grains présente une effet direct nul. L'effet indirect est négatif via la biomasse aérienne et positif via l'indice de récolte (Tableau 12).

Il ressort de cette analyse que, sur les deux sites, le nombre de grains/m² et la hauteur ont des effets directs relativement importants sur la formation de la

biomasse aérienne accumulée au stade épiaison. L'effet direct de la durée de la phase végétative est peu évident chez le jeu de génotypes étudiés.

Pour le rendement grain et sur les deux sites, la biomasse aérienne et l'indice de récolte présentent des effets directs assez élevés en valeur. Le poids de 1000 grains, par contre, a peu d'effet. Les effets indirects sont relativement faibles a nuls.

Ces résultats sont issus d'un jeu de génotypes dont la sélection n'a pas été faite sur la base des caractères d'intérêts pour cette étude. Cependant on peut se poser la question comment utiliser ces résultats dans le processus de sélection ?

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est indicatrice de l'activité photosynthétique de la période de pré-anthèse. Cette période est relativement plus favorable à la culture dans les zones semi-arides. Il est donc souhaitable de développer un matériel végétal qui se distingue par sa capacité à accumuler plus de biomasse aérienne au stade épiaison.

Cette biomasse doit être associé à la production d'un nombre élevé de grains/m² et à un chaume de taille intermédiaire, pour réduire des effets indirects négatifs sur le nombre de grains/m². De tels génotypes sont plus aptes à donner des rendements élevés et stables dans les conditions de productions des zones semi-arides.

Le développement de variétés à hauts rendements et stables, plus adaptées à la variation climatique des zones semi-arides, reste un important objectif à atteindre en amélioration du blé dur. Cet objectif est d'autant plus important que la distribution des pluies et l'intensité des stress sont irrégulières et de nature intermittente.

Pour une année moyenne, l'essentiel des pluies associé à des températures basses sont enregistrés en hiver- début printemps. A partir de cette date, les pluies deviennent rares et la température de l'air s'élève rapidement. Ces deux facteurs climatiques deviennent des contraintes à la croissance de la plante (Mekhlouf *et al.* 2005).

L'itinéraire de formation du rendement suit une cinétique qui débute par la formation des épis, suivi des sites des grains par épi. Il se termine par le remplissage des grains (Grafius et Hamid, 1978). Les stress précoces affectent la formation des épis et les sites des grains par épi. Alors que les stress plus tardifs affectent beaucoup plus le poids individuel du grain et le nombre de grains formés par unité de surface ensemencée (Fischer 1985).

L'effet de compensation entre composantes du rendement rend souvent l'effet des stress moins visible, ainsi une forte réduction des épis produits par m² est 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 un augmentation du poids individuel du grain (Wardlaw 2002, Bahlouli *et al.* 2005).

Etudiant les changements intervenus dans l'architecture de la plante des nouvelles sélections réalisées depuis plusieurs décennies, Slafer et Andrade (1991) notent que l'amélioration du rendement fait suite a celui de l'indice de récolte, avec peu de changements de la biomasse produite. L'amélioration du rendement s'est faite par augmentation du nombre de grains produits par unité de surface semée plus que par l'augmentation du poids individuel du grain.

Les bases photosynthétiques expliquant les changements intervenus dans le rendement grain sont (1) la quantité totale de radiation active interceptée par la culture (2) l'efficience de conversion de la radiation interceptée en matière sèche,

et (3) la répartition des photo assimilats vers les différents organes reproductifs ou composantes du rendement grain (Gifford *et al.* 1984).

Austin *et al.* (1980) mentionnent que la répartition de la matière sèche produite en grain peut atteindre le seuil de 62%. A partir de cette valeur de l'indice de récolte, l'amélioration du rendement grain est à chercher via une augmentation de la biomasse produite (Siddique *et al.* 1989).

Comme le rendement grain est fortement corrélé avec le nombre de grains produits par unité de surface de sol, ce puits est donc un facteur limitant l'obtention de hauts rendements grains. Thorne et Wood (1987) ainsi que Vargas et al. (1999) mentionnent que l'amélioration de l'activité photosynthétique, tout juste avant l'anthèse, conduit à l'augmentation de ce puits (le NGM2) et du rendement grain. La période pré-anthèse est donc importante pour la matérialisation du nombre de grains produit par m² et du rendement grain.

Savin et Slafer (1991) trouvent une corrélation significative entre le nombre de grains/m², le poids de matière sèche de l'épi au stade épiaison. La taille des organes reproductifs à l'anthèse est donc un indicateur du nombre de grains produits par m² au stade épiaison.

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 selon Brookey et Kir by (1981).

5- Paramètres du feuillage sur le site d'Oum El Bouaghi :

Les mesures effectuées sur feuillage au site d'Oum El Bouaghi sont portées sur le tableau 11.

	Surface Foliaire cm²	Poids Spécifique Foliaire mg/cm²	TRE %
MRB 16	22.57	15.56	33.50
Inrat 69	17.8	16.26	27.85
Sahel 77	20.45	17.47	36.81
bicre	12.5	10.77	44.73
Senator Capelli	22.83	13.67	57.10
Massara1	17.78	14.57	41.99
H/Mt/Mo	20.75	19.39	35.77
Cyprus1	17.77	15.05	37.45
Chen's	20.08	15.81	46.36
Belikh2	14.63	13.93	43.41
H3/Polonicum	19.98	15.48	50.63
MRB5	23.1	16.38	51.25
Semito	19.49	14.12	44.31
Waha	17.32	15.06	41.35
Daki	17.5	14.22	68
Beliouni	17.6	17.25	56.01
MBBachir	17.54	14.26	61.92
Heider	15.03	12.73	59.44
439/Ads/97	22.42	16.24	67.92
Derraa	20.7	13.35	70.28

Tableau 11 : mesures effectuées sur feuillage au site d'Oum El Bouaghi

Les valeurs moyennes des variables mesurées caractéristiques de l'échantillon de géotypes évalués sur le site d'Oum El Bouaghi relatives à quelques paramètres du feuillage sont données au tableau 12.

variables	mini	maxi	moyenne
TRE %	27.85	70.28	48.80
SF cm ²	12.50	23.10	18.89
PSF mg / cm ²	10.77	19.39	15.07

Tableau -12 -. Valeurs moyennes des variables mesurées sur feuillage au site d'Oum El Bouaghi.

5.1 Liaisons entre les variables TRE, SF et PSF et le rendement, la hauteur et la période végétative sur le site d'Oum El Bouaghi :

Les coefficients de simple corrélation entre ces variables sont donnés au tableau suivant :

	HT	PVG	RDT	BIOE	TRE	SF	PSF	NGM
HT	1.000							
PVG	0.121	1.000						
RDT	-0.269	-0.017	1.000					
BIOE	0.157	-0.332	0.363	1.000				
TRE	-0.260	0.293	0.379	-0.046	1.000			
SF	0.133	-0.047	0.131	0.572	0.082	1.000		
PSF	0.041	0.042	-0.312	0.295	-0.330	0.540	1.000	
NGM	-0.282	0.002	0.985	0.339	0.388	0.082	0.539	1.000

Tableau -13 - coefficients de simple corrélation entre TRE, PSF et SF et les paramètres d'intérêt pour cette étude.

Le rendement grain, objectif principal de la sélection chez l'espèce étudiée, est positivement corrélé avec la teneur relative en eau ($r = 0.38$) ; cette dernière est négativement corrélée avec la hauteur de la plante ($r = -0.260$), le poids spécifique foliaire et la biomasse à l'épiaison ; elle est positivement corrélée avec la durée de la période végétative et le nombre de grains par unité de surface. 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'alimenter, de manière constante en eau (système racinaire), au contrôle des pertes d'eau par les surfaces évaporantes (nombre et diamètres des stomates,

résistance stomatique à la sortie de la vapeur d'eau) et à l'ajustement osmotique. (Araus et al. 1991).

Pour les 4 meilleurs génotypes du point de vue rendement sur le site d'Oum El Bouaghi, les valeurs de TRE, SF et PSF sont donnés au tableau 14.

	Surface Foliaire cm ²	Poids Spécifique Foliaire mg/cm ²	TRE %	Rdt
bicre	12.5	10.77	44.73	225
MRB5	23.1	16.38	51.25	235
Waha	17.32	15.06	41.35	220
Derraa	20.7	13.35	70.28	430

Tableau 14 : caractéristiques du feuillage pour les 4 meilleurs génotypes.

Lorsque la teneur relative en eau diminue en fonction des génotypes, le rendement est revu à la baisse. En effet le génotype Derraa qui a obtenu le rendement le plus élevé est caractérisé par une forte teneur relative en eau, ceci rejoint la théorie qui dit que les génotypes ayant une forte teneur en eau relative produisent plus. (Boukecha, 2001). La corrélation négative de la TRE avec le poids spécifique foliaire indique que les dimensions de la feuille interviennent dans le maintien d'une teneur en eau conséquente. Les feuilles aux larges dimensions sont moins turgescents que les feuilles aux dimensions relativement 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).

6. TAUX DE PROTEINES DU GRAIN :

Les protéines constituent un facteur essentiel qui détermine la qualité de panification ou de pastification du blé. Elles forment également une composante

importante du régime alimentaire chez les humains. La teneur en protéines du grain (TPG) du blé est déterminée par des facteurs génétiques, environnementaux et nutritionnels. En général, la TPG du blé peut varier de 8 à 20 p. 100. La majeure partie de cette variabilité (de 60 à 80 p. 100) est causée par des facteurs environnementaux, comme la disponibilité de l'azote et de l'eau, la température et l'intensité lumineuse. Cependant, les facteurs génétiques jouent un rôle moins important dans la détermination de la TPG. Selon des études menées en Saskatchewan, les facteurs génétiques sont responsables de 2 à 4 p. 100 des écarts de la TPG en ce qui concerne les cultivars de RPOC (blé roux de printemps de l'Ouest Canadien). La variation de TPG attribuable à la génétique peut représenter jusqu'à 2 p. 100 de protéines, comparativement à une fourchette de 12 p. 100 de protéines dans le cas des facteurs environnementaux. (Selles et James, 2003).

Dans le cas de notre étude et si nous prenons les quatre génotypes les plus performants sur le site d'Oum El Bouaghi, nous trouvons qu'ils enregistrent des taux assez élevés en protéines comparés aux autres génotypes moins performants.

	Taux d'azote	Taux de protéines
Derraa	2.1	11.9
Waha	2.1	11.9
MRB5	2	11.4
bicre	1.9	10.8

Tableau 15 : taux de protéines pour les 4 meilleurs génotypes (OEB)

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 forts en cela de certains de leurs paramètres phéno-morphologiques, cette modeste étude a essayé de mettre en relief certains de ces paramètres et prouver leur rôle dans l'obtention de rendements acceptables et la minimisation des effets néfastes des contraintes abiotiques caractéristiques du milieu semi-aride.

Les résultats qui peuvent en être tirés sont regroupés dans les points suivants :

- Un haut rendement est la résultante de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation des eaux de pluie pour produire du grain, d'une répartition équilibrée de la matière sèche accumulée entre les parties grain et paille c'est à dire un bon indice de récolte débouchant sur la production d'un nombre élevé de grains par mètre carré. Sur les deux sites, un haut rendement est le plus souvent issu de la réalisation d'un nombre de grains par mètre carré élevé.
- La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison, partie intégrante dans la formation des deux composantes du nombre de grains /m² qui sont les épis / m² et les grains par épi, permet aux génotypes dont la capacité à accumuler cette biomasse est élevée à souffrir moins des effets des stress de la post anthèse.
- L'étude des effets directs et indirects montre que le nombre de grains/m² et la hauteur contribuent fortement à la formation de la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison.

- La biomasse aérienne et l'indice de récolte de par leurs effets directs assez élevés participent à l'élaboration du rendement.
- Parmi les génotypes testés, MRB5 et Bicre ont montré une large adaptation aux deux sites, tandis que Belikh2 et Waha ont montré plutôt une adaptation spécifique à chaque site.

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 au stade épiaison. Cette biomasse doit être associée à la production d'un nombre élevé de grains / m² et à un chaume de taille intermédiaire pour réduire des effets indirects négatifs sur le nombre de grains/m².

Références bibliographiques

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

Abbassenne F., Bouzerzour H., Hachemi L. (1998) Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Ann. Agron. INA*, 18: 24-36.

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

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

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., P. Monneveux, G. Galiba (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 injury to wheat during grain development. *Physiologia Plantarum* 61, 363-368.

Amokrane A. (2001). Evaluation et utilisations de trois sources de germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de Magister, Institut d'Agronomie, Université Colonel El Hadj Lakhdar, Batna, 80P.

Amokrane A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Djekoun A. (2002) Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d'altitude. *Sciences et Technologie, Université Mentouri, Constantine*, numéro spécial D, 33-38.

Annichiarico P, Chiari T, Bazzani F and Bellah F. (2002). Response of Durum wheat cultivars to Algerian environments. II. adaptive 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.

Austin, R. B., C. L. Morgan, M. A. Ford, R. D. Balckwell (1980) Contribution to grain yield from pre anthesis assimilation in tall and dwarf phenotypes in two contrasting seasons. Annals of Botany 45 : 309 - 319.

Bagga.A.K, Ruwal K.N et Asana RD. (1970). Comparaison of responses of some indian and semi-dwarf Mexican wheats to unirrigated cultivation. Indian J. agric. Sci., 40 : 421-427.

Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. (2005a) Contribution des hydrates de carbone de la tige au rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Annales de l'INA (sous presse).

Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. (2005b). Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-arid conditions. Pakistan Journal of Agronomy 4: 360-365.

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. (1984). Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climats méditerranéens. Bull. soc. Botan. Fr 131 (2, 3,4) (Actual. Botan.) 491-499.

Baldy.G. (1986). Comportement des blés sous climats méditerranéens. Ecologia Méditerranéenne 3, 73-88.

Baldy C. (1992) Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique du blé en Méditerranée Occidentale. *In* Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier, 1992. *Les Colloques* 55: 191-203

Belaid A, (2000). The economics of durum wheat production in WANA: Past trends and future prospects. In: Proceedings of the symposium blé 2000, enjeux et strategies, 49-70.

Belaid D. (1986).Aspects de la céréaliculture Algérienne. Editions OPU, Alger, 207 pages.

Belhacen E., This, D., Monneveux P. (1996). L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers Agriculture* 4:251-261.

Bendjemaa O. (1977). Contribution à l'étude de l'élaboration du rendement de quelques variétés de blé dur en fonction des conditions de semis dans les conditions écologiques de la station d'El Khroub. Thèse ingénieur Agronomie. INA, Alger, 105 pages.

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* Desf.). *Agronomie*, 16: 305-322.

Benmahammed A., Djekoune.A, Bouzerzour H et Hassous KL. (2005) Genotype x year interaction of barley grain yield and its relationship with plant height, earliness and climatic factors under semi-arid growth conditions. *Dirasat, Agricultural Sciences* 32, 239-247.

Bensemmane L et Bouzerzour H. (2005) Rythme de développement des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf). I-Analyse de la croissance-développement. *Annales de la Recherche Agronomique INRA* (soumis)

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

Black M. (1970). Drying and the onset of germinability in developing wheat grains
Cereal. Res-commun 8: 151-156.

Blouet A. Gaillard B. Masse J. (1984). Le gel et les céréales. Exemple d'étude des
risques du gel hivernal en Lorraine. *Perspectives Agricoles*, 85 :20-25.

Blum A. (1989) Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought
stress. *Crop Sci.* 29, 230-233.

Blum A et Pnuel Y. (1990). Physiological attributes associated with drought
resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.*
41, 799-810.

Blum A. (1996). Crop responses to drought and the interpretation of adaptation.
Plant growth regulation 20, 135-148.

Bonjean A., E. Picard (1990). Les céréales à paille origine, historique, économie et
sélection. Eds Nathan, 235 pages.

Boukeria S. (2004). Etude de l'effet de la précocité d'épiaison sur la variabilité du
rendement en grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat
méditerranéen. Mémoire Magister, Institut des Sciences de la Nature, Centre
universitaire Larbi Ben Mhidi, Oum El Bouaghi, 50 pp.

Bouzerzour.H. (1998). Sélection pour le rendement, la précocité à l'épiaison et la
biomasse aérienne chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride. Thèse
d'état, université de Constantine : 170 pages.

Bouzerzour H and Benmahammed A (1991). Regression and correlation studies in
barley. *Rachis* 10:34 -36.

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

Bouzerzour H., Dekhili M. (1995) Heritability, gain from selection and genetic
correlation for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field
Crop Research* 41:173-178.

Bouzerzour H., Zerargui H. and 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., 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. *Cahiers d'Agriculture* 8 : 133- 137.

Bouzerzour H., A. Benmahammed, A. Benbelkacem, T. Hazmoune, H. Mimoun, S. Bourmel, A. Mekhlouf (2000) Stabilité des performances et caractéristiques phéno-morphologiques de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) issues d'une sélection multilocale. Proc. du Premier Symposium International sur la Filière Blé - Enjeux et Stratégie-, Alger, 7-9 Février, 2000. Pages 178- 184.

Bouzerzour, H., A. Benmahammed, N. Benkharbache, KL. Hassous (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.

Buck-Sorlin, GH., A. Borner (2001) Pleiotropic effects of the *ea7* photoperiod response gene on the morphology and agronomic traits in barley. *Plant Breeding* 120, 489-195.

Cattivelli, L., P. Baldi, N. Crosatti, N. Di Fonzo, M. Stanca (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. and Hamblin J. (1992) Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica* 64, 49-58.

CIC. (2000). Rapport annuel du Conseil international des Céréales « CIC » pour l'année 2000. site web :

Clarke J. M., T. N. McCraig (1982) Evaluation of techniques for screening for drought resistance in wheat. *Crop Sci* 22: 503-506.

Clarke JM. Romagosa I. Jana S. Srivastava JP. Mccaid TN. (1989). Relation of excised leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments. *Can. J. plant. Sci.* 69. P 1057-1081.

Clarke JM et 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 Srivastava JP. (eds.) Physiology-breeding of winter Cereals for stressed Mediterranean Environments, colloque n° 55, INRA, Paris, 401-414.

Combe.L et Picard.D. (1994). Elaboration des rendements des principales cultures annuelles. Editions INRA. 191 pages.

Condon AG., Richards RA., Farquhar GD. (1987) Carbon isotope discrimination is positively correlated with grain yield and dry matter production in field grown wheat. *Crop Sci.* 27, 996-1001.

Condon A.G. Farquhar G.D, et Richards R.A. (1990). Genotypic variation in carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat: Leaf gas exchange and whole plant studies. *Aust. J. Plant Physiol.* 17:9-22

Couvreur.F. (1981). La culture du blé se raisonne. *Perspectives agricoles* 91: 28-32.

Croston RP., JT. Williams (1981). A world survey of wheat genetic ressources. *IBRGR. Bulletin /80/59*, 37 pages.

Dakheel, A.J., I. Nadji, V. Mahalazkshmi, J. M. Peacock (1993). Morpho physiological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology* 34 :297-307.

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

Dewey DR., Lu KH. (1959). A correlation and path coefficient analysis of components of Crested wheat grass seed production. *Agron. J.* 51, 515-518.

Diehl.R. (1975). *Agriculture générale.* Editions J.B.Baillière.396 pages.

- Donmez, E., RG. Sears, JP. Shroyer, GM. Paulsen (2001) Genetic Gain in Yield Attributes of Winter Wheat in the Great Plains. *Crop Science* 41:1412-1419.
- Eckhart.NA. (2002). Abscisic acid biosynthesis gene underscores the complexity of sugar, stress, and hormone interactions. *Plant Cell*, 14: 2645-2649.
- El Hafid R., Smith DH., Karrou M., Samir K. (1998). Physiological attributes associated with early-season drought resistance in spring durum wheat cultivars. *Can. J. Plant. Sci* 78, 227-237.
- El Jaafari S., Paul R. (1993). Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L.) *Arch. Int. Phys. Bioch. Biochys.* 101, 88-92.
- El Madidi S et Zivy M. (1993). Variabilité génétique des protéines de choc thermique et thermo-tolérance chez le blé. In : Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes. Edition AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. pp 173-181.
- FAO. (1977). Crop water requirements. Bull. Irrig. Drain. N° 24. FAO Rome : 120 p.
- Farquhar GD., O'Lary MH., Berry JA. (1982). On the relationship between carbonisotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 9, 1521- 137.
- Fellah A.,A. Benmahammed, A. Djekoun, H. Bouzerzour (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., G. M. Paulsen, J.L. Sebaugh (1984) Contribution to genetic improvement to recent wheat yield increases in the USA. *Agro J.* 76 : 985-988.
- Fisher RA., R. Maurer (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses *Aust J. Agr. Res.* 29:897-912.
- Fischer RA. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J.Agr.Sci.Camb.*105: 447-461.

- Fokar M., H.T. Nguyen, A. Blum (1998b). Heat tolerance in spring wheat II. Grain filling. *Euphytica* 104 : 9 -15.
- Gallagher J.N., P.V.Biscoe, B.Hunter. (1976). Effects of drought on grain growth. *Nature* 264 :541- 542.
- Gate PH. (1995) *Ecophysiologie du blé. Technique et Documentation*. Lavoisier, Paris, 351p.
- Hadjichristodoulou.A. (1985). Stability performance of cereals in low rainfall areas as related to adaptative traits. In : drought tolerance in winter cereals. Srivastava J.P., Porceddu E., Acevodo E.and Varma S.ed ; John Wiley and sons, U.K ; 191-200.
- Hadjichristodoulou A. (1987) The effects of optimum heading date and its stability on yield and consistency of performance of barley and durum wheat in dry areas. *J. Agric. Sci. Camb .* , 108 : 599 - 608.
- Hamadache A. (2001). Stades et variétés de blé. Eds ITGC.
- Hanifi S. (1999). Etude des paramètres morpho-physiologiques et de rendement de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) susceptibles d'être utilisées en milieu saharien.
- 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
- Harrath N. (2003) *Analyse génétique de l'intégrité cellulaire et de la vitesse de dessèchement foliaire chez le blé dur (Triticum durum Desf)*. Thèse de Magister, Institut des Sciences de la Nature, Centre Universitaire Larbi Ben Mhidi, OEB, 50 pages.
- Hare, P. D. and Cress W. A. (1997) Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant cell and environment* 21: 535-553.
- Harlan J. R. (1975) *Crops and man*. Eds John Wiley and Sons. NY. 350 pages.
- Hauchinal R.R., J.P. Tandon, P.M. Salimath (1994). Variation and adaptation of wheat varieties to heat tolerance in Peninsular India. In: Saunders, D. A. and G. P. Hettel

- EDS, Wheat in heat stressed environments, irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems, Mexico, D.F., Cimmyt, 175- 183 .
- Havaux M. (1988). Effects of temperature on the transition between state 1 and state 2 in intact maize leaves. *Plant Physiol. Biochem.* 26, 245-251.
- Havaux M, Canaani O, Malkin S.(1991). Stress tolerance of PSII. Effects of water, heat and photoinhibition stresses. *Plant Physiol.* 100 : 424-432.
- Henin.S. (1976). Définition de la sécheresse et politique d'utilisation de l'eau. *Fourrages*.67 ; 13-2.
- Hubbick K., Farquhar GD. (1989). Carbon isotope discrimination and the ratio of carbon gained to water loss in barley cultivars. *Plant, Cell and Environment*, 12, 795-804.
- Hurd E.A. (1974) Phenotype and drought resistance in wheat. *Agricultural Meteorology* 14: 19-25.
- Jonard P. (1970). Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tender. *Annales Amélioration des plantes* 14 :101-130.
- Karou M., Haffid R., Smith DN., Samir K. (1998). Roots and shoot growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomie* 18, 181-186.
- Kellou K.(2003). Sauvetage d'embryons issus des croisements *Triticum durum* Desf. X *Aegilops geniculata* Roth. Et *T.durum* Desf.x *Agropyron repens*.L. Pal.Beauv. Mémoire magistère, Fac.Sci. Université Mentouri. Constantine.96 pp.
- Kramer.P.J.(1969). Plant and soil water relation ships a modern synthetix
- Krauser, G.H., E. Weis (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of plant physiology and plant Molculaire Biology* 42 : 313 - 349.
- Lafitte, HR, and Courtois, B. (2002) Interpreting Cultivar x Environment Interactions for Yield in Upland Rice Assigning Value to Drought-Adaptive Traits. *Crop Science* 42:1409-1420

Large EC. (1954) Growth stages in cereals. Illustration of the feekes scale. *Plant pathology* 3, 128-129.

Laumont P. et Erroux J. (1961) Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. *Mémoires de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord*, 5 : 94 pp.

Lawlor, D.W. (1994). Physiological and biochemical criteria for evaluating genotypic responses to heat and related stresses. In: Saunders, D. A. and G. P. Hettel EDS, *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 pages.

Ledent JF. (1978). Vernalization and anthesis in a collection of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.): a quantitative study in controlled environment. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 112, 186-192.

Ledoigt et Coudret.A, (1992). Stress hydrique. Etude de mécanismes moléculaires et des modifications de l'expression du génome. *Bulletin société botanique de France*..255-262.

Levitt J. (1982). *Responses of plants to environmental stress*. Acad. Press, N.Y., USA, 607 pages.

Li, Z., Pinson, S.R.M., Stansel, J.W., and Park, W.D. (1995) Identification of quantitative trait loci (QTLs) for heading date and plant height in cultivated rice (*Oryza sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* 91:374-381

Long SP., Humphries S., Falkowski PG. (1994). Photoinhibition of photosynthesis in nature . *Ann. Rev. Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* 45, 633-662.

MARA. (1992). *Le secteur agricole et les perspectives de sa promotion et de son développement*. Rapport général de la commission nationale consultative sur l'agriculture, 292 pages.

Masse. *et al.* (1985). Que penser des semis très précoces. *Perspectives agricoles* 95 : 16-20.

McKey, J.(1968) Species relations in *Triticum*. Proc. 2nd International Wheat Genetic Symposium. *Hereditas* 2, 237-276.

Mefti A ; Abdelguerfi A ; Chebouti A.(2000). Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.) Gaertn.

Mekhlouf A. Bouzerzour H. et 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 : Proceedings séminaire sur *la valorisation des milieux semi-arides*. Oum El Bouaghi, 23 : 75-80.

Mekhlouf, A., H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. Hadj Sahraoui, N. Harkati (2005) Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse* (sous presse).

Mekhlouf, A. (1998). Etude de la transmission héréditaire des caractères associés au rendement en grains et de leur efficacité en sélection chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) Thèse de magister , INA, El Harrach, 67 pages.

Mekliche-Hanifi.L (1983). Etude agronomique, analyse diallèle et cytogénétique de quatre variétés de blé tendre cultivées en Algérie. Thèse Magistère INA. El Harrach.150 p.

Merah.O ; Monneveux.P ; Nachit.M et Deléens.E. (1999). La composition isotopique du carbone, critère intégrateur du fonctionnement photosynthétique : application à l'amélioration génétique du blé dur en conditions méditerranéennes. *Cahiers Agricultures*, 8 : 37-47.

Merrah O., Delleens E., Monneveux P. (2001). Relationships between carbon isotope discrimination, dry matter production and harvest index in durum wheat. *J. Plant Physiol.* 158,723-729.

Monneveux P. (2002). Bilan d'activités du laboratoire sur le thème : amélioration de la tolérance à la sécheresse du blé dur. UER de génétique et amélioration des plantes, ENSA-INRA Montpellier.

Monneveux P et This DD (1995). Intégration des approches physiologiques génétiques et moléculaires pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les céréales. Pp149-1636 in : *Quel avenir pour l'amélioration des plantes cultivées à*

la sécheresse. Espoirs et difficultés. *Sécheresse*, 8, 37-29.

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

Morancho J. (2000). Production et commercialisation du blé dur dans le monde. *In: Royo C. Nachit MM. Di Fonzo N. Araus JL: Durum wheat improvement in the Mediterranean region : new challenges*. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ, 2000. P29-32.

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

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.

Morgan J. M., NB. Rodriguez Maribona, E. J. Knights (1991). Adaptation to water deficit by osmoregulation: relationships to grain yield in the field . *FCR 27* : 61- 70.

Morgan JM. Lecain DR., McCriag TN., Quick JS. (1993). Gas exchange, carbon isotope discrimination and productivity in winter wheat. *Crop Sci.* 33, 178- 186.

Morizet.J. (1984). Essai d'amélioration de la résistance à la sécheresse du tournesol (*Helianthus annuus*) par croisements interspécifiques avec une espèce sauvage (*Helianthus argophyllus*). *Agronomie* vol.4, n° 6.

Nachit M.M., Jarrah M. (1986). Association of some morphological characters to grain yield in durum wheat under Mediterranean dryland conditions. *Rachis* 5: 33-35.

Nemmar.M. (1980). Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*T.durum* Desf.) et chez le blé tendre (*T.aestivum* L.): étude de l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique. Thèse D.A.A. ENSA. Montpellier. 65 p.

- Ober S, Sharp P.(1994). Polyphasic chlorophylla fluorescence transients in plants and cyanobacteria. *Photosynthesis research* 29 : 147-150.
- Oosterom V. E., S. Ceccarelli, J.M. Peacock (1993) Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *J. Agri. Sci.* 121:307-313.
- Oudina, M., H. Bouzerzour (1989). Variabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) variété Tichedrett sous l'influence du climat des hauts plateaux Sétifiens. In : Proc. Symp Inter. On the Agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Eds WMO / Icarda , 100-119.
- O'Toole , J.C., R.T. Cruz (1980). Response of leaf water potential , stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant physiology* 51 : 993- 997.
- Oweiss ThY., et H. Zhang (1998). Water use efficiency: index for optimizing supplemental irrigation of wheat in water scarce areas. *J. Applied Irrigation Science* 33, 321-336.
- Papadakis J.S. (1938). *Ecologie agricole*. Eds Jules Duculot. Gembloux. 303 pages.
- Putterill, J., Robson, F., Lee, K., Simon, R., and Coupland, G. (1995) The *CONSTANS* gene of *Arabidopsis* promotes flowering and encodes a protein showing similarities to zinc finger transcription factors. *Cell* 80:847-857
- Rasmusson et Moss 1972
- Roseille A. A., J. Hamblin (1981) Theoretical aspect of selection for yield in stress and non stress environments. *Crop Sci.* 21 : 923-932.
- Richards RA., GJ. Rebtzke, AF. Van Herwaarden, BL. Dugganb, AG. Condon (1997). Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture* 36 : 254 - 266.
- Sharma.RC et Smith.EL. (1986). Selection for high and low harvest index in three winter populations. *Crop Science.*26: 1147-1150.
- Samaras Y., Bressan RA., Csonka LN., Garcia-Rios MG., Paino D'Urzo M., Rhodes D. (1995) . Proline accumulation during drought and salinity. *In: Smirnoff N. ed. Environment and plant metabolism, flexibility and acclimation, Oxford BIOS* 161, 79-88.
- Savim R., Slafer GA. (1991). Shading effects on the yield of a wheat cultivar. *J. Agri. Sci. (Cambridge)* 116, 1-7.

Sayre KD., Acevedo E., Austin RB. (1995). Carbon isotope discrimination and grain yield for three bread wheat germplasm groups =grown at different levels of water stress. *Field Crop Research* 41, 45-54.

Sayre KD. Rajaram S. and Fischer RA. (1998) Yield potential progress in short bread wheat in Northern Mexico. *Crop Science*, 37, 42-46.

Scofield T. Evans J. Cook MG et Wardlaw IF. (1988). Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust.J.Plant physiol.* 4: 785-797.

Shreiber et Bilger(1993). Differential responses of bread wheat characters to high temperature. *Euphytica* 71: 127-2003.

Sibi.ML et Demarly.Y. (1995). Gynogenèse chez des géotypes marocains d'orge. In *Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Éditions Aupelf-Uref. John Libbey Eurotext. Paris.337-344.*

Siddique KHM. Belford MW., Perry D. Tennant D. (1991) Growth development and light interception of old and modern wheat varieties in Mediterranean environment. *Aust. J. Agri. Res.* 40: 473-487.

Siddique K. H. M., R.K.Belford , M.W. Perry , D. Tennant D. (1989) Growth development and light interception of old and modern wheat varieties in Mediterranean environment. *Aust. J. Agri. Res.* 40:473-487.

Simane B., Peacock JM., Struik PC. (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., F.H. Andrade (1990). Genetic improvement effect on pre-anthesis phenological attributes related to wheat grain yield. *FCR*, 23: 255- 263.

Steel RGD. and Torrie JH (1980) Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. *Mc Graw Hill Inc*, 633 pp.

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

Tanksley SD., CM. Nelson (1996) Isozymic gene linkage map of Tomato. *Theor. Appli. Genet.* 57, 161-170.

Turner.N.C (1979). Drought resistance and adaptation to water deficits in crops plants. In : stress physiology of crop plants. Musell H. and Staples R Ed., New York.

Van Oosterom EJ. Ceccarelli S. and Peacock JM. (1993) Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *Journal of Agricultural Sciences Cambridge* 121, 304-313.

Vargas M., Crossa J., Van Eeuwijk FA., Ramirez ME., Sayre K. (1999). Using partial least squares regression, factorial regression and AMMI models for interpreting genotype by environment interaction. *Crop Sci.* 39: 955-967.

Wardlaw I.F., I.A. Dawson, P.M. Munibi (1989). Tolerance of wheat to high temperature during reproductive stage. *Aust.J.Agric.Res.* 46 : 15 - 24.

Wardlaw J.F., L. Moncur (1995). The response of wheat to high temperature following anthesis. I : the rate and duration of grain filling. *Aust J. Plant. Physiol.* 22 : 391-397.

Wardlaw IF. (2002) Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Annals of Botany*, 90, 469-476.

Worland AJ. Apendina ML. and Sayers EJ. (1994) The distribution in European winter wheat of genes that influence ecoclimatic adaptability while determining photoperiod insensitivity and plant height. *Euphytica*, 80, 219 - 228.

Wright GC., Nageswara Rao RC., Farquhar GD. (1994) Water-use efficiency and carbon isotope discrimination in peanut under water deficit conditions *Crop Sci.* 34, 92-97.

Yancey P. H., Clark M. E., Hand S. C., Bowlus R. D. and Somero G. N. (1982) Living with water stress evolution of osmolyte systems. *Science* 217:1214-1222.

Yano M., Y. Katayase, M. Ashikari, U. Yamanouchi, L. Monna, T. Sasaki (2000) Hd1 major photoperiod sensitivity quantitative trait locus in rice. *Plant cell* 12, 2473-2484.

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

Yves.H et De Buyser.J. (2000). L'origine des blés. Pour la science, hors série n° 26.60-62 pp.

Annexes :

Annexe-1- Précipitations (P, mm) et température (T° c) moyennes mensuelles de la campagne 2002/2003 du site expérimental d'Oum El Bouaghi= (ITCMI, 2003).

Mois	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
P (mm)	22.5	22	50	37	68	52	28	73	26	09
T° c	20.3	15.3	11.1	9.7	8.3	6.9	9	11.8	19.5	25.1
P/2T	0.55	0.71	2.25	1.94	4.09	3.76	1.55	3.09	0.66	0.17

Annexe -2- Valeurs génotypiques des variables mesurées sur le site de OEB.

Génotype	Variables										
	BIOE	NE	BIOM	WNE	RDT	PMG	NGM2	NGE	HT	PVG	HI
1	243.2	145	750	100	190	46.8	4095.8	28.0	89.5	117	25.3
2	173.2	146	570	240	170	51.2	3320.3	22.7	87.1	120	29.8
3	140.0	98	580	140	100	55.6	1798.5	18.3	94.8	126	17.2
4	119.9	166	620	280	225	50.8	4429.1	26.6	84.0	117	36.2
5	129.5	118	730	210	170	52.0	3269.2	27.7	93.0	126	23.3
6	116.1	141	600	270	215	48.0	4479.1	31.7	81.0	120	35.8
7	175.3	139	620	240	175	52.0	3365.3	24.2	66	123	28.2
8	142.7	145	510	200	155	46.4	3340.5	23.0	64	120	30.4
9	146.1	160	660	290	220	44.4	4954.9	30.9	58.6	123	33.3
10	91.9	117	450	180	120	48.4	2479.3	21.2	69.3	123	26.6
11	179.8	113	550	260	190	50.0	3800.0	33.6	73.3	120	34.5
12	338.5	205	740	320	235	50.4	4662.6	22.7	82.3	117	31.7
13	129.4	90	530	170	170	60.4	2814.5	31.2	70.3	120	32.0
14	174.1	142	550	270	220	47.2	4661.0	32.8	67.6	117	40.0
15	126.4	116	510	230	190	49.2	3861.7	33.3	65.0	120	37.2
16	128.5	135	600	200	160	44.0	3636.3	26.9	84.3	126	26.6
17	166.3	134	350	200	165	47.6	3466.3	25.8	89.0	126	47.1
18	140.9	124	450	110	180	55.2	3260.8	26.3	64.6	126	40.0
19	147.5	118	400	150	160	46.4	3448.2	29.2	64.3	117	40.0
20	199.7	274	1000	450	430	45.2	9513.2	34.7	65.3	126	43.0
M.G	160.4	141.3	88.5	225.	192	49.5	3930.9	27.5	75.6	121.5	32.9

Annexe -3- Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des caractères mesurés sur le site de Sétif.

Source de Variation	ddl	CME							
		BIOE (g/m ²)	NE (/m ²)	BIOM (g/m ²)	WNE (g/m ²)	RDT (g/m ²)	PMG (g)	NGM (/m ²)	NGE -
Blocs	2	350.8	243.3	1683.9	93.75	636.5	0.92	5540.0	2.22
Génotype	19	41594.5	19818.7	90790.3	57857.9	3400.0	62.0	2356017.5	31.70
Résiduelle	38	5290.9	1560.6	21344.1	8223.2	473.5	9.92	228715.6	0.55
	ddl	HT (g/m ²)	PVG (j)	HI (%)					
Blocs	2	3.02	1.82	6.6					
Génotype	19	560.9	136.8	35.6					
Résiduelle	38	28.1	51.0	2.1					

Annexe -4- Moyennes génotypiques des variables mesurées sur le site de Setif

Génotype	Variables										
	BIOE	NE	BIOM	WNE	RDT	PMG	NGM2	NGE	HT	PVG	HI
1	642.6	523.3	1794.0	1184.6	240.6	44.16	5120.0	9.5	62.0	132.7	13.5
2	544.0	373.3	1277.0	733.0	228.5	49.77	4862.6	11.5	65.7	140.0	17.8
3	542.3	523.3	1324.0	781.0	238.9	42.47	5297.4	10.3	60.3	131.3	18.1
4	712.6	463.3	1282.0	569.0	244.0	32.50	7506.2	16.2	55.3	133.7	19.0
5	536.6	483.3	1356.2	819.3	179.4	38.27	4681.0	9.6	57.3	136.3	13.2
6	522.3	390.0	1294.7	739.0	238.2	47.48	4914.4	12.8	70.7	136.7	18.5
7	504.3	470.0	1109.7	580.0	234.8	43.35	5584.4	11.5	62.0	131.0	21.2
8	936.6	336.7	1673.6	737.0	195.0	44.83	4274.4	12.9	94.0	141.0	11.7
9	615.7	366.7	1321.0	635.0	219.2	45.36	5027.9	13.2	86.7	142.0	16.6
10	568.3	492.3	1501.3	933.0	259.2	49.27	5260.8	10.7	66.6	135.3	17.3
11	342.3	403.3	1034.0	648.3	223.1	52.76	4261.1	10.5	59.0	132.7	21.6
12	457.0	350.0	1226.3	736.0	272.0	52.01	5127.4	14.9	80.3	139.0	22.2
13	586.3	326.7	1424.3	838.0	205.4	43.61	4775.2	14.4	61.7	132.0	14.4
14	592.7	546.7	1356.3	750.3	180.8	47.37	3644.6	7.0	54.7	132.7	13.3
15	425.3	403.3	1250.3	875.3	247.1	42.15	5426.5	14.5	63.0	131.7	19.8
16	556.0	340.0	1214.0	624.3	186.7	43.35	4271.4	12.6	95.7	141.0	15.4
17	531.3	526.7	1397.3	812.6	157.7	44.71	3526.2	6.7	96.0	136.3	11.3
18	523.3	260.0	1242.6	662.7	238.0	45.93	5020.7	20.0	58.3	137.3	19.2
19	516.7	430.0	1267.3	750.5	147.0	43.39	3393.9	7.9	74.3	135.7	11.6
20	534.0	486.7	1217.0	703.0	216.1	46.59	4637.9	9.5	68.0	136.3	17.8
M. G	559.5	424.7	1328.2	755.6	217.6	44.97	4830.7	11.8	69.6	135.7	16.7

Ppds5%

Annexe -5 - paramètres du feuillage sur le site d'Oum El Bouaghi

	poids frais	poids sec	Poids de turgescence.	largeur 1 feuille en cm
MRB 16	4.12	1.45	9.42	1.8
Inrat 69	2.83	1.05	7.44	1.4
Sahel 77	3.74	1.17	8.15	1.6
bicre	3.92	1.16	7.33	1.3
Senator Capelli	6.25	1.67	9.69	1.6
Massara1	4.21	1.22	8.34	1.7
H/Mt/Mo	3.71	1.07	8.45	1.7
Cyprus1	3.51	1.18	7.4	1.6
Chen's	4.52	1.27	8.28	1.8
Belikh2	3.59	1.05	6.9	1.4
H3/Polonicum	4.88	1.29	8.38	1.7
MRB5	5.5	1.41	9.39	1.8
Semito	4.54	1.38	8.51	1.8
Waha	3.47	1.15	6.76	1.6
Daki	4.78	1.23	6.45	1.6
Beliouni	3.3	1.02	5.09	1.5
MBBachir	3.93	1.23	5.59	1.6
Heider	3.95	1.18	5.84	1.4
439/Ads/97	5.17	1.38	6.96	2.2
Derraa	6.4	1.55	8.45	1.6

genotypes	long.f1	f2	f3	f4	f5
MRB 16	22.5	24.9	21.8	21.2	26.1
Inrat 69	28.6	28.2	22.2	21.6	27.2
Sahel 77	25.7	23.5	23.5	23.9	31
bicre	18.8	19	20.6	20.4	19
Senator					
Capelli	29	28.7	30.2	28.4	25
Massara1	25	21.6	20.5	20.9	21.2
H/Mt/Mo	25.7	24.9	27	23.9	28.4
Cyprus1	23	21.6	23.9	23.4	23.1
Chen's	24.9	20.6	19.5	23.6	19.8
Belikh2	18.1	19.6	25.2	22.2	18.8
H3/Polonicum	20	21.1	25.8	21.6	22.8
MRB5	26.5	28.8	35	27.4	24.6
Semito	26.1	21.9	23.8	24.8	19.6
Waha	20	22.1	21.3	20.9	22.8
Daki	22	24.3	20.8	17.8	27.1
Beliouni	24.6	26.3	24	24.4	21.5
MBBachir	25.7	22.6	25.7	18.7	22.8
Heider	19.5	18.5	23.2	21	20.2
439/Ads/97	19.1	21.9	19.2	20.3	23.9
Derraa	29.1	23.4	25.2	25.5	28.8

genotypes	f6	f7	f8	f9	f10	Longueur totale
MRB 16	24.3	26.1	28.2	27.6	28.1	250.8
Inrat 69	22.4	27.9	27.5	21.9	26.8	254.3
Sahel 77	26.7	27.1	27.8	21.3	25.1	255.6
bicre	16.4	21.6	17.9	17.8	20.8	192.3
Senator						
Capelli	28.8	24.2	32.2	29.1	29.8	285.4
Massara1	16.6	19.6	17.3	20.8	25.7	209.2
H/Mt/Mo	24.6	24.8	19	20.9	24.9	244.1
Cyprus1	18.4	19.3	23.6	23.5	22.3	222.1
Chen's	21.9	21.7	27.8	21.3	22.1	223.2
Belikh2	18.1	22.3	23.1	22.1	19.5	209
H3/Polonicum	26.1	28	24.6	20.8	24.3	235.1
MRB5	20.1	21.3	26.9	22.8	23.3	256.7
Semito	22	18.3	22.2	16.9	21	216.6
Waha	23.1	20.7	19.1	23.2	23.3	216.5
Daki	18.1	24.2	21	21.9	21.6	218.8
Beliouni	20.8	26.6	22.1	21.2	23.2	234.7

MBBachir	26.6	24.1	20.2	16.9	16	219.3
Heider	16.7	22.5	25.3	23.4	24.5	214.8
439/Ads/97	21.5	15.5	20.5	20	21.9	203.8
Derraa	30.1	24.8	24.1	24.5	23.3	258.8

Annexe -6 - taux de protéines du grain des 20 géotypes sur le site d'Oum El Bouaghi.

géotypes	taux d'azote	Taux de protéines
MRB 16	2	11.4
Inrat 69	2	11.4
Sahel 77	2	11.4
bicre	1.9	10.8
Senator		
Capelli	2	11.4
Massara1	1.8	10.2
H/Mt/Mo	1.7	9.7
Cyprus1	1.9	10.8
Chen's	1.9	10.8
Belikh2	1.9	10.8
H3/Polonicum	2	11.4
MRB5	2	11.4
Semito	1.8	10.2
Waha	2.1	11.9
Daki	1.9	10.8
Beliouni	2	11.4
MBBachir	2	11.4
Heider	1.9	10.8
439/Ads/97	1.8	10.2
Derraa	2.1	11.9