

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

INSTITUT TECHNIQUE DES GRANDES CULTURES

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE D'ALGERIE

CENTRE INTERNATIONAL DE LA RECHERCHE AGRICOLE EN ZONES ARIDES

Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie)

Boulal Hakim, Zaghouane Omar, El Mourid Mohammed, Rezgui Salah

2007

Titre : Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie).

Mots-clés : Céréales d'automne, Blé, Orge, Production, Semis, Variété, Travail du sol, Fertilisation, Irrigation, Désherbage, Maladies, Récolte, Stockage.

Auteurs :

BOULAL Hăkim
Chercheur
Institut national de la recherche agronomique (INRA)
BP 589 – Settat - Maroc
hakboulal@yahoo.fr

ZAGHOUANE Omar
Ingénieur en chef
Institut techniques des grandes cultures (ITGC)
1, rue Pasteur. BP 16. Hassan Badi – El Harrach. Alger. Algérie.
zaghouaneo@yahoo.fr

EL MOURID Mohammed
Coordinateur régional pour l'Afrique du Nord
Centre international de recherche agricole pour les zones semi-arides (ICARDA)
1, rue des oliviers – El Menzah V – 2037 Tunis – Tunisie.
melmourid@yahoo.fr

REZGUI Salah
Maître de conférence – Institut national agronomique de Tunisie
43, avenue Charles Nicole – Tunis – Belvédère 1082. Tunisie.
salahrezgui08@yahoo.fr

Les auteurs remercient toutes les personnes ayant contribué à l'illustration de cet ouvrage par l'apport de photos.

ISBN : 978-9961-881-14-9
Dépot légal : 2413 - 2007

Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie)

Boulal Hakim, Zaghouane Omar, El Mourid Mohammed, Rezgui Salah

2007



Avant-propos

Cet ouvrage représente les résultats et les acquis des travaux de recherche et de développement sur les céréales d'hiver (blés et orge) obtenus au cours des vingt dernières années à travers les trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie).

Les principales techniques culturales de la conduite des céréales requises pour optimiser la productivité dans l'exploitation dans des environnements méditerranéens du Maghreb y sont décrites.

Ces techniques de production sont présentées afin de permettre aux techniciens et agriculteurs de décider à propos de la meilleure stratégie à appliquer dans la prise de décisions pour la gestion des productions des céréales dans des systèmes de production adaptés aux conditions agro-écologiques où est localisée l'exploitation.

L'utilisation de ces techniques, permet aussi aux agriculteurs de raisonner toute la conduite de la céréale, tel que le type de variétés à utiliser, la préparation du sol, le contrôle des mauvaises, la fertilisation minérale, l'irrigation …, qui leur permettraient de travailler de façon optimale avec les contraintes agro-climatiques de leurs exploitations. Ceci afin d'amélioration le niveau de productivité et accroître le revenu de l'exploitation et assurer son développement durable et sa viabilité.

Dans cet ouvrage, les techniciens et agriculteurs trouveront les éléments d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'une stratégie adéquate dans leur exploitation dans les environnements méditerranéens du Maghreb.

Le présent ouvrage n'a pas la prétention d'offrir des solutions à tous les cas de figures mais se propose d'aider et d'orienter les techniciens de l'agriculture à réfléchir sur la meilleure stratégie à adopter pour améliorer quantitativement et qualitativement la productivité et de la production des céréales dans la région du Maghreb.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement Messieurs Ali ZEGHIDA, Directeur général de l'Institut technique des grandes cultures (ITGC) ; Kamel FELIACHI, Directeur de l'Institut national de la recherche agronomique d'Algérie (INRAA) ainsi que Monsieur Mahmoud SOLH, Directeur général du Centre international pour la recherche agricole en zones semi-arides (ICARDA), pour leur soutien et leur contribution à la publication de cet ouvrage.

Table des matières

Avant-propos 4
Introduction 9

Chapitre I : L'importance des céréales et aires de production dans le Maghreb 11

Les aires de production 11
L'analyse des productions céréalières dans le Maghreb 12

Chapitre II : L'historique et classification botanique 19

La classification botanique 20
Les caractéristiques de la plante 21

Chapitre III : Les exigences agro-écologiques 27

L'eau 27
Le sol 28
La température 28
La photopériode 30
La vernalisation 30
Les potentialités des zones agro-écologiques 30

Chapitre IV : La phénologie et élaboration du rendement et de ses composantes 35

Le cycle de développement 35
La période végétative 36
La période reproductrice 38
La période de maturation 39
Le rendement et ses composantes 41
Le nombre de grains/m² 41
Le poids de mille grains (PMG) 42
La relation entre le rendement en grain et ses composantes 43

Chapitre V : Réussir l'installation des cultures 49

La place des céréales dans la rotation 49
Le travail du sol 52
La préparation du lit de semis 55
L e semis 55

Chapitre VI : Le système non labour : une technique simplifiée pour une agriculture durable 63

Le système non labour ou semis direct 63
Le semis direct et qualité du sol 65
Le semis direct et la gestion des résidus 66
Le semis direct et stratégie de lutte contre les adventices 66
La rotation des cultures en semis direct 67
Les performances des rendements de céréales en semis direct 67

Chapitre VII : Le choix stratégique des variétés 71

La gamme variétale dans le Maghreb 72
Des variétés en fonction de leur aire d'adaptation 77

Chapitre IX : Le désherbage des cultures 83

Les principales adventices des céréales au Maghreb 84
L'importance du contrôle des mauvaises herbes dans les cultures céréalières 85
Les méthodes de lutte contre les mauvaises herbes 86
Les techniques préventives 86
L'intervention directe 91
Les différents types d'herbicides 93
Les caractéristiques et facteurs affectant l'efficacité des herbicides 94
Les stades de la culture et de l'adventice au moment du désherbage chimique 94
Les conditions climatiques et édaphiques d'application des herbicides 94
Les techniques d'application des herbicides 95

Chapitre VIII : Le raisonnement de la fertilisation minérale 101

Les objectifs de la fertilisation 102
Le raisonnement de la fertilisation 102
L'analyse du sol 102
La fertilisation azotée 104
La fertilisation phospho-potassique 109
La fertilisation phosphatée 109
La fertilisation potassique 110
Les principaux engrais commercialisés au Maghreb 111
Les engrais azotés simples 111
Les engrais phosphatés 112
Les engrais potassiques 112
Les engrais binaires 112
Les engrais ternaires 113
Comment calculer votre dose de fertilisants à partir des engrais commercialisés ? 113
Comment réussir un bon épandage d'engrais ? 114
Les symptômes de carences du blé et de l'orge en azote, phosphore et potassium 115

Chapitre XI : Les maladies des céréales 119

Les rouilles 119
Le charbon 122
La septoriose 123
La tache helminthosporienne ou tache bronzée 124
La rhynchosporiose 125
La pourriture racinaire 126
La jaunisse nanisante 127
L'oïdium 128
La carie 129
La strie foliaire 130
La rayure réticulée 131
Le piétin échaudage 132

Chapitre XII : Les insectes ravageurs des céréales 139

La cécidomyie des céréales ou mouche de Hesse 139
Les pucerons du blé 140
Les punaises des blés 141
Le cèphe des chaumes (Cephus spp.) 142
Comment faire usage des traitements insecticides et fongicides ? 144

Chapitre XIII : L'irrigation des céréales 147

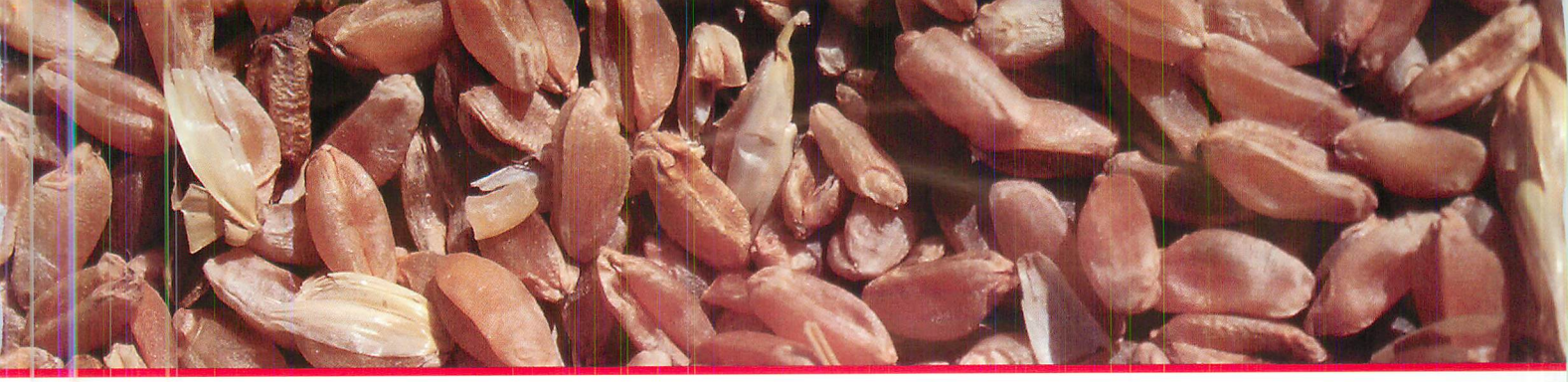
Les besoins en eau 148
Les modes d'irrigation des céréales 150
L'efficience d'utilisation de l'eau 153
A quel moment irriguer ? 154
Les systèmes d'irrigation pour les céréales 158
Les problèmes posés par une mauvaise conduite de l'irrigation 160

Chapitre XIV : La récolte des céréales 165

Le choix de la date de récolte 165
La durée de la période de récolte 166
Le mode de récolte 166
Réduire les pertes 167
La qualité de la récolte 167
Le réglage de la moissonneuse-batteuse 167

Chapitre XV : Le stockage et la conservation des grains de céréales 175

La constitution du grain 175
Les mécanismes d'altération des grains 175
Le stockage des grains 176
La lutte contre les ravageurs des grains (insectes, oiseaux et rongeurs) 176
Les techniques utilisées pour la conservation des grains 177



Introduction

La sécurité alimentaire durable est un objectif fondamental et vital pour les pays du Maghreb et il dépend considérablement de la production céréalière. Car les céréales et plus particulièrement les blés et l'orge sont très importantes tant sur les plans agronomique et économique que social. Ces productions représentent la sole la plus importante avec des emblavements annuels moyens de l'ordre de 8 939 930 millions d'hectares durant la période 1994 -2004 (FAOSTAT, 2004). De même qu'elles constituent la base de l'alimentation et occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires des populations aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains.

Chebbi et El Mourid (2005), estiment que la consommation annuelle moyenne de céréales par habitant dans les pays du Maghreb est l'une des plus élevées dans le monde. Elle était évaluée en 2000, à 205 kg/an en Tunisie, 219 kg/an en Algérie et 240 kg/an au Maroc.

De ce fait, avec une population totale estimée à environ soixante onze (71) millions d'habitants (FAOSTAT, 2001), les besoins en céréales des trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie) sont très importants et la production céréalière moyenne qui est de 9 347 705 millions de tonnes (FAOSTAT, 2004) pour la même période, demeure faible et les taux de couverture des besoins nationaux sont compris entre 25 et 47% pour les trois pays (Chebbi et El Mourid, 2005). Pour faire face à la demande sans cesse grandissante avec l'accroissement de la population, il est fait recours aux importations pour couvrir la demande du marché. Cette situation de dépendance vis à vis de l'extérieur pénalise grandement l'économie de la région. Elle est due principalement au fait que la production agricole dans le Maghreb est non seulement sous la contrainte de son environnement dur et rigoureux mais aussi sous une diversité d'influences sociologiques, nationales et globales.

En effet, la production céréalière est située dans les zones semi-arides et arides soumises aux aléas climatiques, engendrant des niveaux de productivité moyens qui restent modestes puisqu'ils ne dépassent pas 11 quintaux par hectare (FAOSTAT, 2004) et ce, malgré tous les programmes de développement engagés par les pays du Maghreb durant ces dernières décennies. Cette dépendance de la production céréalière vis-à-vis du climat, constitue un frein aux différents programmes d'intensification mis en œuvre depuis plusieurs années.

Cependant, la faiblesse de ces niveaux de productivité n'est pas due uniquement aux facteurs du milieu mais elle est aussi la résultante du manque de maîtrise des techniques de production par les agriculteurs dans la région. Ainsi, malgré tous les efforts de développement et d'investissements consentis au cours des

dernières décennies, l'utilisation de techniques de production inadéquates ainsi qu'un faible taux d'utilisation des facteurs d'intensification (semences de qualité, engrais et pesticides) ne permettent pas d'obtenir des rendements élevés. De plus, l'agriculture est peu mécanisée avec en moyenne un taux qui varie entre 88 et 225 hectares par tracteur en 2001 et le taux d'utilisation des engrais est encore plus faible (13 à 37 kg/ha) (FAOSTAT 2002 et 2003 ; MEDAGRI, 2002 et 2003).

Alors que les résultats obtenus tant sur le plan expérimental qu'en milieu producteur sont là pour prouver qu'il est possible d'améliorer sensiblement le niveau de la productivité des céréales dans les différentes régions agro écologiques. Aussi, afin de pouvoir améliorer les rendements et par la même, la production céréalière, il est nécessaire d'encourager et de convaincre les agriculteurs d'adopter des techniques de production adéquates dans la zone où ils sont localisés.

Références

Chebbi H.E; **El Mourid M**; (2005). L'agriculture au Maghreb : une lecture du contexte économique. ICARDA North Africa Regional Program. International Center for Agricultural Research in Dry Areas. 58 p.

FAOSTAT, 2001. (On-line) : données statistiques. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. http://apps.fao.org.

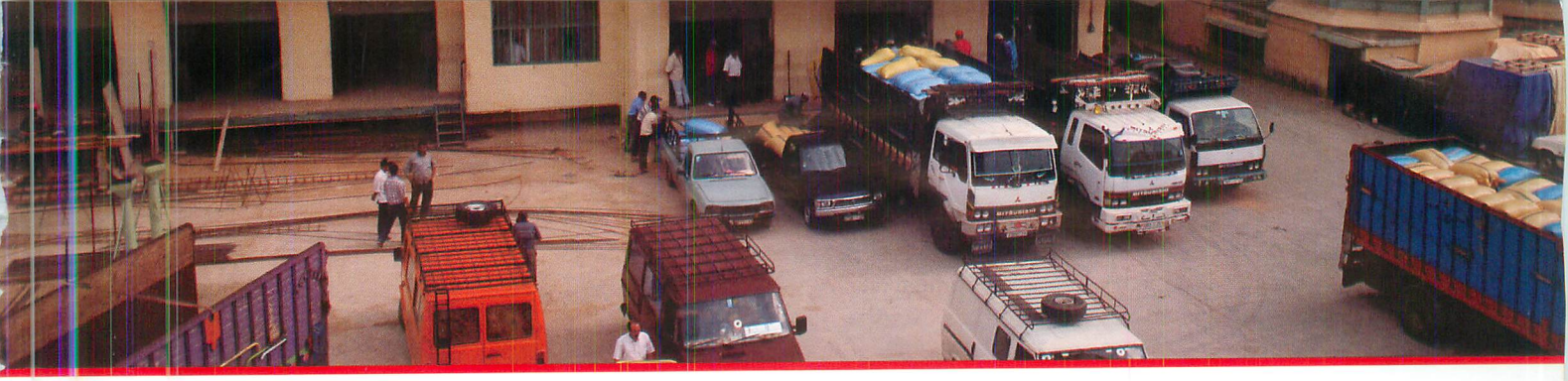
FAOSTAT, 2002. (On-line) : données statistiques. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. http://apps.fao.org.

FAOSTAT, 2003. (On-line) : données statistiques. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. http://apps.fao.org.

FAOSTAT, 2004. (On-line) : données statistiques. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. http://apps.fao.org.

MEDAGRI, 2002. Annuaire des économies agricoles et alimentaires des pays méditerranéens et arabes. Centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes. Institut agronomique méditerranéen de Montpellier. France.

MEDAGRI, 2003. Annuaire des économies agricoles et alimentaires des pays méditerranéens et arabes. Centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes. Institut agronomique méditerranéen de Montpellier. France.



CHAPITRE I

L'importance et aires de production des céréales dans le Maghreb

Les céréales d'automne (blé dur, blé tendre et orge) demeurent l'aliment de base des régimes alimentaires et revêtent une importance stratégique dans la nutrition humaine et l'alimentation animale. De fait, elles occupent une place privilégiée dans l'agriculture de la région, ce qui confirme leur caractère stratégique dans l'économie maghrébine.

Il faut noter que sur le plan agricole, la prédominance des cultures céréalières est présente dans toute la région. En effet, elles occupent en moyenne annuellement d'environ 8,6 millions hectares, avec une production moyenne de 9,4 millions de tonnes et un rendement moyen toutes espèces confondues (blés et orge) de 10,7 tonne par hectare pour la période 1995-2005 (FAOSTAT, 2005).

Les aires de production

Les céréales sont cultivées à travers l'ensemble des zones agro-écologiques du Maghreb, mais elles sont essentiellement localisées dans les régions semi-arides et même arides et donc, sont soumises aux aléas climatiques qui pénalisent fortement les niveaux de productivité et par la même la production.

Les principales zones de production à travers le Maghreb sont :

En Algérie :

- la zone semi-aride des plaines telliennes dont la pluviométrie est comprise entre 350 et 500 mm, mais avec une distribution irrégulière (Constantine, Bouira, Médéa, Tlemcen, Mila, Souk Ahras, Aïn Defla, Chlef, Aïn Témouchent, Relizane, Sidi Bel-Abbès) ;
- la zone sub-aride des Hauts-Plateaux caractérisée par une faible pluviométrie (200-350 mm) et un système à prédominance agro-pastorale avec des altitudes supérieures à 1.000 m (Tissemsilt, Tiaret, Sétif, Saïda, Oum El-Bouaghi, Bordj Bou Arréridj) ;
- la zone humide et sub-humide des régions littorales et sub-littorales Centre-Est du pays (Tipaza, Skikda, Guelma, El Tarf, Béjaïa, Tizi Ouzou, Annaba), dont la pluviométrie est supérieure à 600 mm et relativement bien distribuée (Baghdadli 1987 cité par Benbelkacem 1997) ;
- la région du Sud avec les périmètres irrigués (10.000 ha) et les cultures oasiennes (35.000 ha).

Au Maroc :

- Les zones arides de Rhamnas et Beni Meskine dont la pluviométrie moyenne est inférieure 250 mm ;
- Les zones semi-arides principalement les régions de Abda, Doukkala et Chaouia et Ouardigha (250-450 mm) ;
- Les zones favorables des régions de Zmmour-Zair, El Gharb, Saïs et Loukkos, caractérisées par une pluviométrie supérieure à 450 mm ;
- Les périmètres irrigués de Tadla, Doukkala, El Gharb, El Haouz et Loukkos.

En Tunisie :

- Les zones arides, représentées par les basses steppes et plaines de Kairouan, Mahdia et Sidi Bouzid, les hautes steppes arides de Gafsa, Mahdia, Sidi Bouzid et Sfax ;
- Le semi-aride, caractérisé par des hivers froids et secs et des étés secs et chauds dans la région des Hauts-Plateaux de Kef-Siliana ;
- La zone humide dont la pluviométrie est supérieure à 450 mm et qui s'étend sur la région de la vallée du Nord, avec Béja, Jendouba, Mateur, Krib et Bou Salem ;
- La zone humide, très pluvieuse avec en moyenne 700 mm vers Bizerte Nord et Sud, Tunis, Utique et M. Jemil.

L'analyse des productions céréalières dans le Maghreb

L'analyse de l'évolution de la sole céréalière (blés et orge)

Elle s'est caractérisée par des fluctuations en dents de scie puisque durant la période allant de 1995 à 2005, soit une décennie, elle a oscillé entre environ 6.6 (1995) et 11.7 (2005) millions d'hectares pour toute la région. Cet accroissement pratiquement du simple au double est du essentiellement à une augmentation des superficies cultivées en céréales au Maroc qui sont passées de 3.5 à 7.6 millions d'hectares et à un degré moindre de la Tunisie dont la sole céréalière a triplé, passant de 537.000 à 1.45 millions d'hectares. La sole céréalière de l'Algérie est restée constante avec une moyenne comprise entre 2.5 et 2.6 millions d'hectares pour les mêmes campagnes agricoles (Figure 1).

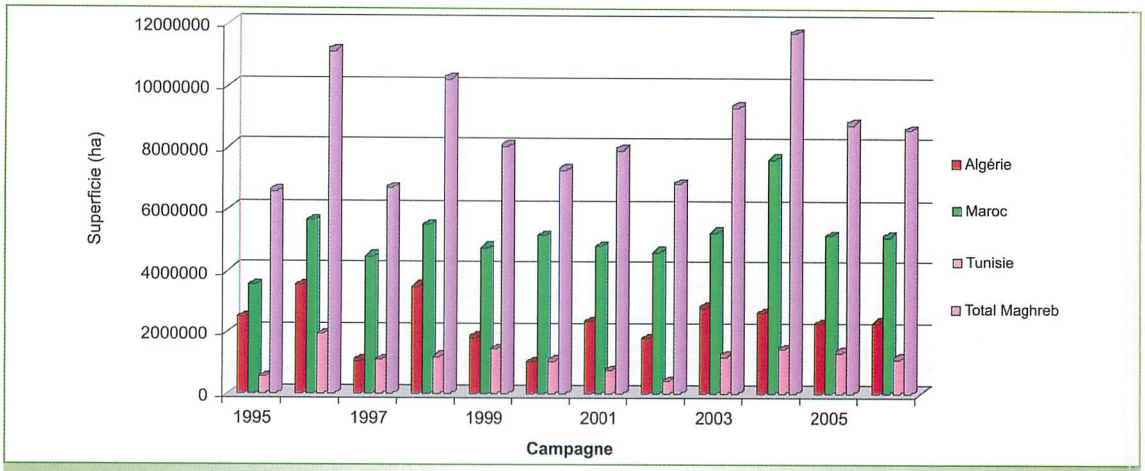


Figure 1 : Evolution de la superficie cultivée en céréales dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

Source : FAO, 1995-2005.

La figure 1 illustre parfaitement cette évolution décennale (1995/2005) de la sole céréalière. Il faut noter que le Maroc avec une superficie moyenne de 5.14 millions d'hectares de céréales se classe au 1er rang devant l'Algérie (2.31 millions d'hectares), suivie de la Tunisie (1.13 millions d'hectares).

Cette évolution de la sole céréalière à travers les trois pays demeure identique quand on s'intéresse aux différentes espèces, que ce soit les blés ou l'orge. En effet, la différence entre les pays est toujours aussi importante puisque les superficies cultivées en blés annuellement sont comprises entre 828.500 hectares pour la Tunisie, 1.7 millions hectares pour l'Algérie et 3.19 millions hectares pour le Maroc. Les fluctuations à travers les années sont similaires aussi et on remarque que la sole blé passe d'environ 4.06 à 8.00 millions d'hectares, soit du simple au double entre 1995 et 2005 (Figure 2).

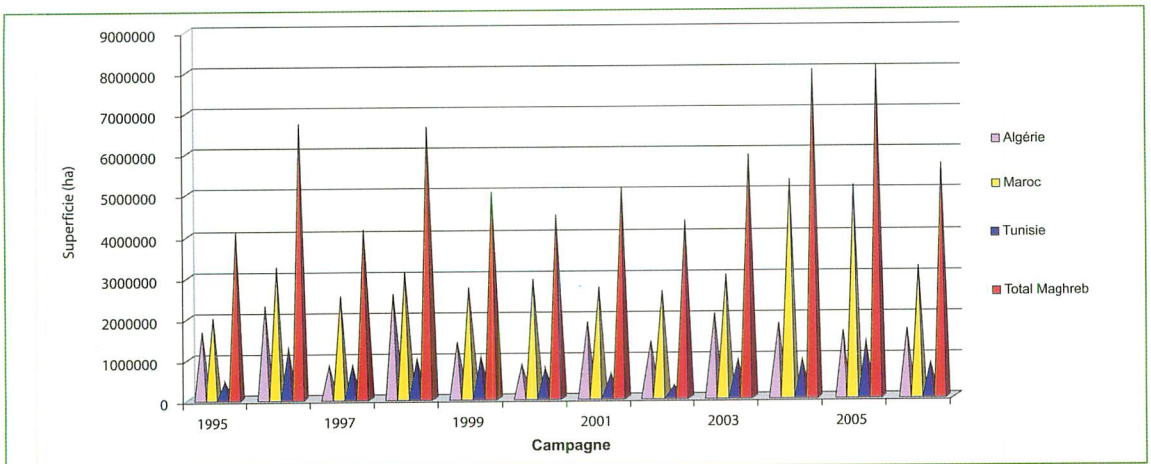


Figure 2 : Evolution de la superficie cultivée en blés dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

Source : FAO, 1995-2005.

Au plan spatial, les blés représentent en moyenne 70% de la sole céréalière de la région. Cette situation marque l'importance stratégique de ces deux espèces (blé dur et blé tendre) pour les pays de la région sur le plan alimentaire.

Pour l'orge, la sole annuellement cultivée représente 30% du total des céréales (Figure 3). La superficie moyenne emblavée dans toute la région est de 3.14 millions d'hectares, dont 69% au Maroc.

En effet, au Maroc, la sole orge y est très importante et supérieure à celle du blé tendre ou du blé dur. En fait, l'espèce orge se classe au premier rang au Maroc, alors que pour l'Algérie et la Tunisie, c'est le blé dur.

Cependant, les fluctuations des emblavements de l'orge ne sont pas aussi importantes comparativement à celles du blé. En effet, au cours de la décennie (1995-2005), la sole la plus faible était de 2.50 millions d'hectares (2002), alors que la plus grande était de 4.41 millions d'hectares (1996).

L'analyse de l'évolution de la production en grain (blé et orge)

Comme il a été souligné auparavant, la production des céréales reste tributaire des conditions climatiques qui sévissent, sachant que d'une année à l'autre elle fluctue énormément. Ainsi, en moyenne, la production de grain de céréales de la dernière décennie (1995-2005), était de 9.38 millions de tonnes. Ce niveau de production reste faible comparativement aux besoins de consommation et ne couvre que 30 à 50% des demandes des trois pays.

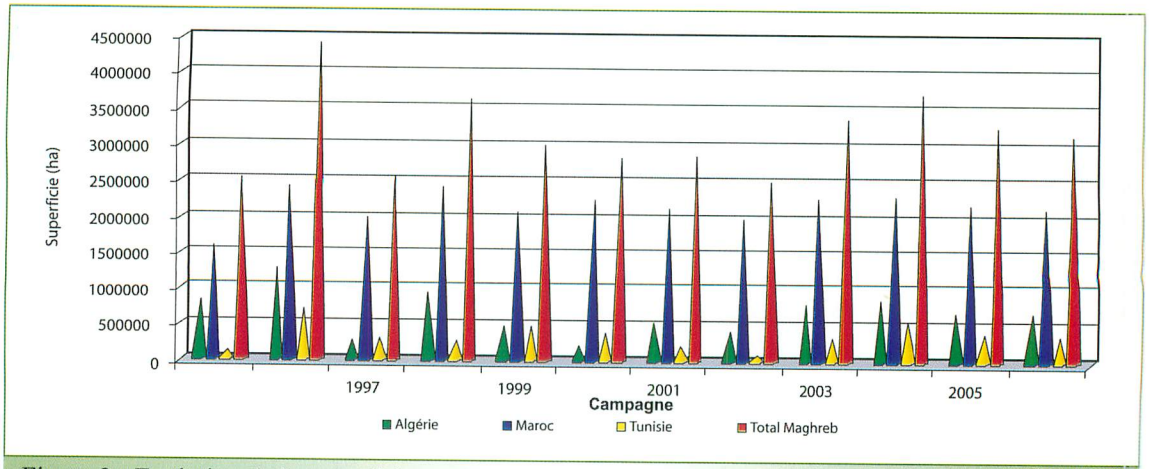


Figure 3 : Evolution de la superficie cultivée en orge dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

Source : FAO, 1995-2005.

Mais le plus dramatique, reste les fluctuations interannuelles avec des productions qui dépassent à peine 3.8 (2000), 4.39 (1995) et 5.53 (1997) millions de tonnes pour l'ensemble des trois pays en année défavorable, alors qu'au cours des années favorables, la production peut être triplée, 13.79 en 2004, 14.22 en 2003 et 17.38 millions de tonnes en 1996 (Figure 4).

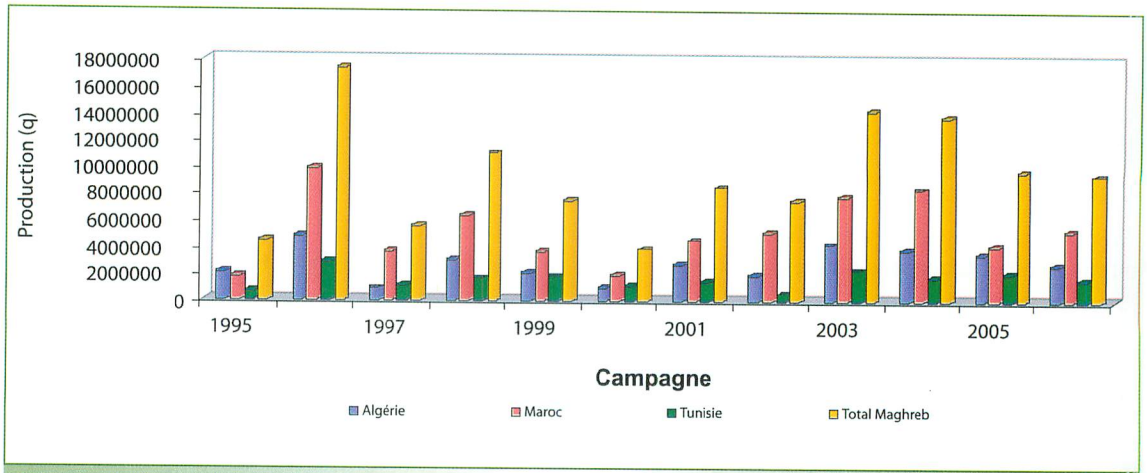


Figure 4 : Evolution de la production des céréales dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

Source : FAO, 1995-2005.

Le Maroc reste le premier producteur de céréales dans le Maghreb, avec une production moyenne de 5.14 millions de tonnes au cours de la dernière décennie. Comparativement, le niveau de production de l'Algérie ne représente que 50% de celui du Maroc. Celui de la Tunisie est moindre et ne dépasse pas 29%.

La production des blés dominent et représente 70% du total des céréales, soit une moyenne décennale de 6.57 millions de tonnes produites par les pays du Maghreb. Quant à celle des orges, elle s'est élevée à 2.80 millions de tonnes dont 64% pour le Maroc où cette culture est dominante par rapport aux blés (Figures 5 et 6).

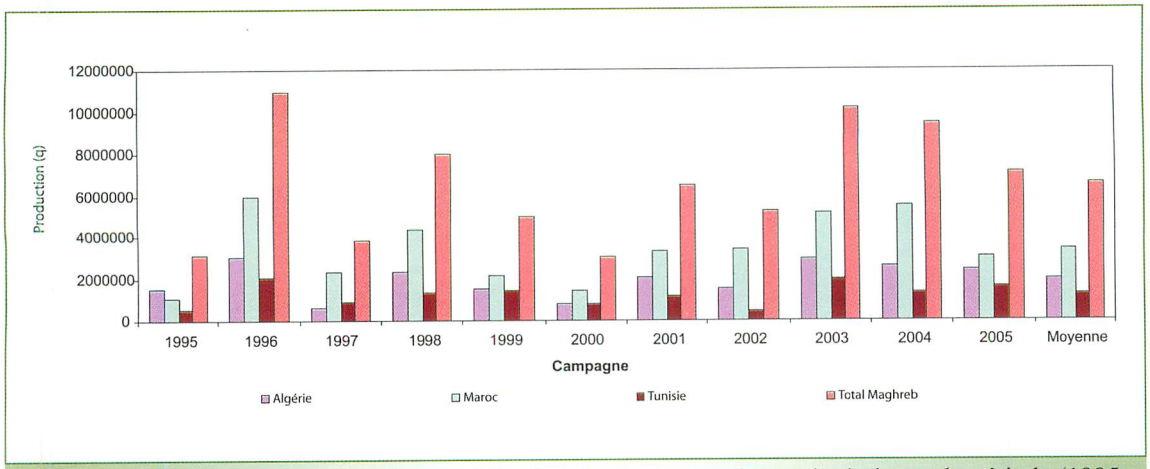


Figure 5 : Evolution de la production des blés dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

Source : FAO, 1995-2005.

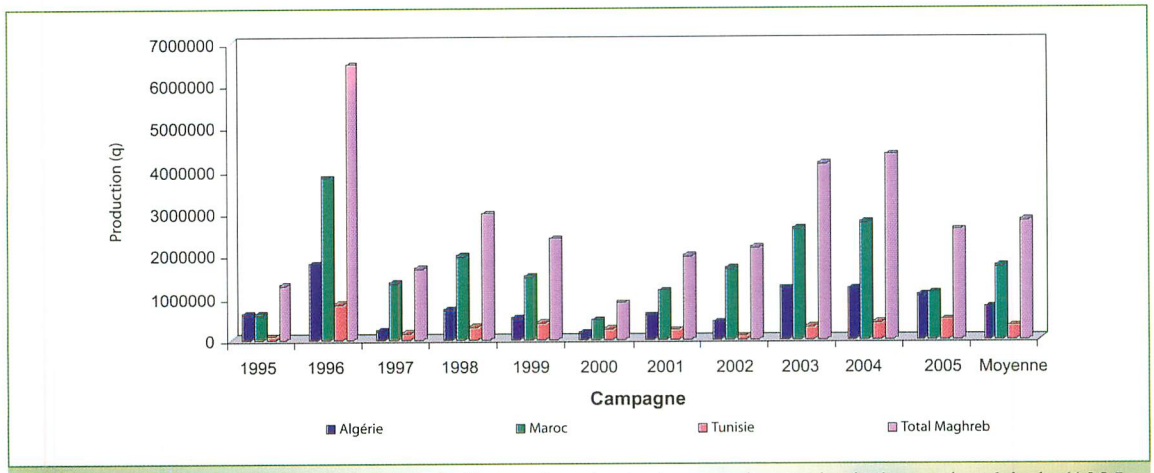


Figure 6 : Evolution de la production de l'orge dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

Source : FAO, 1995-2005.

L'analyse de l'évolution des rendements en grain (blé et orge)

Les niveaux de productivité des céréales sont faibles par rapport aux potentialités réelles des différentes zones agro-écologiques de la région du Maghreb. En effet, malgré des conditions de milieu défavorables, l'adoption d'itinéraires techniques adéquats pour la conduite rationnelle des céréales et plus particulièrement en régime pluvial permettra d'améliorer de manière conséquente le rendement.

L'analyse des données relatives au rendement céréalier durant la décennie écoulée illustre parfaitement cette faiblesse de la productivité en grain pour l'ensemble de la région. D'ailleurs, le rendement moyen céréalier (1995-2005) ne dépasse guère 1.07 tonnes par hectare au niveau régional et 1.35 tonnes pour la Tunisie qui a le niveau de productivité le plus élevé (Figure 7).

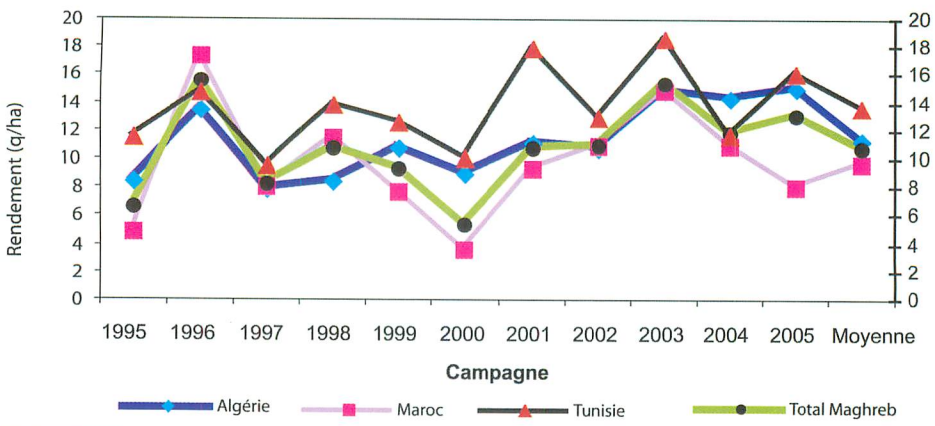


Figure 7 : Evolution des rendements de céréales dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

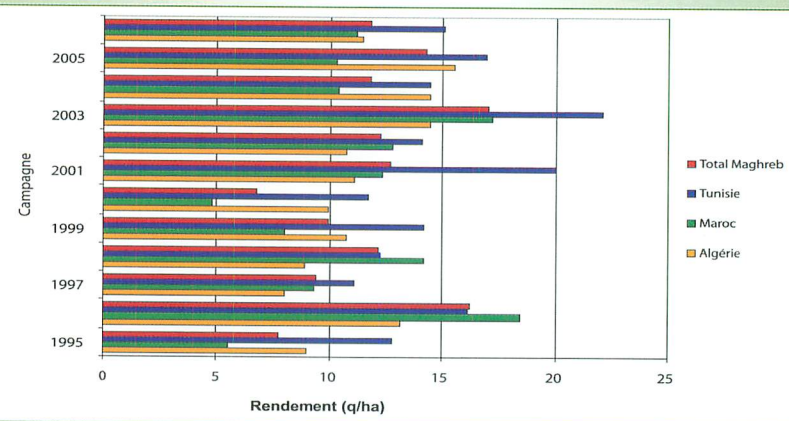


Figure 8 : Evolution des rendements des blés dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

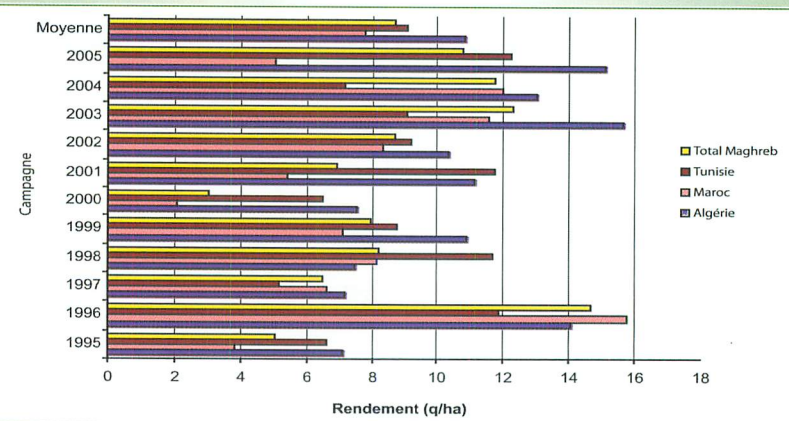


Figure 9 : Evolution des rendements de l'orge dans les trois pays du maghreb durant la période (1995-2005).

Source : FAO, 1995-2005.

Quant aux données par groupe d'espèces, on remarque que les rendements des blés sont supérieurs à ceux des orges de 34%, puisque ceux des blés atteignent 1.2 t/ha alors pour l'orge, ils ne dépassent pas 0.9 t/ha (Figures 8 et 9).

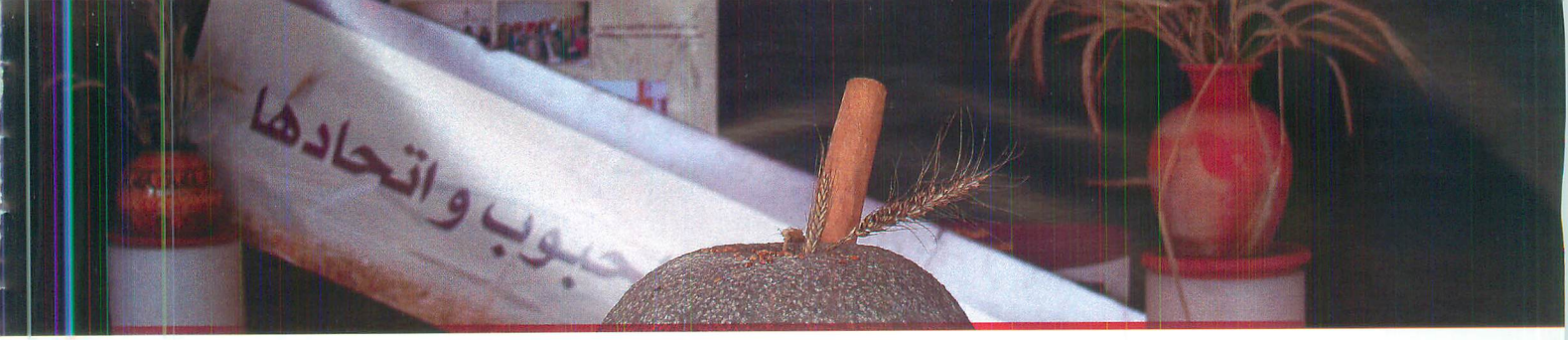
Il faut noter que les blés sont localisés dans les zones potentielles de production et dans les périmètres irrigués alors que les orges sont cultivées dans les zones marginales. Ceci peut expliquer en partie cette différence de niveau de productivité.

Références

Benbelkacem A. 1997. Etude de l'adaptation variétale des céréales cultivées en Algérie sous différentes conditions agro-écologiques. Céréaliculture. n°31, 17-22 p. ITGC/MADR.

FAOSTAT, 2005. (On-line) : données statistiques. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. http://apps.fao.org.





CHAPITRE II L'historique et la classification botanique

La plupart des recherches archéologiques ont confirmé que les origines du blé et de l'orge se situent dans les zones du croissant fertile (Harlan, 1976 ; Badr *et al.*, 2000 ; Bonjean, 2001). En fait, la découverte des premiers signes des espèces de blé datent d'un peu moins de 8.000 ans avant Jésus-Christ. (Feldman, 1976) cité par (Doussinault *et al.*, 1992). La domestication des orges était plus ancienne que celle du blé puisque les études archéologiques effectuées en Syrie et en Iraq ont mis en évidence la présence de caryopses d'orge qui datent d'environ 10.000 ans avant Jésus-Christ. Ainsi, pendant l'Antiquité et jusqu'au deuxième siècle avant Jésus-Christ, l'orge était la céréale la plus utilisée pour l'alimentation humaine dans les régions du Croissant fertile, d'Europe et du bassin méditerranéen..

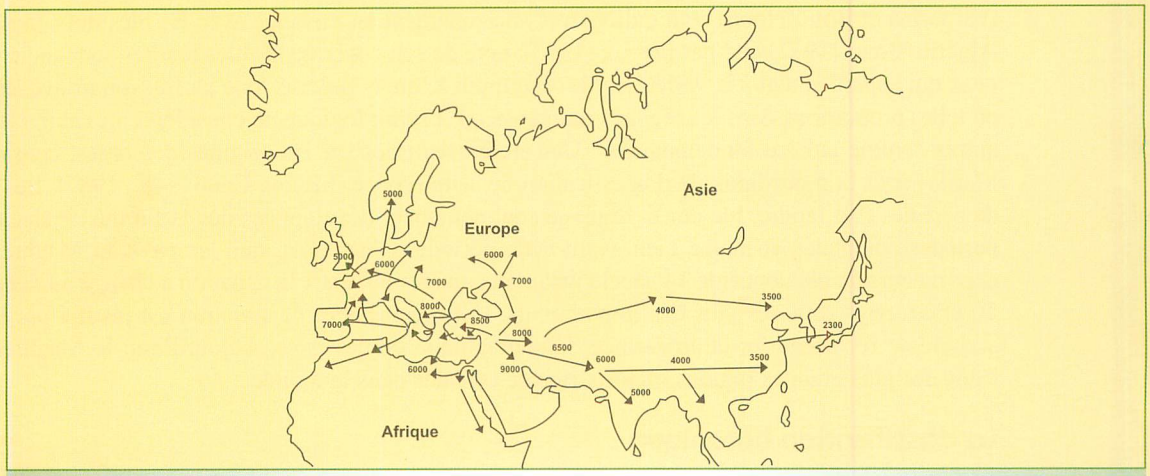


Figure 1 : Carte de la diffusion de la culture du blé (dates par rapport à aujourd'hui). Bonjean (2001).

C'est à partir de cette zone que les blés ont été diffusés vers l'Afrique, l'Asie et l'Europe. La route la plus ancienne de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb fut à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Bonjean, 2001). Quant aux orges, ils ont atteint les pays du Maghreb depuis le Croissant fertile en passant par l'Egypte.

Les premières classifications botaniques à partir des ancêtres sauvages, furent renforcées par les premiers travaux de cytogénétiques qui aboutirent à la détermination du nombre de chromosomes des différentes espèces.



Le blé dur cultivé (*Triticum durum*), est un blé tétraploïde (2n = 28) issu d'une sélection réalisée à partir de l'amidonnier (blé tétraploïde à 4n) et qui daterait du temps de Jésus-Christ.

Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est apparu après la domestication des blés diploïdes et tétraploïdes (Bonjean, 2001). Il est issu d'un double croisement naturel entre une graminée sauvage diploïde (*Aegilops squarrosa* également appelé *Triticum tauschii*) et l'amidonnier tétraploïde (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*).

Hordeum spontaneum L., orge sauvage diploïde à deux rangs (2n = 14), répandue depuis la Grèce et la Libye jusqu'au Nord-Est de l'Inde est reconnue comme la forme ancestrale de l'orge cultivée (*Hordeum vulgare* L.) (Nevo, 1992 ; Zohary et Hopf, 1993 ; Jestin, 1996). *Hordeum spontaneum* L. n'est représentée que par des formes d'épis à deux rangs à rachis fragile (cassant), alors que les orges à six rangs ne sont apparues que plus tard suite à une mutation spontanée.

Mais les formes spontanées de blé ayant été impliquées dans l'évolution des formes cultivées sont originaires des régions possédant des climats variables allant des tempérés chauds (bassin méditerranéen) à tempérés froids (régions montagneuses et Hauts-Plateaux du Centre-Ouest de l'Asie) avec un régime de pluies variables mais souvent limitant pendant la période de croissance. L'homme a donc sélectionné les variétés en fonction des conditions locales et le processus de sélection a produit un très grand nombre de variétés locales.

Au Maghreb, Erroux (1960), indique qu'à la fin du 18e et au début du 19e siècle, les espèces de blé étaient représentées par le blé dur qui occupait des surfaces importantes. En effet, les blés tendres ne figuraient qu'en tant impuretés dans les emblavures. Cependant, Trabut cité par l'auteur, considérait que le blé tendre (blé farina et Bou Zeloun) était cultivé très anciennement en mélange avec les blés durs dans les Aurès en Algérie. Bœuf (1932) cité par Erroux (1960), note de son côté que les blés tendres sont anciens en Tunisie, ceux qui appartiennent à la variété erythrospermum Körn, et précise "que parfois, on trouve les blés tendres en telles proportions dans les récoltes indigènes qu'il serait logique de considérer aussi bien les uns que les autres comme culture fondamentale". Des études réalisées sur les origines des orges, considèrent que le Maroc serait l'un des lieux de domestication de cette espèce (Molina-Cano *et al.*, 1987). Les trois espèces de céréales (blé tendre, blé dur et orge) se sont nettement développées dès la fin du 19e siècle pendant les périodes coloniales et même bien avant cette période. C'est ainsi, que les pays du Maghreb étaient des exportateurs de blé depuis le 14e siècle jusqu'aux années 60, mais la situation a changé au début des années 70 et ces pays sont devenus des importateurs. Cet inversement de situation est justifié par les années de sècheresse récurrente et la croissance démographique de ces pays. Aujourd'hui, le Maghreb est devenu l'une des plus grandes régions importatrice de céréales dans le monde.

La classification botanique

Les céréales telles que le blé et l'orge sont des cultures annuelles qui appartiennent à la famille des Graminées (Poacées), sous-famille des Festucoïdées. Le blé dur et le blé tendre appartiennent au genre *Triticum*, et l'orge appartient au genre *Hordeum*.

Selon la classification la plus utilisée, les espèces du genre *Triticum* se divisent en trois groupes :

- Le groupe des diploïdes (2n = 14) : La plus grande part des espèces spontanées du genre *Triticum* appartiennent à ce groupe. Parmi les espèces cultivées appartenant à ce groupe, on distingue *Triticum monococcum* ou engrain.
- Le groupe des tétraploïdes (2n = 28). Les espèces appartenant à ce groupe sont :

- *Triticum diccocoïdes ;*
- *Triticum dicoccum ;*
- *Triticum turgidum ;*
- *Triticum polonicum ;*
- *Triticum durum* ou **blé dur.**

Le groupe des hexaploïdes (2n = 42). Les espèces appartenant à ce groupe sont :

- *Triticum spelta ;*
- *Triticum aestivum* ou **blé tendre ;**
- *Triticum compactum.*

Les espèces du genre *Hordeum* se divisent en trois groupes :

Le groupe diploïde à 2n = 14. Les espèces appartenant à ce groupe sont :

- Les formes sauvages : *Hordeum agriocrithon, H. spontaneum, H. murinum, H. californicum,…*
- Les formes cultivées : *Hordeum vulgare* L.

  - *Hordeum polysticum* DOLL. s/s espèce *Hordeum vulgare* LAM. = orge à six rangs ;
  - *Hordeum distichum* LAM. s/s espèce *Hordeum nutantes* R. REG = orge à deux rangs.

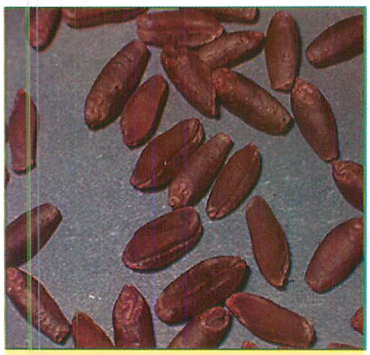
Le groupe tétraploïde à 2n = 28, représenté par des formes sauvages : *Hordeum murinum, H. jubatum, H. bulbosum ;*

Le groupe hexaploïde à 2n = 42, représenté par des formes sauvages : *Hordeum nodosum, H. arizinicum,…*

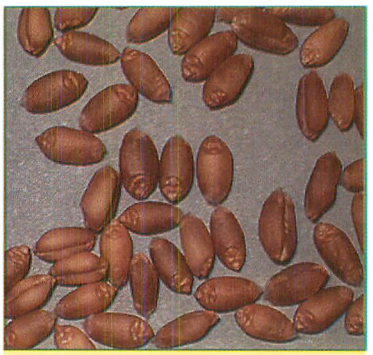
Les caractéristiques de la plante

La graine

Le grain de blé a un aspect ovoïde, plus allongé dans le cas du blé dur et arrondi dans le cas du blé tendre.



Graines de blé dur.



Graines de blé tendre.



Graines d'orge.



Le grain est un caryopse, soit nu lorsqu'il a perdu ses enveloppes au battage (cas du blé), soit vêtu lorsque ses enveloppes restent attachées ou soudées au grain après battage (cas de l'orge). Le caryopse nu, sans glumelle, est constitué de trois parties :

- Le tégument : il constitue la membrane du caryopse, il est composé du péricarpe et d'une couche à aleurone ;
- le germe : situé à l'extrémité du grain, est composé de l'embryon et d'un cotylédon ;
- l'albumen : il représente la plus grande partie du caryopse (80 à 90%). C'est le tissu de réserve de la graine et il est constitué de cellules remplies de grains d'amidon.

Les racines

Le système racinaire assure deux fonctions : l'ancrage de la plante au sol et son alimentation en eau et en éléments minéraux.

Les céréales disposent de deux systèmes radiculaires successifs :

- le système racinaire primaire ou séminal, fonctionnel dès la germination. On compte normalement 5 à 8 racines séminales chez le blé tendre et 7 chez l'orge. Chez le blé dur, il ne se forme en général que 6 racines séminales (Monneveux, 1992).

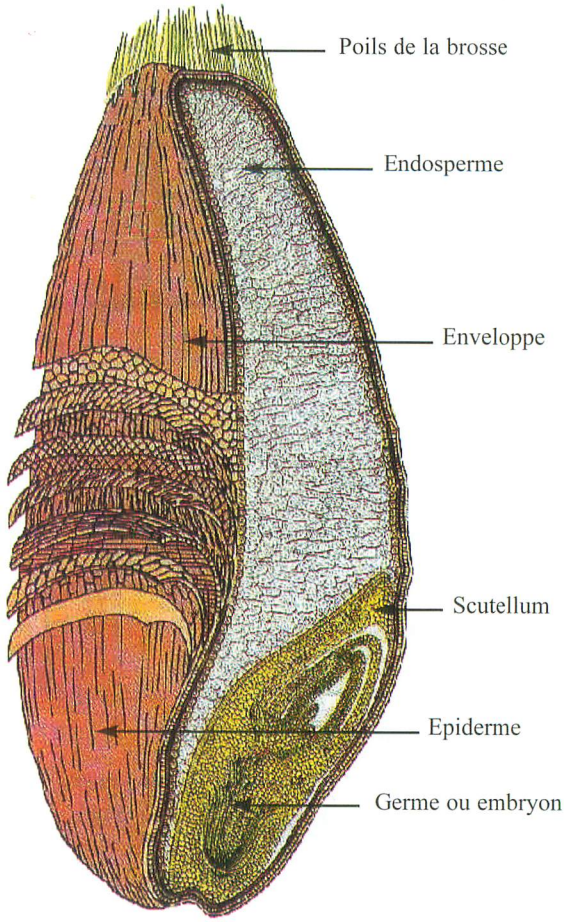


Photo : Institut international du Canada du grain

Coupe du grain de blé tendre.

- Le système racinaire secondaire ou racines adventives, de type fasciculé, qui apparaît au tallage et se substitue progressivement au précédent. Le nombre de racines est d'autant plus élevé que le tallage est plus important et que la phase de tallage est plus longue. Très actives jusqu'à la floraison, les racines adventives rentrent ensuite en sénescence.



Racines séminales du blé.



Développement des racines adventives du blé.



Développement du système racinaire du blé en plein tallage.

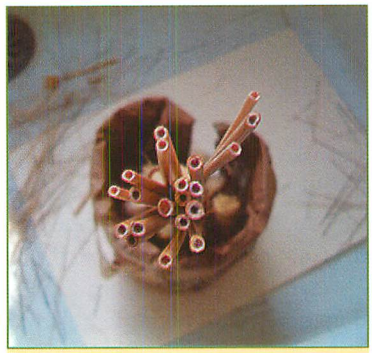
Photos : Shroyer J.

La tige

Sur la partie aérienne des céréales, on distingue une tige principale appelée le maître brin et des tiges secondaires appelées talles qui naissent à la base de la plante. Chaque tige est composée de plusieurs entre-nœuds situés entre la base et le sommet. A maturité, les tiges sont, soit creuses (cas de l'orge), semi-creuses (certaines variétés de blé d'hiver) ou pleines (blé dur).



Noeuds et entre-noeuds d'une tige de blé.



Tiges creuses de blé dur.



Tiges pleines de blé tendre.

Photos : Shroyer J.

La feuille

La feuille est la source principale des assimilats produits par photosynthèse et exportés vers les graines. Les feuilles sont disposées de part et d'autre de la tige en position opposées. Chaque feuille prend naissance à l'aisselle d'un nœud. La feuille du blé ou de l'orge se compose de quatre parties : la gaine, les stipules ou oreillettes, la ligule et le limbe.

Le limbe qui constitue la plus grande partie de la feuille est parcouru par des nervures parallèles.

La gaine de chaque feuille s'insère à partir du nœud d'où prend naissance la feuille. Les stipules ou oreillettes se trouvent à l'intersection entre le limbe et la gaine. Chez le blé, les oreillettes sont longues, non



embrassantes et généralement ciliées mais quelquefois glabres. Au contraire, l'orge présente des oreillettes longues embrassantes et toujours glabres.

La ligule est une mince membrane attachée à la base du limbe.

L'une des particularités des feuilles est leur comportement vis-à-vis des facteurs abiotiques. Selon les variétés, un changement de forme ou d'orientation des feuilles est un signal visuel à une modification de leur état hydrique qui constitue un état transitoire. En cas de stress prolongé, les feuilles entrent dans une phase de sénescence qui varie en fonction des variétés et des espèces. Pour les variétés tolérantes à la sécheresse, l'évolution de la sénescence est moins rapide et la durée de vie des feuilles est plus longue.



Limbe de la feuille de blé.



Oreillettes d'orge.



Gaine.



Ligule.

Photos : Shroyer J.

L'inflorescence ou l'épi

Chez le blé et l'orge, le type d'inflorescence est un épi, constitué d'un ensemble d'unités appelées : épillets. Chaque épillet est une petite grappe de une à cinq fleurs, enveloppées chacune par deux glumelles (inférieures et supérieures). La grappe est incluse entre deux bractées, ou glumes (inférieures et supérieures). Les fleurs sont attachées sur le rachillet (rameau partant de l'axe principal de l'inflorescence) et comportent en général chacune typiquement trois étamines et un ovaire à un seul carpelle. Les étamines (organes reproducteurs mâles) se composent d'anthères renfermant le pollen (gamètes mâles) et les filets. Le pistil (organe sexuel femelle) est composé du stigmate et de l'ovaire. Le nombre de fleurs fertiles par épillet varie de un (cas de l'orge) à trois ou quatre selon l'espèce.



Epi de blé dur.



Epi de blé tendre.



Epillet de blé tendre.



Epillet de blé dur.

Photos : Shroyer J.

Chez les orges à deux rangs, l'épi est aplati, les épillets sont opposés les uns aux autres alternativement dans le sens perpendiculaire à l'aplatissement.

Chez les orges à quatre rangs, la section de l'épi tend vers une forme carrée.

Les orges à six rangs ont une section d'épi hexagonale et les grains sont de forme différente. En effet, ceux qui sont placés à l'extérieur de chaque dent du rachis sont légèrement dissymétriques, alors que le grain central est symétrique (Prats et Clement-Grandcourt, 1971).

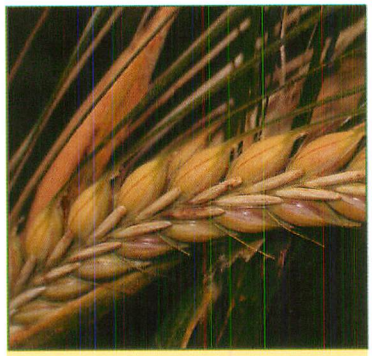
Les orges à deux rangs diffèrent des orges à six rangs du fait que seules les graines médianes se développent chez les premiers (Zahour, 1992). En effet, pour les orges à six rangs tous les épillets sont fertiles, tandis que pour les orges à deux rangs, les épillets latéraux sont stériles (Zahour, 1992).



Epi d'orge.



Orge à 6 rangs.



Orge à 2 rangs.

Comment différencier le blé tendre, le blé dur et l'orge

Morphologiquement, le blé dur se distingue du blé tendre par un feuillage plus clair, totalement glabre (Simon *et al.*, 1989).

L'orge se différencie du blé par la présence de deux stipules, largement développées, glabres et embrassantes. La ligule, courte, est appliquée contre la tige. La tige de l'orge est plus souple que celle du blé, ce qui la rend plus sensible à la verse. Le système radiculaire de l'orge est plus superficiel que celui du blé et plus de 60% du poids des racines sont localisés dans les 25 cm de profondeur du sol (Simon *et al.*, 1989).



Références

Badr A., Muller K., Schafer-Pregl R., El Rabey H., Effgen S., Ibrahim H.H., Pozzi C., Rohdi W., Salamini F., 2000. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). Mol. Biol. Evol. 17(4) : 499-510

Bonjean A., 2001. Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Eds. Le Perchec S., Guy P. et Fraval A. Agriculture et biodiversité des plantes. Dossier de l'environnement de l'INRA, n°21, pp : 29-37.

Doussinault G., Kaan F., Lecomte C., Monneveux P., 1992. Les céréales à paille : présentation générale. In : Amélioration des espèces végétales cultivées ; A. Gallais et H. Bannerot, ed. INRA (eds), pp : 13-21.

Erroux J., 1960. Quelques remarques sur l'ancienneté du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Afrique du Nord. Extrait du bulletin de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord. Tome 51. pp : 143-150.

Harlan J.R., 1976. Barley. In : Evolution of crop plants ; NW. Simmonds, ed. Longman Inc., New York, pp : 93-98

Jestin L., 1996. L'orge. In : Amélioration des espèces végétales cultivées. A. Gallais et H. Bannerot ed. INRA ed. pp : 55-70.

Molina-Cano J.L., Fra Mon P., Salcedo G., Aragon-Cillo C., Roca De Togores F., Garcia-Olmedo F., 1987. Morocco as a possible domestication center for barley : Biochimical and agromorphological evidence. Theor. Appl. Genet. 73 : 531-536

Monneveux P., 1992. Croissance et développement du blé. Document interne, 38p.

Nevo E., 1992. Origin, Evolution, Population Genetics and Resources for Breeding of Wild Barley, *Hordeum spontaneum*, in the Fertile Crescent. In: Barley : Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology. P.R. Shewry (ed.). Biotechnology in Agriculture n°5 : 19-44.

Prats J., Clement-Grandcourt M., 1971. Les céréales. J.-B. Baillière et Fils ed. Paris. 351p.

Simon H., Codaccioni P., Lecoeur X., 1989. Produire des céréales à pailles. Tec & Doc - Lavoisier ed., Paris. 333p.

Zahour A., 1992. Eléments d'amélioration génétique des plantes. Manuels scientifiques et techniques. Actes ed. 230p.

Zohary D., Hopf M., 1993. Domestication of plants in the old world : the origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe and the Nile Valley, 2nd edition. Clarendon Press, Oxford, UK.



CHAPITRE III Les exigences agro écologiques

Dans les pays du Maghreb, la plus grande partie des céréales est cultivée en conditions pluviales et plus particulièrement dans les zones semi-arides. Ces zones sont souvent soumises aux effets des aléas climatiques qui se répercutent sur la croissance et le développement des céréales et par conséquent sur leur productivité. Ainsi, dans ces conditions, les blés et les orges ne fonctionnent pas dans des conditions optimales. La connaissance des exigences de ces espèces en matière de besoins en eau, de température et de conditions édaphiques permettra de mettre en œuvre des stratégies adéquates pour atténuer les effets environnementaux sur les cultures.

L'eau

Les orges et les blés ont des besoins en eau respectifs d'environ 450 et 550 mm en moyenne au cours de leur cycle de développement. Par rapport aux blés, les orges sont plus exigeantes en eau au début de cycle mais elles supportent les sécheresses de fin de cycle à cause de leur cycle court. Pour optimiser les rendements, les céréales d'automne (blés et orge) doivent satisfaire leurs besoins en eau tout le long de leur cycle de développement. Cependant, dans les conditions de culture pluviale au Maghreb, le blé et l'orge subissent des déficits hydriques qui affectent plusieurs variables physiologiques de la plante et se répercutent sur la croissance et le développement et entraînent une baisse des rendements en grain. Selon son intensité et sa date d'apparition au cours du cycle de développement, le stress hydrique peut causer des dégâts à des degrés variables en fonction des espèces (orge et blé), des variétés cultivées et de la date de semis (El Mourid, 1988 ; El Falah *et al.*, 1991 ; Samarah, 2005 ; Tambussi *et al.*, 2005).

La faiblesse et l'irrégularité des précipitations dans les pays du Maghreb sont des facteurs qui engendrent un risque d'apparition du déficit hydrique à n'importe quel moment du cycle des céréales d'automne (Benseddik et Benabdelli, 2000). En effet, il faut noter que les céréales sont confrontées à plusieurs types de sécheresse qui les affectent au cours de leur cycle de développement (Figure 1), il s'agit de :

- la sécheresse au début de cycle végétatif et qui affecte l'installation de la culture ;
- la sécheresse du milieu de cycle végétatif et qui affecte principalement la fertilité des organes reproducteurs de la plante ;
- la sécheresse de fin de cycle végétatif qui affecte la formation et le remplissage du grain.

La sécheresse de fin de cycle est pratiquement quasi présente au cours de ces dernières années dans cette zone et les efforts en matière d'amélioration génétique sont orientés vers la création de variétés précoces de céréales afin d'échapper à ce type de stress. L'amélioration des rendements en grain dans ces régions passe essentiellement par la recherche d'une meilleure adaptation à l'environnement de production.

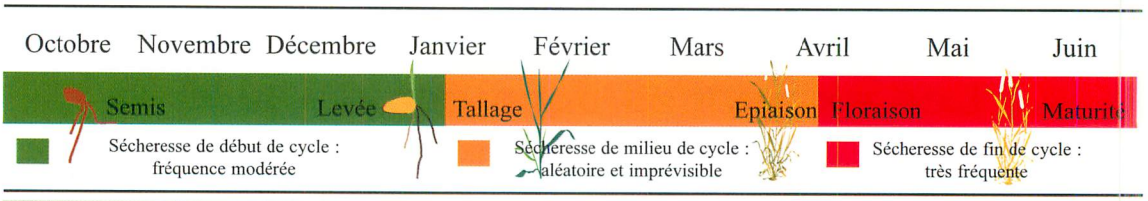


Figure 1: Représentation schématique des types de sécheresse et leur place dans le cycle de développement des céréales d'automne en zone semi-aride au Maghreb.

Le sol

Les espèces blé et orge prospèrent sur une gamme assez variée de sols et l'optimum semble être des terres neutres, profondes et de texture équilibrée. En sol peu profond, le rendement en grain des céréales est pénalisé (El Mourid *et al.,* 1992). Des essais réalisés par l'INRA Maroc dans les régions de Jemaa Shaim (Abda) et Khouribga en sec et en irrigué ont confirmé ces derniers résultats (Tableau 1). Toutefois, en sol peu profond, l'orge s'accommode beaucoup mieux que le blé.

Tableau 1 : Moyenne du rendement en grain (qx/ha) du blé tendre (var. Nesma) en fonction du régime hydrique et de la profondeur du sol dans les régions de Jemaa Shaim et Khouribga au Maroc. El Mourid *et al.,* (1992).

Régimes	Jemaa Shaim		Khouribga	
	Sol profond (RU* = 144 mm)	Sol peu profond (RU = 81 mm)	Sol profond (RU = 144 mm	Sol peu profond (RU = 81 mm)
Sec (régime pluvial)	24	17	42	30
IRRJAN	37	24	55	34
IRRMARS	36	30	55	41
IRRAVRIL	31	25	50	38
IRRHUM	57	45	70	52

IRRJANV = Une irrigation de 75 mm au 6 janvier ; IRRMARS = Une irrigation de 75 mm au 10 Mars ; IRRAVRIL = Une irrigation de 75 mm au 2 Avril ; IRRHUM = Régime combinant les trois irrigations (IRRJANV, IRRMARS, IRRAVRIL), * RU = Réserve Utile du Sol.

La température

Le zéro de germination du blé et de l'orge est de 0°C. L'orge est plus sensible au froid que le blé. Selon la sensibilité variétale, le seuil thermique de mortalité varie entre -12 et -16°C (Simon *et al.*, 1989). De plus, le blé est moins sensible à la température durant sa phase végétative par rapport à sa phase reproductive (Entz et Fowler, 1988).

Une étude plus détaillée se basant sur une base de données mondiales traitant la relation entre la température et les différents processus de croissance et phénologiques a été élaborée par Porter et Gawith (1999). Le tableau 2, résume les données de 65 références bibliographiques sur les températures létales minimales et maximales, les températures de base et optimales pour l'initiation foliaire, la croissance des tiges et des racines et les phases phénologiques. Cette étude a montré qu'en moyenne, les températures létales du blé sont de - 17,2 (±1,2) et 47,5 (±0,5) représentant respectivement les températures létales minimales et maximales. Cependant, en fonction des variétés, des températures létales en dessous des valeurs indiquées dans le tableau ont été signalées (Drozdov *et al.*, 1984 ; Single, 1985). En effet, plusieurs études ont signalé l'existence de différences génotypiques en réponse au stress thermique (Al-Khatib et Paulsen, 1990 ;

Tableau 2 : Synthèse bibliographique de la moyenne (± écart-type) des températures létales minimales (Tlmin), létales maximales (Tlmax), de base minimale (Tmin), optimales (Topt) et maximales (Tmax). Porter et Gawith (1999).

Processus	Abréviation des températures	Température moyenne (± écart-type) (°C)	Nombre des références bibliographiques
Limites létales	Tlmin Tlmax	- 17.2 (1.2) 47.5 (0.5)	17 2
Initiation foliaire	Tmin Topt Tmax	-1.0 (1.1) 22.0 (0.4) 24.0 (1.0)	12 9 5
Croissance des tiges	Tmin Topt Tmax	3.0 (0.4) 20.3 (0.3) > 20.9 (0.2)	5 6 6
Croissance des racines	Tmin Topt Tmax	2.0 < 16.3 (3.7) > 25.0 (5.0)	1 3 3
Phases phénologiques * Semis-levée	Tmin Topt Tmax	3.5 (1.1) 22.0 (1.6) 32.7 (0.9)	8 11 10
* Vernalisation	Tmin Topt Tmax	-1.3 (1.5) 4.9 (1.1) 15.7 (2.6)	6 11 7
* Epiaison	Tmin Topt Tmax	1.5 (1.5) 10.6 (1.3) > 20.0	2 5 1
* Anthèse	Tmin Topt Tmax	9.5 (0.1) 21.0 (1.7) 31.0	3 2 1
* Remplissage des grains	Tmin Topt Tmax	9.2 (1.5) 20.7 (1.4) 35.4 (2.0)	6 7 5





Ouabbou, 1995). En fonction des stades phénologiques, les effets des températures sur le rendement final sont variables. Au début montaison (stade épi à 1 cm), une seule journée avec une température minimale ≤-4°C (sous abri) est suffisante pour la destruction partielle ou totale des épis (Gate, 1991). Ceci a pour conséquence de réduire la mise en place du nombre de grains. Dans les situations de fin de cycle où les fortes températures sont fréquentes, il existe un grand risque d'échaudage des grains. Les études de l'Institut technique des cultures fourragères (France), ont montré que le PMG est pénalisé dès que la température dépasse 25°C (sous abri). Ce risque est d'autant plus grand, lorsque les hautes températures persistent. En effet, l'augmentation des températures accélère la vitesse de croissance des grains et réduit leur durée de remplissage (Gate, 1991).

La photopériode

On désigne par photopériode, l'influence de la durée d'éclairement journalier sur le développement de la plante. Le blé et l'orge sont adaptés aux jours longs (donc la floraison s'effectue plus rapidement en jours longs). Il faut que la durée d'éclairement soit d'environ 12 heures pour que l'épi commence à monter dans la tige (Simon *et al.*, 1989). Au dessous de cette valeur seuil de durée de jour, il n'y a pas de formation de primordia d'épillets et les plantes continueront à différencier des organes végétatifs. Dans les conditions du Maghreb, à partir du mois de mars lorsque les jours deviennent longs, les plantes émettent leurs épis et la date d'apparition dépend des espèces, des variétés et des autres facteurs abiotiques (température et alimentation hydrique).

La vernalisation

Elle consiste en une période de basses températures dont ont besoin les céréales d'automne pour l'initiation florale. Sachant que la plupart des variétés de céréales (blé et orge) cultivées au Maghreb sont de type printemps, leurs besoins en vernalisation sont nuls.

Les potentialités des zones agro écologiques

Les potentialités des différentes espèces de céréales d'automne varient en fonction des conditions édapho-climatiques de chaque région.

En effet, l'ensemble des pays du Maghreb est caractérisé par quatre (4) grandes zones agro-climatiques :

- Zone aride ;
- Zone semi-aride ;
- Zone subhumide ;
- Zone humide.

Les résultats de production à travers l'ensemble des régions montrent un gradient croissant des niveaux de productivité des céréales du Sud vers le Nord. De plus, au niveau de chaque zone, des fluctuations importantes peuvent survenir à cause des aléas climatiques puisque la majorité de ces cultures y est conduite en pluvial.

- Zone aride : c'est une zone où l'irrigation est indispensable pour la conduite de la culture des céréales et principalement le blé. En ce qui concerne, la culture de l'orge, elle peut y être pratiquée étant donné que son cycle est court. En effet, la caractéristique essentielle de l'espèce orge est son adaptation aux conditions

difficiles. Ceci tient d'une part à l'existence de variétés bouclant leur cycle de culture en un temps court de 100 à 120 jours et même moins, et d'autre part à sa résistance aux conditions de sécheresse et à la salinité du sol.

Cependant, en conditions pluviales, le niveau de productivité des orges en grain demeure faible, mais, la culture peut être exploitée en fourrage avant d'atteindre sa maturité.

› Zone semi-aride : c'est la zone de culture de la plus grande partie (> 50%) des céréales au Maghreb. Elle est caractérisée par la faiblesse de la pluviométrie et sa fluctuation intra et inter-annuelle qui pénalisent fortement les niveaux de rendement des céréales (Figures 2 et 3). Ces facteurs conditionnent le développement de la culture durant tout son cycle évolutif et on constate que le principal facteur limitant dans cette zone, reste l'eau.

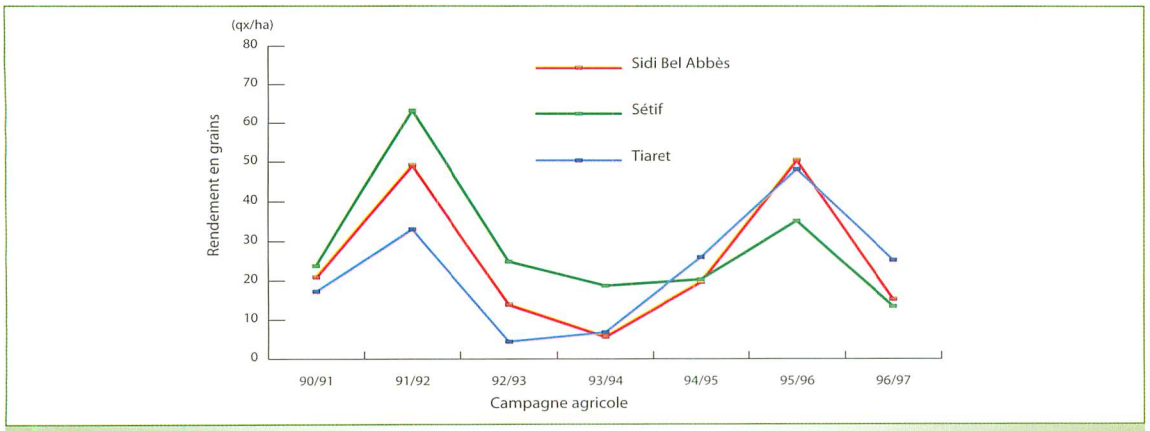


Figure 2 : Evolution des rendements grains du blé dur en zone semi-aride en Algérie.

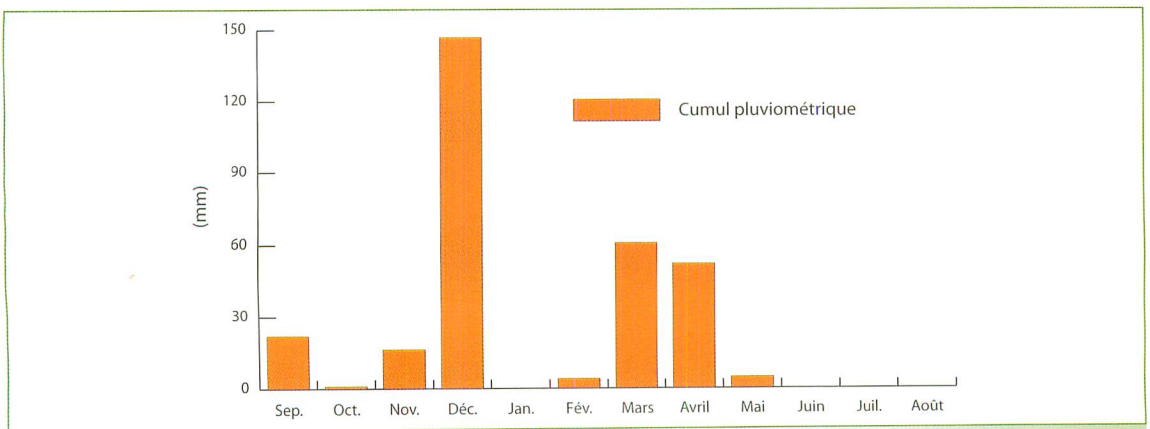


Figure 3 : Evolution de la pluviométrie mensuelle pendant la campagne 2001-2002 dans la zone semi-aride de Sidi El Aidi.





De ce fait, afin de sécuriser la production céréalière des zones semi-arides, l'apport complémentaire en eau est souvent indispensable en cas de déficit hydrique durant les périodes critiques du cycle phénologique de la plante.

- Zones subhumide et humide (favorable) : Ce sont les zones les plus favorables pour la culture des céréales dans le Maghreb. En effet, la pluviométrie moyenne est supérieure à 450 mm, permettant ainsi une culture intensive. Cependant, en l'absence d'irrigation, la productivité reste conditionnée par la répartition des pluies durant le cycle de la plante.

En présence de facteurs favorables, l'utilisation de variétés à haut potentiel de production et d'intrants ainsi que l'application des techniques de production modernes adéquates sont à même de garantir l'obtention de niveaux de productivité élevés dans ces zones.

Références

Al Khatib K., Paulsen G.M., 1990. Photosynthesis and productivity during high temperature stress of wheat genotype from major world regions. Crop Sci. 30: 1127-1132.

Benseddik B., Benabdelli K., 2000. Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche éco-physiologique. Science et Changements planétaires/Sécheresse, Vol.11, n°1 : 45-51.

Drozdov S.N., Titov A.F., Balagurova N.I., Kritenko S.P., 1984. The effect of temperature on cold and heat resistance of growing plants. II. Cold resistant species. J. Exp. Bot. 35 (160) : 1603-1608.

El Falah M., Chalbi N., El Guazzah M., 1991. Analyse de l'adaptation à l'aridité de quelques ressources génétiques locales d'orge (*Hordeum Vulgare* L.) comparativement à des variétés améliorées. In : L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. AUPELF-UREF Ed. John Libbey Eurotext. Paris, pp: 197-209.

El Mourid M., 1988. Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in a semi-arid region. Ph.D thesis, Iowa State University. 229p.

El Mourid M., Lamine M., Boutfirass M., Farihane H., 1992. Simulation de l'effet de l'irrigation d'appoint sur la productivité du blé tendre dans les régions semi-arides du Maroc. In: International Conference on "Supplementary irrigation and drought water management. Volume 1. Septembre 27 - October 2, 1992. Valenzano-Bari (ITALY), pp : S1-11.1 -- S1-11.14.

Entz M.H., Fowler D.B., 1988. Critical stress periods affecting productivity of no-till winter wheat in western Canada. Agron. J. 80 (6) : 987-992.

Gate P., 1991. La date et la densité de semis se raisonnent. Cultivar n° 288 : 36-38.

Ouabbou H., 1995. Physiological aspects of Recovery and evaluation of wheat during high temperature stress. Phd. Kansas State University, USA.

Porter J.R., Gawith M., 1999. Temperatures and the growth an development of wheat : a review. Eur. J. Agron., 10 : 23-36.

Samarah N.H., 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. Agron. Sustain. Dev. 25 : 145-149.

Simon H., Codaccioni P., Lecoeur X. 1989. Produire des céréales à paille. Tec & doc Lavoisier. Paris 333p.

Single W.V., 1985. Frost injury and the physiology of the wheat plant. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 51 (2) : 128-134.

Tambussi E.A., Nogués S., Ferrio P., Voltas J., Araus J.L., 2005. Does higher yield potential improve barley performance in Mediterranean conditions? Field Crop Research 91: 149-160.





CHAPITRE IV

La phénologie et l'élaboration du rendement et de ses composantes

L'élaboration du rendement est la résultante d'un ensemble d'étapes que traverse les plantes depuis le semis jusqu'à la récolte. Chacune des composantes du rendement est élaborée pendant une phase bien déterminée du cycle de développement de la culture. Ainsi, la connaissance des différents stades de développement de l'espèce constitue la première étape que le technicien doit connaître pour comprendre la formation du rendement.

Le cycle de développement

Le développement représente l'ensemble des modifications phénologiques qui apparaissent au cours du cycle des cultures. Ces modifications sont basées sur des critères morphologiques pour identifier les différents stades de développement des cultures. Les dates de réalisation des stades de développement du blé et de l'orge dépendent essentiellement, pour une variété donnée, des températures et photopériodes subies par la culture depuis sa germination. L'identification des stades de développement des céréales est une nécessité absolue pour le technicien ou l'agriculteur, car chacun des stades de la culture a une part dans l'élaboration des composantes du rendement. La notation des stades phénologiques dépend de caractères, soit visibles à l'œil nu ou bien de caractères qui nécessitent des dessiccations de la plante voir même des observations sous la loupe (Tableau 1). Des échelles de notation des stades phénologiques ont été élaborées dont les plus courantes sont celles de ZADOKS, FEEKES et JONARD (Tableau 3).

Comment observer un stade de céréale au champ ?

- Eviter les bordures de champs.
- Parcourir le champ en diagonale en effectuant les observations au hasard.
- Si la parcelle est hétérogène, effectuer les observations dans différentes zones homogènes en fonction de leur importance.
- Un stade est atteint lorsque la moitié des plantes observées est à ce stade.

Le cycle de développement des céréales comprend trois grandes périodes :

a. La période végétative ;
b. La période reproductrice ;
c. La période de maturation.

La période végétative

La phase semis- levée



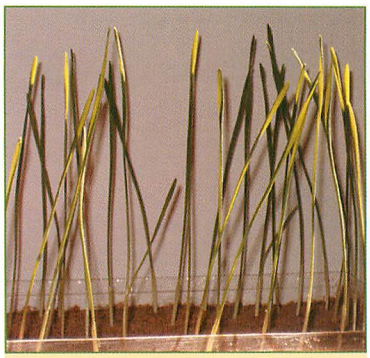
Germination de graines de blé tendre.



Sortie du coléoptile et formation des premières racines.

Photo : Shroyer J.

Elle débute par le passage du grain de l'état de vie ralentie à l'état de vie active lors du processus de germination. Un grain ne peut germer qu'en présence d'un minimum d'eau. On estime qu'un grain qui germe contient au moins 35% de son poids en eau. La germination se traduit par la sortie des racines séminales et par la croissance du coléoptile qui s'entrouvre pour laisser passer la première feuille vers la surface du sol. Pendant cette phase, la jeune plantule vit sur les réserves de la graine.



Formation de la 1ère feuille.



Plantule au stade 3 feuilles.



Plantule au stade 4 feuilles.

La réalisation de cette phase dépend de la valeur biologique de la semence (faculté et énergie germinatives), de la température (zéro de germination) et de l'humidité du sol. Le zéro de germination du blé et de l'orge se situe à 0°C. Le stade levée est atteint lorsque 90% des plantes d'une parcelle ont levé (Tableau 1). Le rapport entre le nombre de semences enfouies et celui des plantules levées désigne le taux de levée (exprimé en %).

La phase levée-début tallage

Dès que la première feuille a percé le coléoptile, ce dernier s'arrête de croître et se dessèche. La première feuille fonctionnelle s'allonge, puis la deuxième, la troisième et la quatrième toutes en position alterne. A partir du stade 3-4 feuilles, une première tige apparaît à l'aisselle de la première feuille de la tige principale. Dès que cette tige sort de la gaine de la première feuille, on dit que le stade début tallage est atteint. L'appréciation de la date d'apparition de ce stade pour une culture correspond à celle où 50% des plantes ont une talle émise.



Début tallage de la plante.



Formation des talles.



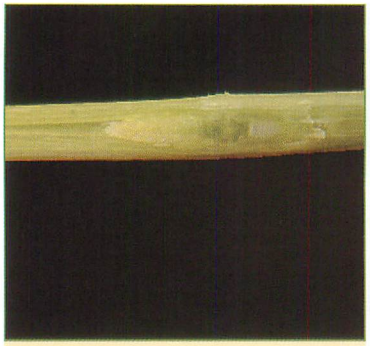
Stade plein tallage
début montaison.

Photo : Shroyer J.

La phase plein tallage - début montaison

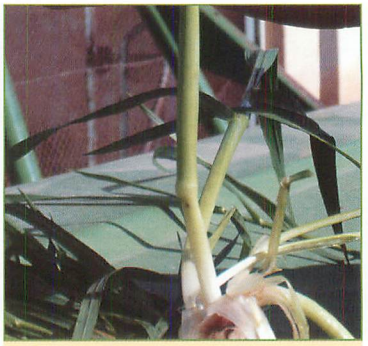
Pendant cette phase, en même temps que l'émission des feuilles du maître-brin, des talles apparaissent d'une façon synchrone. Le tallage se caractérise par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés à l'aisselle des feuilles. Les talles issues des premières feuilles sont appelées talles primaires. Cependant, chaque talle primaire émet une talle secondaire susceptible d'émettre une talle tertiaire. La zone de sortie des talles est appelée plateau de tallage. L'aptitude à émettre une ou plusieurs talles est une caractéristique variétale mais fortement dépendante des conditions du milieu : température, eau, azote, et des techniques culturales (profondeur, dose et date de semis).

La fin de cette phase est observée lorsque la jeune inflorescence (apex) est d'environ 1 cm au dessus du plateau de tallage. On atteint donc le stade début montaison. Le premier nœud est détectable au toucher à plus de 1 cm du plateau de tallage. Dans la majorité des cas, la date d'apparition de ce stade est évaluée sur le maître-brin. Cette date peut être repérée par le toucher du premier nœud à la base du maître-brin. Parfois, il serait préférable d'agir par la destruction de quelques plantes et faire une section à la base du maître-brin pour mesurer la distance entre la base de la tige et le sommet de l'épi. La montaison se caractérise par la différenciation et l'élongation des ébauches des nœuds et d'entre-nœuds.



Stade épi à 1cm.

Photo : Shroyer J.



Formation du 1er noeud.

Photo : ITGC.



Stade pleine montaison.

Photo : Shroyer J.

La période reproductrice

La phase ébauches d'épillets (phase A - B)

Le début de cette phase est marqué par une différenciation de l'ébauche d'épillet sur l'apex qui correspond au stade A. Ce stade marque la fin de la période végétative et l'acheminement vers la fonction de reproduction.

Le stade B est repéré par l'apparition de deux renflements latéraux qui apparaissent sur l'épillet, ce sont les ébauches des glumes. Le nombre maximum d'ébauches d'épillets dépend de la longueur de la phase de tallage herbacé. Plus la phase est longue, plus on aurait d'ébauches d'épillets.

La phase montaison-floraison (anthèse)

Dès le début de la montaison, on assiste à une différenciation des pièces florales : glumelles (inférieure puis supérieure), organes sexuels (étamines, stigmate); et enfin méiose pollinique.
En parallèle, la tige et l'inflorescence s'allongent. Les apex des talles se différencient des ébauches d'épillets puis des pièces florales et montent. Seules quelques talles donneront des épis. C'est le tallage épis.



Talles-épis.



Stade gonflement et sortie de l'épi hors de la gaine.



Evolution de l'épi.

Photo : Shroyer J.

L'inflorescence monte en grossissant dans les gaines des différentes feuilles. Ainsi, la gaine de la dernière feuille s'allonge et se gonfle : c'est le stade gonflement. La méiose pollinique se réalise autour de ce stade. Elle est plus précoce chez les orges par rapport aux blés. Peu après, l'inflorescence (épi) sort de la gaine de la dernière feuille : c'est le stade épiaison. C'est un indice pratique de précocité. On dit qu'il y a épiaison quand 50% des épis sont sortis. C'est un stade très important sur le plan agronomique. La précocité de l'épiaison est un caractère très recherché dans les zones semi-arides dans la mesure où il permet d'éviter aux cultures les sécheresses de fin de cycle. Cependant, dans les zones connues par les gels tardifs (cas par exemple des Hauts-Plateaux en Algérie), la précocité peut constituer un handicap.

La fécondation et l'anthèse suivent de quelques jours l'épiaison. Le stade floraison est atteint lorsqu'on observe l'apparition des étamines sur plus de la moitié des épillets. Parfois la floraison est réalisée avant la sortie de l'épi, ceci en fonction des espèces et des variétés. Dans ce dernier cas, on parle d'une floraison fermée, tandis que dans le cas où la floraison est réalisée après l'épiaison, celle-ci est dite ouverte, et elle est repérée par la sortie des étamines. La précocité de la floraison est un facteur très important dans les environnements où les facteurs limitants hydriques et thermiques sont souvent une contrainte pendant la période de remplissage des grains (Barbotin, 2004).



Floraison de l'orge.



Floraison du blé tendre.



Floraison du blé dur.

La période de maturation

Au cours de cette dernière période, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substances de réserve.

- **La phase de multiplication cellulaire** : on observe une augmentation du volume et du poids des grains. La phase se termine par le stade laiteux : la graine est encore verte et a pris sa forme définitive. A ce stade, le grain s'écrase facilement en laissant apparaître un liquide blanchâtre (Tableau 1).

- **La phase d'accumulation des assimilats** : le poids d'eau dans la graine devient constant mais les réserves continuent à migrer intensivement. Le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. La phase se termine par le stade pâteux. Le grain à ce stade s'écrase en formant une pâte.

› **La phase de dessication** : on assiste à une perte rapide du poids d'eau. Le grain devient dur et sa couleur devient jaunâtre. C'est le stade de la maturité physiologique, on considère qu'il est atteint lorsque le grain ne se laisse plus rayer par l'ongle (Tableau 1). Cependant, le grain ne peut être moissonné que lorsque la teneur en eau est de 13-14%.



Stade grain laiteux de blé.



Stade grain pâteux de blé.



Evolution de la maturité du grain de blé.

Photos : Shroyer J.

Tableau 1 : Critères de notation des principaux stades de développement des céréales au champ.

Stades de développement	**Critères de notation des dates d'apparition des stades**
Levée	90% des plantes ont leur première feuille émergée du sol
Début tallage	50% des plantes ont leur première talle visible à l'aisselle de la première feuille
Début montaison	Apparition du premier nœud sur 50% des plantes
Gonflement	50% des gaines de la dernière feuille sont en état de gonflement
Début épiaison	50% des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille
Début floraison	50% des épis présentent des étamines sur plus de la moitié des épillets
Grain laiteux	50% des épis présentent des grains qui en s'écrasant laisse apparaître un liquide blanchâtre. Etat laiteux.
Grain pâteux	50% des épis présentent des grains à l'état pâteux
Maturité physiologique	90% des épis ont des grains durs qui se cassent difficilement entre les dents

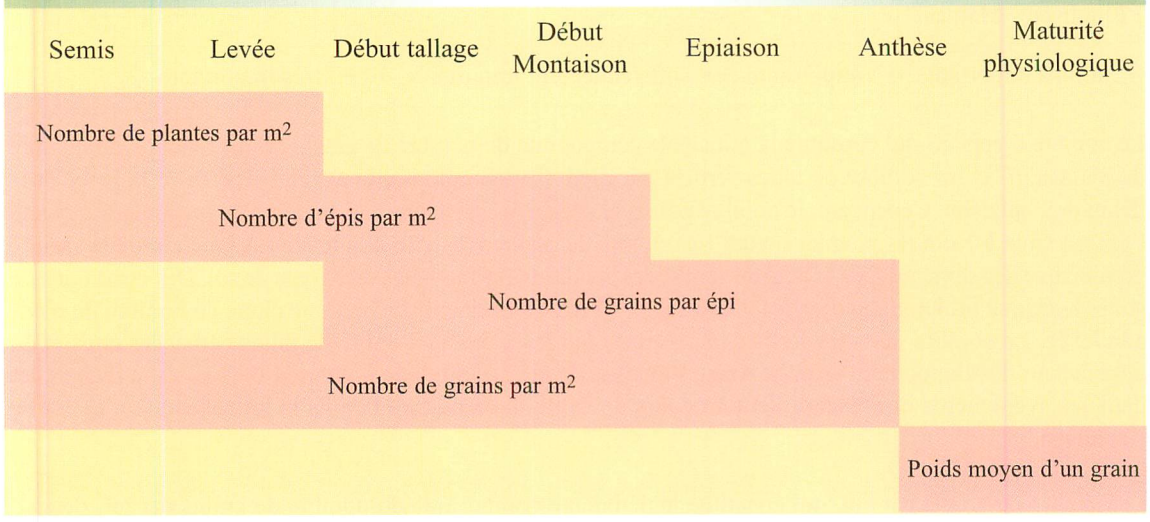
Le rendement et ses composantes

L'analyse des composantes de rendement des céréales est considérée comme un outil de diagnostic pour l'amélioration du système de culture (Meynard et Sebillotte, 1994). Pour une céréale, le rendement peut être décomposé comme suit :

Rendement grains/m² = Nombre de grains/m² (NGR/m²) x Poids moyen d'un grain

Ces deux composantes sont élaborées à des phases différentes du cycle de la culture. Le nombre de grains par m² est élaboré avant l'anthèse, alors que le poids du grain se détermine entre l'anthèse et la maturité. Les autres composantes du rendement qui déterminent le NGR/m² sont également élaborées avant l'anthèse. Ces différentes composantes du rendement s'élaborent à des périodes successives ou se chevauchent au cours du cycle de développement (Figure 1).

Figure 1 : Les phases de formation des composantes de rendement du blé et de l'orge.



Toutes les phases du cycle de développement des céréales d'automne ont leur part dans l'élaboration du rendement et de ses composantes (Tableau 2).

Le nombre de grains/m²

Le nombre de grains/m² : le nombre de grains/m² est déterminé par le nombre d'épis au mètre carré et la fertilité d'un épi, selon la formule suivante :

Nombre de grains/m² = Nombre d'épis/m² x Nombre de grains/épi

Le nombre de grains par m² est fonction des facteurs biotiques et abiotiques qui agissent avant l'anthèse. Ainsi, tout accident climatique ou attaque d'ennemis naturels de la culture pendant la période de formation des grains entraîne une chute de cette composante du rendement.

Tableau 2 : Importance des différentes phases de développement du blé sur le rendement et ses composantes (Sivertsen *et al.*, 1999).

Phases de développement	Plantes/m²	Epis/plante	Grains/épi	PMG	Rendement
Semis – Levée	+++	-	-	-	-
Levée – Début montaison	-	+++	-	-	-
Début montaison – Gonflement	-	++	+	-	+++
Gonflement – Epiaison	-	+	+++	-	+++
Epiaison – Floraison	-	-	++	+	+++
Floraison - Maturité	-	-	+	+++	++

- : moins importante, + : importante, ++ : moyennement importante, +++ : très importante.

Le nombre d'épis/m² qui constitue la principale composante du nombre de grains/m² est fonction du nombre de plantes/m² et du nombre de talles fertiles par pied. Cette composante est élaborée entre la levée et le début de l'épiaison. Cependant, le nombre potentiel d'épis/m² est déterminé au début de la montaison quand l'épi est situé à 1 cm du premier nœud. Le nombre de plantes/m² visé à la levée est fonction de la faculté germinative des semences, de la date de semis, des conditions climatiques et du type de sol. Des conditions de stress hydrique prolongé ou d'excès d'eau après le semis entraînent souvent une chute du nombre de pieds à la levée. Le nombre de talles fertiles par pied est la résultante du nombre de talles herbacées émis et du taux de leur développement en épis. Ainsi, l'analyse de la variabilité du nombre d'épis/m² est à rechercher dans les événements qui se déroulent au cours du cycle de la culture depuis la levée jusqu'au début de l'épiaison.

Le nombre de grains par épi, qui constitue la deuxième composante du nombre de grains par m², dépend du taux et de la période d'initiation des épillets et de la fertilité de ces derniers pour donner des grains (Garcia del Moral *et al.*, 1991).

Le poids de mille grains (PMG)

Le poids de mille grains (PMG) : est un caractère variétal. Ainsi, dans le cas des orges, les variétés a six rangs sont connues par un PMG inférieur à celui des variétés à deux rangs (Acevedo *et al.*, 1991). Le PMG dépend de tous les facteurs qui agissent après l'anthèse. La vitesse et la durée de remplissage des grains conditionnent en grande partie le poids des grains. Erchidi *et al.*, (2000) ont mentionné que ces deux variables expliquent 97% de la variabilité du poids des grains du blé dur. Comme, il a été démontré par Triboi (1990), que la durée est corrélée négativement à la vitesse de remplissage des grains.

L'accumulation de la biomasse dans les grains est le résultat de la confrontation entre la demande des grains qui représentent les puits et l'offre en assimilats assurée par la source au niveau de la culture. Ainsi, le remplissage des grains est assuré en grande partie par les assimilats transloqués en post-floraison. La dernière feuille ou feuille drapeau contribue en grande partie dans le remplissage des grains. Cependant,

chez certaines variétés d'orge, la dernière feuille est de petite taille et contribue peu au transfert des assimilats vers les grains. Le reste des assimilats qui assure le remplissage des grains provient de l'épi (glumes et barbes) et de la remobilisation à partir des tiges. Pour une variété donnée, à partir d'un certain nombre de grains seuil, le PMG est corrélé négativement au NGR/m² (Triboi, 1990 ; Auriau *et al.*, 1992). Ce dernier résultat est la conséquence d'une compétition qui s'établit entre les grains pour les assimilats, ce qui engendre souvent la chute du PMG. Dans les pays du Maghreb, la période de remplissage des grains est souvent confrontée à des contraintes environnementales en fin de cycle et plus précisément au déficit hydrique et aux hautes températures. Ceci a pour conséquence de provoquer des pertes de poids des grains et plus particulièrement chez les variétés à cycle long et dans le cas de semis tardifs.

La relation entre le rendement en grain et ses composantes

Les corrélations établies entre le rendement en grain et ses composantes dans différents environnements ont montré que l'importance de l'une ou l'autre des composantes pour l'élaboration du rendement demeure liée à l'espèce, à la variété et aux facteurs biotiques et abiotiques qui se manifestent pendant le cycle de la culture. L'idéal pour atteindre les rendements proches du potentiel est l'élaboration de chacune des composantes de rendement dans les meilleures conditions. Cependant, la grande variabilité édaphoclimatique de nos régions et celle du matériel génétique justifient la fluctuation des rendements et de leurs composantes.

Dans les zones semi-arides connues par une sécheresse de fin de cycle systémique, souvent le NGR/m² est corrélé positivement au rendement en grain des céréales d'automne (Ouhajou, 1991 ; Hamadi, 1992 ; Bouzerzour et Monneveux, 1993). Cette relation compense en effet les effets dépressifs du poids des grains suite aux sécheresses de fin de cycle. Dans certains cas, l'occurrence de stress hydriques à différents stades de développement et la présence de hautes températures de fin de cycle nécessitent la participation de toutes les composantes pour l'élaboration du rendement car dans ces conditions, la compensation entre les composantes devient faible (El Mourid, 1988). En général, dans ces conditions, la phase de pré-anthèse est moins sujette aux effets des aléas climatiques par rapport à la phase de post-anthèse. Ainsi, l'objectif serait d'assurer des conditions idéales en terme de choix de techniques culturales et de variétés pour que les composantes élaborées avant l'anthèse soit maximisées. En effet, dans la plus part des travaux réalisés en zones semi-arides, le nombre d'épis/m² constitue une composante importante du rendement grain (Boulal, 1988 ; El Mourid, 1988 ; Ben Abdellah et Ben Salem, 1993 ; El Hafid *et al.*, 1996 ; Ouabbou et Paulsen, 2000 ; Erchidi *et al.*, 2000). D'autant plus qu'il ne faut pas négliger le nombre de grains par épi qui constitue avec le nombre d'épis par m², les composantes du nombre de grains/m². En effet, certaines variétés maintiennent un nombre de grains par épi plus élevé pour compenser une réduction du nombre d'épis par m² à la suite d'une sécheresse de début de cycle (Ouhajou, 1991).

Dans les régions connues par le gel printanier, le tallage ainsi que le nombre de talles fertiles et le nombre de grains par épi sont pénalisés (Mouret *et al.*, 1991 ; Meziani *et al.*, 1993), et la contribution de ces composantes au rendement devient négligeable. Dans ces conditions, en l'absence de sécheresse de fin de cycle, le PMG constitue la principale composante du rendement.

Dans les zones favorables et irriguées, la recherche du rendement potentiel nécessite que toutes les composantes y contribuent positivement. Ainsi, dans ces zones, plusieurs travaux de recherche ont mentionné une corrélation significative entre le rendement en grain et ses composantes (Meziani *et al.*, 1993 ; Badraoui *et al.*, 2001) que ce soit, le nombre de grains par m² ou ses deux composantes : le nombre d'épis/m² et le nombre de grains/épi, ou bien le PMG (Figures 2, 3 et 4).



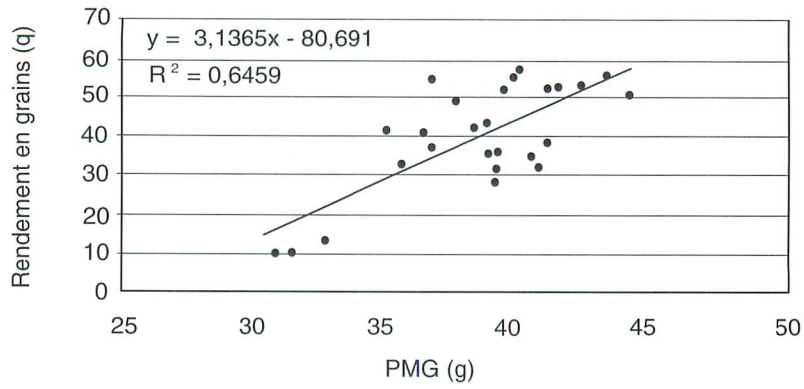


Figure 2 : Relation entre le rendement en grain et le PMG du blé tendre en zone irriguée. Badraoui *et al.*, (2001) modifié.

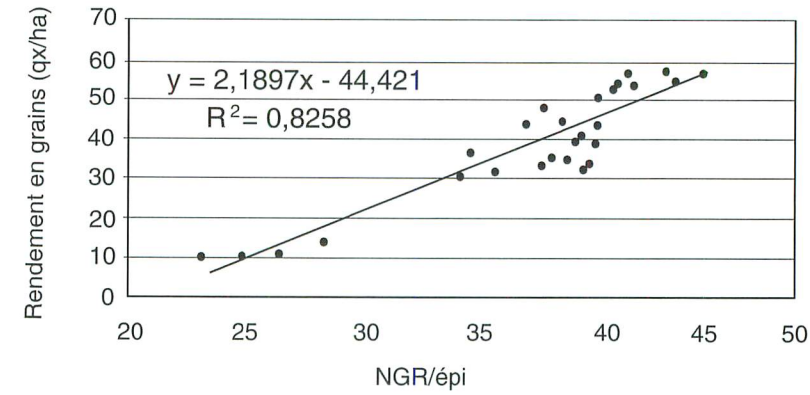


Figure 3 : Relation entre le rendement en grain et le nombre de grains/épi chez le blé tendre en zone irriguée. Badraoui *et al.*, (2001) modifié.

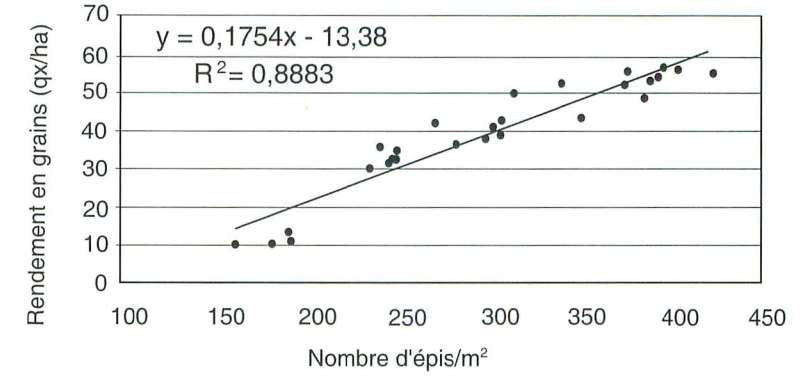


Figure 4 : Relation entre le rendement en grain et le nombre d'épis/m² chez le blé tendre en zone irriguée. Badraoui *et al.*, (2001) modifié.

Tableau 3 : Les stades de développement du blé et de l'orge selon les échelles de ZADOKS, FEEKES et JONARD.

Echelle ZADOKS	Echelle FEEKES	Echelle JONARD
0 germination		
00 semences sèches		
01 début imbibition	apex	nœuds – feuilles
03 imbibition complète		
05 apparition de la radicule		
07 apparition du coléoptile		
09 feuille au sommet du coléoptile		
(1) croissance de la plantule		
10 première feuille pointant	1 levée	Seconde feuille visible < 1 cm
11 au moins 50% de la 1ère feuille a émergé		
12 au moins 50% de la 2e feuille a émergé		
.		
.		
.		
18 Au moins 50% de la 8e feuille a émergé		
19 Au moins 50% de la 9e feuille a émergé		
(2) Tallage		
20 tige principale seulement	2 début tallage	Stade A " double ride "
21 tige principale + 1 talle		
22 tige principale + 2 talles		
23 tige principale + 3 talles		
24 tige principale + 4 talles		
25 tige principale + 5 talles	3	
26 tige principale + 6 talles		
27 tige principale + 7 talles		
28 tige principale + 8 talles		
29 tige principale + 9 talles ou plus		
(3) Montaison	4-5	Stade B : Epi à 1 cm du plateau de tallage
30 pseudo élongation	6	
31 premier nœud détectable	7	
32 deuxième nœud détectable		
33 troisième nœud détectable		
34 quatrième nœud détectable		
35 cinquième nœud détectable		
36 sixième nœud détectable		
37 dernière feuille à peine visible	8	Stade C
38 ligule et oreillettes à peine visible	9	
(4) Gonflement		
41 gaine de la feuille s'élargit		
43 gonflement à peine visible	10	
45 gonflement bien visible		Stade D
(5) Epiaison		
51 premiers épillets visibles	10-1	
52-53 1/4 des inflorescences dégagées	10-2	
54-55 1/4 des inflorescences dégagées	10-3	Stade E : Epiaison
56-57 1/4 des inflorescences dégagées	10-4	
58-59 inflorescence complète dégagée	10-5	
(6) Anthèse		
60-61 début de l'anthèse	10-51	
64-65 anthèse à 1/2	10-52	Stade F : Floraison
68-69 anthèse complète	10-53	
(7) Grain laiteux		
71 contenu du grain est totalement liquide	10-54	
73 début laiteux		
75 laiteux	11-1	
(8) Grain pâteux		
83 début pâteux	11-2	
85 pâteux		
(9) Remplissage	11.3	
91 grain jaune	11.4	Stade M : Maturité
92 grain mûr		



Références

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

Auriau P., Doussinault G., Jahier J., Lecomte C., Pierre J., Pluchard P., Rousset M., Saur L., Trottet M., 1992. Le blé tendre. In : A. Gallais et H. Bannerot Eds ; Amélioration des espèces végétales cultivées, INRA ed., pp : 22-38.

Badraoui M., Agbani M., Bouabid R., Zerouali M., 2001. Nouvelles normes pour mieux fertiliser le blé en irrigué dans le Gharb. Bulletin Transfert de Technologie en Agriculture, MADRPM/DERD, n°84 : 1-4.

Barbotin A., 2004. Utilisation d'un modèle de culture pour évaluer le comportement des génotypes : Pertinence de l'utilisation d'azodyn pour analyser la variabilité du rendement et de la teneur en protéines du blé tendre. Thèse de Doctorat INA Paris Grignon, 237 p.

Ben Abdallah N., Ben Salem M., 1993. Paramètres morphophysiologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales. In : P. Monneveux et M. Ben Salem eds, Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier 15-17 décembre 1992, INRA ed., pp : 173-190.

Boulal H., 1988. Effets des paramètres de la surface foliaire sur le rendement chez le blé, l'orge et le triticale. Mémoire de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknes. 63p.

Bouzerzour H., Monneveux P., 1993. Analyse des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts -plateaux de l'Est algérien. In : P. Monneveux et M. Ben Salem eds, Tolérance a la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier 15-17 décembre 1992, INRA ed., pp : 139-158.

El Hafid R., El Mourid M., Samir K., Bakoulou B., 1996. Caractérisation de certaines variétés de blé, d'orge et du triticale sous différentes situations hydriques en conditions de champs et simulées. Al Awamia, 92: 7-25

El Mourid M., 1988. Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in a semi-arid region. PhD Thesis, Iowa State University, USA.

Erchidi A.E., Benbella M., Talouizte A., 2000. Croissance du grain chez neuf cultivars de blé dur. In : Royo C. (ed.), Nachit M.M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges = L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne : Nouveaux défis (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n° 40). Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, 2000/04/12-14, Zaragoza (Spain), pp: 137-140.

Garcia del Moral M.B., Jimenez Tejada M.P., Garcia del Moral L.F., Ramos J.M., Roca de Togores F., Molina-Cano J.L., 1991. Apex and ear development in relation to the number of grains on the main stem ears in spring barley (*Hordeum distichon* L.). J.Agric.Sci.Camb., 117 : 39-45.

Hamadi I., 1992. Effet du régime hydrique et de la variété sur la production du blé tendre en zones semi-arides. Mémoire de 3ème cycle, ENA Meknes. 136p

Meynard J.M., Sebillotte M., 1994. L'élaboration du rendement du blé, base pour l'étude des autres céréales à talles. In : Un point sur....élaboration du rendement des principales cultures annuelles. L. Combes, D. Picard eds. INRA ed., Paris. pp : 31-51.

Meziani L., Bamoun A., Hamou M., Brinis L., Monneveux P., 1993. Essai de définition des caractères d'adaptation du blé dur dans différentes zones agroclimatiques de l'Algérie. In : P. Monneveux et M. Ben Salem eds, Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier 15-17 décembre 1992, INRA ed., pp : 191-203.

Mouret J.C., Conesa A.P., Bouchier A., Gaid M., Ould Said O., 1991. Identification des facteurs de variabilité du rendement du blé dur en conditions hydriques limitantes dans la région de Sidi Bel Abbès (Algérie). In : E. Acevedo, A.P. Conesa, P. Monneveux et J.P. Srivastava Edts. Physiology-Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments (Montpellier, France, 3-6 July 1989) INRA ed., pp: 35-47.

Ouabbou H., Paulsen G.M., 2000. Evaluation of selection criteria for performance of wheat cultivars during high temperature stress in the field. . In : Royo C. (ed.), Nachit M.M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges = L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne : Nouveaux défis (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n° 40). Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, 2000/04/12-14, Zaragoza (Spain), pp : 303-307.

Ouhajou L., 1991. Efficience d'utilisation de l'eau et stabilité des rendements des céréales. Mémoire de 3ème cycle IAV, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département Production Végétale, Rabat (Ma).

Sivertsen T.H., Nejedlik P., Oger R., Sigvald R., 1999. The phenology of crops and the development of pests and diseases. Rapport 1/99, EC – Foundation COST 711. 92p.

Triboi E., 1990. Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* en thell). Agronomie 10 :191-200.





CHAPITRE V Réussir l'installation des cultures

La réussite de l'installation de la culture nécessite la maîtrise du travail du sol et du semis.

La place des céréales dans la rotation

Une rotation est une succession de culture sur une même parcelle pendant une période de temps donnée. Les rotations des cultures permettent l'amélioration de la fertilité, et la structure du sol, le contrôle des maladies, des insectes et des adventices. Pour les céréales, le choix d'un précédent cultural est très important car il permet à la culture de bénéficier des avantages apportés par son précédent. En effet, la culture d'un blé après un blé ou une orge est pénalisante pour les rendements réalisés (Figure 1).

Sachant que le choix des rotations dépend plus particulièrement de considérations socio-économiques, on citera dans ce document les rotations les plus pratiquées dans le Maghreb.

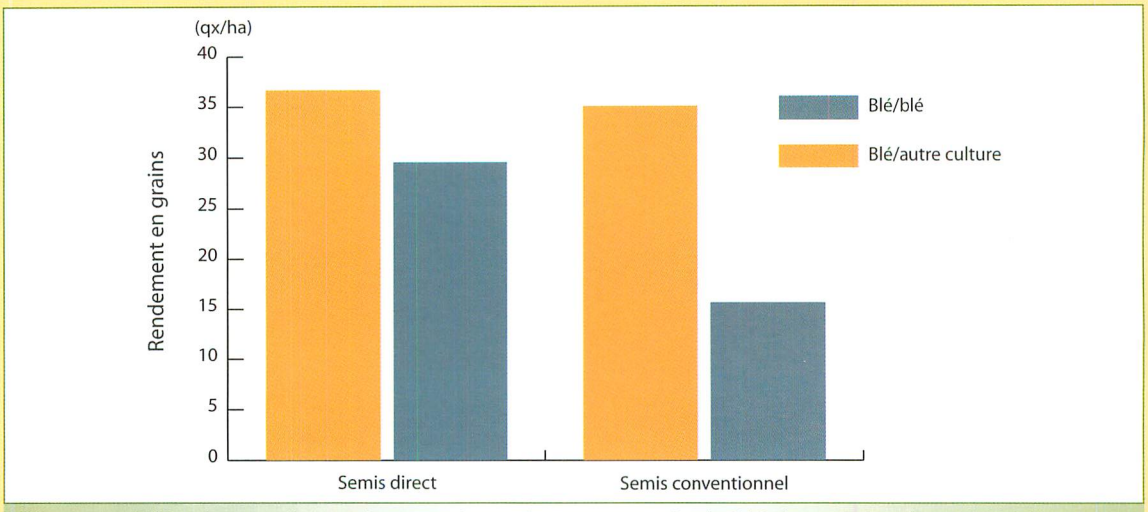


Figure 1 : Effet du type de rotations sur le rendement en grain du blé dans un essai conduit à la station INRA de Sidi El Aïdi (El Brahli et Bouzza, 1996).



La rotation céréale/jachère

Ce type de rotation est le plus recommandé dans les zones semi-arides. On distingue deux types de jachère, la jachère travaillée (mécaniquement ou chimiquement) et la jachère enherbée (les mauvaises herbes sont gardées sur la parcelle). Dans le cadre de plusieurs travaux de recherche, la comparaison de deux types de jachère et de leurs effets sur la culture suivante, a montré que la jachère "chimique" où les mauvaises herbes sont contrôlées entièrement et uniquement par les herbicides permet une meilleure conservation de l'eau et une amélioration des rendements du blé par rapport au blé continu et à la jachère conventionnelle (travaillée ou non travaillée) (El Mourid *et al.*, 1993 ; Mrabet et El Brahli, 2001). Parmi les autres avantages cités de la jachère travaillée, il y a aussi son pouvoir de conserver plus d'azote au niveau du sol par rapport à d'autres rotations (Figure 2).

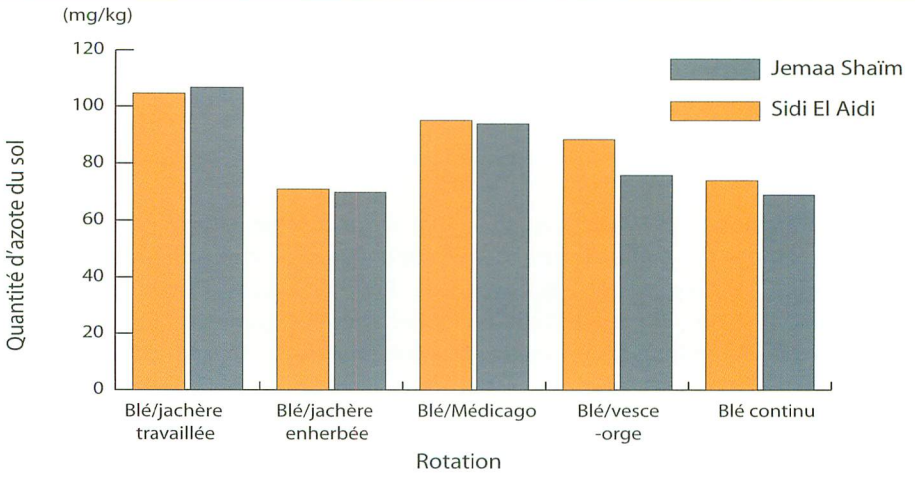


Figure 2 : Effet de la rotation sur le niveau d'azote dans le sol au moment du semis (mois de novembre) dans deux sites : Sidi El Aïdi et Jemâa Shaim. Mazhar (1986) modifié.



Pâturage sur jachère travaillée de printemps.

Photo : ITGC, Sétif

La rotation céréale/légumineuse

Le choix d'une légumineuse comme précédent à une céréale, joue un rôle positif sur la fertilité du sol, que ce soit par l'enrichissement du sol en azote, ou par le travail en profondeur des systèmes radiculaires.

- *La rotation céréale/légumineuse alimentaire*

Dans ce type de rotations, les légumineuses ont un double rôle :

- la fixation symbiotique de l'azote de l'air par les légumineuses, ce qui laisse un sol bien pourvu en azote ;
- l'amélioration de la structure du sol par leurs racines profondes.

- *La rotation céréale/légumineuse fourragère : ley farming*

L'introduction du système ley farming s'inscrit dans le cadre de l'intensification de l'agriculture en zone pluviale et, plus particulièrement, de l'amélioration de l'intégration céréaliculture - élevage en zone semi-aride (Benyassine, 1991).

Cette rotation correspond à une alternance entre une céréale et une prairie à base de légumineuses annuelles autorégénatrices. Ces espèces sont les médicagos annuelles et le trèfle souterrain.

En général les rotations les plus adaptées à ce système sont (Mazhar, 1986) :

- Blé - medicago - blé (la plus courante) dans les régions ayant de bons sols et recevant 350- 475 mm ;
- Orge - medicago - orge ; dans les régions à orge ;
- Jachère - blé - medicago - orge - medicago ou jachère-blé-medicago dans les régions à sols lourds et climat favorable ;
- Orge - deux à trois années de medicago; dans les sols légers et climat très aléatoire. Cette rotation est très utile pour reconstituer la fertilité du sol.

La rotation céréale/maïs

Dans ce système de rotation, le maïs est considéré comme une culture nettoyante pour les céréales car pendant sa culture, il subit le désherbage manuel et mécanique en plus des labours pratiqués avant son installation. Ceci, permet au blé ou bien à l'orge d'être installés sur un bon lit de semis.

La rotation oléagineuse/blé

Ce type de rotation est pratiqué en zone favorable.

La rotation betterave/blé

Cette rotation est pratiquée principalement en zone irriguée. La betterave est considérée comme une plante nettoyante car elle exige de nombreuses façons culturales, binages et sarclages.

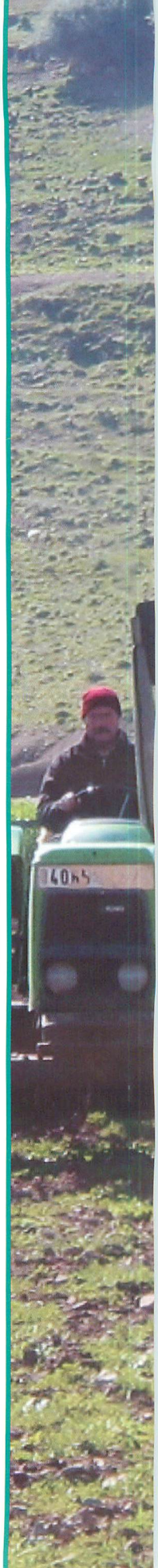




Tableau 1 : Rappel des principaux précédents culturaux du blé par zone climatique.

Les principaux précédents culturaux recommandés pour les blés en fonction des zones		
Zone semi-aride	Zone favorable - potentielle	Irrigué
- Jachère travaillée - Légumineuse - Maïs	- Légumineuses alimentaires - Oléagineux - Les cultures fourragères (vesce/avoine ; Bersim) - Maïs	- Betterave - Légumineuse alimentaire - Maïs grain ou fourrager - Bersim

Le travail du sol

Le travail du sol est une étape importante pour la réussite de la culture. C'est l'opération la plus mécanisée et elle est basée sur l'utilisation d'outils (charrues, cover crop, chisel, etc…) en traction mécanique principalement et traction animale pour l'araire dans certaines conditions. Il comprend à la fois le labour et les travaux superficiels de préparation du lit de semences. La qualité du travail du sol dépend de la nature des outils utilisés et de la période d'intervention de chaque outil.

Une bonne préparation du lit de semence est donc nécessaire pour assurer une bonne germination des graines et un meilleur contact entre le sol et la graine. Parmi les avantages du travail du sol, il faut souligner son rôle à diminuer la résistance du sol à la pénétration des racines par une amélioration de sa structure et parfois de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilite les échanges gazeux au niveau de la racine, et contribue à l'enfouissement des semences produites par les adventices de la campagne précédente.

Le labour

Le labour constitue la principale étape du travail du sol pour l'installation de la culture. Il s'effectue entre 12 et 25 cm, il est recommandé d'éviter les labours trop profonds qui demandent beaucoup de puissance et qui ont pour effet de diluer la matière organique et les éléments minéraux (Simon *et al.*, 1989).



Labour.



Labour de la jachère.



Araire, labour traditionnel

Photos : ITGC, Sétif.

Photo : Laurens G.

Les outils de travail du sol et leur aire d'utilisation

Trois types d'outils sont souvent utilisés pour le labour : le chisel, la charrue à socs et la charrue à disques. Dans certaines zones accidentées, le recours à l'araire reste une alternative pour le travail du sol bien que la profondeur réalisée par cet outil soit faible.



Chisel.



Charrue à socs réversibles.



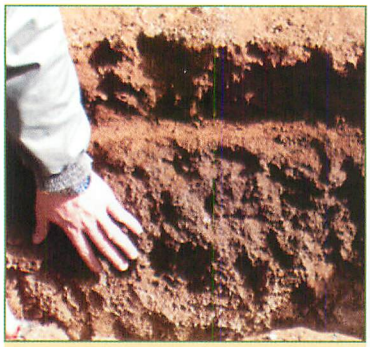
Charrue à disques.

Photo : ITGC, Oued Smar.

En zones arides et semi-arides, le labour avec retournement du sol est à éviter (Anonyme, 1995). En effet, dans ces zones où le souci majeur est la conservation de l'eau, les outils à dents tel que le chisel sont les mieux conseillés. Le passage des dents du chisel entraîne le fendillement du sol et son éclatement. L'avantage essentiel du chisel par rapport aux charrues à disques ou à socs est de permettre de travailler les sols à l'état sec même s'ils sont caillouteux (Jouve et Berrada, 1993). Les chisels sont aussi mieux adaptés que les charrues au travail du sol en terres caillouteuses, sur les pentes et dans les parcelles de formes irrégulières (Berrada et Gandah, 1994). Cependant, si le sol est humide, le chisel peut créer de grosses mottes qui peuvent être remontées en surface et devenir très dures à l'état sec (Berrada et Gandah, 1994). Des essais réalisés sur sols caillouteux ont montré que les outils à dents ont de meilleures performances en comparaison à la charrue à disques car ils laissent en profondeur des sols meubles et ne remontent pas les pierres en surface. En cas d'utilisation d'outils à disques ou à lames en zones arides et semi-arides, il est conseillé de travailler le sol en réduisant au maximum le nombre de passages pour éviter les pertes d'eau.

En zones favorables avec des sols profonds, la charrue à socs est l'outil le plus conseillé. Elle est utilisée dans les zones Nord-Ouest du Maroc (Ouattar et Ameziane, 1989). C'est un outil qui retourne bien le sol, cependant il exige une puissance de traction importante.

La charrue à disques est un outil conçu pour les sols profonds, cependant le retournement du sol est moins complet par rapport à la charrue à socs. Elle est surtout conçue pour les terrains caillouteux où les disques roulent sur les obstacles. En terre humide, le labour avec la charrue à disques crée une semelle de labour dont l'importance est fonction de l'humidité du sol et du poids du disque.



Semelle de labour de cover-crop.



Parcelle labourée avec une charrue à socs.



Parcelle labourée avec une charrue à disques.

Photo : ITGC, Sétif.

Le choix des périodes de labour

La période de labour dépend du type de précédent cultural. Ainsi, cette période diffère en fonction de plusieurs facteurs et caractéristiques des systèmes de cultures pratiqués au niveau de chaque région.

Dans les zones où la jachère se pratique en rotation avec les céréales, les premiers travaux du sol peuvent être pratiqués dès l'hiver. Des travaux de recherche réalisés sur la période de travail de la jachère précédant la culture de blé dur, ont montré que quelque soit l'outil utilisé, les travaux d'hiver permettent d'atteindre les meilleurs rendements en grain (Figure 3). Dans ce cas, seules des façons superficielles en automne sont recommandées avant le semis (Ould Said, 2004).

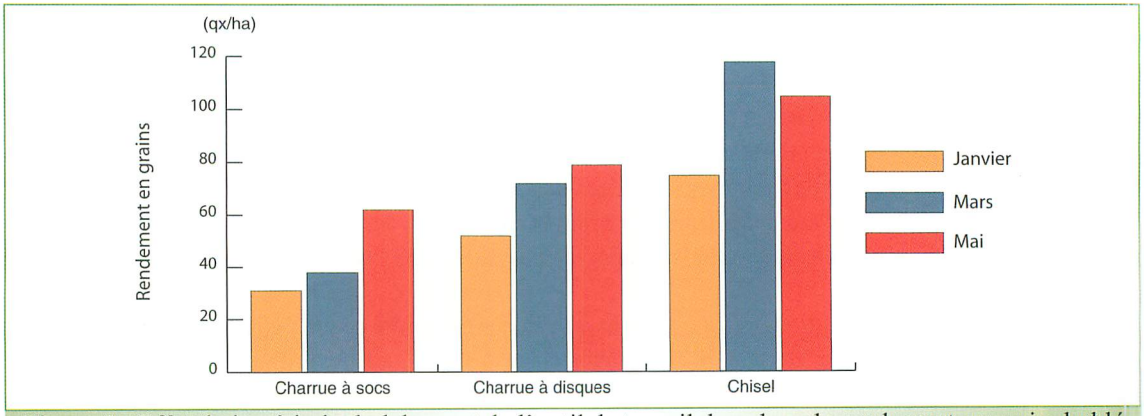


Figure 3 : Effet de la période du labour et de l'outil de travail du sol sur le rendement en grain du blé dur (Ould Said, 2004).

Apres une céréale fourragère (avoine par exemple), les travaux du sol sont à réaliser juste après la récolte avec des outils à dents (Chisel). Ils fendent le sol, améliorent l'aération et détruisent une partie des mauvaises herbes et des parasites. De plus, ils facilitent la préparation du lit de semence après les premières pluies d'automne. Dans ces conditions, il est déconseillé d'utiliser les charrues à socs ou à disques.

Après une légumineuse, le passage d'un outil à dents en automne pour le labour est suffisant avant la préparation du lit de semences.

L'orientation des labours

Sur les terrains plats, l'orientation du labour peut être réalisée dans n'importe quelle direction. Sur les terrains en pente, il est recommandé de travailler le sol perpendiculairement au sens de la pente, ceci afin d'éviter les problèmes d'érosion.

La préparation du lit de semis

La bonne préparation du lit de semences s'avère fondamentale pour assurer les meilleures conditions de température, d'humidité et d'aération aux semences en germination.

Pour la préparation du lit de semences, on distingue trois types d'outils : les cultivateurs, les cover-crop et les herses. Ces outils permettent un bon émiettement des mottes. Le travail superficiel réalisé par ces outils en affinant le sol, en répartissant et en enfouissant partiellement les résidus, facilite le travail du semoir et améliore la qualité du lit de semences. Cependant, il faut souligner que leur utilisation dans un sol trop humide entraîne la formation de semelles superficielles, limitant la propagation des racines (Simon *et al.*, 1989). Cette opération doit être réalisée le jour même ou la veille du semis.



Passage du cultivateur.



Passage du cover-crop.



Passage de la herse.

Photos : ITGC, Beni Slimane.

Le semis

Le semis consiste à placer les graines à une certaine profondeur dans le lit de semences. Il faut placer les graines à une profondeur régulière de 4 à 6 cm pour faciliter la levée des plantules (Jouve et Berrada, 1993; Benaouda, 1994). Au moment de semer, il faut intégrer plusieurs facteurs, tel que la date, le mode et la dose de semis afin de réussir cette opération.



La date de semis

La date de semis est déterminante pour la réussite de la levée de la plante et aussi pour l'évolution de la culture pendant tout son cycle. Aussi, le choix de la date de semis des céréales d'automne est raisonné en fonction des régions climatiques. Ainsi, en fonction de chaque zone agro écologique, les céréales risquent de rencontrer des aléas climatiques qui peuvent engendrer des pertes de rendement. Dans les zones où la fréquence des sécheresses de fin de cycle est élevée, les dates de semis doivent être choisies de telle sorte que la variété atteint le stade épiaison avant le début de la période sèche. C'est pour cette raison que les études fréquentielles du climat sont importantes pour l'estimation des dates optimales de semis. Les études réalisées dans ce cadre ont permis d'orienter les dates de semis à recommander pour chaque zone agro-écologique.

Dans les zones semi-arides, il est recommandé de semer entre le 10 et 15 novembre. En effet au-delà de ces dates, les cultures risquent les effets de sécheresse de fin de cycle et également les attaques de cécidomyie dès le stade tallage. De plus, dans ces zones, selon Jouve et Daoudi (1984), les semis très précoces sont plus favorables aux orges par rapport blés en raison de leurs aptitudes à une couverture du sol plus rapide qui leur permet de supporter la concurrence des adventices et une sensibilité moindre vis à vis des prédateurs.

En zone humide, il est impératif de semer précocement. Des semis étalés entre le 15 et le 30 novembre sont les mieux conseillés. Au delà de ces dates, on risque de pénaliser la production. Des études réalisées dans la région de Chaouia ont montré que les pertes de rendement peuvent atteindre jusqu'à 50% entre les semis de début novembre et ceux de début janvier (Bouchoutrouch, 1996).

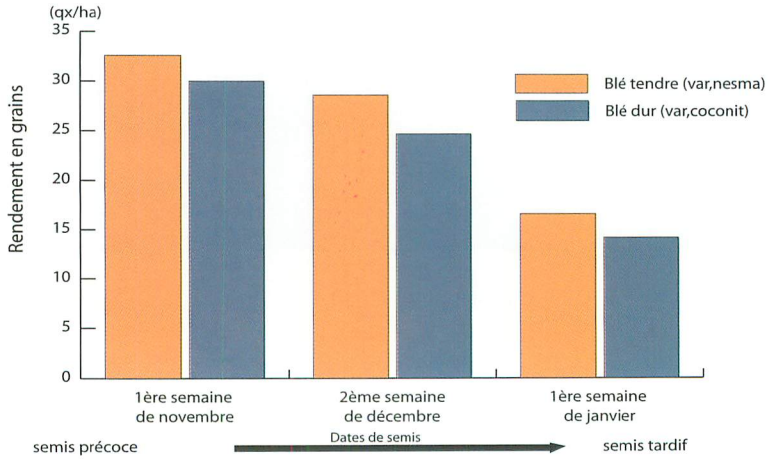


Figure 4 : Effet de la date de semis sur le rendement en grain du blé tendre et du blé dur (moyenne de trois campagnes agricoles) (Bouchoutrouch, 1996).

Dans les périmètres irrigués, une étude réalisée par Bouaziz (1999) a permis de recommander une date de semis située entre le 15-20 novembre.

Le mode de semis

Deux modes de semis sont pratiqués dans la culture des céréales, le semis manuel à la volée et le semis mécanique en ligne ou à la volée.



Semis mécanique en lignes.



Semis à la volée manuel.



Passage du rouleau lisse après semis.

Photo : ITGC.

Dans les zones accessibles à la mécanisation, il est recommandé d'utiliser le semoir pour assurer une distribution et un emplacement homogènes des graines. En effet, les semis en ligne favorisent une bonne germination et une levée homogène des plantes, ce qui justifie les meilleurs rendements atteints avec un semis au semoir par rapport au semis à la volée (Tableau 2).

Tableau 2 : Effet du mode de semis sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (Hamadache *et al.*, 2002).

Mode de semis	Peuplement à la levée (pltes/m^2)	Hauteur à l'épiaison (cm)	Nombre d'épis/m^2	Nombre de grains/épi	PMG (g)	Rendement (qx/ha)
A la volée	**179**	**74**	**152**	**64**	**33**	**11**
Au semoir	**193**	**82**	**280**	**62**	**37**	**25**
PPDS	NS	3.4	58.2	NS	NS	11.6

Dans les zones où l'utilisation du semoir ne serait pas possible, le semis à la volée demeure l'unique alternative malgré les nombreux inconvénients qu'il présente. Avec ce mode de semis, l'emplacement des graines au niveau de la parcelle est hétérogène et dépend des types d'outils utilisés pour le recouvrement de la semence.

En cas de retard des pluies, il est impératif de procéder à des semis en sec en respectant une profondeur de semis suffisante (environ 5 cm) et le passage de rouleau pour permettre un bon contact sol - graine (MADPRM, 1999). En cas de semis profond, la levée est retardée et les plantes qui atteignent la surface



sont chétives, les réserves sont parfois épuisées avant la sortie du sol de la première feuille et la plante meurt, ce qui entraîne le plus souvent des rendements faibles (Figure 5).

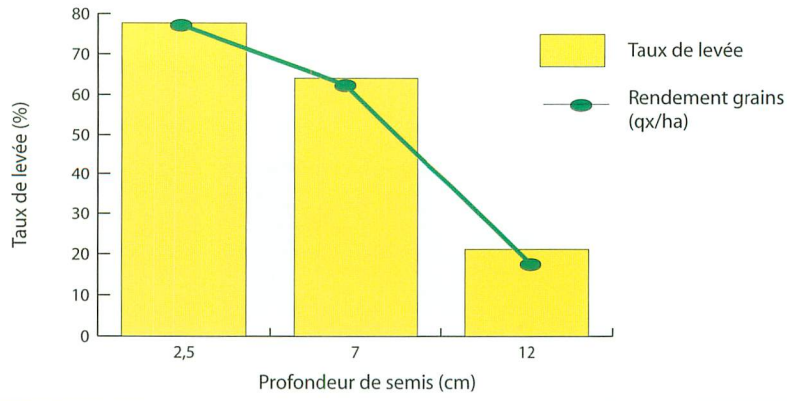


Figure 5 : Effet de la profondeur de semis sur le taux de levée et le rendement en grain du blé dur en zone semi-aride (Hazmoune et Ben Larbi, 2001)

En fonction des objectifs tracés pour la réussite du semis, le réglage du semoir reste l'un des facteurs essentiels pour la réussite du semis. Aussi, pour le semis à la volée, qu'il soit manuel ou mécanique (semoir sans tubes de descente ou épandeur d'engrais), il est très important de bien choisir l'outil de recouvrement de la semence afin de limiter les pertes en enfouissant les graines trop profondément ou en les laissant en surface. Les essais conduits ont montré que le cultivateur a permis d'obtenir les meilleurs résultats tant au niveau du peuplement à la levée (plantes/m^2), que pour le peuplement épis/m^2 et le rendement en grain de la culture (Hamadache et Abdellaoui, 2003).

Tableau 3 : Effet des outils de recouvrement de la semence dans un semis à la volée (Hamadache et Abdellaoui, 2003).

Outils	Peuplement à la levée (plantes/m^2)	Peuplement épis/m^2	Rendement en grain (qx/ha)
Cover crop	17.00a	66.38a	19.33a
Herse	31.25b	102.00b	27.77b
Cultivateur	35.00b	138.63c	37.52c
Herse + cultivateur	38.75b	121.00c	30.14bc
Moyenne	30.50	107.00	28.69
PPDS 0.05	15.62	36.86	10.64

La dose de semis

Le raisonnement de la dose de semis doit viser l'obtention d'un peuplement optimal. La détermination de la dose de semis à l'hectare dépend du nombre de pieds souhaités au m^2, du poids de mille grains et de la faculté germinative des semences. Ainsi, en tenant compte de ces derniers paramètres, la dose de semis Q est calculée selon la formule suivante :

$$\text{La dose de semis Q (Kg/Qha)} = \frac{\text{Nombre de pieds souhaités/m}^2 \text{ x Poids de mille grains (g)}}{\text{Faculté germinative de la semence (\%)}}$$

Exemple : Nombre de pieds souhaités : 300 pieds/m²
PMG = 38 g
Faculté germinative de la semence = 95%

$$\text{La dose de semis Q} = \frac{300 \times 38}{95} = 120 \text{ Kg/ha}$$

De par sa faculté de tallage importante, il est préconisé pour l'espèce orge des semis à des doses inférieures à celles du blé. En fonction des régions climatiques, le nombre de pieds/m² à recommander est plus élevé dans les zones favorables et irriguées par rapport aux zones arides et semi-arides.

Tableau 4 : Dose de semis en kg/ha de céréales en fonction du nombre de pieds/m² et du PMG pour une faculté germinative de la semence de 95%.

Nombre de pieds/m²	PMG (g)												
	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
250	74	79	84	89	95	100	105	110	116	121	126	132	137
300	88	95	101	107	114	120	126	133	139	145	156	156	164
350	103	110	118	125	133	140	147	155	162	169	177	184	192
400	118	126	135	143	151	160	168	177	185	194	202	210	219
450	133	142	152	161	170	180	189	199	208	218	227	236	246

En fonction des espèces, la densité de peuplement souhaitée/m² doit tenir compte des conditions initiales du sol au semis, de la date de semis et des conditions climatiques de la région. Le tableau 5, résume les densités de semis recommandées en fonction de chaque zone agro écologique. D'une manière générale, si les sols présentent des obstacles ou bien si les dates de semis sont tardives, il est vivement recommandé de majorer la densité de semis de 20 à 25% par rapport aux doses préconisées en conditions optimales pour la même région.

Le nombre de pieds/m² recommandé varie en fonction des conditions du milieu. Ainsi, il varie de 200 pieds/m² en zone aride pour le cas de l'orge à 450 pieds/m² pour le cas du blé en irrigué (Tableau 5). Dans certaines zones irriguées, comme c'est le cas du périmètre irrigué des Doukkala (Maroc), Bouaziz (1999), a conclu que les meilleurs rendements du blé peuvent être atteints avec un peuplement de l'ordre de 350 pieds/m².

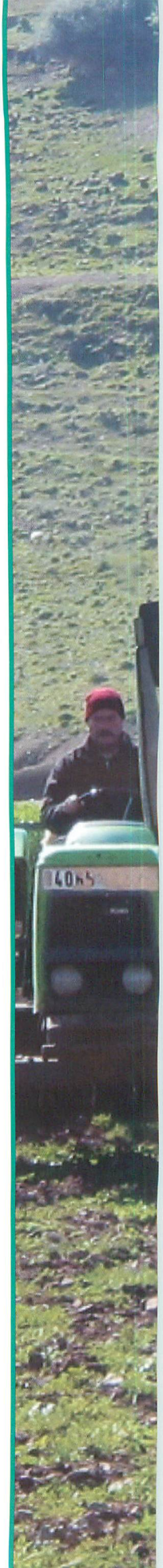




Tableau 5 : Périodes de semis et densités de semis recommandées par zone agro écologique.

Zone agro écologique	Période de semis recommandées		Densités de peuplement recommandées (pieds/m²)	
	Orge	Blé	Orge	Blé
Aride	20 oct. – 10 nov.	1 nov. – 15 nov.	200 - 250	250 - 300
Semi-aride	1er nov. – 15 nov.	10 nov. – 20 nov.	200 - 250	250 - 350
Subhumide	1er nov. – 15 nov.	10 nov. – 30 nov.	250 - 300	300 - 350
Humide	1er nov. – 15 nov.	1 nov. – 30 nov.	250 - 300	300 - 400
Irrigué	1er nov. – 30 nov.	10 nov. – 10 déc.	300 - 350	350 - 450

En terme de quantité, il est préconisé de semer à une dose de 180 kg/ha en zone irrigué et de 150 kg/ha en bour favorable (MADRPM/DERD, 1999). En zone semi-aride, la dose de semis recommandée est de l'ordre de 120 Kg/ha.

Par ailleurs, Karrou (1996), a montré que l'espacement entre les lignes combiné à la densité de semis peut améliorer le rendement de la culture du blé dur. En effet, les résultats indiquent que l'utilisation d'une faible densité (200 grains/m²) avec un espacement de 12 cm entre les lignes de semis, a permis d'améliorer le rendement en grain (Tableau 6).

Tableau 6 : Effet de la variation de l'espacement entre les lignes et de la densité de semis sur le rendement en grain (q/ha) du blé dur (Karrou, 1996).

Paramètres	Espacement 12 cm	Espacement de 24 cm	Moyenne
Densité (200 graines/m²)	43.84	36.37	40.11
Densité (300 graines/m²)	39.15	37.32	38.24
Densité (400 graines/m²)	37.22	27.70	32.46
Moyenne	40.15	33.78	

Références

Anonyme, 1995. La production agricole en climat aléatoire : acquis et possibilités de régulation. Commission de Réflexion sur La Sécheresse. Ministère de L'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. Mai 1995. 19p.

Benaouda H., 1994. Installer les céréales d'automne. Guide du développeur en Aridoculture n°10. Service Recherche et Développement, INRA Settat. Dounia eds., Maroc. 2p.

Benyassine A., 1991. Caractéristiques des exploitations agricoles et adaptation du système Ley-farming. In: Ley Farming, M.Amine ed., ACTES ed. pp: 9-28.

Berrada A., Gandah M., 1994. Le Travail du sol. In : AGRONOMIE MODERNE, Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. T.E. Ameziane and E. Persoons (Eds). HATIER-AUPELF.UREF ed. pp: 339-360.

Bouaziz A., 1999. Intensification de la céréaliculture en irrigué, Cas des Doukkala. Bulletin Transfert de Technologie en Agriculture, MADRPM/DERD, n°59: 1-4.

Bouchoutrouch M., 1996. Effect of date of seeding on wheat water use and weed infestation in the Chaouia Region. In : Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semis arides du Maroc. MIAC - CRRA Settat ed. , MARA-INRA. Rabat, 24-27 Mai 1994. pp164-169.

El Brahli A., Bouzza A., 1996. Lutte contre les mauvaises herbes dans les systèmes de rotation. Rapport d'activité annuel 1995/96. INRA -CRRA Settat ed. pp:156-160.

El Mourid M., Karrou M., Aït Kadi; 1993. Maîtrise de l'eau. II. Gestion de la contrainte hydrique en agriculture pluviale au Maroc. In : Journées sur la recherche dans le développement agricole et rural. MARA, Royaume du Maroc. Rabat, 8 - 9 juin 1993, pp : 1-15.

Hamadache A.; Abdellaoui Z.; 2003. Effet du passage des outils à dents sur l'installation et le rendement du blé dur en cas de semis à la volée. Céréaliculture. Revue technique et scientifique de l'institut technique des grandes cultures. N° 40. ITGC. 41-44 p.

Hamadache A., Abdellaoui Z., Aknine M., 2002. Facteurs agrotechniques d'amélioration de la productivité du blé dur en Algérie. Cas de la zone Subhumide. Revue Recherche Agronomique - INRA Algérie, nÞ10 : 5-18.

Hazmoune T., Benlaribi M., 2001. Impact du semis profond sur l'alimentation en eau du blé dur (*Triticum durum* Desf) et la réalisation des composantes de rendement en zone semi-aride. In : Actes du séminaire national sur la problématique de l'agriculture des zones arides et de la reconversion. M. Labdi, M.E.H. Maatougui, A. Gaouar, K. Benabdelli, D. Sekkal eds. 22-24 janvier 2001, Sidi Bel Abbes, Algérie. ITGC, CRSTRA, ITAF, USBA, INRA, INA ed.

Jouve P., Berrada A., 1993. Résultats d'expérimentation en Aridoculture. In : Adaptation des systèmes de production à l'Aridité au Maroc et au Sahel. Volume II : Publications et travaux. Thèse de Doctorat, P. Jouve, Université Paul Valery, Montpellier III. pp : 20-85.





Jouve P., Daoudi A.,1984. Effets de la position du cycle cultural sur l'élaboration du rendement du blé tendre et de l'orge en zones semi-arides et arides marocaines. L'agronomie tropicale, 39 (3) : 216-228.

Karrou M.; 1996. Effet du recouvrement précoce du sol sur l'utilisation de l'eau chez le blé dur Marzak. Rapport d'activité annuel 1995/96. Centre régional de la recherche agronomique de Settat. Aridoculture. INRA Maroc. 62.

MADPRM, 1999.Sécurisation de la production céréalière à 60 millions de quintaux. Bulletin de transfert de technologies en agriculture. MADRPM/DERD, n° 60 : 1 - 4

Mazhar M., 1986. Rotation des cultures. In : Journée de recyclage des vulgarisateurs en techniques de productions des céréales en zones semi-arides. INRA/MIAC/USAID ed., CRRA Settat, Maroc. pp: 19-24.

Mrabet R., EL Brahli A., 2001. Valorisation de la jachère à travers le non labour et la couverture du sol en milieu aride et semi-aride. In: Le semis direct en Méditerranée. INRA- FERT ed., Settat-Maroc. p21.

Ouattar S., Ameziane T.E., 1989. Les Céréales au Maroc. De la Recherche à l'Amélioration des Techniques de Production. Toubkal (ed.). Casablanca, Maroc. 123p.

Ould Said H., 2004. Influence de l'époque du travail de la jachère et du type d'outils dans l'amélioration du rendement de blé. Céréaliculture, nÞ41 : 27-33.

Simon H., Codaccioni P., Lecoeur X., 1989. Produire des céréales à pailles. Tec & Doc - Lavoisier ed., Paris. 333p.


Photo : Vadon B.

CHAPITRE VI

Le système non labour : une technique simplifiée pour une agriculture durable

Dans les zones pluviales, les ressources en eau constituent le facteur limitant de la céréaliculture dans le Maghreb. Ces dernières décennies, les aléas climatiques et les sécheresses fréquentes ont fortement pénalisé les productions et accentué la dégradation des ressources naturelles. En parallèle, les travaux conventionnels de travail du sol ne sont plus adaptés dans les zones où la conservation de l'eau et des sols est prioritaire. Les travaux de recherche réalisés à l'échelle régionale et internationale ont montré que le système du semis direct constitue une alternative aux travaux du sol conventionnels vu les avantages qu'il présente en terme d'amélioration des rendements dans les zones pluviales et aussi en terme de conservation de l'eau et du sol.

Le système non labour ou semis direct

Le semis direct est une partie intégrante de l'agriculture de conservation que l'on peut définir comme étant un ensemble de pratiques qui visent : une bonne gestion des ressources édaphiques altérant au minimum la composition et la structure du sol et le préservant de la dégradation et de l'érosion.



Dégradation des sols et érosion par le travail du sol conventionnel.

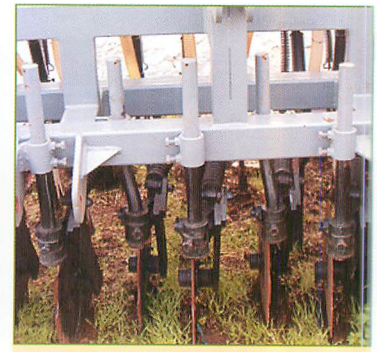
Le semis direct est un travail minimum du sol sans retournement effectué sur un couvert de résidus en surface. Les semis sont réalisés en utilisant un semoir adapté qui combine ensemble : les disques à l'avant pour couper les résidus, les socs (appelés également coutres) pour pénétrer le sol et ouvrir le sillon, les organes semeurs et d'engrais pour le placement des semences et des fertilisants au niveau du sillon, et les roues tasseuses placées en arrière pour couvrir le sillon. Pour les conditions semi-arides de l'Afrique du Nord, l'utilisation d'un semoir doté de socs est conseillée pour les semis précoces et les sols secs au moment du semis (Bourarach *et al.*, 1998).



Semoir pour semis direct.



Roues tasseuses.



Disques coupants.

Il faut également savoir que l'utilisation du semis direct doit tenir compte de la gestion des fertilisants, de la rotation et de la lutte contre les adventices.

Lorsqu'on évoque le semis direct, le sol n'est travaillé que sur la ligne de semis. Le lit de semences correspond donc à un volume très réduit de terre. Cependant, l'absence de labour peut avoir certaines conséquences sur la qualité du lit de semences (Labreuche *et al.*, 2001) qui se traduisent par :

- un sol en général un peu plus humide et qui se réchauffe un peu moins vite ;
- un moindre contrôle de la quantité de terre fine et de la profondeur de placement des semences ;
- des résidus végétaux non enfouis.



Sol bien structuré/semis direct.



Sol mal structuré/
semis conventionnel.



Résidus végétaux (chaumes)
non enfouis en semis direct.

Ce sont ces deux derniers critères qui constituent la principale difficulté à maîtriser lors des semis en l'absence de labour. Cela est surtout vrai derrière des précédents laissant sur le sol beaucoup de biomasse (céréales à paille, maïs grain).

Le semis direct et la qualité du sol

Les essais réalisés sur le semis direct depuis plus d'une dizaine d'années, ont montré que certaines caractéristiques physiques et chimiques des sols non travaillés et couverts de résidus sont modifiées. Ainsi, la structure, la teneur en matière organique, l'humidité et le pH sont les principales propriétés du sol affectées par le semis direct. La pratique du semis direct, après plusieurs années, améliore le contenu des sols en matière organique, plus particulièrement au niveau des premiers centimètres de surface (Mrabet *et al.*, 2001 ; Saber et Mrabet, 2002 ; Bessam et Mrabet, 2003). Cet enrichissement en matière organique à la surface permet une accumulation d'azote et de carbone en comparaison aux systèmes conventionnels. Avec le temps, le pH du sol subi également une baisse sur la couche superficielle non travaillée (Tableau 1). Cette désalcalinisation serait due aux taux de séquestration de la matière organique sous le non labour. De plus, le semis direct permet une conservation de l'eau du sol supérieure par rapport aux autres types de travaux du sol (Tableau 2).

Tableau 1 : Effet du type de travail du sol sur le pH à différents horizons (Bessam et Mrabet, 2003).

Travail du sol	Horizon 0-25 mm		Horizon 25-70 mm		Horizon 70-200 mm	
	pH_1	pH_2	pH_1	pH_2	pH_1	pH_2
Non labour	8.1b	7.8b	8.4a	8.1a	8.5a	8.2a
Labour conventionnel	8.3a	8.0a	8.3a	8.0a	8.5a	8.2a

* pH_1 et pH_2 représentent respectivement les pH du sol après 4 et 11 années d'expérimentations.



Sol bien structuré et présence de matière organique.



Parcelle de semis direct.



Débris végétaux et amélioration de la qualité du sol.



Tableau 2 : Les avantages et les inconvénients du système de semis direct.

Avantages	Inconvénients
Limite l'érosion Améliore la structure du sol Conserve l'eau Augmente le taux de matière organique Réduit les charges de mécanisation	Gestion spécifique de la rotation Difficulté à gérer les adventices Apparition de maladies racinaires Difficulté d'action de certains herbicides racinaires

Le semis direct et la gestion des résidus

Les résidus des cultures sont les parties des plantes qui demeurent sur le sol après la récolte. Le système du semis direct permet de garder une plus grande quantité de résidus sur le sol qui se trouve ainsi protégé. Cette couverture permanente du sol contribue au maintient et à l'augmentation du niveau de matière organique du sol, à la rétention de l'eau dans le sol, à la réduction de l'érosion hydrique et éolienne et à la limitation des transferts hydriques et thermiques entre le sol et le milieu extérieur. Les avantages évoqués par la couverture du sol par les résidus sont justifiés par les niveaux de rendements en grain et l'efficience de l'utilisation de l'eau par les céréales qui s'améliorent en fonction du degré de couverture en résidus (Figure 1).

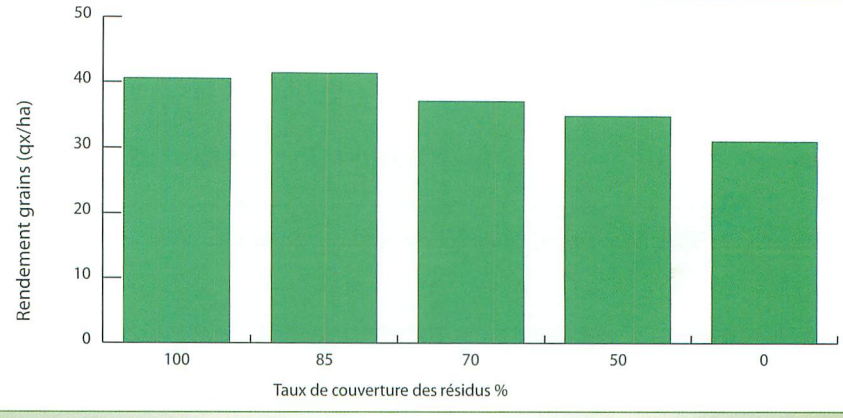


Figure 1 : Evolution du rendement en grain du blé tendre (Var. Achtar) en semis direct en fonction du taux de couverture des résidus (Mrabet, 1997) modifié.

Le semis direct et la stratégie de lutte contre les adventices

La gestion des adventices est l'une des contraintes du développement du semis direct. En effet, la suppression des labours favorise le développement des mauvaises herbes et le système de non labour ne peut être durable que par la maîtrise de l'infestation des mauvaises herbes (El Brahli *et al.*, 1997). Deux applications d'herbicides sont nécessaires dans le cas du système de semis direct. Le premier désherbage en inter culture permet de réduire en partie l'infestation des parcelles. Un deuxième désherbage s'impose une fois la culture en place. Ainsi, l'usage des herbicides constitue la seule issue efficace pour éliminer les adventices dans les systèmes de non-labour. Cependant, lors du désherbage chimique, l'efficacité de certains herbicides de pré-levée ou de post-levée serait réduite du fait de la présence des résidus de la culture précédente. En effet,

les chaumes composant le mulch sont très absorbantes et diminuent ainsi l'efficacité des herbicides racinaires. De même que l'emploi des herbicides dont la matière active serait très rémanente est déconseillé, car il existe des risques de phytotoxicité pour la culture suivante. De ce fait, il est préférable en culture d'utiliser des herbicides à action foliaire, caractérisés par leur rémanence faible dans le sol et leur large spectre d'action (El Brahli et Mrabet, 2000).



Semis direct de céréale.



Débris de végétaux de la culture précédente.



Risque d'infestation de mauvaises herbes en semis direct.

La rotation des cultures dans le système de semis direct

En l'absence de travail du sol, la gestion de la rotation prend une grande ampleur. La comparaison de plusieurs types de rotation en cas de semis direct a montré que la jachère chimique constitue le meilleur précédent pour les céréales en semis direct dans les zones pluviales. En effet, la pratique de ce type de rotation en semis direct permet de stocker plus d'eau au niveau du sol par rapport aux autres rotations. En fait, ce type de précédent pour les céréales, accompagnant le semis direct, devient évident dans les zones semi-arides.

Les performances de rendement des céréales dans le système de semis direct

Les travaux de recherche entamés sur plusieurs années au Maroc ont montré que les performances de rendement réalisées en semis direct étaient les meilleures. Ainsi, au niveau des zones semi-arides marocaines, des essais en stations expérimentales ont confirmé la supériorité des rendements en grain réalisés en semis direct par rapport à ceux des labours conventionnels (Bouzza, 1990 ; Mrabet, 2000). Certains de ces résultats sont présentés dans la figure 2.

D'autres résultats en Tunisie ont montré que la simplification du travail du sol (semis direct), réduit considérablement le rendement du blé par rapport à la méthode conventionnelle (utilisation de la charrue à socs), en conditions semi-arides avec des pluviométries annuelles de 220 mm (M'Hedhbi, 1995) et 350 mm (Bouhejba, 1997). Cependant, ces derniers résultats doivent être pris avec précaution car les effets positifs du semis direct sur une parcelle n'apparaissent qu'après plusieurs années de sa pratique.



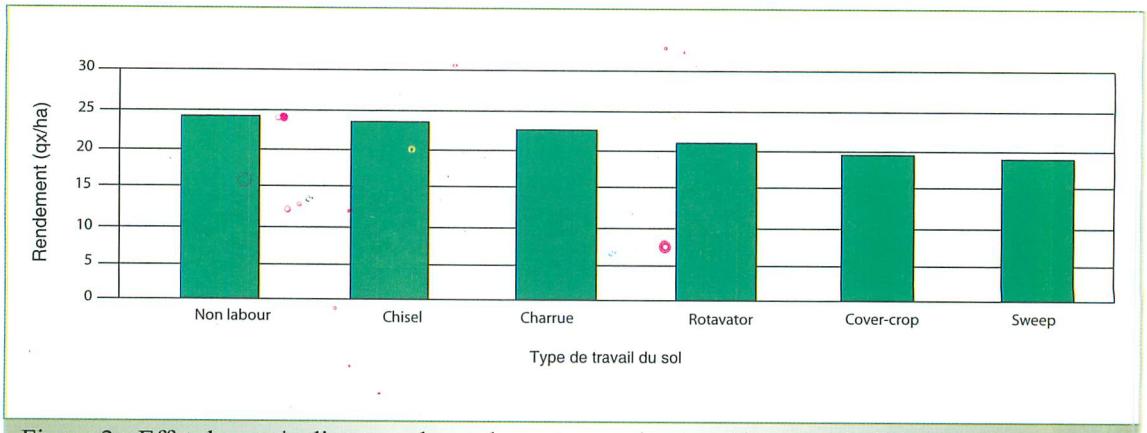


Figure 2 : Effet du semis direct sur le rendement en grain et en biomasse du blé en zone semi-aride marocaine, moyenne de quatre campagnes (95/96,96/97,97/98,98/99), Mrabet (2000) modifié.

Références

Bessam F., Mrabet R., 2003. Long-term changes in soil organic matter under conventional tillage and no - tillage systems in semi-arid Morocco. Soil Use and Management, 19: 139-143.

Bouhejba A., 1997. Etudes comparatives des effets des différents modes de travail du sol sous des conditions semi-arides sur l'élaboration du rendement du blé tendre (variété Salambo 80). Mémoires de fin d'études du cycle spécialisation INA Tunisie.

Bourarach E.H., Bouzza A. et Nousfi A., 1998. Développement d'un système d'enterrage de semoir direct pour le travail en sol sec. Hommes, terre et eaux 28 (109) : 5-10.

Bouzza A., 1990. Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas. PhD Thesis, Nebraska State University, Lincoln. USA, 200p.

El Brahli A., Bouzza A. et Mrabet R., 1997. Stratégie de lutte contre les mauvaises herbes dans plusieurs rotations céréalières en conditions de labour et de non labour. Rapport d'activité annuel 1996-/1997. INRA - CRRA Settat ed.

El Brahli A., Mrabet R., 2000. La jachère chimique : pour relancer la céréaliculture non irriguée en milieu semi-aride marocain. Actes de la journée nationale sur le désherbage des céréales. Centre d'aridoculture de Settat – 23 novembre 2000. Association marocaine de malherbologie. pp 133-145.

Labreuche J., Dürr C., Lajoux P., Laurent F., 2001. Techniques simplifiées de travail du sol : Maîtrise du peuplement. In : Le sol, du Labour au semis direct : Enjeux Agronomiques. INRA – ITCF ed. Paris. pp : 16-18.

M'Hedhbi K., 1995. Effet des outils de travail du sol et de semis sur le rendement des céréales cultivées en sec. Actes des 2èmes journées nationales sur les acquis de la recherche agronomique, halieutique et vétérinaire en Tunisie. Volume 1 : grandes cultures. Pp : 36-45.

Mrabet R., 1997. Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semi-arid area of Morocco. PhD Thesis, Colorado State University, USA, 209p

Mrabet R., 2000. Differential response of wheat to tillage management systems under continuous cropping in a semi-arid area of Morocco. Field Crop Research 66, 2 : 165-174.

Mrabet R., Saber N., El-Brahli A., Lahlou S., Bessam F., 2001. Total particulate organic matter and structure stability of a calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semi-arid area of Morocco. Soil & Tillage Research, 57: 225 – 235.

Saber N., Mrabet R., 2002. Influence du travail du sol et des rotations des cultures sur la qualité d'un sol argileux gonflant en milieu semi-aride marocain. Etude et Gestion des sols, Volume 9 : 43 – 53.





CHAPITRE VII Le choix stratégique de la variété

L'amélioration génétique des céréales dans le Maghreb a commencé dès la fin du 19e siècle pour les différentes espèces et principalement les blés. Ainsi, au début du 20e siècle, on pouvait trouver plusieurs variétés ou populations locales et variétés introduites de l'étranger qui étaient produites dans la région. Parmi celles-ci, on peut citer :

- Algérie (Anonyme, 1984 et Erroux, 1956) :
  - en blé dur : El Beida, Hedba, Bidi, Biskri, Merouani, Beliouni, Langlois, Kahla ;
  - en blé tendre : Tuzelle de Sidi bel abbes, Baroota, Pusa x Florence 380, Florence x Aurore, Mahons ;
  - en orge : Beldi, Metloug, Tessaïni, Arbi, Bent Ennebi, Ladoui, Hadoui, Chair Ennebi.
- Maroc (Grillot, 1953 et 1955 ; Loisil, 1951 et Trabut, 1950) :
  - en blé dur : Caïd Eleïze, Zeramek, Ouled Youssef, Oued Zenati, Zeliouma, Grifla, Selbera, Keyperounda, Haj Mouline, Mahmoudi, Cocorit ;
  - en blé tendre : Pusa, 4, Florence, Cadet, Gharflor, Pynite, Matah, Florence x Aurore, Indexa, Indextral ;
  - en orge : Merzaga, Rabat, Tripoli.
- Tunisie (Deghais et Gharbi, 1999 et Deghais *et al.,* 1999) :
  - en blé dur : Azizi, Bidi, Mekki, Kahla, Sbei, Hamira, Mahmoudi ;
  - en blé tendre : Mahon 73, Baroota 52, Florence 135, Irakié ;
  - en orge : Orge Blanche, 14 J, Ardhaoui, orge 4A.

Ces populations et variétés étaient issues des collectes effectuées dans différentes populations au niveau des différentes régions des pays maghrébins et introductions. Cette opération a été suivie d'une évaluation en terme de rendement et de qualité technologique. Grâce à ce travail, on pouvait trouver plusieurs variétés qui étaient produites dans la région du Maghreb au début du 19e siècle.

Depuis cette période, l'utilisation de la variabilité génétique des espèces céréalières a connu un grand essor à travers toute la région et c'est ainsi que plusieurs variétés ont été développées par les sélections massale et généalogique dans ces populations et parmi les variétés introduites.

Puis les premières hybridations ont été effectuées et on assiste au développement des premières variétés de céréales produites dans la région pour des conditions de milieu locales et visant : l'amélioration de la productivité, la tolérance aux maladies et à la verse, principalement chez le blé dur et à un degré moindre le blé tendre.

L'avènement de la collaboration avec les centres internationaux de recherche de son côté a permis aussi de sélectionner du matériel végétal très performant et adapté aux conditions locales. C'est ainsi que dès les années soixante, on assiste à l'introduction de variétés naines et semi naines du CIMMYT, qui ont permis l'amélioration des rendements du blé, mais leur acceptation par les agriculteurs a été de courte durée à cause de leur paille courte et donc une productivité de paille, très insuffisante pour son utilisation dans l'alimentation du cheptel.

La collaboration avec les autres centres internationaux tel que l'ICARDA, principalement et à un degré moindre l'ACSAD, a aussi permis de sélectionner du matériel végétal très performant de blé et d'orge adapté aux conditions semi-arides. Ces nouvelles variétés ont donné un nouvel essor à la production céréalière grâce à l'accroissement du niveau de la productivité dans la région. Plusieurs de ces variétés sont actuellement en production chez les agriculteurs dans l'ensemble du Maghreb.



Essais d'amélioration variétale.



Blocs de croisements.

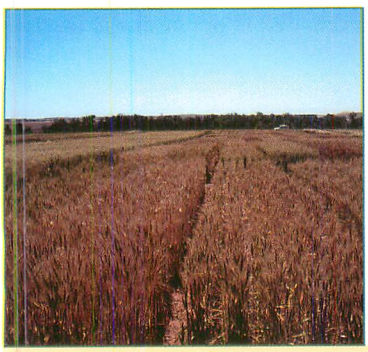


Visite des essais et sélection des meilleures variétés.

La gamme variétale dans le Maghreb

Mais le véritable avènement est intervenu à partir des années quatre vingt avec la mise en œuvre de programmes nationaux de création de variétés précoces, productives, résistantes aux maladies et insectes et ayant une bonne qualité technologique (Tableaux 1, 2 et 3).

Ce développement du matériel végétal a connu des situations diverses à travers le Maghreb. C'est ainsi qu'au Maroc, le plus grand nombre de variétés a été inscrit au catalogue officiel à partir de 1983. Ces nouvelles variétés ont permis de réaliser des gains de rendement sur les variétés témoins de l'ordre de plus de 50%, que ce soit pour l'orge, le blé dur ou le blé tendre. Les rendements potentiels sont passés de 50 à 65 qx/ha pour les orges et à plus de 75 qx/ha pour les blés (Amri *et al.*, 1993). En effet, les variétés anciennes ont été pénalisées par les contraintes environnementales (manque et irrégularité des pluies, hautes températures) qui se sont accentuées depuis la fin des années 70 et avaient causé des chutes considérables de la production.





Essais de rendement et visite des sélectionneurs.

Dans le cas de la Tunisie, le développement de variétés résistantes aux maladies et à la verse en collaboration avec le CIMMYT et l'ICARDA, a permis d'augmenter les rendements du simple au double en blé dur (Deghais *et al.*, 1999).

Pour le cas de l'Algérie, les résultats sont similaires à ceux de la Tunisie et les sélections effectuées dans le matériel végétal introduit des centres internationaux, principalement ICARDA et CIMMYT a permis de développer et de mettre à la disposition des agriculteurs, des variétés très performantes et adaptées aux conditions du milieu et dont la qualité technologique est bonne.

Aujourd'hui, à travers l'ensemble du Maghreb, une gamme assez variée de variétés est disponible sur le marché. Ce matériel végétal très divers, allie plusieurs caractères qui lui permettent d'être adapté à telle ou telle zone agro écologique et possède aussi des caractères distinctifs sur le plan de la qualité technologique.

Aussi, il est important avant d'utiliser une variété de connaître ces caractéristiques pour savoir si elle s'adapte à l'environnement pour lequel elle est destinée.



Variété de blé dur.



Variété de blé tendre.



Variété d'orge.





Les tableaux 1, 2 et 3 vous présentent l'ensemble des variétés de blé tendre, de blé dur et d'orge inscrites et/ou disponibles à travers le Maghreb.

Tableau 1 : Variétés et type de précocité de l'espèce blé dur au Maghreb.

Pays	Variétés et type de précocité			
	Précoce	Semi précoce	Semi tardive	Tardive
Algérie	Capeiti Belikh 02 Cham 4 Chen S Gta dur Vitron Kebir Sahel Tassili Waha "S" Oum Rabi 09	Bibans Bidi 17 Sebaou Simeto Ardente Capeiti Karim Or jaune Poggio Carioca Cirta	Polonicum Mohamed Ben Bachir Ofanto Zibans	Eider Hedba 3 Oued Zenati
Maroc	Acsad 65 Marzak Amjad Massa Tensift Sarif Jouda Amira Marouane	Cocorit Jori Bel Bachir Oum Rabiâa Karim Jawhar Vitron Yasmine Ourgh Tarek Tassaout Isly Sebou Anouar Marjana Tomouh Irden Nassira Chaoui		Keyperounda
Tunisie	Karim Razzak	Khiar Om Rabia	Ben Bechir	

Tableau 2 : Variétés et type de précocité de l'espèce blé tendre au Maghreb.

Pays	Variétés et type de précocité			
	Précoce	Semi précoce	Semi tardive	Tardive
Algérie	Arz Anza Chelliff Florence Aurore Hiddab Hodna Isser Mimouni Nesser Rhumel Sidi Okba Soummam Strampelli Tessalah West Bred Yacora Rojo Ziad Zidane	Ain Abid Almirante	Bufalo Orion	Mahon Demias
Maroc	Potam Arrihane ACSAD 59 Mehdia Aguilal Sais Merchouch Jouda	Nesma Sieté Cerros Mouna Baraka Al Khair Tilila Massira Achtar Rajae Tigre Saba Kanz Sibara Mehdia	Amal Teggey 32	
Tunisie	Tanit Ariana	Salammbô Vaga Utique Tébica	Byrsa	



Tableau 3 : Variétés et type de précocité de l'espèce orge au Maghreb.

Pays	Variétés et type de précocité			
	Précoce	Semi précoce	Semi tardive	Tardive
Algérie	Badia Bahria Jaidor Express Barberousse Nailia Plaisant Rebelle ACSAD 68 Rihane 03 Tichedrett	Djebel Majestic Nikel Princess Vertige	El Fouara Soufara	Saida 183
Maroc	ACSAD 60 Azilal Amalou ACSAD 176	Tiddas Massine Oussama Amira Tamelalt Hispanic Aglou Asni Laanaceur Taffa Igrane Firdaws	ACSAD 68 Adrar Arig 8	Merzaga Tissa Barlis Tripoli Rabat 071
Tunisie	Roho Manel Faiz	Rihane	Byrsa	



Des variétés en fonction de leur aire d'adaptation

En plus de leur qualité productive, le choix des variétés appropriées doit être raisonné en fonction des zones d'adaptation et des contraintes climatiques (Tableaux 4, 5 et 6) :

- **En zone semi-aride**, l'eau est le principal facteur limitant la production. Dans ces conditions, le déficit hydrique intervient en fréquence à différents moments du cycle, mais le plus souvent après l'épiaison. Les variétés ayant un cycle plus court échappent à la sécheresse de fin de cycle (la plus fréquente dans ces zones) et produisent du grain même en année où les pluies hivernales sont insuffisantes (Karrou et El Mourid, 1993). Cependant, pour satisfaire les besoins des agriculteurs, à savoir la production de grain et de paille, les raccourcissements de la phase "levée - stade B" et de la période de remplissage du grain tout en maintenant le taux de remplissage élevé semblent être intéressants (Karrou et El Mourid, 1993). D'autre part, l'analyse de l'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) de différentes espèces et variétés en conditions arides et semi-arides a permis de suggérer les variétés dont la consommation en eau est limitée et produisant une quantité suffisante de grain.

- **En zone favorable** (pluviométrie > 450 mm), les variétés à haut potentiel ayant une longueur de cycle intermédiaire et résistantes à la verse sont les plus recommandées.

- **En zone irriguée**, on s'orientera vers des variétés à haut potentiel de rendement et résistantes aux maladies.

- **En zone de montagnes**, la liste du matériel végétal est moins riche. Dans ces zones, les variétés à vigueur précoce sont les plus recommandées.

Il est essentiel de se renseigner sur les caractéristiques du matériel végétal disponible, de choisir les variétés qui sont adaptées aux conditions de milieu où elles seront cultivées et de connaître aussi leurs besoins tant sur le plan agronomique (techniques culturales) que sur le plan nutritif (eau et minéraux) afin d'optimiser leur niveau de productivité.

Des variétés moins exigeantes en fongicides





Diversité variétale.

Les principales variétés sélectionnées ces vingt dernières années sont résistantes aux maladies. Ainsi, l'augmentation du nombre de variétés ayant un bon niveau de tolérance aux maladies a épargné en partie aux agriculteurs les apports de fongicides. Il existe actuellement un bon choix de variétés d'orge résistantes à la rouille brune et à l'oïdium et des variétés de blé résistantes aux rouilles et à la septoriose (Voir chapitre les maladies des céréales).



Des variétés résistantes à la cécidomyie

La cécidomyie constitue l'un des principaux ravageurs du blé et de l'orge au Maroc. Les travaux de recherche sur l'obtention de variétés résistantes à cet insecte ont été l'une des priorités de la sélection variétale au Maroc, ces vingt dernières années. Depuis la fin des années 90, deux variétés de blé tendre (Aguilal et Arrihane) et plus récemment cinq autres variétés de blé dur (Chaoui, Marouane, Nassira, Amria, Irden) ont été inscrites au catalogue officiel comme étant des variétés résistantes à la cécidomyie (Voir chapitre les insectes ravageurs des céréales).



Les variétés recommandées selon les aires d'adaptation

Tableau 4 : Variétés de blé dur recommandées en fonction de leurs aires d'adaptation au Maghreb.

Pays	Aire de production	Variétés recommandées
Algérie	Sub-aride 200 - 350 mm (hauts plateaux) *	Waha, Sahel 77, Vitron, ZbxFg, Ofanto, Orjaune, Paggio, Mohamed Ben Bachir, Mexicali, ACSAD 65, Polonicum, Gta dur, Bidi 17, Oum Rabi 09, Karim,
	Semi-aride 350 - 450 mm (plaines telliennes) *	Waha, Sahel 77, Vitron, ZbxFg, Chen 's', Oued Zenati, Mexicali, Bidi 17, Gta dur, Hedba 3, Ofanto, Orjaune, Paggio, Kebir, Polonicum, Oum Rabi 09, Simeto, Cirta, Karim,
	Humide et subhumide > 450 mm (littoral et sub-littoral) *	Waha, Sahel 77, Vitron, ZbxFg, Mexicali, Chen 's', Gta dur, Karim, Ardente, Belikh 02, Eider, Oum Rabi 09, Ofanto, Simeto, Bidi 17, Carioca, Cirta, Orjaune, Paggio,
Maroc	Semi-aride 250 - 450 mm	Cocorit, ACSAD 65, Marzak, Karim, Bel Bachir, Sarif, Massa, Isly, Oum Rabiâa, Tassaout, Tensift, Jawhar, Anouar, Yasmine, Amjad, Tarek, Ourgh, Marjana, Tomouh, Irden, Nassira, Chaoui, Amria, Maroune
	Bour favorable 450-600 mm	Cocorit, Jori, Karim , Bel Bachir, Sebou, Sarif, Massa, Isly, Oum Rabiâa, Tassaout, Tensift, Jawhar, Anouar, Yasmine, Amjad, Tarek, Ourgh, Marjana, Tomouh, Irden, Nassira, Chaoui, Amria, Marouane
	Montagne > 600 mm	Keyperounda, ACSAD 65, Sebou, Oum Rabiâa
	Irrigué	Karim, Jawhar, Bel Bachir, Sebou, Massa.
Tunisie	Semi-aride	Karim, Razzak, Khiar, Om Rabia, Ben Bechir,
	Subhumide > 450mm	Karim, Razzak, Khiar
	Humide, 700 mm	Karim, Razzak, Khiar

* Baghdali, 1987 cité par Benbelkacem, 1997 - zones agroclimatiques de l'Algérie.





Tableau 5 : Variétés de blé tendre recommandées en fonction de leurs aires d'adaptation au Maghreb.

Pays	Aire de production	Variétés recommandées
Algérie	Sub-aride 200 - 350 mm (hauts plateaux) *	Nesser, Zidane, Arz, Mexicano, Ciete Cerros, Mahon Demias, ACSAD 59, Hiddab,
	Semi-aride 350 - 450 mm (plaines telliennes) *	Nesser, Zidane, Arz, Anza, Mahon Demias, Ain Abid, ACSAD 59, Hiddab,
	Humide et subhumide > 450 mm (littoral et sub-littoral) *	Nesser, Zidane, Arz, Anza, Mahon Demias, Ain Abid, Hiddab,
Maroc	Semi-aride 250 - 450 mm	Potam, Nesma, Jouda, Merchouch, ACSAD59, Sais, Kanz, Baraka, Al Khair, Tilila, Massira, Mehdia, Rajae, Amal
	Bour favorable 450-600 mm	Nesma, Teggey 32, Jouda, Merchouch, Achtar, Sais, Sibara, Kanz, Saba, Baraka, Achtar, Al Khair, Tilila, Massira, Mehdia, Rajae, Amal, Arrihane, Aguillal.
	Montagne > 600 mm	Merchouch, Achtar, Al Khair, Tilila, Amal.
		Siete Cerros, Jouda, Kanz, Sibara, Achtar, Al Khair, Tilila, Mehdia, Rajae, Amal, Arrihane,
Tunisie	Semi-aride	Tébica, Salammbô
	Subhumide > 450mm	Salammbô, Byrsa, Vaga, Utique, Tébica,
	Humide, 700 mm	Byrsa, Vaga, Utique, Tébica,

* Baghdali, 1987 in Benbelkacem, 1997 - zones agroclimatiques de l'Algérie.

Tableau 6 : Variétés d'orge recommandées en fonction de leurs aires d'adaptation au Maghreb.

Pays	Aire de production	Variétés recommandées
Algérie	Sub-aride 200 - 350 mm (hauts plateaux) *	Rihane 03, Dahbia, Barberousse, Plaisant, Saida, Nailia, ACSAD 68, Tichedrett, Soufara, El Fouara, Bahria
	Semi-aride 350 - 450 mm (plaines telliennes) *	Rihane 03, Bahria, Nailia, Badia, Rebelle, Express, Saida, Dahbia, Majestic, Nikel,
	Humide et subhumide > 450 mm (littoral et sub-littoral) *	Rihane 03, Rebelle, Express, Majestic,
(Maroc)	Semi-aride 250 - 450 mm	Arig 8, Tamellalt, Acsad 60, ACSAD 176, ACSAD 68, Aglou, Azilal, Laannaceur, Taffa, Massine, Oussama, Amira, Igrane, Amalou, Firdaws, Asni,.
	Bour favorable 450-600 mm	Arig 8, Asni, Tamellalt, Tissa, Aglou, Annaceur, Taffa, Massine, Oussama, Amira, Igrane, Adrar, Firdaws ;
	Montagne > 600 mm	Tissa, Adrar, Hispanic, Barlis, Tripoli, Merzaga, Rabat 071,
	Irrigué	Asni, Tiddas
Tunisie	Semi-aride	Roho, Rihane, Faiz,
	Subhumide > 450mm	Manel, Rihane,
	Humide, 700 mm	Manel

* Baghdali, 1987 in Benbelkacem, 1997 - zones agroclimatiques de l'Algérie.





Références

Amri A., Nassrellah N., Jlibene M., Mergoum M., Douiyssi ., 1993. Amélioration génétique des céréales au Maroc. In : La recherche sur les céréales d'automne. Journée d'Information et d'Etude. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. INRA. Rabat 13 décembre 1993, pp : 5-22.

Anonyme, 1984. Les espèces et variétés de blés rencontrées et cultivées en Algérie. Institut de développement des grandes cultures. Ministère de l 'agriculture et de la réforme agraire. Algérie. 31p.

Benbelkacem A., 1997. Etude de l'adaptation variétale des céréales cultivées en Algérie sous différentes conditions agro-écologiques. Céréaliculture. ITGC

Deghais M., Gharbi M.S., 1999. Bilan de la recherche relative aux blés. Actes des 6èmes journées nationales sur les résultats de la recherche agronomique – Nabeul, 6-7 décembre 1999 – GC. 26-38 p.

Deghais M., El Faleh M., Gharbi M.S., Zarkouna T., Chakroun M., 1999. Les acquis de l'amélioration génétique des céréales en Tunisie. Annales de l'INRAT, 1999, 72. 3-30 p.

Erroux J., 1956. Les orges du Fezzan. Extrait du bulletin de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord. Tome 47. pp. 74-83.

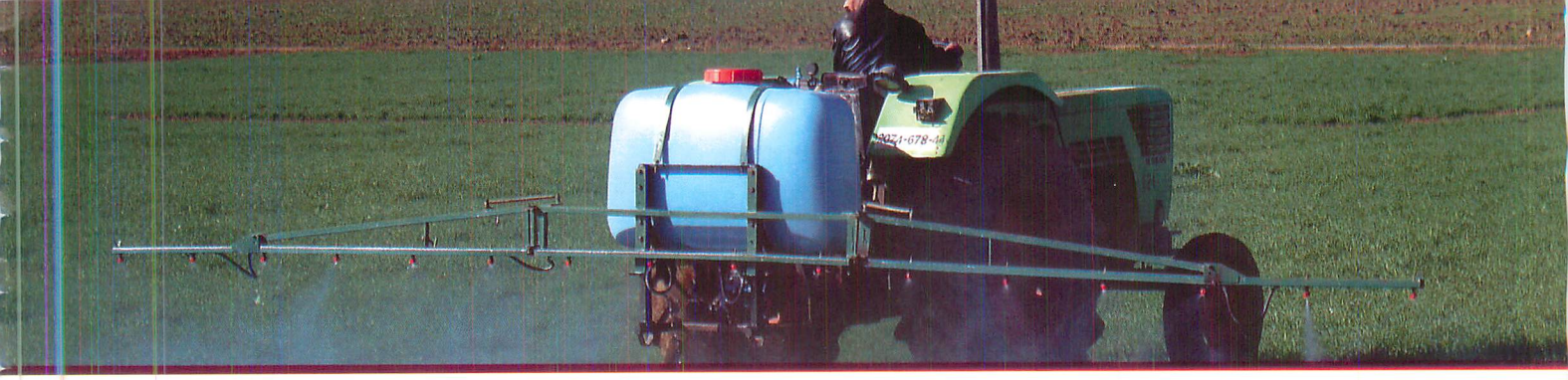
Grillot G., 1953. L'état de l'amélioration du blé dur au Maroc. Agriculture. La terre marocaine. Revue officielle de l'agriculture, du commerce et des forêts. N°282, pp 145- 150.

Grillot G., 1955. Etat actuel des recherches et travaux sur le blé dur au Maroc. Agriculture. La terre marocaine. Revue officielle de l'agriculture, du commerce et des forêts. N°307, pp 207- 214.

Karrou M., El Mourid M., 1993. Acquis de la recherche sur la physiologie du stress hydrique au Centre Aridoculture. AL AWAMIA, n°81 : 19-33.

Loisil L., 1951. Le classement des blés durs de la récolte 1950 au Maroc. Agriculture. La terre marocaine. Revue officielle de l'agriculture, du commerce et des forêts. N°262, pp 294- 296.

Trabut G., 1950. Conseils pratiques pour la production de semences de céréales au Maroc. La recherche agronomique et l'expérimentation agricole. La terre marocaine. Revue officielle de l'agriculture, du commerce et des forêts. N°245, pp 153- 160.



CHAPITRE VIII Le désherbage des céréales

L'une des principales contraintes des céréales au Maghreb est l'envahissement des parcelles par les adventices. Ces dernières par leur présence dans les champs de céréales rentrent en compétition avec les plantes pour l'eau, la lumière et les éléments nutritifs. Ceci engendre souvent des pertes en rendement. Il faut noter également que la nuisibilité biologique et économique des adventices varie selon l'espèce, le degré d'infestation, la durée de la présence dans la culture et aussi le stock grainier dans le sol.

Ainsi, le rôle du désherbage est de réduire la population des adventices à un niveau n'affectant ni le rendement ni la qualité de la récolte. Dans une année favorable caractérisée par une forte infestation des adventices, les pertes de rendement enregistrées au niveau des parcelles de céréales non traitées peuvent atteindre 70% et même plus (Tableau 1). En plus des effets directs sur le rendement, la présence des adventices sur les parcelles cause d'autres effets indésirables. Ainsi, les graines d'adventices constituent une source de réinfestation des parcelles en rotation. Les adventices peuvent également être les hôtes de maladies ou de ravageurs, gêner la récolte mécanique et déprécier sa qualité (présence d'impuretés).

De ce fait, la protection des cultures céréalières comme toutes les autres cultures, est essentielle pour l'amélioration de la productivité qui dépend de plusieurs facteurs dont le contrôle des mauvaises herbes.

Tableau 1 : Rendement en grain relatif (% du témoin) du blé dur infesté par deux groupes d'adventices (Monocotylédones et Dicotylédones) durant trois phases de son cycle de développement (Hamadache, 1995).

	Monocotylédones			Dicotylédones		
	Levée - tallage	Tallage - épiaison	Epiaison - maturité	Levée - tallage	Tallage - épiaison	Epiaison - maturité
Parcelle témoin (non désherbée)	100	100	100	100	100	100
Parcelle désherbée	393	288	162	275	197	104

Les principales adventices des céréales au Maghreb

Les études floristiques réalisées dans les pays du Maghreb ont recensé plus de 200 espèces d'adventices qui infestent les champs des céréales d'automne.

On distingue deux classes d'adventices :

- Les monocotylédones : connues par la présence d'un cotylédon au niveau de l'embryon et par des feuilles à nervures parallèles.
- Les dicotylédones : connues par la présence de deux cotylédons dans l'embryon.

La connaissance des espèces d'adventices permet de déterminer le choix des désherbants à utiliser. Ces produits sont, soit des anti-graminées (anti-monocotylédones), soit des antidicotylédones ou des produits mixtes.

Parmi les adventices les plus répandues dans les champs de céréales d'automne, on citera (Hamadache, 1995 ; Tanji, 2000 ; Tanji, 2002) :

- Les monocotylédones : elles sont essentiellement représentées par : le brome rigide (*Bromus rigidus* Roth.), l'avoine stérile (*Avena sterilis* L.), la folle avoine (*Avena* spp.), le ray-grass (*Lolium* spp.), l'alpiste mineur (*Phalaris minor* Retz), l'alpiste à épi court (*Phalaris brachystachys* Link), le chiendent (*Cynodon dactylon*), l'ivraie raide (*Lolium rigidum* Gaudin), l'ail à toupet (*Muscari comosum* (L.) Mill.), l'ail noir (*Alium nigrum*)...etc.



Adventices graminées (ray-grass, brome et phalaris).

Photos : ITGC, Sétif.

- Les dicotylédones : représentées principalement par : les moutardes des champs (*Sinapis arvensis* L.), la ravanelle (*Rhaphanus raphanistrum* L.), les coquelicots (*Papaver rhoeas*), le souci des champs (*Calendula arvensis*), le diplotaxe (*Diplotaxis assurgens*), l'astragale d'Andalousie (*Astragalus boeticus* L.), la chicorée frisée (*Cichorium intybus* L.), la centaurée géante (*Centaurea diluta* Aiton), le chrysanthème à couronnes (*Chrysanthemum coronarium* L.), l'oxalis pied de chèvre (*Oxalis pes-caprae* L.), l'anthémis précoce (*Ormenis praecox* (L.) Briq.), la capselle bourse à pasteur (*Capsella bursa-pastoris* L.), le liseron des champs (*Convolvulus arvensis* L.), le mélilot (*Mélilotus* spp.), l'émex épineux (*Emex spinosa* (L.) Campd.).



Parcelles de céréales infestées de dicotylédones.

Photos : ITGC, Sétif.

L'importance du contrôle des mauvaises herbes dans les cultures céréalières

Les nombreux essais et prospections réalisés sur la conduite des céréales d'automne ont démontré la nuisibilité des adventices aussi bien en conditions pluviales qu'en irrigué. En effet, la présence des adventices dans les champs de céréales entraîne souvent des chutes de rendement qui sont variables en fonction des zones agro-climatiques, du précédent cultural et du type de semences utilisé. En culture pluvieuse, il a été démontré que les zones les plus arides sont celles où les rendements en grain sont les plus affectés (Figure 1).

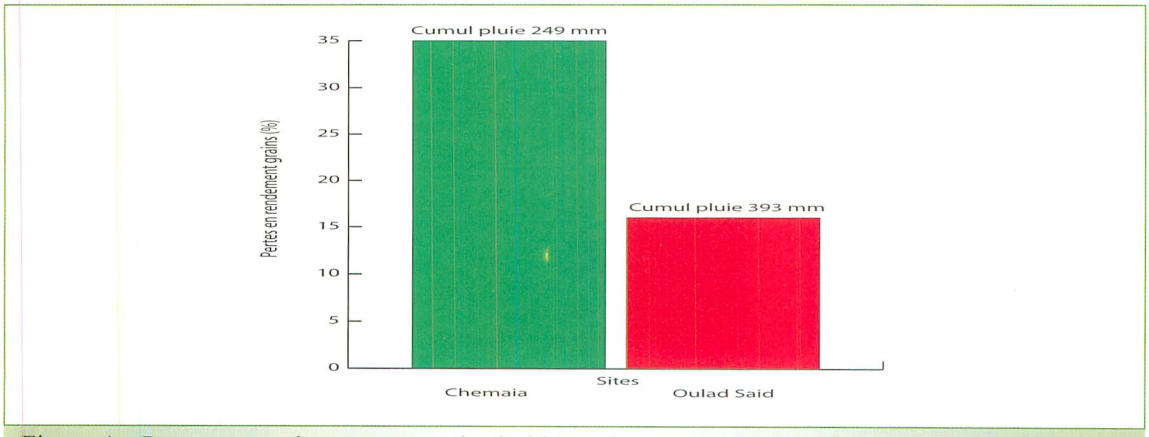


Figure 1 : Pertes en rendements en grain du blé tendre causés par la présence des adventices dans deux sites semi-arides du Maroc (Tanji *et al.*, 1987).

Aussi, la lutte contre les adventices des céréales doit être l'une des actions prioritaires à entreprendre précocement durant le cycle cultural afin de réduire la compétition et améliorer les rendements. En effet, il faut savoir que certaines espèces d'adventices, une fois arrivées à maturité, peuvent laisser dans les champs infestés des milliers de graines/plante (Tanji, 1999). En fonction des espèces, il s'est avéré que dans les champs d'orge, la présence de semences d'adventices est faible par rapport à celles rencontrées dans les champs de blé dur et de blé tendre. En effet, par rapport à ces deux dernières espèces, l'orge est plus compétitive vis-à-vis des adventices (Tanji et Karrou, 1993).

Les résultats de différents essais conduits en zone semi-aride, ont montré que les graminées exercent leur compétion tout le long du cycle de la céréale, alors que les dicotylédones semblent cesser la leur à l'épiaison (Tableau 1).

Aussi, il est impératif de contrôler les infestations d'adventices dans les cultures afin de limiter leur extension et prolifération ainsi que les pertes qu'elles causent pour assurer un niveau de productivité optimal. Pour cela, il est possible d'utiliser plusieurs méthodes qui agissent directement ou indirectement sur la dynamique des adventices dans les grandes cultures.

Les méthodes de lutte contre les mauvaises herbes

Une lutte efficace contre les adventices doit être basée sur :

- Une connaissance assez approfondie de la biologie et de l'écologie des adventices ;
- Une bonne estimation de leur impact sur la production et les pertes économiques qu'elles causent ;
- Une utilisation des méthodes intégrées de lutte contre les adventices.

Pour lutter contre les mauvaises herbes des céréales, on utilisera des méthodes préventives (rotation, travail du sol,...) ou bien des interventions directes (lutte chimique,…).

Les techniques préventives

La rotation

Le choix des rotations des cultures est un moyen qui permet d'atténuer la présence des mauvaises herbes. En effet, le mode de conduite de la culture précédant le blé ou l'orge influe sur le niveau d'infestation des

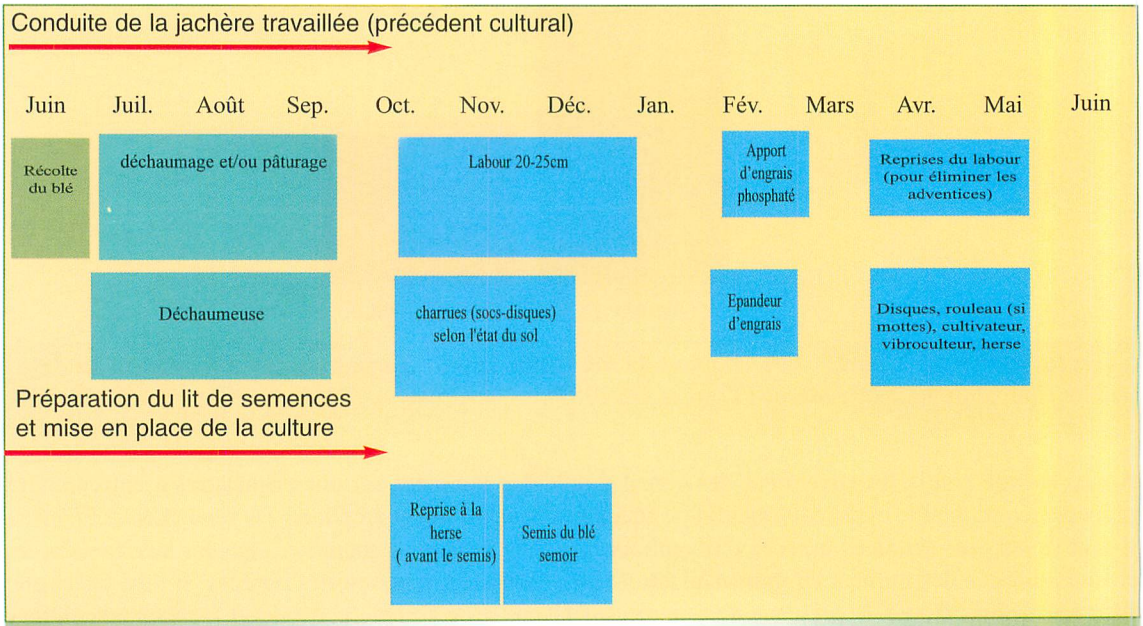


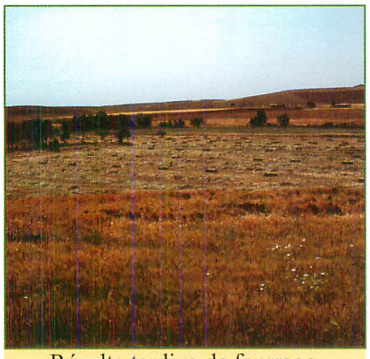
Figure 2 : Schéma de la conduite de la jachère travaillée en Algérie.

mauvaises herbes au cours de la campagne suivante. Contrairement à la monoculture, le choix d'une culture sarclée (exemple, la betterave) comme précédent cultural permet aux céréales de bénéficier de champs plus propres.

En fait, le mode de conduite du précédent conditionne l'infestation de la culture de céréale suivante par les mauvaises herbes (Tableau 1). Ainsi, un fourrage récolté tardivement accroît les risques de fortes infestations du fait de l'égrenage de la graminée (exemple : vesce-avoine) parce qu'il permet aux adventices de produire des graines qui augmentent le stock grainier du sol.



Labour précoce de la jachère après levée des adventices.



Récolte tardive de fourrage, risque d'infestation de mauvaises herbes.



Culture fourragère bien conduite (bersim).

Photo : ITGC, Sétif.

L'exemple du bersim (trèfle d'Alexandrie) est très intéressant puisque ce fourrage, pratiqué dans les zones sublittorales d'Algérie et au niveau des périmètres irrigués est une excellente tête d'assolement et un bon précédent cultural pour le blé. Son mode de conduite permet d'assurer un bon nettoyage des parcelles infestées par les mauvaises herbes puisque le taux de ces dernières dans le fourrage passe de 42% de la matière sèche à 3% entre la première et la troisième coupe (Hamadache, 1995).

La jachère travaillée, qui est l'un des précédents de céréales d'automne les plus dominants en zone semi-aride, reste un moyen efficace de lutte contre les mauvaises herbes. Ainsi, en zone semi-aride, on recommande d'effectuer le premier labour en hiver (janvier) et la reprise par les façons superficielles dès le mois de mai (Anonyme, 1978) cité par (Hamadache, 1995).

En comparant plusieurs méthodes de lutte contre le brome dont la lutte chimique, les méthodes culturales et le précédent cultural, Haffaf et Hamou (2003) ont pu montré que la rotation biennale jachère travaillée -céréales était la meilleure, suivie par la rotation pois chiche - céréales. Ces deux rotations ont favorisé la destruction massive des adventices grâce aux passages des outils dans le cas de la jachère et au travail du sol et au semis tardif du pois chiche (Figure 3).

Le travail du sol

La préparation du sol par les labours et les façons superficielles limite le développement des mauvaises herbes. Ainsi, les labours après les premières pluies permettent d'enfouir les graines d'adventices en profondeur, de détruire les mauvaises herbes en germination et d'épuiser ainsi une bonne partie du stock semencier avant l'installation des céréales. Dans les zones irriguées et les zones favorables, un labour profond retournant la terre, peut contribuer à réduire une grande majorité des graines d'adventices. En zones semi-arides où les instruments à dents ou/et les cover crop sont les plus utilisés, le degré d'infestation par les adventices demeure le plus élevé (Figure 4).

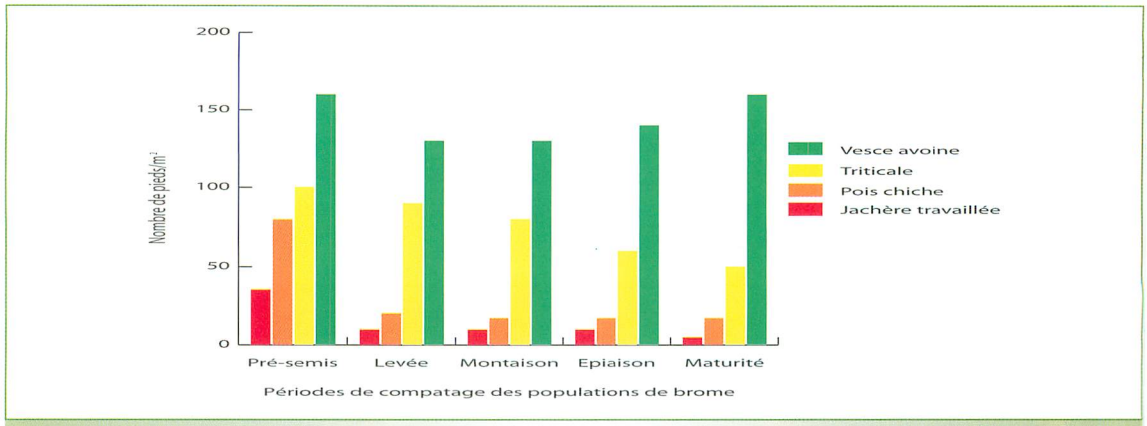


Figure 3 : Effet de la rotation sur une population de brome dans une parcelle de blé dur (Haffaf et Hamou, 2003).

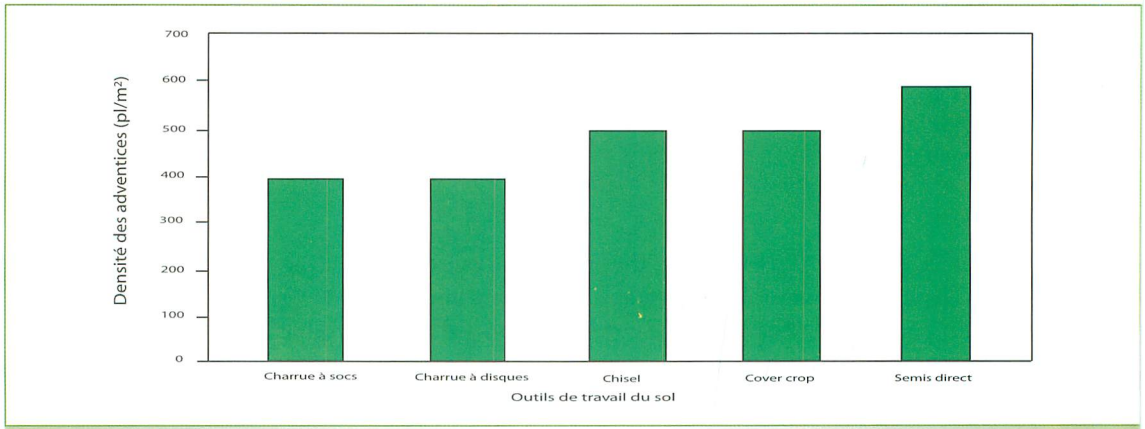


Figure 4 : Effet du travail du sol sur la densité des adventices dans un champ de blé tendre (Aboudrar *et al.*, 2000).



Labour avec une charrue à disques.



Travail du sol avec un cultivateur.



Préparation du lit de semences avec la herse.

Photo : ITGC, Beni Slimane.

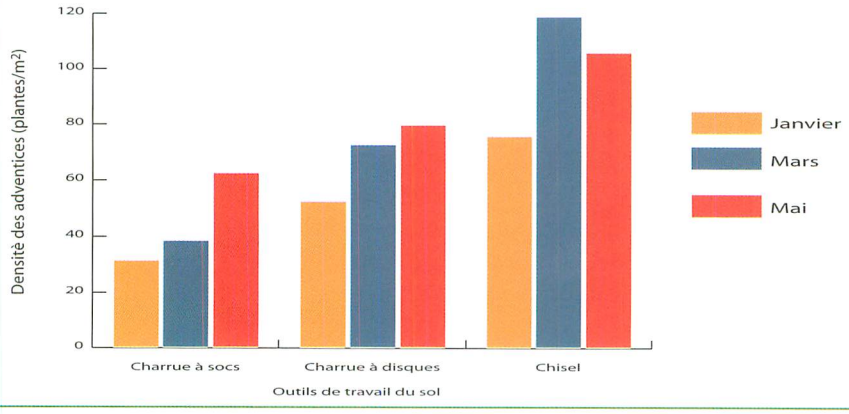
Il faut aussi noter qu'en fonction de la profondeur de travail des outils utilisés et aussi de la période de réalisation, les labours ainsi que les façons superficielles, agissent sur la dynamique des adventices. En effet, lorsqu'ils sont bien exécutés, ils peuvent contribuer à la destruction des mauvaises herbes : c'est la technique du faux semis. Bouchenak (1981), a montré que cette technique provoquait une diminution significative de la compétition exercée par les graminées sur une culture de blé par la réduction de leur biomasse. Il faut préciser que la combinaison des outils pour les façons superficielles peut avoir un effet bénéfique. Zitoune (1985), a mis en évidence que l'introduction du cultivateur et de la roto herse dans la chaîne classique (cover crop) de préparation du lit de semences permet de réduire l'infestation des adventices et améliore le rendement du blé tendre (Tableau 2).

Tableau 2 : Effet de deux chaînes de façons superficielles sur la biomasse des mauvaises herbes et le rendement en grain du blé tendre (Zitoune, 1985).

Paramètres mesurés	Chaîne témoin	Chaîne avec cultivateur + roto herse	Effet
Biomasse des mauvaises herbes à la floraison du blé (g/m²)	108.72	16.20	- 85%
Rendement en grain du blé (q/ha)	37.46	52.20	+ 39%
Gain de rendement (q/ha)	-	14.74	

La période de réalisation des travaux du sol a un effet significatif sur le taux d'infestation des adventices. Ainsi, dans le cas d'un précédent jachère, les travaux du sol précoces permettent de réduire significativement la densité de peuplement des adventices (Figure 5). En effet, par des travaux précoces dans une parcelle cultivée en blé dur, il a été possible de réduire la densité du brome de pratiquement 50% et d'améliorer le rendement en grain de 31% par rapport au travail tardif du sol (Makhlouf *et al.*, 2002).

Figure 5 : Effet de la période du labour et de l'outil de travail du sol sur la densité de peuplement des adventices (Ould Said, 2004).



Le type de semences

L'utilisation des semences indemnes de graines de mauvaises herbes est recommandée. En effet, ce type de semences est régi par des normes ou seuils qui définissent un nombre maximal de graines d'adventices

contenues par kilogramme de semences de céréales à ne pas dépasser. Une étude réalisée dans la zone de Chaouia au Maroc (Tanji et Nassif, 1999) a montré la nécessité d'utiliser des semences certifiées, d'autant plus que les semences autoproduites par les agriculteurs ou achetées auprès de commerçants non homologués renferment très souvent un grand nombre de semences d'adventices (Tableau 3).

Tableau 3 : Niveau d'infestation par les semences d'adventices de 100 échantillons de semences de céréales destinées au semis dans la région de Chaouia au Maroc (Tanji et Nassif, 1999).

Espèces	Origines des semences	Nombre d'échantillons	Nombre de semences d'adventices par kg de céréale		
			Min	Max	Moyenne ± E-type
Blé dur	Autoproduites	28	10	5008	796 ± 231
	Achetées*	9	0	1837	440 ± 224
	Certifiées	7	0	26	9 ± 4
Blé tendre	Autoproduites	15	4	4250	860 ± 307
	Achetées*	14	2	3160	621 ± 248
	Certifiées	3	2	6	4 ± 1
Orge	Autoproduites	20	86	5504	1009 ± 271
	Achetées*	4	4	13434	7305 ± 2654

*Semences achetées auprès des commerçants dans les souks ou dans les villes ou villages.

Le semis

La date de semis, la densité de peuplement ainsi que le mode de semis influent sur le développement de la flore adventice. Hamadache (1988), a montré que les infestations précoces de mauvaises herbes, c'est à dire durant la période juvénile affectent fortement le rendement des céréales d'automne.

Par ailleurs, une densité croissante de la culture a un effet dépressif sur l'effectif et la biomasse des adventices annuelles (Tanji, 1996 a,b,c ; Tanji *et al.,* 1997). Cet effet est plus significatif dans le cas des orges par rapport au blé tendre et au blé dur. En effet, Tanji (1996 a,b,c) a montré que l'augmentation de la densité des trois espèces de céréales d'automne de 200 à 400 plantes/m^2, réduit la densité de peuplement des adventices de l'ordre de 22 %, 21% et de 53% respectivement dans les parcelles de blé dur, de blé tendre et d'orge. Cet effet de la densité de peuplement des céréales se répercute également sur la biomasse des adventices, avec un effet très net chez les orges (Tableau 4). Ainsi, pour éviter une forte infestation des parcelles par les adventices, il est recommandé d'éviter les faibles densités de peuplement.

Le décalage de la date de semis peut être également un moyen pour réduire le taux d'infestation des adventices. En effet, les semis précoces réalisés dès les premières pluies d'automne sont souvent sujets à une forte infestation d'adventices. En effet, la réalisation du semis après la levée des premières adventices permettra aux travaux du sol réalisés juste avant le semis de réduire le taux d'infestation des adventices.

Tableau 4 : Effet de la densité de peuplement du blé dur, du blé tendre et de l'orge sur la densité et le poids sec des mauvaises herbes et sur le rendement de la culture à Sidi El Aidi (Tanji, 1996 a,b,c).

	Densité (plantes/m²)			Biomasse (g/m²)			Rendement (kg/ha)	
Culture	Brome	Dicotylédones	Total	Brome	Dicotylédones	Total	Grain	Paille
Blé dur								
200	76	42	118	126	94	220	2122	4407
400	60	31	92	87	50	138	2521	5333
PPDS (5%)	NS	10	20	36	19	37	224	387
Blé tendre								
200	67	34	101	123	56	179	2913	6073
400	54	26	80	82	29	111	3301	6709
PPDS (5%)	NS	NS	16	24	17	31	241	422
Orge								
200	20	16	36	20	58	78	2835	5541
400	9	8	17	7	22	29	3064	5965
PPDS (5%)	7	5	10	6	23	25	NS	381

Ces résultats sont confirmés puisqu'il s'avère qu'en semis précoce, les rendements en grain du blé dur sont fortement pénalisés par l'absence d'un désherbage, alors qu'en semis tardif, on ne constate aucune différence significative entre les rendements en grain des parcelles désherbées et celles non désherbées. Toutefois, il est déconseillé de ne pas semer trop tardivement car au-delà d'une certaine date, les rendements seront pénalisés par les facteurs climatiques défavorables en fin de cycle.

Quant au mode de semis, il s'est avéré que le semis manuel occasionne de fortes pertes à la levée et ceci augmente les risques d'infestations de mauvaises herbes.

L'entretien du matériel de récolte

Afin de réduire l'infestation des parcelles par les adventices, certaines mesures sont à prendre lors de la récolte. Sachant que la moissonneuse batteuse peut transporter des graines d'adventices d'une parcelle à l'autre, il est recommandé de :

- nettoyer la moissonneuse batteuse après la récolte de chaque parcelle ;
- récolter en premier lieu les parcelles propres si le choix le permet.

L'intervention directe

Pour lutter contre les adventices présentes au niveau de la parcelle, il est fortement recommandé de choisir le bon moment du désherbage à moindre coût. C'est pour cette raison qu'il faut trouver un compromis entre les différentes techniques qui sont proposées pour répondre à ces objectifs. En effet, la lutte contre les adventices doit être raisonnée en tenant compte de plusieurs facteurs étroitement liés et aussi importants les uns que les autres pour un contrôle efficace.

L'arrachage manuel

L'arrachage manuel des adventices est une technique anciennement pratiquée. Cependant, cette pratique n'est recommandée que sur les petites parcelles et en cas de faible infestation de mauvaises herbes, de préférence avant le stade épiaison (Tanji, 1986).

Le désherbage chimique

Aujourd'hui, la protection chimique des cultures demeure un moyen efficace de lutte contre les mauvaises herbes. Les herbicides ont pour rôle de lutter contre les mauvaises herbes, soit en les supprimant, soit en inhibant leur développement.



Désherbage précoce d'une culture de céréale.



Désherbage manuel du blé.



Désherbage en post semis ou pré-levée de la céréale.

Photos : ITGC, Khemis Miliana.

Le choix de l'herbicide dépend de la prédominance des graminées ou des dicotylédones ou des deux. Pour la réussite du désherbage, il faut :

- savoir reconnaître et identifier les adventices ;
- choisir les herbicides homologués et destinés aux adventices présentes ;
- appliquer les doses adéquates aux différents stades ;
- tenir compte des conditions climatiques.

Le meilleur moyen de lutte contre les adventices est de les combattre dès les premiers stades de développement des céréales. Le désherbage précoce au stade 3 feuilles de la culture est le plus conseillé car il permet aux plantes d'éviter la compétition des mauvaises herbes pour l'eau et les éléments minéraux. Par contre, le désherbage tardif peut être moins efficace, car certaines espèces de mauvaises herbes sont difficiles à contrôler lorsqu'elles atteignent des stades avancés. Ainsi, les gains de rendement en grain et en paille obtenus avec un désherbage précoce ont été souvent meilleurs que ceux obtenus après un désherbage tardif (Tanji et Karrou, 1993 ; Bouhache *et al.*, 2000). Ces gains de rendement dépassent les 50% en conditions pluviales et même les 70% en irrigué (Tableau 5).

Tableau 5 : Effet de l'application du désherbage chimique à différents stades sur le rendement du blé (Bouhache *et al.*, 2000)

Traitements	Stades d'application	En pluvial (bour)		En irrigué	
		Rendement en grain (q/ha)	Gain (%)	Rendement en grain (q/ha)	Gain (%)
Désherbage précoce	2-3 feuilles - début tallage	56.5	54.0	62.5	76.1
Désherbage semi-précoce	Début tallage - Mi-tallage	52.8	43.9	55.7	56.9
Désherbage tardif	Début montaison	44.9	22.3	48.6	36.9
Aucun désherbage		36.7	-	35.5	-

Bouhache *et al.*, (2000) ont constaté qu'il est indispensable de lutter contre les mauvaises herbes présentes dans la culture du blé à un stade précoce (2-3 feuilles) car à cette période :

- la densité des mauvaises herbes est très élevée (78 à 100%) ;
- la biomasse des mauvaises herbes reste faible (6,5 à 14,9%) et ce fait, il reste beaucoup de ressources qui pourraient être utilisées par la culture ;
- le recouvrement de la culture est encore faible et donc les plantules de mauvaises herbes seraient exposées à toute application d'herbicides et son efficacité serait meilleure ;
- il existe suffisamment de temps pour traiter une seconde fois au cas où le premier désherbage a été raté.

Les différents types d'herbicides

En fonction de l'époque du traitement, on distingue trois groupes d'herbicides :

Les herbicides de pré-semis

Ce sont des inhibiteurs de la levée des graines de mauvaises herbes. Ils agissent au niveau des méristèmes et inhibent la division cellulaire.

Les herbicides de pré-levée de la culture et des adventices

Ces herbicides ont une action racinaire et pénètrent par la graine, par le coléoptile ou par les poils absorbants. A ce stade du désherbage, une certaine humidité du sol est nécessaire pour la réussite du traitement. Il faut éviter de traiter quand le sol est sec.

Les herbicides appliqués en post levée de la culture et des adventices

Ce sont des herbicides qui agissent par action foliaire ou par action racinaire. A ce stade, les herbicides sont mieux adaptés aux types de mauvaises herbes. Les herbicides à action foliaire sont divisés en deux groupes : les herbicides systémiques mobiles dans les plantes et les herbicides de contact moins mobiles.

Les caractéristiques et facteurs affectant l'efficacité des herbicides

Plusieurs facteurs ont une grande influence sur l'efficacité des herbicides.

Les stades de la culture et de l'adventice au moment du désherbage chimique

Selon les résultats de différentes recherches, plus la durée de la compétition des mauvaises herbes augmente, et plus les rendements du blé et de l'orge sont réduits. En effet, la concurrence des mauvaises herbes vis-à-vis de la culture pour les éléments nutritifs et l'eau est importante, mais à partir de l'épiaison, la concurrence pour ces éléments devient plus intense et plus particulièrement en conditions pluviales. Ceci pénalise fortement le rendement et ses composantes ainsi que la qualité de la production.

Une étude réalisée par Hamal *et al.,* (1994) a montré que la compétition des adventices au début du cycle entraîne les plus grandes pertes de rendement. Ainsi, si aucun désherbage n'est réalisé après le début tallage, les pertes de rendement peuvent atteindre 73%. Ce taux de pertes diminue au fur et mesure que les adventices apparaissent tardivement (Figure 6).

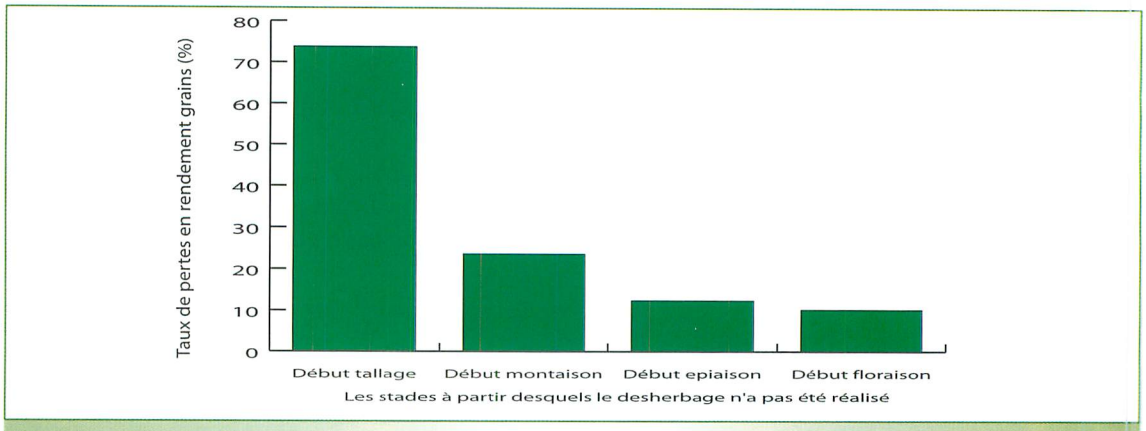


Figure 6 : Stade d'application et efficacité des herbicides (Hamal *et al.,* modifié).

Selon les mêmes auteurs, les périodes critiques de compétition des mauvaises herbes vis-à-vis du blé sont présentées sur le tableau 6.

Les conditions climatiques et édaphiques d'application des herbicides

Les conditions climatiques et édaphiques au moment du désherbage sont d'une importance majeure pour la réussite du traitement. En effet, les matières actives racinaires et foliaires exigent une certaine humidité de l'air et du sol pour être plus efficientes. Ainsi, les conditions climatiques, au moment de la période optimale de désherbage sont à prendre en compte pour choisir l'herbicide et adapter la dose. Car, l'efficacité d'un désherbage dépend des conditions d'avant, pendant et après le traitement :

Tableau 6 : Seuil de tolérance des pertes de rendement du blé dur (Hamal *et al.*, 1994).

Seuil de tolérance des pertes de rendement	Période pendant laquelle la culture doit être maintenue propre
5%	Deux feuilles - floraison
10%	Début montaison - floraison
15%	Montaison - épiaison

› Avant le traitement, des températures froides ou chaudes, des déficits hydriques du sol sont autant d'éléments qui empêchent de prévoir tout traitement herbicide.

› Pendant le traitement, il est déconseillé de traiter par temps pluvieux ou en présence de vent. Par temps très sec, il existe de gros risques de perte du produit par dessiccation, en plus de la résistance des plantules au traitement. Pour les sols ayant une teneur élevée en argile et en matière organique, la matière active des herbicides racinaires se retrouve relativement bloquée et l'efficacité des produits est réduite (Jouy, 1993). Alors que les sols à très faible teneur en argile ne fixent pas les matières actives et permettent ainsi une disponibilité trop importante pour les plantes, ce qui peut entraîner des problèmes de phytotoxicité.

› Après le traitement, des chutes de pluies dans les heures qui suivent l'application de l'herbicide, constituent un facteur d'échec du traitement. Aussi, il faut se renseigner sur les prévisions météorologiques avant toute application du traitement.

Les techniques d'application des herbicides

La technique d'application des herbicides est primordiale pour la réussite du traitement. Toute erreur de manipulation peut être fatale pour la culture.

Dans ce sens, il faut raisonner le désherbage de façon à obtenir un équilibre optimal "**Coût - Efficacité - Sécurité**".

Pour cela, il faut répondre à plusieurs questions liées à l'intérêt du désherbage :

› Est-il utile de désherber ? Oui, si les mauvaises herbes sont présentes.
› Quelle est la meilleure période de désherbage ? Intervenir dès qu'il est possible de reconnaître les adventices et avant qu'elles ne concurrencent la culture.
› Quel est le produit le mieux adapté ? Choisir le produit adéquat en fonction de la flore adventice présente dans la culture.
› Quelle est la dose à appliquer ? Elle dépend de la nature de l'adventice, de sa densité, de son stade et du produit utilisé ;
› Quel sera le coût du désherbage ? Profiter de la diversité des produits disponibles pour détruire les adventices au moindre coût.



Comment désherber ?

Après avoir répondu à toutes ces questions et une fois que la décision de désherber est prise, il faut passer par plusieurs étapes :

- Préparation de l'équipement : pour les céréales, deux types de pulvérisateurs :
  - pulvérisateur tracté ou porté ;
  - pulvérisateur à dos.

Le pulvérisateur porté comprend : une cuve ou réservoir, une pompe hydraulique à piston et membrane, un agitateur hydraulique, un régulateur de pression et une rampe avec les buses.

La réussite de l'opération dépend de la qualité des équipements qui doivent être en bon état de fonctionnement, nettoyés et plus particulièrement les buses afin d'éviter le surdosage (phytotoxicité) ou le sous dosage (peu efficace) pour le contrôle des mauvaises herbes.

- Dose d'application : la dose par hectare est inscrite sur l'étiquette de l'emballage. Il est possible de trouver uniquement la concentration de la matière active.

  - Exemple : un produit herbicide contient :

    - 80% de la matière active (Z).
    - 20% de la matière inerte.
    - La dose recommandée (D) est de 4 litres de matière active par hectare.
    - Donc, la quantité (Q) d'herbicide à appliquer est de :

$$Q = D / Z, \text{ soit } 4/ 0.8 = 5 \text{ l/ha}$$

- Réglage du pulvérisateur : il doit être bien calibré, car la réussite du désherbage signifie l'application du produit à la dose désirée pour éviter les pertes, les surdosages, les sous dosages et les surcoûts.

La quantité de bouillie pulvérisée dépend de plusieurs paramètres :

- la vitesse du vent ;
- le type de buses ;
- la distance entre les buses ;
- la pression de la pompe.

Comme il a été précisé auparavant, les buses doivent être bien nettoyées pour qu'elles pulvérisent toutes la même quantité du désherbant. La différence ne doit pas dépasser 10%. De préférence effectuer l'opération de calibration en bordure de la parcelle à traiter.

La procédure la plus simple est de mesurer le volume délivré sur une surface donnée.

- Surface d'essai = SE = largeur de la rampe (L) x Distance parcourue (D)
- Q = Quantité pulvérisée sur la surface d'essai (l)
- Donc le volume (V) par hectare sera donné par la formule suivante :

$$\text{Volume de bouillie l/ha} = \frac{Q\ (l) \times 1000\ \ (m2/ha)}{SE\ (m^2)}$$

- Application du désherbant, avant d'entamer l'opération :

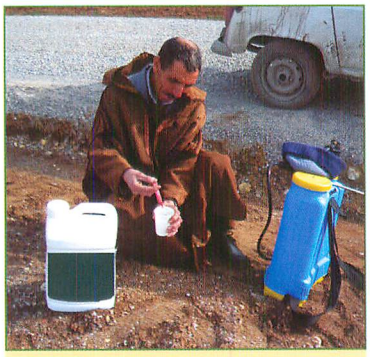
- vérifier les buses ;
- remplir la cuve d'eau et marquer le niveau de l'eau ;
- délimiter la distance à parcourir (200 m) ;
- tourner la prise de force (540 tours/mn) ;
- régler la pression (2 à 3 bars) ;
- établir la vitesse d'avancement (6 à 8 Km/h) ;
- pulvériser sur la surface d'essai délimitée.



Vérification et entretien des buses.



Réglage du jet des buses.

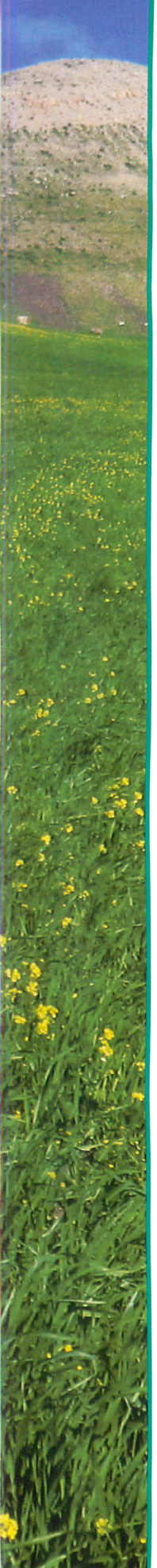


Pulvérisateur à dos.

Photos : ITGC, Tiaret et Sétif.

Certaines précautions sont nécessaires à prendre pour réussir une bonne pulvérisation des herbicides (Tanji, 1994) :

- En cas d'achat de nouveau matériel, choisir les buses appropriées ;
- Pour l'entretien, vérifier l'état des buses : les buses bouchées doivent être débouchées et les buses usées remplacées ;
- Vérifier le débit des buses avec de l'eau : si la différence des quantités d'eau débitées par chaque buse est supérieure à 10%, il serait nécessaire de remplacer les buses défaillantes.



Références

Aboudrar A., Bouaziz A., Chekli H., 2000. Effet de différentes séquences d'installation du blé tendre sur la flore adventice et impact du désherbage sur le rendement et l'efficience de l'utilisation de l'eau. In : Proceedings Journée Nationale sur le Désherbage des Céréales, AMM, Settat, 23 novembre 2000, pp : 53-64.

Bouchenak F., 1981. Etude phytosociologique de certains groupements de mauvaises herbes dans la plaine de la Mitidja (Algérie septentrionale). Thèse de magister en sciences agronomiques. INA El Harrach. Alger. 104 p.

Bouhache M., Rzozi S.B., Taleb A., Sakhi M., 2000. Nécessité de désherbage précoce des céréales pour la valorisation des inputs. In : Proceedings Journée Nationale sur le Désherbage des Céréales, AMM, Settat, 23 novembre 2000, pp : 93-98.

Haffaf A., Hamou M., 2003. Etude des différentes méthodes de lutte contre le brome. Céréaliculture. Revue technique et scientifique de l'institut technique des grandes cultures. N° 39. ITGC – MADR. 38-44 p.

Hamadache A., 1988. Etude de la période de compétition maximale des mauvaises herbes vis-à-vis du blé dur waha en zone subhumide. Céréaliculture. Revue technique et scientifique de l'institut technique des grandes cultures. N° 20. ITGC. 10-14 p.

Hamadache A., 1995. Les mauvaises herbes des grandes cultures (biologie, écologie, moyens de lutte). Institut technique des grandes cultures. Ministère de l'agriculture. 40 p.

Hamal A., Rzozi S.B., Bouhache M., 1994. Période critique de compétition entre les mauvaises herbes et le blé dur dans la région du Sais, Maroc. Actes de la conférence sur les acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. INRA. MIAC. 216 – 226.

Jouy L., 1993. Désherbage : économiser sans dégrader le patrimoine. Cutlivar nÞ342 : 24-25.

Makhlouf M., Hamadache A., Harkati N., 2002. Effets de la date et de l'outil de travail du sol sur le comportement des bromes (*Bromus* sp.) et le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la région de Sétif. Céréaliculture. Revue technique et scientifique de l'institut technique des grandes cultures. n° 37. ITGC-MADR. 24-29 p.

Ould Said H., 2004. Influence de l'époque du travail de la jachère et du type d'outils dans l'amélioration du rendement de blé. Céréaliculture. 41. 27-33

Tanji A., 1986. Situation actuelle du désherbage des grandes cultures dans les zones arides et semi-arides du Maroc occidental. Journée du désherbage au Maroc, A.M.M et MARA ed., Rabat. 9p.

Tanji A., 1994. Calibrer le pulvérisateur à dos. Guide du développeur en Aridoculture. n°7, Fiche d'information agronomique et socio-économique du Centre Aridoculture de Settat. Maroc.

Tanji A., 1996a. Effet de la variété, de la densité de semis et du metribuzine sur le blé tendre et le brome raide. Rapport d'activité annuel 1995/96. Centre régional de la recherche agronomique de Settat. Aridoculture. INRA Maroc. 139-142.

Tanji A., 1996b. Effet de la variété, de la densité de semis et du metribuzine sur le blé dur et le brome raide. Rapport d'activité annuel 1995/96. Centre régional de la recherche agronomique de Settat. Aridoculture. INRA Maroc. 143-146.

Tanji A., 1996c. Effet de la variété, de la densité de semis et du metribuzine sur l'orge et le brome raide. Rapport d'activité annuel 1995/96. Centre régional de la recherche agronomique de Settat. Aridoculture. INRA Maroc. 147-150.

Tanji A., 1999. Production de semences par les adventices dans les champs de blé et d'orge en milieu semi-aride marocain. Al Awamia, 99 : 9-18.

Tanji A., 2000. Mauvaises herbes du blé et de l'orge dans le périmètre du Tadla. Al Awamia, 102 : 49- 57.

Tanji A., 2002. Synthèse de 117 essais de désherbage chimique du blé dur réalisés au Maroc entre 1970 et 2001. Al Awamia, 106 : 11 – 38

Tanji A., Karrou M., 1993. Désherbage des céréales au Maroc. In : Journée d'information et d'étude, La recherche sur les céréales d'automne. MARA-INRA ed. Rabat le 13 décembre 1993. pp: 27-38.

Tanji A., Nassif F., 1999. Semences d'adventices et autres impuretés dans les céréales semées par les agriculteurs dans la province de Settat. Al Awamia, 100: 19-32.

Tanji A., Karrou M., El Mourid M., 1987. Effect of weed on yield and water use efficiency of wheat under semi-arid conditions of Morocco. Rachis, vol 6, n°2: 36-39.

Tanji A., Zimdahl R.L., Westra P., 1997. The competitive ability of wheat (*Triticum aestivum*) compared to rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) and cowcockle (*Vaccaria hispanica*). Weed Science, 45: 481-487.

Zitoune B., 1985. Etude des différentes méthodes de lutte contre les mauvaises herbes en culture de blé tendre en Mitidja. Influence sur le comportement des espèces adventices et de la culture. Thèse d'ingéniorat en agronomie. INA El Harrach. Alger. 73 p.



CHAPITRE IX Le raisonnement de la fertilisation minérale

La nutrition minérale est assurée par tous les éléments fertilisants qui sont divisés en trois groupes : les éléments fertilisants majeurs (azote, phosphore et potassium), les éléments fertilisants secondaires (soufre, calcium, magnésium) et les oligoéléments (fer, molybdène, bore, zinc, cuivre, manganèse, cobalt, vanadium, silicium).

Les éléments nutritifs utilisés par les plantes proviennent essentiellement de (Bockman *et al.*, 1990) :

- la libération d'éléments issus des réserves du sol ;
- la décomposition des débris de végétaux ;
- la fumure organique ;
- engrais minéraux ;
- la fixation biologique de l'azote ;
- dépôts aériens.

Les besoins des cultures en éléments fertilisants sont les quantités nécessaires qui leur permettent d'assurer leur croissance et d'exprimer leur potentiel de productivité pour une zone agro-climatique donnée. Ces besoins dépendent de plusieurs facteurs et sont variables en fonction des espèces, des variétés, du type de sol, du système de culture et du climat.

Pour une croissance optimale, les substances nutritives doivent être disponibles :

- en solution dans l'eau du sol ;
- en quantité appropriée et équilibrée ;
- à des périodes bien précises.

Les céréales ont besoin de trouver dans le sol, tout au long de leur cycle, les quantités d'éléments minéraux qui leur sont nécessaires à la croissance. Le sol fournit une partie de ces éléments, mais les fournitures par le sol sont presque toujours insuffisantes et doivent être complétées par des apports, en particulier en ce qui concerne l'azote, le phosphore et le potassium.

Les besoins du blé en éléments fertilisants sont compris entre 2.8 et 3.2 kg d'azote, 1 et 1.6 kg de P_2O_5, 3 et 4.8 kg de K_2O par quintal de production (grain + paille) (Benaouda et Karrou, 1994). En terme de grain, les besoins du blé tendre par quintal récolté sont de l'ordre de 2 à 3 kg d'azote, 1.2 à 1.5 kg de phosphore



et 1.5 à 2 kg de potassium (Laloux *et al.*, 1980). Pour les autres espèces, Gate (1995) a mentionné que les besoins en azote pour un quintal de grain récolté sont égaux à 2.4 kg pour l'orge et 3.5 kg pour le blé dur.

Lorsque les besoins en éléments nutritifs ne sont pas satisfaits, des signes de carence apparaissent sur les plantes.

Les objectifs de la fertilisation

La fertilisation minérale doit permettre l'obtention d'un(e) :

- rendement très proche de l'optimum économique de production ;
- production ayant une bonne qualité technologique ;
- culture valorisant au mieux les disponibilités en fertilisants (sol et apports) et donc respectueuse de l'environnement.

L e raisonnement de la fertilisation

Le terme fertilisation regroupe toutes les actions réalisées sur le sol afin d'améliorer sa fertilité et donc sa productivité. Cependant, la fertilisation désigne surtout les apports d'engrais et de fumier.

Pour atteindre les meilleurs rendements, il faut satisfaire les besoins des cultures en éléments fertilisants par des apports d'engrais en quantités suffisantes et au moment opportun (El Gharous *et al.*, 1993). Une bonne gestion de la fertilisation minérale est une étape importante de la conduite culturale pour améliorer le rendement et maximiser les gains à l'hectare. La dose totale de l'engrais à apporter doit fournir la différence entre les besoins de la culture et la quantité disponible de l'élément dans le sol.

Par ailleurs, l'intégration de l'application des engrais dans un ensemble de bonnes pratiques agricoles permet de subvenir aux besoins des plantes en éléments nutritifs, en quantités suffisantes et dans des proportions équilibrées, sous des formes assimilables et au moment où les plantes manifestent leur besoin avec l'importance du respect des conditions de culture régionales tel que le climat, le type de sol, la pratique de l'irrigation, les variétés, ...etc. Les meilleures recommandations pour chaque région devraient être déterminées en collaboration avec les centres et stations expérimentales de recherche locaux et régionaux.

En général, toute recommandation en matière de fertilisation ne peut se faire qu'après analyse du sol. En effet, l'analyse de sol est primordiale afin de déterminer les quantités disponibles en éléments minéraux dans le sol et calculer les apports nécessaires par espèce. Les méthodes d'analyses doivent être calibrées et adaptées aux types de sols des régions.

L'analyse du sol

Les analyses de sol constituent un outil de suivi de la fertilité chimique de la parcelle. Elles permettent de diagnostiquer d'éventuels problèmes de fertilité du sol. D'autre part, la texture et la structure du sol sont importantes pour la fertilité des sols. Ainsi, des sols à texture grossière (ou sableuse) ne retiennent pas bien l'eau et les éléments nutritifs, par contre, les sols argileux stockent bien l'eau et les éléments nutritifs mais peuvent présenter de mauvaises qualités de drainage et d'aération.

Le choix de la zone de prélèvement des échantillons

Pour les céréales, la période de prélèvement des échantillons du sol la plus recommandée s'étale du mois d'août au début octobre, avant les premières pluies.

Le prélèvement de l'échantillon de sol à analyser doit être représentatif et effectué à l'intérieur d'une zone homogène (type de sol, précédent cultural) de la parcelle.

Etant donné que la plupart des parcelles sont constituées de plusieurs types de sols, il faut :

- Pour une grande parcelle (plus de 5 hectares) sur laquelle existe plusieurs types de sols, faire un prélèvement par type de sol.
- Pour une petite parcelle (moins de 5 hectares), choisir le type de sol le plus représentatif de la surface à cultiver.

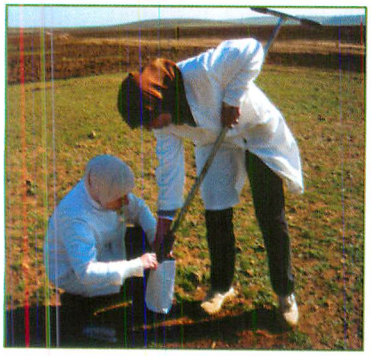
L'échantillonnage est une opération primordiale en analyse de sol. Il existe deux méthodes d'échantillonnage (El Gharous et El Mejahed, 1999) : l'échantillonnage au hasard et celui en zigzag. Dans le cas de l'échantillonnage au hasard, le nombre d'échantillons à prélever est fixé. Dans le cas de l'échantillonnage en zigzag, le premier point de prélèvement constitue le point de repère pour les autres.

Comment réaliser le prélèvement de sol ?

Il faut disposer d'une tarière ou pelle, d'un sachet en plastique noir ou de boites et d'un récipient pour mélanger l'échantillon de sol à prélever.

Classiquement les prélèvements se font sur l'épaisseur de la couche labourée (20 à 25 cm).

- Il faut effectuer au moins 10 à 15 carottes par zone homogène ;
- Les échantillons de sol prélevés par zone homogène sont déposés et mélangés soigneusement dans un récipient propre ;
- A partir du mélange, on retire 500 g de sol qu'on dépose dans un sachet en plastique avec une étiquette portant l'identité de l'agriculteur et les informations nécessaires sur la parcelle (Nom, adresse, identification de la parcelle, culture envisagée, précédent cultural et date d'échantillonnage).





Photos : ITGC, Tiaret.





Il est déconseillé de faire des prélèvements :

- en bordure des champs ;
- sur d'anciens tas de fumier ;
- sur des zones de passage des animaux ;
- sur les zones mal drainées.

La fertilisation azotée

L'azote est indispensable à la croissance et au développement des plantes. Il est à la base de la synthèse des acides aminés (composantes des protéines) et des acides nucléiques (la base de l'information génétique). Dans le sol, l'azote se trouve sous forme organique (humus) ou minérale (ammonium $NH^{+}4$, nitrate $NO^{-}3$). L'azote organique doit être transformé par les micro-organismes du sol en nitrates qui sont utilisables par les plantes ; c'est ce qu'on appelle la minéralisation.

Les besoins en azote d'une culture de céréale varient au cours du cycle de la culture en fonction des différentes phases de développement. Plusieurs auteurs (Monneveux, 1992 ; Gate, 1995 ; Mossedaq et Moughli, 1999) ont pu évalué les besoins en alimentation azotée des céréales sur différentes phases :

- **Phase levée-début tallage** : Durant cette phase, les besoins en azote sont faibles. Les apports azotés au semis contribuent à augmenter la vigueur des plantes pendant cette phase ;

- **Phase début tallage-début montaison** : la mise à la disposition des plantes de doses optimales d'azote pendant cette phase favorise l'émission et la croissance des talles ;

- **Phase début montaison-floraison** : l'activité intense de croissance (élongation des entre-nœuds et accumulation de la biomasse) se traduit par une forte consommation d'azote. L'absorption azotée atteint son maximum à la fin de cette phase (Zimaoui, 1996) ;

- **Phase floraison-début maturation** : l'absorption se ralentit du fait de l'arrêt de croissance des parties végétatives. L'absorption de l'azote à partir des fournitures du sol diminue progressivement, et on assiste à une translocation des composés azotés protéiques depuis les organes végétatifs vers les grains ;

- **Phase maturation et sénescence des parties végétatives** : pertes d'eau, voire de matière sèche et de matière azotée.

A travers cette dernière étude de l'absorption azotée au cours du cycle de la culture, il se dégage que la **phase tallage - floraison** est la plus importante.

Les apports azotés

La fertilisation azotée doit être raisonnée en fonction de la disponibilité hydrique, du potentiel de production du sol, de la variété utilisée, du précédent cultural, de la richesse du sol en cet élément et de l'objectif de rendement. La plupart des études réalisées au Maghreb ont révélé une déficience des sols en azote d'où la nécessité d'apports d'engrais azotés pour satisfaire les besoins des cultures et en particulier ceux des céréales. L'apport peut être effectué mécaniquement avec un épandeur d'engrais ou un semoir combiné (au moment du semis) et manuellement dans certaines conditions.



Remplissage de l'épandeur.



Epandage mécanique d'engrais de couverture (azote).



Fertilisation azotée manuelle.

Photos : ITGC, Khemis Miliana.

Le raisonnement de cette fertilisation a pour objectif d'éviter tout excès ou déficit des apports qui pourrait pénaliser les rendements.

Déterminer la quantité d'azote à apporter

En matière de fertilisation azotée, la dose à apporter dépend des conditions de conduite de la culture (en irrigué ou pluvial), du précédent cultural et de la variété cultivée. Une méthode estimative simplifiée permet de calculer la dose à apporter en tenant compte du bilan prévisionnel qui correspond à la différence entre les besoins de la culture en éléments fertilisants et la quantité d'azote dans le sol selon la formule suivante :

Dose d'engrais = Besoins de la culture - Fournitures d'azote par le sol

- Les fournitures d'azote par le sol sont déterminées par les résultats des analyses du sol.
- Les besoins du blé en azote varient de 3 à 3.5 kg par quintal de grain récolté.
- Les besoins de l'orge en azote varient de 2.5 à 3.0 kg par quintal de grain récolté.

Cette formule de détermination de la dose d'engrais à apporter est valable aussi pour le phosphore et le potassium. Elle préconise donc de raisonner la fumure à partir d'une analyse de sol et d'une évaluation du potentiel de rendement de l'espèce dans la zone. Ce rendement peut être évalué par la moyenne des rendements observés au cours des dernières années dans la même situation.

Les fournitures azotées du sol sont dues à la minéralisation de la matière organique, mais aussi aux résidus de la culture précédente.

Sachant que le rendement des céréales varie en fonction des conditions agro-climatiques de chaque région, nous avons établi en fonction des potentialités de chaque région, les besoins prévisionnels en azote (Tableau 1).

L'efficacité d'emploi des engrais azotés est liée aux conditions pluviométriques. Ainsi, le raisonnement des apports azotés est fonction des précipitations (Jouve, 1993) :



Tableau 1 : Les besoins azotés du blé et de l'orge établis par zone agro-climatique en fonction du rendement prévisionnel de la culture dans le Maghreb.

Zone agro climatique	Rendement en grain prévisionnel (qx/ha)	Besoins en azote (kg/ha)	
		Blé	Orge
Semi-aride	10 20 30	30 - 35 60 - 70 90 - 105	25 - 30 50 - 60 75 - 90
Humide et Sub-humide	40 50	120 - 140 150 - 175	100 - 120 125 - 150
Irrigué	60 70	180 - 210 210 - 245	150 - 180 175 - 210

- **En zone aride**, indépendamment des effets négatifs de l'azote sur le rendement en grain, la faiblesse des précipitations et leur forte fluctuation rendent peu efficace sur le plan agronomique et non rentable sur le plan économique, l'apport d'azote aux céréales.

- **En zone semi-aride**, la réponse des céréales à l'apport d'azote généralement positive, autorise l'emploi de doses modérées (30 à 90 unités par hectare) fractionnées. Des doses élevées n'améliorent pas d'une façon substantielle les rendements. En effet, au delà des doses préconisées, les rendements tendent à se stabiliser (Figure 1).

- **Dans les zones humides et sub-humides**, les apports azotés ont un effet très positif sur les rendements. Des doses d'azote de 120 à 150 unités fractionnées sont nécessaires pour atteindre des rendements supérieurs à 40 qx/ha.

- **Dans les zones irriguées** où les rendements obtenus peuvent être proches du potentiel, l'apport d'azote fractionné a pour objectif de maximiser toutes les composantes du rendement.

Les doses d'azote recommandées sont réduites dans le cas des parcelles ayant reçu du fumier ou ayant servi précédemment à la culture d'une légumineuse.

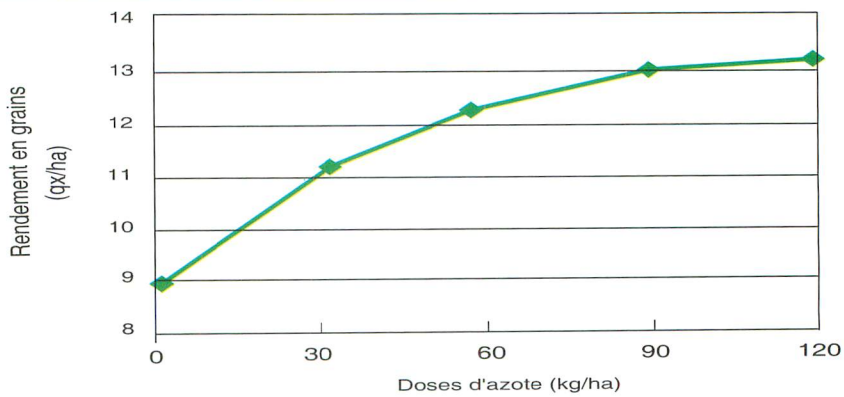


Figure 1 : Effet de la dose d'azote sur le rendement en grain du blé tendre en zone semi-aride au Maroc (El Mejahed, 1993).

Les dates de l'apport azoté

L'étude des besoins des céréales en azote au cours du cycle de la culture conduit à fractionner les apports azotés. Ce fractionnement permet d'éviter des apports d'azote importants, de couvrir les besoins de la plante en cours de son cycle et de minimiser les risques de perte par lessivage. En effet, le raisonnement de ces apports permet à la plante d'utiliser au maximum les engrais azotés apportés. Pour cela, les apports d'engrais azotés doivent être effectués en fonction des stades de développement de la culture et non pas par rapport à des dates calendaires.

- **Dans les zones semi-arides**, les principales dates d'apport de l'azote se situent au semis et pendant le tallage (engrais de couverture). Ces apports azotés au tallage stimulent le tallage pour obtenir un nombre suffisant d'épis.

- **Dans les zones humides et sub-humides**, les apports azotés sont fractionnés au semis et au tallage, et si les conditions pluviométriques le permettent un troisième apport est réalisé à la montaison. En effet, les apports d'azote au stade B (apparition du premier entre-nœud) sont très importants car ils favorisent la "montée" d'un nombre maximum d'épis et améliorent le rendement.

- **En irrigué**, il a été préconisé d'apporter 180 à 200 unités d'azote par hectare en trois apports : 1/3 au semis, 1/3 au tallage et 1/3 en montaison tout en tenant compte des résultats des analyses du sol. Une étude de synthèse réalisée par Benkerroum (1996), a permis de dégager que le stade A et le stade B sont les principaux stades d'apports azotés dans différents périmètres irrigués du Maroc (Tableau 2). Dans le périmètre irrigué de Tadla, Khatibi (1993) a obtenu le rendement le plus élevé avec une dose d'azote de 160 kg/ha, fractionnée en 2 apports (2/3 au stade A et 1/3 au stade B) avec la variété Marzak.

ATTENTION

Une surdose d'azote peut provoquer la verse des céréales et la chute des rendements







Tableau 2 : Doses optimales d'azote pour le blé et leurs fractionnements pour différentes régions irriguées du Maroc (Benkerroum, 1996).

Périmètres	Dose (kg N/ha)	Fractionnement			
		Semis	Stade A	Stade B	Anthèse
Gharb	120	-	1/3 1/3	1/3 2/3	1/3 -
Tadla	120 160	- -	1 1/2	- 1/2	- -
Doukkala	120	-	1/3	2/3	-
Basse Moulouya	120	-	2/3	1/3	-

Les apports tardifs ne sont à envisager que dans deux cas (Monneveux, 1992) :

- fractionnement du deuxième apport (permet d'améliorer la résistance à la verse et l'état sanitaire) ;
- enrichissement du grain en protéines (réduction du mitadinage du blé dur).

Généralement le résultat des apports tardifs est très incertain : l'assimilation étant limitée par la faible humidité du sol et la faible pluviométrie à cette époque.

La fertilisation azotée et son effet sur le rendement

La plus grande partie des travaux réalisés sur la fertilisation azotée a mentionné un effet significatif de la dose d'azote sur le rendement en grain du blé et de l'orge (Mossedaq, 1990 ; Khatibi, 1993 ; Benihya, 1993 ; Mekli et Ben Frej, 1999 ; Mossedaq et Moughli, 1999 ; Halilat et Dogar, 2000). Ces effets de la fertilisation azotée se répercutent particulièrement sur les composantes du rendement. Le nombre de grains/m^2 (NGR/m^2) est la composante la plus dépendante de la fertilisation azotée. Cette composante du rendement est déterminée par le nombre d'épis/m^2 et le nombre de grains/épi.

Le nombre d'épis/m^2 est fonction du tallage herbacé et du coefficient du tallage épi. Le tallage herbacé est largement amélioré en fonction de la fertilisation azotée. En effet, dès le début tallage, l'azote doit être disponible en quantité suffisante pour les plantes. Le manque d'azote à ce stade risque d'entraîner un nombre de talles faible par unité de surface, ce qui va se répercuter par la suite sur le nombre d'épis/m^2. D'autre part, si le nombre de talles herbacées formé pendant la phase A-B est élevé, on aura plus de chance d'avoir un grand nombre d'entre-elles évoluer en épis. Ainsi, le coefficient de tallage épis qui dépend de la fertilité des talles, est largement dépendant de la disponibilité en azote pendant cette phase. En fait, c'est à partir de cette dernière phase, que la croissance accélérée des tiges et des feuilles exige un besoin accru en azote et un manque d'azote à ce stade risque de réduire le nombre d'épillets fertiles chez toutes les espèces et plus particulièrement les orges (Gate, 1995). De plus, des carences en azote aux alentours de la floraison provoquent des avortements de fleurs (Jeuffroy, 1994 ; Gate, 1995), ce qui réduit le nombre de grains par épi. Ainsi, il s'avère que des carences azotées avant le début de la floraison réduisent significativement le nombre de grains/m^2 (Jeuffroy et Bouchard, 1999).

Le poids de mille grains (PMG) dépend du remplissage des grains qui est assuré par la remobilisation des assimilats à partir des organes végétatifs. Cette remobilisation est assurée en grande partie par la dernière feuille. Ainsi, l'azote apporté avant la floraison, joue donc un rôle important dans la durée et l'intensité photosynthétique des dernières feuilles, ce qui favorisera par la suite le remplissage des grains. Cependant, lorsque les doses d'azotes deviennent très importantes, le PMG tant à diminuer (Halilat et Dogar, 2000). En effet, des doses élevées d'azote apportées pendant la phase végétative, favorisent l'élaboration d'une grande quantité de matière sèche et du nombre de grains/m^2 et créent une forte compétition pour les assimilats, ce qui va se répercuter sur le remplissage des grains et de ce fait réduire le PMG.

La fertilisation phospho-potassique

Le phosphore et le potassium sont des éléments indispensables dans la nutrition minérale des céréales. Les besoins de la plante en phosphore et en potassium évoluent dans le même sens que ceux de l'azote, mais en quantités plus faibles.

Le raisonnement de la fertilisation phospho-potassique tient compte du niveau de la richesse des sols en ces éléments et des restitutions des résidus de la culture précédente. Chez les espèces cultivées pour les grains (blé, orge, colza, maïs, ...etc), l'essentiel du phosphore est exporté avec le grain. Les restitutions en phosphore par les résidus des récoltes sont très faibles. Par contre, les tiges et les feuilles, sont riches en potassium, leur décomposition libère une quantité de potassium importante et disponible pour la culture suivante (Le Souder, 1993). En outre, d'autres recherches menées sur plusieurs années ont montré que la disponibilité du phosphore et du potassium dans le sol ne s'altérait que très lentement. Ainsi, dans des sols bien pourvus en phosphore et en potasse, il est possible de se passer des apports phospho-potassiques, à moins que les cultures dans la rotation ne soient très exigeantes en ces éléments (exemple : la betterave).

La fertilisation phosphatée

Le phosphore est le deuxième élément après l'azote qui limite la production des céréales dans le Maghreb. Le phosphore intervient dans de nombreux métabolismes physiologiques de la plante : fixateur et transporteur dans le cycle de la photosynthèse, synthèse des protéines, ...etc. Au niveau du cycle de la culture, le phosphore favorise la croissance des plantes, le développement des racines et la résistance à la verse.

Les apports d'engrais phosphatés

En raison de la faible mobilité de l'ion PO_4^{3-} dans le sol, les engrais phosphatés sont enfouis au niveau du sol avant ou au moment du semis.

Les quantités d'engrais phosphatés à apporter

Elles peuvent être calculées par la méthode simplifiée des bilans :

Dose d'engrais = Besoins de la culture - Fournitures de phosphore par le sol

- Les fournitures de phosphore par le sol sont déterminées par les résultats des analyses du sol.
- Les besoins du blé et de l'orge en phosphore varient 1.2 à 1.5 kg par quintal de grain récolté.





Des études réalisées dans les périmètres irrigués du Gharb et de Tadla au Maroc et en zones semi-arides des Hauts-Plateaux de Tiaret en Algérie, ont montré que lorsque le sol présente des teneurs en phosphore assimilable supérieures à 12 ppm, l'apport des engrais phosphatés n'est plus justifié (Moughli, 1991, Anonyme, 1991). Les recherches entamées en zones arides et semi-arides du Maroc ont montré que les seuils critiques pour l'apport du phosphore varient de 5 à 8 ppm (Farihane, 1996). De plus, les résultats de travaux de recherche menés en Tunisie, ont prouvé l'efficacité de l'apport phosphopotassique sur l'accroissement des rendements en grain, de la biomasse et de la qualité des grains du blé dur conduit en intensif ainsi que sur l'amélioration de la résistance au stress thermique de la culture (Daly Aissa et Mhiri, 2002).

Tableau 3 : Les besoins en phosphore du blé établis par zone agro-climatique en fonction du rendement prévisionnel.

Zone agro-climatique	Rendement en grain prévisionnel (qx/ha)	Besoins en phosphore (kg/ha)	
		Blé	Orge
Semi-aride	10 20 30	12 - 15 24 - 30 36 - 45	12 - 15 24 - 30 36 - 45
Humide et Sub-humide	40 50	48 - 60 60 - 75	48 - 60 60 - 75
Irrigué	60 70	72 - 90 84 - 105	72 - 90 84 - 105

La fertilisation potassique

Le potassium est l'un des trois principaux éléments nutritifs des céréales. Il joue un rôle primordial dans de nombreux processus physiologiques : absorption des cations, régulation osmotique, photosynthèse et activité enzymatique. Une bonne nutrition potassique améliore la résistance des cultures à la verse, aux maladies et à la sécheresse. Le potassium existe au niveau du sol sous forme minérale. Il provient soit de la décomposition de la matière organique et des minéraux du sol, soit des engrais.

L'époque d'emploi des engrais potassiques

Les engrais potassiques sont des engrais de fond et leur apport se fait avant ou au moment du semis.

Les quantités de potasse à apporter

Les recherches menées sur la fertilisation potassique ont montré que la plupart des régions céréalières sont suffisamment pourvues en potassium, on peut citer les cas de Chaouia, Ouardigha et Saïs au Maroc et les Hauts-Plateaux de Tiaret et de Sétif en Algérie. Dans le cas des sols carencés en potassium, des apports d'entretien s'avèrent nécessaires.

La quantité de potasse à apporter peut être également calculée par la méthode simplifiée des bilans :

Dose d'engrais = Besoins de la culture - Fournitures de potassium par le sol

- Les fournitures de potassium par le sol sont déterminées par les résultats des analyses du sol ;
- Les besoins du blé en potassium varient 1.5 à 2.0 kg par quintal de grain récolté ;
- Les besoins de l'orge en potassium varient 2.0 à 2.25 kg par quintal de grain récolté.

Une étude réalisée dans la zone du Gharb, sur les sols Dehs ou Tirs ayant des teneurs en K_2O échangeable < 140 mg/Kg, a montré que l'apport du potassium pour la culture du blé n'est plus justifié (Badraoui *et al.*, 2001).

Le tableau, ci-dessous, résume les apports potassiques recommandés en fonction des zones agro-climatiques.

Tableau 4 : Les besoins en potasse du blé et de l'orge établis par zone agro-climatique en fonction du rendement prévisionnel.

Zone agro climatique	Rendement en grain prévisionnel (qx/ha)	Besoins en potasse (kg/ha)	
		Blé	Orge
Semi-aride	10 20 30	15 - 20 30 - 40 45 - 60	20 - 22 40 - 45 60 - 67
Humide et Sub-humide	40 50	60 - 80 75 - 100	80 - 90 100 - 112
Irrigué	60 70	90 - 120 105 - 140	120 - 135 140 - 157

Les principaux engrais commercialisés au Maghreb

On distingue deux types d'engrais : les engrais ne renfermant qu'un seul élément nutritif majeur appelés engrais simples, et ceux qui contiennent deux à trois éléments majeurs appelés engrais composés. Au sein des engrais composés, on distingue les engrais binaires (renfermant deux éléments majeurs) et les engrais ternaires (renfermant trois éléments majeurs).

Les engrais azotés simples

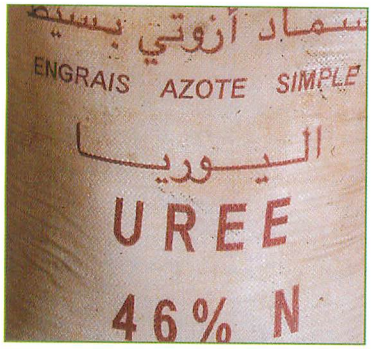
Les principaux engrais azotés sont : le nitrate d'ammonium ou ammonitrate, le sulfate d'ammonium et l'urée. Ces engrais sont aussi efficaces les uns que les autres, pourvus qu'ils soient utilisés de façon adéquate.

- le nitrate d'ammonium ou ammonitrate : Il est présenté sous la formule NH_4NO_3 et contient 33 à 34% d'azote. L'ammonitrate est un excellent engrais de couverture. Il a une action rapide par sa partie nitrique et une action plus soutenue par sa partie ammoniacale. Comme ce type d'engrais est hautement inflammable et explosif, il faut prendre des précautions pour l'entreposer, tout en évitant les endroits où il y a des risques d'incendies.

- le sulfate d'ammonium : utilisé comme engrais de fond, il se présente sous la formule NH_4SO_4 et contient 21% d'azote en plus de 23% de soufre. Il est sous forme de petits cristaux blancs, peu soluble et faiblement hygroscopique. L'action de cet engrais est lente et assez progressive. En plus de sa faible solubilité, il est nécessaire de l'enfouir au moment du labour ou du hersage. Grâce à sa grande stabilité chimique, le sulfate d'ammonium se conserve plus facilement.







- l'urée : NH_2-CO-NH_2, titrant 46% d'azote est l'un des principaux engrais azotés. Il est utilisé comme engrais de couverture, et représente l'engrais azoté le moins cher. L'inconvénient majeur à l'utilisation de l'urée est sa tendance à perdre l'ammoniac par volatilisation quand il est appliqué en surface. Aussi, il est déconseillé d'apporter l'urée sur un sol sec en période sèche. Le plus commode est de l'épandre l'urée lorsqu'on attend une chute de pluie. L'urée s'entrepose facilement et ne présente aucun risque d'explosion.

Les engrais phosphatés

Les teneurs en phosphore des engrais phosphatés sont exprimés en anhydride phosphorique (P_2O_5) qui contient 44% de phosphore (P). Pour convertir P_2O_5 en P et inversement, il suffit d'appliquer les formules suivantes :

$$\%P_2O_5 \times 0.44 = \% P$$
$$\%P \times 2.29 = \% P_2O_5$$

- le superphosphate simple : dose 18% de P_2O_5, contient également 12% de soufre et plus de 20% de calcium.

- le supertriplephosphate : est riche en phosphore et dose 45% de P_2O_5, contient généralement moins de calcium que le superphosphate simple et ne contient pas de soufre.

Les engrais potassiques

Les teneurs en potassium des engrais potassiques sont exprimées en oxyde de potassium (K_2O). Les principaux engrais potassiques sont le chlorure de potassium et le sulfate de potassium. La formule de conversion de la teneur du K_2O en K est la suivante :

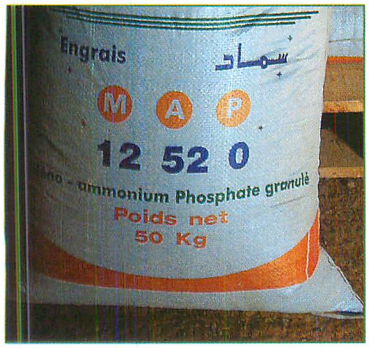
$$\% K_2O \times 0.83 = \% K$$

- le chlorure de potassium KCl : renferme 60% de K_2O, est soluble et moyennement hygroscopique.

- le sulfate de potassium K_2SO_4 : renferme 46 à 50% de K_2O et apporte 17% de Soufre.

Les engrais binaires

Les engrais binaires sont composés de deux éléments majeurs. Parmi ces types d'engrais utilisés en fertilisation de fond des céréales, on distingue :



- le diammonium phosphate (D.A.P), 18-46-0, est de formule $(NH_4)_2HPO_4$. C'est un engrais qui se présente sous forme de granulés, et convient surtout aux sols riches en potasse.

- l'ammonium sulfo-phosphate (ASP) : 19-38-0 : C'est un engrais qui convient aux sols riches en potassium. Il dose 19% d'azote sous forme ammoniacale et 38% de phosphore.

- le mono-ammoniaque phosphate (MAP) de formule $(NH_4)H_2PO_4$: 11-55-0. C'est un engrais plus riche en phosphore ($55\%P_2O_5$) que le DAP mais moins riche en azote.

Les engrais ternaires

Ces types d'engrais sont composés par les trois éléments majeurs NPK. Ils assurent la présence des trois éléments dans chaque granule, ce qui leur permet une répartition uniforme lors de chaque application. Du fait de la présence du phosphore et de la potasse, leur application est toujours recommandée en engrais de fond.

Comment calculer votre dose de fertilisants à partir des engrais commercialisés ?

Il est important de connaître la composition minérale pondérale d'un engrais pour pouvoir déterminer correctement les quantités d'éléments nutritifs à appliquer à l'hectare.

Les formules indiquées sur les sacs d'engrais représentent les teneurs de chaque élément pour 100 kg. On distingue les engrais simples qui ne contiennent qu'un seul élément et les engrais composés qui contiennent plus d'un élément.

Les sacs d'engrais se présentent sous forme de sacheries en matière plastique ayant une capacité de 50 kg. Les informations qui figurent sur le sac indiquent, généralement, en pourcentage les éléments nutritifs principaux dans l'ordre N - P_2O_5 - K_2O. L'étiquetage de l'engrais comprend aussi le poids du sac et le nom du fabriquant.

Par exemple, pour l'engrais 14 - 28 - 14, le premier chiffre indique la teneur en azote (N), le second celui en phosphore (P_2O_5) et le troisième celui en potasse (K_2O_5). Les informations sur le sac comprennent également le nom du fabriquant et du distributeur.

La dose d'engrais à appliquer à l'hectare dépend des besoins de la culture, des résultats d'analyse de sol et des types d'engrais disponibles. Sachant que la teneur des engrais est indiquée en pourcentage et que les engrais sont livrés dans des sacs de 50 kg, la méthode la plus pratique pour déterminer la quantité de chaque élément dans le sac est de diviser les valeurs des éléments indiqués par deux.





- Exemple :

Pour apporter une dose de 60 kg d'azote en couverture, combien de sacs d'urée (46%N) sont-ils nécessaires ?

- La première étape est de diviser 46 par 2, ce qui donne 23 (teneur de N par sac de 50 kg) ;
- Pour apporter les 60 kg d'azote, l'agriculteur a besoin d'acheter 3 sacs d'urée, ce qui fait environ 69 kg d'azote. Les 9 kg d'urée supplémentaires peuvent être retranchés de l'un des sacs ou bien 3 kg de chaque sac.

Si l'agriculteur est amené à appliquer comme engrais de fond 40 kg N, 40 kg P_2O_5 et 20 kg K_2O. Dans ce cas, il n'y a pas d'engrais ternaire qui correspond au rapport 2-2-1. L'option la plus simple pour l'agriculteur serait de combiner des engrais composés avec des engrais simples. Ainsi, la dose d'azote sera fractionnée et appliquée sous forme de deux types d'engrais.

Si le choix était porté sur un engrais ternaire et un engrais simple, l'agriculteur peut dans ce cas, acheter par exemple le 14-28-14 et le sulfate d'ammoniaque (SA), mais combien de sacs va-t-il acheter pour répondre aux doses recommandées pour chaque élément ?

- Un sac de 50 kg de type d'engrais 14-28-14 contient 7N-14P_2O_5-7K_2O ;
- Un sac de 50 kg de type d'engrais 21% (SA) contient 10,5N ;
- Le nombre de sacs de l'engrais ternaire serait basé sur les doses de phosphore et de potasse. Ainsi, pour appliquer 40 kg de P_2O_5 et 20 kg de K_2O, il faut :
  - 40 kg de P_2O_5/14 kg de P_2O_5 dans le sac = 2.9 sacs
  - 20 kg de K_2O_5/7 kg de K_2O_5 dans le sac = 2.9 sacs

Dans ce cas, l'agriculteur a besoin d'appliquer 3 sacs de l'engrais ternaire 14-28-14 pour satisfaire les besoins en P_2O_5 et en K_2O_5. Ces trois sacs vont également apporter 21 kg de N, le reliquat de l'azote à appliquer (19 kg de N) sera apporté sous forme de 2 sacs de sulfate d'ammoniaque (SA).

Comment réussir un bon épandage d'engrais ?

En dehors des engrais de fond qui sont enfouis au moment du semis, l'épandage des engrais de couverture est une étape importante de la fertilisation des céréales. Le respect des doses recommandées et leur répartition uniforme sur la parcelle sont les deux objectifs visés pour un bon épandage. Ainsi, pour réussir l'épandage des engrais, il faut tenir compte des conditions climatiques le jour de l'opération et du réglage de l'épandeur. Dans ce cas, certains conseils sont à retenir :

- Eviter l'épandage en présence de vent ;
- Vérifier le réglage du débit ;
- Respecter une vitesse d'avancement régulière ;
- Assurez vous que le plateau rotatif de l'épandeur est bien horizontal.

Les symptômes de carences du blé et de l'orge en azote, phosphore et potassium

Les symptômes de carence en azote

- Plantes chétives ;
- Décoloration des feuilles qui prennent une couleur jaunâtre du sommet vers la base ;
- Sénescence prématurée des feuilles.

Les symptômes de carence en phosphore

- Croissance ralentie et plantes chétives ;
- Les feuilles âgées sont vert foncé à rouge violet.

Les symptômes de carence en potassium

- Croissance ralentie ;
- Les bords des feuilles jaunissent, se dessèchent et meurent.

Références

Anonyme, 1991. Bilan des résultats des activités du projet de développement de la céréaliculture et de l'élevage dans la wilaya de Tiaret. Centre arabe pour l'étude des zones arides et des terres sèches. ACSAD/MAP. 1986-1991.

Badraoui M., Agbani M., Bouabid R., Zerouali M., 2001. Nouvelles normes pour mieux fertiliser le blé en irrigué dans le Gharb. Bulletin Transfert de Technologie en Agriculture, MADRPM/DERD, n°84 : 1-4.

Benaouda H., Karrou M., 1994. Installer les céréales d'automne. Guide du développeur en Aridoculture n°10. Service Recherche et Développement, INRA Settat. Dounia eds., Maroc. 2p.

Benihya B., 1993. Essais multilocaux pour l'établissement de références régionales de fertilisation azotée en irrigué. Mémoire de 3ème cycle. Option : Agronomie. IAV Hassan II, Rabat.

Benkerroum, A. 1996. Identification des acquis de recherche en matière de fertilisation minérale de quelques grandes cultures au Maroc. Mémoire de 3ème cycle IAV, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Dépt Production Végétale, Rabat (Ma). 118p.

Bockman O.C., Kaarstad O., Lie O.H., Richards I., 1990. Agriculture et fertilisation. Hydro ed. Norvège. 258p.

Daly Aissa A., Mhiri A., 2002. Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. Cahiers d'études et de recherches francophones/ Agricultures. Volume 11, Numéro 6, 391-7, Novembre-Décembre 2002, Notes de recherche.

El Gharouss M., El Mejahed K., 1999. Prélever des échantillons de sol. Guide du développeur en Aridoculture,fiche n° 1, INRA Settat ed., 2p.

El Gharous M., Azzaoui A., Ambri A., 1993. Fertilisation des Céréales et Analyse de sol. In : La recherche sur les Céréales d'Automne. Journée d'Information et d'Etude. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. INRA. Rabat 13 décembre 1993, pp : 39-44.





El Mejahed K., 1993. Effect of N on yield, N uptake and Water Use Efficiency of Wheat in Rotation Systems under Semiarid Conditions of Morocco. PhD Thesis, University of Nebraska, USA. 129p.

Farihane H., 1996. Acquis de la recherche agronomique dans le domaine de la production des céréales en milieux arides et semi-arides du Maroc Occidental. In : Combattre l'aridité au Maroc, recueil des publications de feu Hassan Farihane. M. El Mourid, F. Nassif, H. Benaouda, R. El Hafid eds. INRA, Maroc, pp : 9-11.

Gate P., 1995. Ecophysiologie du blé. Lavoisier TEC&DOC- ITCF ed. 429p.

Halilat T., Dogar M.A., 2000. Rôle de la fertilisation azotée et potassique sur blé en zones sahariennes. In : Actes du premier Symposium International sur la filière blé. OAIC Ed., Alger 7-9 Février 2000, pp : 231-234.

Jeuffroy M.H., 1994. Rôle de l'azote dans l'élaboration du rendement du blé. Compte rendu de la réunion scientifique du groupe céréale.

Jeuffroy M.H., Bouchard C., 1999. Intensity and duration of nitrogen deficiency on wheat grain number. Crop Science 39 : 1385-1393.

Jouve P., 1993. Adaptation des systèmes de production à l'aridité au Maroc et au Sahel. Volume I : Synthèse des travaux. Thèse de Doctorat, Université Paul Valery, Montpellier III. 188 p.

Khatibi M.; 1993. Elaboration de stratégies de conduite de la fertilisation azotée des blés en irrigué (cas de Tadla). Mémoire de 3ème cycle en agronomie. IAV Hassan II.

Laloux R., Falisse A., Poelaert J., 1980. Nutrition and fertilization of wheat. In : Wheat. Document CIBA-GEIGY Ltd., Basle, Switzerland. Pp : 19-24.

Le Souder C., 1993. Raisonner la fumure P et K. Cultivar, n°342, pp : 22-23.

MADRPM, 1999. Sécurisation de la production céréalière à 60 millions de quintaux. Bulletin de transfert de technologies en agriculture. MADRPM/DERD, n° 60 : 1 - 4

Mekli M., Ben Frej, S., 1999. Effets de différentes modalités de fractionnement de la fumure azotée sur le rendement du blé dur (*Triticum Durum* Desf.) et la qualité du grain et de la paille. Revue de l'INA Tunisie. Vol. 14 n° 1. pp : 189- 195.

Monneveux P., 1992. Croissance et Développement du blé. Document interne, 38p.

Mossedaq F., 1990. Nitrogen assimilation and remobilisation in relation to grain yield and protein in spring wheat. Ph.D Thesis, Colorado State University, USA

Mossedaq F. ; Moughli L., 1999. Fertilisation azotée des céréales : Cas des blés en bour et en irrigué. Bulletin de transfert de technologies en agriculture. MADRPM/DERD, n° 62 : 1 – 4.

Moughli L. 1991. Phosphorus soil test calibration for wheat on maroccan soils. Phd distrtation, Colorado State University. Fort Collins, Colorado, USA.

Zimaoui B, 1996. Essai d'intensification du blé dur en irrigué. Mémoire de 3ème Cycle. IAV, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassen II, Dépt. Science du sol, Rabat (Ma).



CHAPITRE X

Les maladies des céréales

Les maladies constituent la contrainte biotique majeure pour la céréaliculture au Maghreb. Durant des prospections organisées annuellement de 1986 à 1993 sur différentes régions céréalières du Maroc, il s'est avéré que les maladies qui se manifestent régulièrement chaque année sont : l'oïdium, la rayure réticulée et la jaunisse nanisante sur orge ; et la septoriose, la tâche bronzée, la rouille brune et le VJNO sur blés (El Yamani, 1994). En Algérie, les principales maladies rencontrées au cours des prospections sont les rouilles, septorioses sur blés et jaunisse nanisante sur orge (Bendif, 1994). Un inventaire des maladies du blé et de l'orge au Maghreb a été réalisé par Sayoud *et al.,* (1999), et les résultats sont mentionnés sur les tableaux 1 et 2.

Les rouilles

Il existe trois types de rouilles : les rouilles jaunes, les rouilles brunes et les rouilles noires. Les rouilles jaunes et noires sont plutôt importantes au Nord du Maroc et au voisinage des zones de montagne. Alors qu'en Algérie, elles sont présentes pratiquement sur toute la région du Nord du pays (littoral, sublittoral, plaines intérieures et Hauts-Plateaux. La rouille brune est très fréquente sur les cultures de blé et d'orge, et plus particulièrement pendant les années pluvieuses. La rouille noire est peu fréquente mais elle est la plus redoutable en cas d'attaque. Dans certaines régions, elles peuvent occasionner d'importantes pertes de production pouvant atteindre 25% (Sayoud *et al.,* 1999). En 2004, une attaque sévère de rouille jaune sur blé tendre a causé des pertes élevées allant parfois jusqu'à 100% dans les régions du Centre et de l'Est de l'Algérie.

L'agent causal de la maladie

- Rouille jaune : *Puccinia striiformis ;*
- Rouille brune : *Puccinia triticina* (cas du blé) ; *Puccinia hordei* (cas de l'orge) ;
- Rouille noire : *Puccinia graminis* f. sp.

Les symptômes

Les rouilles jaunes : les premiers symptômes se manifestent par des pustules de couleur jaune à orange disposées à la face supérieure des feuilles et alignées en stries entre les nervures du limbe. Sur la tige se forment souvent aussi des stries avec des amas de spores. Parfois, en cas de forte attaque, la maladie peut atteindre l'épi.

Les rouilles brunes : on reconnaît cette maladie par la présence de pustules (ou spores) arrondies de couleur orange ou brunâtre qui recouvrent le limbe des feuilles. Celles-ci préfèrent la face supérieure des feuilles. En fin d'attaque, on voit apparaître parmi les pustules brunes, des pustules noires, ce sont les téleutospores (phase sexuée).

Tableau 1 : Inventaire et importance des maladies du blé au Maghreb (Sayoud *et al.*, 1999).

Maladie	Agent pathogène	Importance : cas du blé tendre			Importance : cas du blé dur		
		Maroc	Algérie	Tunisie	Maroc	Algérie	Tunisie
Charbon nu	*Ustilago tritici*	*	*	*	*	*	*
Carie	*Tilletia caries* *Tilletia foetida*	**	**	*	*	*	*
Charbon des feuilles	*Urocystis agropyri*				*	*	*
Pourritures racinaires	*Cochliobolus sativus* *Fusarium culmorum* *Fusarium graminearum*	**	**	*	*	*	*
Piétin échaudage	*Gaeumannomyces graminis* var. *Graminis*	*	*	*	*	*	*
Septoriose	*Septoria tritici*	***	*	*	*	***	***
Septoriose	*Septoria nodorum*	*			**		
Oïdium	*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*	*	*	*	*	*	**
Rouille brune	*Puccinia triticina*	**	**	**	***	**	**
Rouille jaune	*Puccinia striiformis*	*	*	*	*	*	*
Rouille noire	*Puccinia graminis* fsp. *tritici*	*	*	*	*	*	*
Tache helminthosporienne	*Pyrenophora tritici-repentis*	**	*	*	**	**	**
Jaunisse nanisante	BYDV	**	**	**	**	**	**
Nématode à kyste	*Heterodora avenae*	*	*	*	*	*	*

* Rare à peu importante ** Assez importante *** Très importante

Comment observer les maladies au champ ?

- Traverser toute la parcelle en diagonale, en regardant quelles sont les maladies présentes.
- Prélever des touffes aussi petites que possibles à différents endroits.

Tableau 2 : Inventaire et importance des maladies de l'orge au Maghreb (Sayoud *et al.*, 1999).

Maladie	Agent pathogène	Importance de la maladie		
		Maroc	Algérie	Tunisie
Charbon couvert	*Ustilago hordei*	**	*	**
Charbon nu	*Ustilago nuda*	**	*	*
Pourritures racinaires	*Cochliobolus sativus* *Fusarium culmorum* *Fusarium graminearum*	**	*	*
Strie foliaire	*Pyrenophora graminea*	**	***	**
Rayure réticulée	*Pyrenophora teres*	***	***	***
Oïdium	*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*	***	**	***
Rouille brune	*Puccinia hordei*	**	*	*
Rouille jaune	*Puccinia striiformis*	*	*	*
Rhynchosporiose	*Rhynchosporium secalis*	*	*	**
Jaunisse nanisante	BYDV	**	**	**

* Rare à peu importante ** Assez importante *** Très importante

Les rouilles noires : elles sont reconnues par la présence de pustules (ou urédospores) de couleur brun -roux alignées sur les feuilles, mais également sur les tiges et les épis. A l'approche de la maturité, les téleutospores qui apparaissent à la place des urédospores, prennent une teinte brune noire à noire.



Rouille jaune sur blé tendre (*Puccinia striiformis*).



Rouille noire sur blé dur (*Puccinia graminis tritici*).



Rouille brune sur orge (*Puccinia hordei*).

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

L'utilisation de variétés résistantes à la maladie et l'emploi de produits fongiques sont les principales méthodes de lutte contre les rouilles.

Les variétés marocaines présentant une résistance/tolérance aux **rouilles brunes** sont (Amri *et al.,* 1993 ; Ramdani, 1996 ; Ramdani et Jlibene, 1996 ; Sayoud *et al.,* 1999 ; Nassrellah, communication personnelle ; Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006) :

- cas du blé tendre : Sibara, Saïs, Jouda, kanz, Potam, Tilila, Massira, Saba, Achtar, Mehdia, Rajae, Amal, Arrihane, Aguillal, Ain Abid, Anza.
- cas du blé dur : Tensift, Sarif, Jawhar, Anouar, Yasmine, Amjad, Cham 3, Gta dur, Mexicali.
- cas de l'orge : Tamellalt, Asni, Tissa, Tiddas, Azilal, Taffa, Amira, Igrane, Amalou, Adrar, Rihane 03, Saida 183, Tichedrett.

Pour le cas des variétés résistantes/tolérantes à la **rouille jaune**, on distingue (Amri *et al.,* 1993 ; Ramdani et Jlibene, 1996 ; Sayoud *et al.,* 1999 ; Nassrellah, communication personnelle ; Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006) :

- cas du blé tendre : Merchouch, Potam, ACSAD 59, Massira, Mehdia, Rajae, Amal, Arrihane, Aguillal, Anza, Ain Abid, Arz.
- cas du blé dur : Sebou, Tessaout, Gta dur, Chen 's'.
- cas de l'orge : Arig8, Tamellalt, Asni, Tissa, Tiddas, Azilal, Taffa, Amira, Igrane, Amalou, Adrar, Acsad 176.

Le charbon

La maladie du charbon existe dans les zones céréalières des trois pays du Maghreb. Le terme de charbon que porte cette maladie est justifié par l'apparition au niveau de certains organes de la plante, au terme d'une longue vie mycélienne à l'intérieur du végétal, de masses pulvérulentes noires constituées d'un nombre considérable de spores (Rapilly *et al.,* 1971).

L'agent causal de la maladie

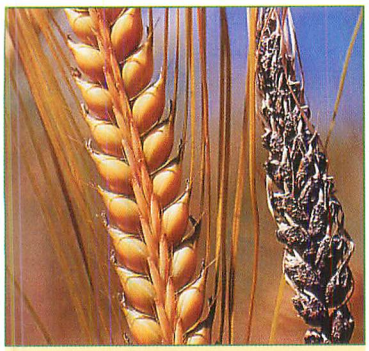
- Le charbon nu du blé : *Ustilago tritici ;*
- Le charbon nu de l'orge : *Ustilago nuda ;*
- Le charbon foliaire : *Urocystis agropyri ;*
- Le charbon couvert de l'orge : *Ustilago hordei.*

Les symptômes

Le charbon nu : les symptômes du charbon nu de l'orge et du blé apparaissent à l'épiaison. Les épis atteints sont totalement détruits. Le caryopse et ses enveloppes sont réduits à l'état de poudre noirâtre. Les épis donnent alors l'impression d'être brûlés ou calcinés.

Le charbon foliaire : apparition de longues stries pulvérulentes noires internervaires sur les limbes. Les plantes attaquées restent naines ou déformées.

Le charbon couvert de l'orge : les premiers symptômes apparaissent au stade épiaison. Seul le contenu des graines est infesté par la présence de spores noirâtres. Ce type de charbon est qualifié de charbon couvert car les glumes des épis ne sont pas entièrement détruites et qu'une fine membrane non opaque laisse entrevoir la masse de spores.



Charbon couvert sur orge (*Ustilago hordei*).



Charbon foliaire sur blé tendre (*Urocystis agropyri*).



Charbon nu sur blé dur (*Ustilago tritici*).

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

* Utilisation de semences sélectionnées traitées au moyen d'un fongicide.

La septoriose

Elle est considérée comme l'une des maladies qui cause le plus de dégâts sur blé au Maghreb (Gharbi et Dghaies, 1999 ; Ezzahiri, 2001). Au Maroc, les pertes de rendement causées par cette maladie ont atteint jusqu'à 40% (Ezzahiri, 2001). La maladie est généralement favorisée par les conditions pluvieuses et humides, et des températures modérées.

L'agent causal de la maladie

Deux agents pathogènes sont à l'origine de la maladie sur blé :

- *Septoria tritici ;*
- *Septoria nodorum.*

Les symptômes

Toutes les parties aériennes de la plante peuvent être atteintes par cette maladie :

Septoria tritici : elle s'identifie par des nécroses allongées, délimitées par les nervures. Ces nécroses sont de tailles et de formes variables, mais présentant assez souvent des bords parallèles (Farih et Ezzahiri, 1996). D'une couleur brun rougeâtre, ces taches prennent par la suite une couleur gris-clair. Des pycnides sous forme de ponctuations noires se développent en largeur sur les taches.

Septoria nodorum : elle se développe sur toutes les parties aériennes des plantes. Elle apparaît en premier lieu sur les feuilles, puis les gaines et les épis. Elle se manifeste par des taches ovales de couleur jaunâtre dont les bords sont foncés. Par temps favorable, les taches ou chloroses, évoluent rapidement en s'agrandissant et prennent une couleur marron brunâtre (Farih et Ezzahiri, 1996).





Septoriose sur blé
(*Septoria tritici*).



Septoriose sur glumes de blé
(*Septoria nodorum*).

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- Le choix de variétés résistantes à la maladie

Au Maghreb, parmi les variétés ayant montré des tolérances/résistances appréciables à la maladie, on peut citer (Sayoud *et al.*, 1999, Ezzahiri, 2001, Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006) :

- Les variétés de blé tendre : Merchouch, Tilila, Saada, Mouna, Amal, Mehdia, Massira, Achtar, Anza, Ziad.
- Les variétés de blé dur Sarif, Karim, Marzak, Cocorit, Sebou, Tassaout, Isly, Oum Rabi, Mohamed Ben Bachir, Gta dur, Cirta, Cham 3.

Les pratiques culturales

- L'enfouissement et/ou la destruction des résidus de récolte infestés ;
- La rotation avec des cultures autres que les céréales.

- L'emploi de produits fongiques foliaires

Les matières actives efficaces contre la septoriose sont : Epoxiconazole, Flutriafol, Propiconazole, Tébuconazole, Tétraconazole et les mélanges Hexaconazole+Carbendazime, Flutriafol+Carbendazime, Flusilazole + Carbendazime (Farih *et al.*, 1996 ; Sayoud *et al.*, 1999).

- Traitement des semences avec des fongicides

La tache helminthosporienne ou tache bronzée

Cette maladie s'attaque principalement au blé. Elle est répandue partout au Maroc avec des attaques importantes au Nord du pays (Saoud, 1994). En Algérie et en Tunisie, cette maladie est surtout répandue dans les zones du Nord. Dans des prospections réalisées durant quatre années consécutives en zones bour favorable et défavorable au Maroc, Nassrellah et Mergoum (1994) ont constaté que la tache helminthosporienne est la première maladie foliaire du blé dur.

L'agent causal de la maladie

Le pathogène responsable de cette maladie est :

Pyrenophora tritici repentis

Les symptômes

La maladie se manifeste par des taches nécrotiques ovales sur les feuilles. La présence d'une nécrose brune foncée au centre de la lésion chlorotique permet de différencier les symptômes de cette maladie de ceux de la septoriose.



Tache bronzée sur blé (*Pyrenophora tritici repentis*).

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- Traitement des semences ;
- Utilisation de variétés résistantes à moyennement résistantes (Amri *et al.,* 1993, Ezzahiri, 2001) :
  - Cas du blé dur : Sarif, Karim, Cocorit, Sebou, Oum Rabi, Massa, Marzak, Bel Bachir
  - Cas du blé tendre : Tilila, Mouna, Achtar, Rajae, Amal, Mehdia, Jouda, Potam, Saïs et Kenz.
- Eviter les rotations blé / blé ou blé /orge

La rhynchosporiose

Cette maladie des orges est surtout répandue dans les zones humides. Elle est moins fréquente au Maroc, cependant sa présence a été signalée dans les zones Est d'Algérie et dans la région du Kef en Tunisie (Sayoud *et al.,* 1999).

L'agent causal de la maladie

Le champignon *Rhynchosporium secalis* est l'agent causal de la Rhynchosporiose chez l'orge.

Les symptômes

Les premiers symptômes apparaissent dès le stade tallage. Les feuilles contaminées par le champignon apparaissent avec de taches assez irrégulières bordées de couleur brunâtre et sèches au centre. Ces taches

peuvent avoir jusqu'à 1 cm de long. L'attaque commence par les feuilles de la base et se propage aux feuilles supérieures.



Rhynchosporiose sur feuille et épi d'orge (*Rynchosporium secalis).*

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- Choix de variétés résistantes ;
- Utilisation de traitement fongique.

Les pourritures racinaires (fusarioses)

Cette maladie est plus agressive en conditions de faible pluviométrie et de hautes températures (Bailey *et al.,* 1989 ; Wahbi, 1989 ; Mergoum, 1994 ; Lafraoui *et al.,* 1996 ; Ezzahiri, 2001). Selon les espèces, l'orge est plus sensible à la maladie que le blé (Wahbi, 1989).

L'agent causal de la maladie

Plusieurs champignons sont responsables de la maladie :

- *Cochliobolus sativus*
- *Fusarium culmorum*
- *Fusarium graminearum*
- *Fusarium avenaceum*

Les symptômes

Trois groupes de maladies sont imputés aux Fusarium (*culmorum*, *graminearum*, *avenaceum*) :

- des manques à la levée suivis par des fontes de semis : en déterrant la semence, on observe généralement que le caryopse et les ébauches d'organes qui en sont issues sont nécrosés ;
- un piétin ou maladie du pied : brunissement de la partie supérieure des racines et lésion nécrotique du collet qui peut se poursuivre en provoquant des nécroses au niveau du plateau de tallage ;
- dessèchement précoce des épillets ou de l'épi entier : les attaques se manifestent par le dessèchement d'épillets sur des épis encore verts, mais également le dessèchement d'une partie ou de la totalité de l'épi.



Fusariose sur épi de blé (*Fusarium graminearum).*

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- désinfecter les semences ;
- éviter les rotations blé continu, orge continu, blé/orge, blé/maïs ou orge/maïs : lorsqu'on laisse des résidus de l'une ou de l'autre de ces cultures, précédent le blé ou l'orge, à la surface du sol, les risques d'une infection des cultures par la fusariose se trouvent considérablement accrus ;
- lutter contre les adventices de la famille des graminées qui peuvent constituer des plantes hôtes du parasite ;
- éliminer les résidus des plantes contaminées.

La jaunisse nanisante

L'agent causal de la maladie

La maladie est provoquée par un virus dénommé VJNO (virus de la jaunisse nanisante de l'orge). Ce virus est transmis principalement par les pucerons. Il a été identifié au Maroc en 1980 par El Yamani et Hill (1990). Cette maladie attaque les trois espèces de céréales à savoir : l'orge, le blé tendre et le blé dur. Une évaluation sur l'incidence de la maladie, a montré sa répartition sur tout le territoire marocain (El Yamani et Bencherki, 1995). Au Maroc, les pertes dues à la maladie ont pu atteindre 11 et 23% respectivement chez le blé tendre et chez l'orge(Sayoud *et al.,* 1999). D'autres résultats de recherche sur l'orge ont montré que les pertes potentielles de rendement peuvent atteindre 80% (El Yamani et Bencherki, 1996).

Les symptômes

Les premiers symptômes de la maladie sont le rabougrissement des plantes attaquées accompagné d'un jaunissement de la pointe des feuilles et qui se prolonge par la suite vers la base. Les plantes atteintes par le virus présentent un tallage réduit (St-Pierre *et al.,* 1991). Chez l'orge, les feuilles deviennent jaunes brillantes et enroulées (Sayoud *et al.,* 1999). Chez le blé, les feuilles attaquées par le virus prennent une couleur rouge sombre, pourpre ou jaune (Sayoud *et al.,* 1999).



Virus BYDV sur feuilles de blé.



Virus BYDV sur feuilles de blé + pucerons en médaillon.



Virus BYDV sur feuilles d'orge.

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- Choix de variétés résistantes à la maladie ;
- Lutter contre les pucerons et les cicadelles vecteurs des maladies virales (insecticides).

L'oïdium

L'oïdium est une maladie qui existe dans les zones céréalières des trois pays du Maghreb. Elle est l'une des maladies les plus importantes au Maroc. Cette maladie reste de loin plus fréquente sur l'orge que sur le blé (Ezzahiri *et al.,* 1996 ; Hafidi *et al.,* 1996). Elle prive la plante des éléments nutritifs et réduit la capacité photosynthétique des feuilles.

L'agent causal de la maladie

Les formes d'oïdium de l'orge sont différentes de celles du blé, on distingue :

- Cas du blé : *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici ;*
- Cas de l'orge : *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei.*

Les symptômes

- Cas du blé : tous les organes aériens peuvent être attaqués par cette maladie. Elle se développe sous forme de touffes blanches de mycélium à la surface des feuilles. Par la suite, les taches blanches deviennent grisâtres avec des petits points noirs qui sont les cléistothèces (ou périthèces, organes sexués).

- Cas de l'orge : les feuilles constituent la cible d'attaque du champignon qui se manifeste par une coloration jaune des feuilles qui se recouvrent par la suite d'un feutrage blanc. La maladie peut aussi atteindre l'épi. Sous ce feutrage blanc, les feuilles et les épis restent verts pendant un certain temps, mais jaunissent et brunissent prématurément.



Oïdium sur feuilles de blé
(*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*).



Oïdium sur feuilles d'orge
(*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*).



Oïdium sur épi de blé
(*Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*).

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- Utilisation de variétés résistantes ;
- Traitement des semences ;
- Fractionnement de la fumure azotée tout en évitant les fortes doses ;
- Pratique d'une rotation qui délaisse le blé et l'orge sur au moins deux années.

La carie

La carie est une maladie du blé très répandue dans les pays du Maghreb et très préjudiciable à la qualité des grains.

L'agent causal de la maladie

Elle est provoquée par :

- *Tilletia caries ;*
- *Tilletia foetida.*

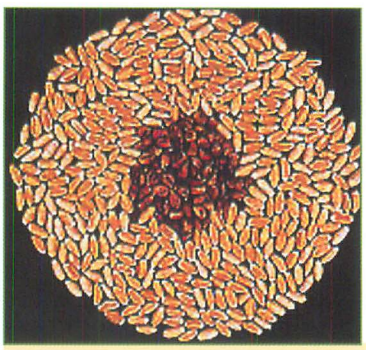
Les symptômes

- Cas de *Tilletia caries* : les premiers symptômes apparaissent à partir de l'épiaison. A ce stade, les plantes atteintes sont souvent plus courtes que celles saines. L'épi semble aplati et le grain correspond à une masse noirâtre dont le contenu est une poudre brunâtre. Les grains cariés sont très légers et s'écrasent facilement.

- Cas de *Tilletia foetida* : cette carie provoque des symptômes comparables à ceux de *Tilletia caries*, cependant les grains sont un peu moins déformés et les épis moins ébouriffés.



Carie sur épi de blé tendre (*Tilletia caries*).





Grains de blé sains et cariés.

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- Traitement des semences.

La strie foliaire

La maladie striée de l'orge est l'une des maladies connues dans les zones de culture des orges. Les pertes de rendement occasionnées par cette maladie résultent d'une réduction du nombre de plantes par m^2, du nombre de grains par épi, du nombre d'épis par m^2 et du poids de mille grains (Benbelkacem *et al.*, 2000). Ces derniers ont estimé que l'incidence moyenne de ce pathogène était de 27,97% au cours d'une enquête effectuée en 1994/95 dans les zones céréalières en Algérie.

L'agent causal de la maladie

La maladie striée de l'orge est causée par *Pyrenophora graminea* synonyme de *Helminthosporium gramineum* qui est un champignon systémique des orges.

Les symptômes

Les premiers symptômes apparaissent 1 à 2 mois après le semis. Sur les feuilles, la maladie se manifeste par des stries longitudinales jaunes - pâles parallèles aux nervures. Les stries commencent à apparaître à la base des feuilles puis progressent vers les extrémités. Les plantes attaquées demeurent chétives. Les feuilles atteintes se flétrissent, se dessèchent et puis retombent. Dans le cas d'attaques sévères, les épis se retrouvent plus ou moins stériles.



Maladie striée de l'orge sur feuilles et épi (*Pyrenophora graminea*).

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- Traitement des semences avec un fongicide ;
- Utilisation de variétés résistantes à la maladie.

La rayure réticulée

La rayure réticulée est l'une des principales maladies d'orge au Maghreb (Sayoud, 1999 ; El Yousfi et Ezzahiri, 2001). Elle se produit surtout par temps frais et humide et sa présence a été signalée dans la plupart des zones de production de l'orge au Maghreb.

L'agent causal de la maladie

Helminthosporium teres ou *Pyrenophora teres* est l'agent causal responsable de la maladie.

Les symptômes

La maladie se manifeste sur les jeunes plantules, dès le stade 3 feuilles, sous forme de lésions ou taches brunes entourées de zones chlorotiques et souvent en réseau de stries longitudinales. En s'agrandissant, les taches s'unissent pour former des rayures brunes foncées.



Rayure réticulée de l'orge (*Helminthosporium teres* ou *Pyrenophora teres*).

Photos : Wallwork, 2000.

Les méthodes de lutte

- Utilisation de variétés résistantes à la maladie ;
- Traitement des semences avec un fongicide ;
- Eviter les rotations orge/orge.

Le piétin échaudage

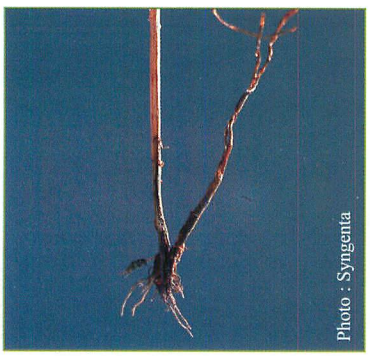
Ce champignon est surtout présent dans les sols cultivés en blé et orge, plus particulièrement sur les parcelles de monoculture. Cette maladie est favorisée par les conditions humides du sol.

L'agent causal de la maladie

L'agent causal du piétin échaudage sur le blé comme sur l'orge est *Gaeumannomyces graminis*.

Les symptômes

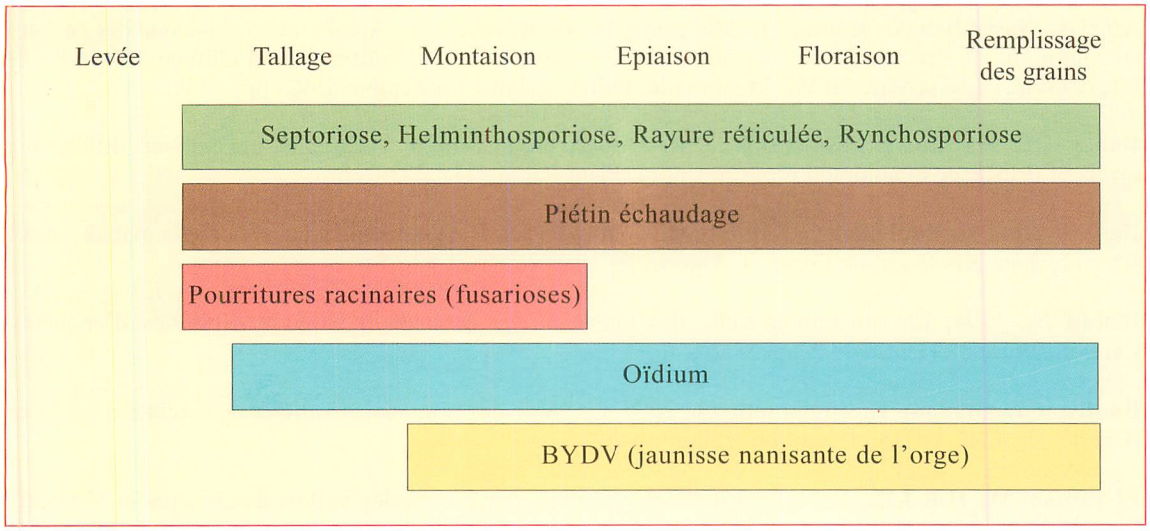
Le parasite peut attaquer les racines dès la germination. Après ce stade, la présence du champignon entraîne un arrêt de la montée de la sève brute et il s'ensuit une nécrose des racines, du pied et des tiges qui deviennent fragiles, ce qui les rend plus cassantes. Ces premiers symptômes sur les racines sont difficiles à identifier sur les plantes en début d'attaque. Pendant la phase végétative, un début de décoloration des feuilles qui tend au jaune et la présence de plantes chétives sont les des premiers signes de la maladie. A partir de la floraison, les signes de contamination deviennent visibles sur les épis qui seront stériles et prennent une couleur blanchâtre bien avant la récolte. La présence de barbes sur les épis d'orge peut rendre difficile l'identification du parasite, en le confondant à une maturité précoce. Dans ce dernier cas, il est recommandé d'examiner le système radiculaire des plantes présentant les signes d'attaque de la maladie pour observer et confirmer s'il existe des nécroses.


Photo : Syngenta

Les méthodes de lutte

- Emploi de la rotation des cultures en évitant blé sur blé.
- Raisonnement de la fertilisation en évitant les carences en azote et en phosphore.
- Lutte contre les mauvaises herbes.
- En cas d'irrigation, un bon drainage du sol est recommandé.

Calendrier de dépistage des maladies du blé et de l'orge au Maghreb.



Comment faire usage des traitements fongicides ?

L'usage des traitements fongicides dépend de la présence ou non des maladies au niveau de la parcelle. Face aux charges que pose l'usage des fongicides aux agriculteurs, le raisonnement des applications s'avère primordial. En effet, l'efficacité des fongicides dépend de plusieurs facteurs :

- L'évaluation du taux d'infestation ;
- Le choix du produit ;
- Les conditions d'application.

D'autres fongicides sont utilisés en tant que produits préventifs. En effet, ces types de produits sont appliqués lorsqu'on a une infestation certaine en l'absence de traitement. Ainsi, si l'agriculteur n'utilise pas de variétés résistantes aux maladies, le traitement des semences s'avère nécessaire afin de limiter le degré d'infestation de la maladie.

En présence de maladies sur la culture, la stratégie de l'application du traitement fongique se base sur l'observation fréquente de la parcelle, l'identification des types de maladies présentes et leur taux d'infestation.



Références

Amri A., Nassrellah N., Jlibene M., Mergoum M., Douiyssi ., 1993. Amélioration génétique des céréales au Maroc. In : La recherche sur les céréales d'automne. Journée d'Information et d'Etude. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. INRA. Rabat 13 décembre 1993, pp : 5-22.

Bailey K.L., Harding H., Knott D.R., 1989. Disease progression in wheat lines and cultivars differing in levels of resistance to common root rot. Can. J. Plant Pathol. 11 : 273-278.

Benbelkacem A., Boubekeur R., Boulif M., 2000. Les pertes de rendement causées par la maladie striée (*Pyrenophora graminea*) de l'orge en Algérie. Al Awamia, 101 : 53-65.

Bendif N., 1994. La situation actuelle des maladies des céréales en Algérie. Résultats d'enquêtes. Céréaliculture 27 ITGC/MAP. pp. 8-12.

Boufenar-Zaghouane F., Zaghouane O., 2006. Le guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. ITGC/ICARDA. 1ère édition. 152 p.

El Yamani M., Hill J.H., 1990. Identification and importance of barley yellow dwarf virus in Morocco. Plant Disease, 74 : 291-294.

El Yamani M., 1994. Amélioration et stabilité du rendement des céréales à travers la lutte contre les maladies au Maroc. In : Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semis-arides du Maroc. MIAC - CRRA Settat ed., MARA-INRA. Rabat, 24-27 Mai 1994. 434-441.

El Yamani M., Bencherki B., 1995. Importance de la jaunisse nanisante au Maroc. Rapport d'Activité 94/95. INRA/ CRRA/SRD. N° de série BO 2/2. CRRA Settat- Maroc, pp : 83-86.

El Yamani M., Bencherki B., 1996. La jaunisse Nanisante de l'Orge : Importance Economique et Moyens de Lutte Génétique Contre le Virus. In : Proceeding du Symposium régional sur les Maladies des Céréales et des Légumineuses Alimentaires, 11-14 novembre 1996, Rabat, Maroc.

El Yousfi B., Ezzahiri B., 2001. Net blotch in semi-arid regions of Morocco. I Epidemiology. Field Crops Res. 73 : 35-46.

Ezzahiri B., 2001. Les maladies du blé. Bulletin de transfert de technologie en agriculture, MADREF/DERD ed., n°77, 4p.

Ezzahiri B., Farih A., Taoufiq M., 1996. Surveillances des Maladies du blé et d'Orge au Maroc. In: Proceeding du Symposium régional sur les Maladies des Céréales et des Légumineuses Alimentaires, 11-14 novembre 1996, Rabat, Maroc. Ezzahiri B., Lyamani A., Farih A., EL Yamani M. (Ed.), Projet maghrébin PNUD/RAB/91/007. Pp: 71-77.

Farih A., Ezzahiri B., 1996. Distribution et Importance des septorioses au Maroc. In: Proceeding du Symposium régional sur les Maladies des Céréales et des Légumineuses Alimentaires, 11-14 novembre 1996, Rabat, Maroc. Ezzahiri B., Lyamani A., Farih A., EL Yamani M. (Ed.), Projet maghrébin PNUD/RAB/91/007. Pp: 79-83.

Farih A., Ben Ali A., Jrifi A., 1996. Détermination de l'efficacité de plusieurs fongicides dans la lutte contre la Septoriose de blé en irrigué. In : Proceeding du Symposium régional sur les Maladies des Céréales et des Légumineuses Alimentaires, 11-14 novembre 1996, Rabat, Maroc. Ezzahiri B., Lyamani A., Farih A., EL Yamani M. (Ed.), Projet maghrébin PNUD/RAB/91/007, pp : 327-330.

Gharbi M.S., Dghaies M., 1999. Etat des recherches sur la résistance génétique du blé dur à la septoriose en Tunisie. Les acquis de la recherche agricole. Actes des 5èmes journées Nationales. Nabeul, 3-4 décembre 98, Tunisie. IRESA ed. pp: 26-30.

Hafidi M., Yahiaoui A., Amri A., Saadaoui M., 1996. Caractérisation du Spectre de Virulence des Populations Marocaines d'Erysiphe graminis f. sp. hordei. In: Proceeding du Symposium régional sur les Maladies des Céréales et des Légumineuses Alimentaires, 11-14 novembre 1996, Rabat, Maroc. Ezzahiri B., Lyamani A., Farih A., EL Yamani M. (Ed.), Projet maghrébin PNUD/RAB/91/007. Pp: 195-202.

Lafraoui A., Lyamani A., Oihabi A., 1996. Importance des pourritures racinaires du blé et de l'orge dans 11 - 14 Novembre 1996, Rabat. Projet Maghrébin PNUD/RAB/91/007. B. Ezzahiri, A. Lyamani, A. Farih, M. El Yamani eds. INRA, Rabat, Maroc. Pp: 89-95.

Mergoum M., 1994. Effets des pourritures racinaires (Fusarium Culmorum et Cochliobolus sativus) sur les blés au Maroc. In : Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. Résumés et Abstracts. M. Karrou, F. Nassif, M. El Bouhssini, M. El Gharous eds. Rabat, 24-27 Mai 1994. MARA-INRA. MIAC-USAID, CRRA Settat ed. pp114.

Nassrellah N., Mergoum M., 1994. Comparison of Tan Spot virulence in the favourable and unfavourable rainfed areas of Morocco. MIAC - CRRA Settat ed., MARA- INRA. Rabat, 24-27 Mai 1994. pp: 454-459.

Ramdani A., 1996. Comportement de quelques variétés de blé dur vis à vis de la rouille brune. In : Symposium Régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. 11 - 14 Novembre 1996, Rabat. Projet Maghrébin PNUD/RAB/91/007. B. Ezzahiri, A. Lyamani, A. Farih, M. El Yamani eds. INRA, Rabat, Maroc. Pp : 229-231

Ramdani A., Jlibene M., 1996. Réaction de quelques variétés de blé tendre vis à vis des rouilles jaune et brune. In : Symposium Régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires. 11 - 14 Novembre 1996, Rabat. Projet Maghrébin PNUD/RAB/91/007. B. Ezzahiri, A. Lyamani, A. Farih, M. El Yamani eds. INRA, Rabat, Maroc. Pp : 233-236.

Rapilly F., Lemaire J.M., Cassini R., 1971. Les maladies des céréales. INRA -ITCF (ed.). 189p.

Saoud H., 1994. La maladie de la tache bronzée du blé : étude de la variation pathogénique de l'agent causal (Pyrenophora tritici repentis) et identification des sources de résistance. Mémoire de 3ème cycle ENA, Ecole Nationale d'Agriculture, Dept Protection des plantes, Meknes (Ma).

Sayoud R., Ezzahiri B, Bouznad Z., 1999. Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb, Guide Pratique. Projet Maghrébin sur la Surveillance des Maladies et le Développement de Germoplasme Résistant des céréales et des Légumineuses Alimentaires. PNUD RAB/91/007 Maroc-Algérie -Tunisie. Trames Ed, Algérie. 64p.

St-Pierre C.A., Monneveux Ph., Comeau A., 1991. Tolérance génétique des céréales au VJNO et à la sècheresse. In : L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. AUPELF-UREF Ed. John Libbey Eurotext. Paris, pp:35-50

Wahbi S., 1989. Les pourritures racinaires des céréales dans les régions du Haouz et des Rhamnas. Thèse de 3ème cycle, Université Cadi Ayad, Faculté des Sciences de Marrakech. 94p.

Wallwork S., 2000. Cereal leaf and stern diseases. 2000. ed. 104p.





CHAPITRE XI Les insectes ravageurs des céréales

Les insectes ravageurs des céréales causent des dégâts très importants sur blé et orge au Maghreb. Ils occasionnent des dégâts aux plantes soit directement en les consommant, soit indirectement en tant que vecteurs de maladies. La plupart des ravageurs des céréales ne sont nuisibles que localement et (ou) sporadiquement. Il est toutefois indispensable de suivre leur évolution afin de pouvoir agir rapidement et efficacement en cas de nécessité.

L'anticipation du problème, la prévision, l'avertissement et le conseil, sont des mesures adéquates qui permettent d'éviter des pertes économiques aux agriculteurs et des atteintes à l'environnement.

La cécidomyie des céréales ou mouche de Hesse

Les cécidomyies ou mouche de Hesse (*Mayetiola destructor* (Say)) qui s'attaquent aux blés tendres et durs, et peuvent s'attaquer aussi à l'orge ; ainsi que la cécidomyie de l'orge (*Mayetiola hordei* (Keiffer)) qui est spécifique à l'orge sont des ravageurs très redoutables au Maroc (Lhaloui et Bouhssini, 1994). Ce parasite s'attaque surtout aux jeunes plantules et affecte le tallage herbacé. Les pertes de rendement dues à cet insecte sont de l'ordre de 30 à 40% en moyenne et peuvent atteindre 100% dans le cas des semis tardifs (El Houssaini *et al.,* 1990) et lorsque l'infestation coïncide avec le stade jeune de la plante (El Bouhssini *et al.,* 1996).

Au Maroc, la répartition géographique de ce ravageur suit celle des cultures du blé et de l'orge, principalement sur le littoral atlantique (Khalifi *et al.,* 1996) et les régions céréalières semi-arides tels que Abda et Chaouia (El Bouhssini *et al.,* 1996). Dans les zones de montagne, la cécidomyie du blé (*Mayetiola destructor*) est aussi présente mais ses dégâts sont moins importants (Lhaloui *et al.,* 1997).

La description de l'insecte

L'adulte a l'aspect d'un moustique de taille minuscule de l'ordre de 3 à 4 mm de couleur gris noirâtre avec des taches brunes sur l'abdomen. L'abdomen de la mouche femelle adulte est rougeâtre. Les larves de 4 à 5 mm de long, qui sont de couleur blanc verdâtre, se groupent au niveau du collet des plantes et nymphosent. Les pupes sont brunes et lisses.

Les symptômes

A l'attaque du ravageur, les jeunes plantes restent naines et les feuilles prennent une couleur vert foncé puis jaunissent à la pointe et se dessèchent au fur et à mesure. A des stades précoces (stade 1 feuille), les plantes peuvent être complètement détruites. En arrachant un pied attaqué par la cécidomyie, on constate un renflement au niveau du collet. A l'ouverture des gaines foliaires et du collet, on découvre souvent la présence des pupes.



Les pupes de la cécidomyie sur céréales.



Larves de la cécidomyie à l'intérieur d'une tige de blé.



Cécidomyie au stade adulte.

Photos : Parker *et al.*, 2001.

Les méthodes de lutte

- Choix de variétés résistantes :
  - Les variétés de blé tendre : Aguillal et Arrihane ;
  - Les variétés de blé dur : Irden, Nassira, Chaoui, Amria, Marouane ;
- Procéder à des semis précoces (10 au 15 novembre) ;
- Eviter les faibles doses de semis ;
- Utilisation d'un insecticide pour la protection des graines avant ou pendant le semis.

Les pucerons du blé

Les pucerons constituent un groupe d'insectes fréquents sur blé au Maroc (Sekkat et Bouhssini, 1992) et dans le Maghreb. Ils sont le plus souvent des vecteurs de virus.

Trois espèces de pucerons sont habituellement rencontrées sur blé au Maroc (Sekkat, 1994) : *Rhopalosiphum padi*, *Schizaphis graminum* et *Sitobion avenae*. Deux autres espèces commencent à se manifester depuis quelques années, il s'agit de : *Metopolaophium dirhodum* et *Diuraphis noxia*.

Dans les zones de montagne, le puceron russe (*Diuraphis noxia* Mordevilko) est le ravageur le plus nuisible sur blé et orge (Lhaloui *et al.*, 1997). Cependant, les attaques de ce ravageur ont progressé vers les grandes plaines céréalières (Amri *et al.*, 1994). Les pertes de rendement en grain dues aux attaques de cet insecte peuvent atteindre 50% et plus si aucun traitement n'est effectué.

La description de l'insecte

Le puceron *Rhopalosiphum padi* est de loin l'espèce la plus fréquente sur blé (Sekkat, 1987). Il est de couleur vert jaunâtre à noir verdâtre ayant une plaque de couleur ocre sur l'abdomen, à la base des cornicules. Les adultes ont une longueur d'environ 2 mm.

Les symptômes

Par leur succion de la sève, les dégâts dus aux pucerons deviennent visibles par l'apparition de taches jaunes sur les feuilles. Les feuilles et les épis sont recouverts par une couche luisante ayant une sensation visqueuse (due à la sécrétion du miellat par les pucerons).



Colonie de puceron russe sur feuille de blé.

Les méthodes de lutte

Les méthodes de lutte à utiliser doivent inclure les moyens génétiques et la lutte biologique par le biais des ennemis naturels (Lhaloui *et al.*, 1997).

Les traitements aphicides ne sont rentables que lorsque l'infestation atteint 25 à 50 pucerons/plante en moyenne. A partir de l'épiaison, on estime que la lutte doit être appliquée lorsqu'un épi sur deux est colonisé par au moins un puceron (Vacher, 1993).



Puceron russe adulte.

Photos : Parker *et al.*, 2001.

Les punaises des blés

Quatre espèces de punaises sont rencontrées sur blé dans le Maghreb. Il s'agit de *Aelia cognata* Fieber, *Aelia germari* Knest, *Aelia acuminata* L. et *Eurgaster* sp. Ce sont des insectes qui peuvent causer des dégâts importants sur le blé. Elles hivernent en altitude et s'envolent au printemps vers les plaines céréalières.

En Algérie, deux espèces sont redoutées car elles causent d'importants dégâts aux céréales, il s'agit de *Eurgaster* sp. et *Aelia germari* (Anonyme, 2006). Cependant, cette dernière représente pratiquement 90% des populations de punaises constatées sur céréales et 50% des dégâts causés sont attribués à cette espèce (Charef, 2001).

La description de l'insecte

Ce sont des insectes dont la tête est triangulaire, d'une longueur variant de 8 mm (cas de *A. acuminata*) à 10 ou 11 mm (cas de *A. cognata* et *A. germari*). Ils ont une couleur variant du brun crème au rouge brique (cas d'*A. germari*).

Les symptômes

Sur les feuilles, les attaques se traduisent par des nécroses, puis un jaunissement et un dessèchement.

Sur les tiges, les attaques se traduisent par une torsion des vaisseaux conducteurs ce qui entrave la circulation de la sève et entraîne la formation d'épis blancs avec des glumes ne portant pas de grains.

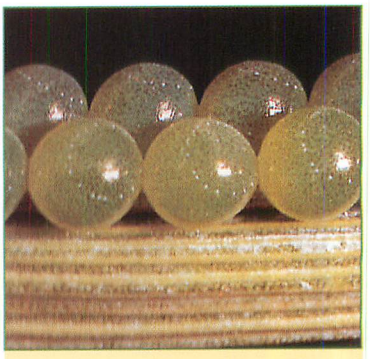
Les jeunes larves se nourrissent essentiellement des grains depuis le stade laiteux jusqu'à la maturité. Ainsi, la farine issue des grains attaqués par les punaises devient impropre à la panification.



Punaises sur épi de blé.



Oeufs de punaise et nymphes sur épi.



Oeufs de punaise.

Photos : Parker *et al.*, 2001.

Les méthodes de lutte

La pulvérisation d'insecticides sur les champs attaqués par les punaises permet de limiter les dégâts de cet insecte.

La destruction des gîtes d'hiver limite aussi leur prolifération.

Le cèphe des chaumes (*Cephus* spp.)

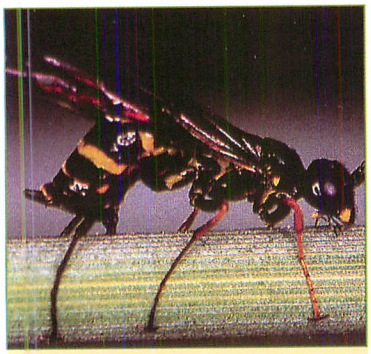
Cet insecte se trouve dans toutes les zones céréalières, il s'attaque au blé tendre, au blé dur et à l'orge. Les dégâts causés par cet insecte peuvent atteindre 17% de pertes du poids de mille grains et 45% de réduction du nombre de grains par épi chez le blé dur (El Bouhssini *et al.*, 1996).

La description de l'insecte

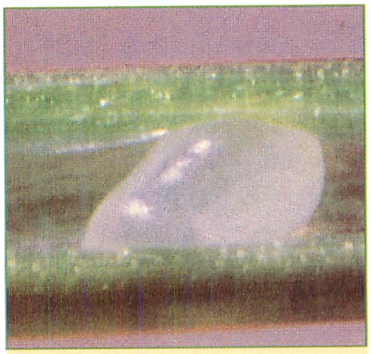
L'insecte est une sorte de mouche de 8 à 10 millimètres de longueur, ayant une tête noire, le thorax et l'abdomen sont également noirs, avec quelques taches et deux bandes jaunes sur l'abdomen.

Les symptômes

Les attaques dues au cèphe des chaumes se manifestent par la verse des tiges. En effet, les larves de l'insecte se nourrissent de la sève à l'intérieur des tiges ce qui pénalise le nombre de grains par épi et le remplissage des grains (El Bouhssini *et al.*, 1996).



Cèphe adulte.



Oeufs de cèphe à l'intérieur de la tige.



Larve de cèphe à l'intérieur d'une tige de blé.

Photos : Parker *et al.*, 2001.

Les méthodes de lutte

- Déchaumer les parcelles attaquées après les moissons.
- Eviter la monoculture des céréales.

LA LUTTE INTEGREE

La lutte intégrée est une méthode de protection phytosanitaire contre les insectes indésirables. Elle consiste à suivre l'évolution des insectes et de leurs prédateurs naturels, de décider d'un seuil d'action et de choisir parmi tous les moyens d'intervention disponibles (techniques, ennemis naturels et, en cas de nécessité de produits chimiques), ceux qui s'avèrent les mieux adaptés sur le plan économique, écologique et toxicologique.

Les meilleures conditions de réussite sont à rechercher dans les champs de céréales, les insectes nuisibles et faire une estimation des populations, pour décider ou non d'intervenir et, dans la première alternative, le choix judicieux du moyen de lutte.

Dans cette méthode, les facteurs naturels sont toujours privilégiés. Il s'agit par exemple d'introduire des ennemis naturels des ravageurs, d'utiliser des pièges, des leurres visuels (couleurs) ou olfactifs (phéromones), des hormones perturbatrices du développement, etc....Ce n'est qu'en dernier recours que les produits chimiques sont envisagés, en préférant les moins toxiques.



Comment faire usage des traitements insecticides ?

Face aux charges que pose l'usage des insecticides aux agriculteurs, le raisonnement des applications s'avère primordial. En effet, l'efficacité des insecticides dépend de plusieurs facteurs :

- L'évaluation du taux d'infestation ;
- Le choix du produit ;
- Les conditions d'application.

D'autres insecticides sont utilisés en tant que produits préventifs. En effet, ces types de produits sont appliqués lorsqu'on a une infestation certaine en l'absence de traitement. Ainsi, si l'agriculteur n'utilise pas de variétés résistantes à la cécidomyie, l'enrobage des semences s'avère nécessaire afin de limiter le degré d'infestation de l'insecte.

En présence d'insectes sur la culture, la stratégie de l'application du traitement insecticide se base sur l'observation fréquente de la parcelle, l'identification des types d'insectes présents et leur taux d'infestation. Il existe actuellement des seuils d'intervention pour différents insectes, comme c'est le cas des pucerons présenté sur le tableau 1.

Tableau 1 : Seuil d'intervention des insecticides.

Types d'insectes	Seuil d'intervention
Pucerons sur feuilles	10 á 15% des plantes portent au moins un puceron
Pucerons sur épis	1 épi sur 2 est colonisé par au moins un puceron

Références

Anonyme, 2006. Les grandes activités de la protection des végétaux en Algérie. Institut national de la protection des végétaux. MADR. 17p.

Amri A., El Bouhssini M., Lhaloui S., El Yamani M., Benbelkacem A., Hatchett. 1994. Résultats préliminaires des prospections du puceron russe dans les pays du Maghreb. In : Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semi-arides du Maroc. Résumés et Abstracts. M. Karrou, F. Nassif, M. El Bouhssini, M. El Gharous eds. Rabat, 24-27 Mai 1994. MARA-INRA. MIAC-USAID, CRRA Settat ed. pp122.

Charef S.A., 2001. Protection intégrée des cultures en Algérie. Atelier sur la protection intégrée des cultures dans les pays de l'Afrique du Nord. Biskra - Algérie, 22-26 octobre 2001. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). pp. 30-37.

El Bouhssini M., Lhaloui S., Hatchett H., Amri A., Jlibene M., Nassrellah N., Nachit M., Mergoum M., Benlahbib O., 1996. Lutte génétique contre les insectes des céréales dans les régions arides et semi-arides du Maroc. MIAC - CRRA Settat ed. MARA-INRA. Rabat, 24-27 Mai 1994. pp: 469-475.

El Houssaini K., Nassrellah N., Buschman L.L., 1990. Evaluation des variétés de blé dur pour la résistance à la cécidomyie. In: Rapport d'Activité INRA- MIAC Année 1989-90. CRRA Settat, Maroc. Projet INRA/USAID/MIAC N° 608-0136. Pp: 52-53.

Khalifi L., El Bouhssini M., Amri A., Lhaloui S., 1996. Effet de la température sur l'expression de la résistance à la mouche de Hesse (diptère : cecidomyiidae) chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Al Awamia 92 : 33-42.

Lhaloui S., Amri A., El Bouhssini M., 1997. Surveillance des insectes nuisibles aux céréales dans les zones de montagne marocaines. Rapport d'Activité 1996/97. INRA/CRRA/SRD. N° de Série B 02/4. CRRA Settat. Maroc. pp: 165-170.

Lhaloui S., El Bouhssini M., 1994. Estimation et analyse économique des pertes de rendement dues aux cécidomyies (mouche de Hesse et mouche de l'orge) sur blé et orge au Maroc. In : Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semis arides du Maroc. MIAC - CRRA Settat ed., MARA-INRA. Rabat, 24-27 Mai 1994. 119p.

Parker B.L., El Bouhssini M., Skinner M., 2001. Field guide : Insects Pests of wheat and barley in North Africa West and Central Asia. ICARDA. Aleppo, Syria. 120pp.

Sekkat A., 1987. Etude bioécologique des Aphides du Sais et du moyen Atlas – Implications agronomiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Sci. Tech du Languedoc, France. 237 p

Sekkat A., 1994. Les pucerons du blé dans les zones arides et semi-arides. In : Acquis et perspectives de la recherche agronomique dans les zones arides et semis arides du Maroc. MIAC - CRRA Settat Ed., MARA-INRA. Rabat, 24-27 Mai 1994. 121p.

Sekkat A., Bouhssini M., 1992. Les pucerons du blé dans le Saïs. AL AWAMIA, n°81 : 11-23.

Vacher C., 1993. Pucerons à l'automne : être à l'effet. Cultivar, n° 348 : 52-57.





CHAPITRE XII L'irrigation des céréales

La culture des céréales dans le Maghreb est pénalisée par la faiblesse des précipitations, leur irrégularité et une évaporation élevée. Ceci occasionne des déficits hydriques à différents stades de la culture. Pour faire face à ces aléas, l'irrigation des céréales constitue une solution pour assurer l'amélioration et la stabilité des rendements. Les études réalisées sur les besoins en eau des céréales et les stades critiques au déficit hydrique impliquent une meilleure gestion de l'irrigation. Ainsi, l'importance et l'impact de l'irrigation ne sont plus à démontrer et là où la ressource existe et que la céréale est cultivée, l'eau peut améliorer fortement le niveau de productivité mais à condition de mettre en œuvre une stratégie d'utilisation rationnelle de cette ressource limitée pour une valorisation optimale dans la région de production.

Dans le Maghreb, la céréaliculture irriguée représente environ 350.000 hectares, dont 160.000 au Maroc (MADRPM, 1999), 120.000 en Algérie (Anonyme, 2003) et 40.000 en Tunisie. Cette sole demeure très faible en comparaison avec les potentialités et les possibilités d'irrigation de la région du Maghreb. Cependant, les coûts des infrastructures et des moyens d'irrigation à mettre en place sont très élevés et ceci réduit considérablement les capacités des pays à mobiliser et à utiliser les ressources en eau disponibles.

Dans les pays du Maghreb, l'irrigation des céréales et plus particulièrement celle du blé représente, un complément aux précipitations pour pallier à l'insuffisance des pluies et assurer à la céréale une alimentation hydrique suffisante. L'apport d'eau demeure un facteur indispensable d'intensification et de production, qui conditionne le niveau de productivité de la culture tant aux plans quantitatif que qualitatif. Ainsi, l'amélioration de la productivité des céréales, reste tributaire de l'apport en eau durant les principales phases de la culture. En effet, un manque d'eau lors des stades sensibles des céréales compromet considérablement la productivité et donc la production en grain et en paille. De ce fait, l'irrigation complémentaire doit être planifiée en fonction des besoins en eau de la culture dans sa région de production et aussi des stades pour assurer un apport hydrique suffisant et régulier à la plante.

Les études réalisées dans le Maghreb, montrent que des apports d'eau d'irrigation à différentes phases du cycle contribuent à l'amélioration du rendement en grain et en biomasse. Les niveaux d'amélioration dépendent des stades d'apport et des variétés utilisées.

Etant donné que la culture des céréales dans le Maghreb est localisée principalement dans les régions arides et semi-arides, caractérisées par des conditions de milieu très difficiles et où l'eau reste le principal facteur limitant la production, l'irrigation d'appoint ou de complément demeure indispensable pour sécuriser la production.



Photo : Laurens G.

Les besoins en eau

Les besoins en eau des cultures dépendent des conditions climatiques et de la nature du sol (sa capacité de rétention en eau). Ces besoins en eau sont estimés par l'évapotranspiration maximale (ETM). Sachant que la demande climatique est variable et que le développement des cultures évolue, les besoins en eau des cultures diffèrent d'une espèce à l'autre mais surtout ils varient au cours du cycle de développement d'où leur calcul instantané selon la formule suivante :

$$ETMi = Kc * ETo_i$$

Où, Kc, représente le coefficient cultural ;
ETo_i, est l'évapotranspiration de référence à l'instant i ;
ETM_i, est l'évapotranspiration maximale à l'instant i.

Le Kc varie au cours du cycle de développement et ayant de faibles valeurs au début du cycle, il croît par la suite pour atteindre une valeur maximale. Suite à la sénescence des feuilles, le Kc décroît. Le Kc est déterminé expérimentalement, pour une région et une culture donnée, puis utilisé par la suite dans la même région ou une région similaire pour le calcul de l'évapotranspiration. Une étude réalisée dans le périmètre irrigué du Tadla au Maroc (Chati, 1992) a pu identifier les Kc pour le blé dans cette région semi-aride en fonction de quatre phases du cycle de développement :

- Phase I : Germination - début montaison, Kc = 0.70
- Phase II : Début montaison - début épiaison, Kc = 0.75
- Phase III : Début épiaison - stade grain laiteux, Kc = 0.80
- Phase IV : Maturation, Kc = 0.45

En l'absence de données relatives au Kc, on fait recours à des Kc recommandés pour nos régions, tels que ceux publiés pour le compte de la FAO (Allen *et al.*, 1998). Les recommandations de ces derniers donnent les valeurs du Kc pour trois différentes phases du cycle de développement de la culture du blé en climat méditerranéen, ces coefficients tiennent compte du stade de la culture et du taux du couvert végétal (Tableau 1).

Tableau 1 : Coefficient cultural (Kc) du blé en fonction des phases de développement et du taux de couverture végétale (Allen *et al.*, 1998).

Phase	Kc	Taux de couverture végétale
Germination - début tallage	0.30	10%
Début tallage - début floraison	0.30 - 1.15	10% - 80%
Début floraison - grain laiteux	1.15	70-80%
Maturité	0.25	10%

L'ETo (ou ETP selon l'ancienne nomenclature) peut être déterminée, soit directement à l'aide des cases lysimètriques ou par le recours à des formules empiriques qui utilisent des variables climatiques. Les formules les plus utilisées dans le domaine agricole sont :

- Formule de Penman ;
- Formule de Penman-Monteith ;
- Formule de Turc ;
- Formule de Blaney-Criddle ;
- Formule de Thornthwaite.

La plupart des formules empiriques pour l'estimation de l'ETo ont été testées dans les pays du Maghreb. Le choix de la formule de calcul dépend des variables climatiques disponibles. Parmi l'ensemble des formules testées, l'équation de Penman-Monteith a été la plus recommandée pour le calcul de l'ETo dans la zone du Maghreb. Le tableau 2, donne un exemple des besoins en eau du blé dur calculés à partir du Kc et de l'ETo (Penman-Monteith) dans trois zones favorables au Nord de la Tunisie. Les valeurs du Kc utilisées sont reprises à partir des données de la FAO (Allen *et al.*, 1998).

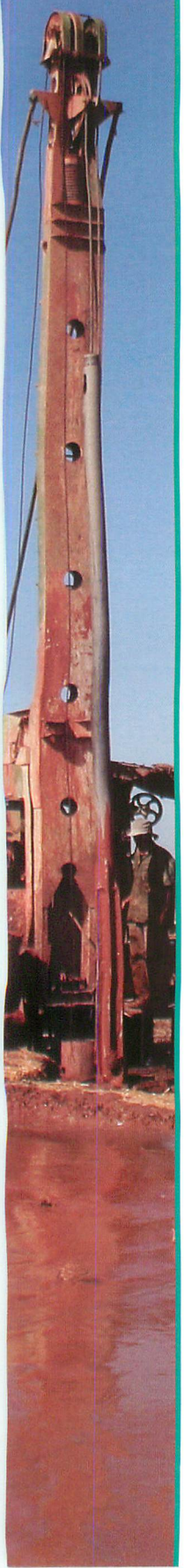
Tableau 2 : Besoins en eau (en mm) du blé dur dans les régions de Tunis, Béja et Bizerte pour trois phases du cycle de développement (Habaieb et Masmoudi-Charfi, 2003).

Région	Kc ini	ETM ini	Kc mi	ETM mi	Kc ar	ETM ar	ETM total
Bizerte	0.70	45.99	1.15	212.00	0.30	56.88	357
Béja	0.70	40.11	1.15	210.00	0.30	56.16	348
Tunis	0.70	29.50	1.15	190.72	0.30	55.35	339

Kc ini, Kc mi, Kc fi = les coefficients culturaux en phase initiale, de mi-saison et de fin de saison, respectivement
ETM ini, ETM mi, ETM fi = évapotranspiration de la culture en phase initiale, de mi-saison et de fin de saison, respectivement.

En fonction des espèces, les besoins en eau pour les céréales d'automne sont variables. Ainsi, ceux-ci sont de l'ordre de 400-500 mm pour les orges (Simon *et al.*, 1989), et de 400 à 600 mm pour les blés (Handoufe *et al.*, 1987). Des mesures de l'évapotranspiration maximale (ETM) réalisées dans la région de Tadla par la méthode lysimètrique ont montré une consommation totale de 550 mm pour un cycle de 150 jours (Handoufe *et al.*, 1987). Les besoins en eau sont plus faibles pour les semis précoces et les variétés à cycle court, et plus élevés pour les semis tardifs et les variétés à cycle long. D'autre part, ces besoins en eau sont d'autant plus élevés que l'on se dirige vers les zones arides. Des études réalisées dans le sud Marocain (zone de Drâa) ont montré que les besoins en eau du blé peuvent atteindre 850 mm (Lakbaibi, 1990). En outre, dans les zones favorables, les besoins en eau du blé sont relativement faibles. Des études réalisées au nord de la Tunisie (Habaieb et Masmoudi-Charfi, 2003) et dans la région de Meknès au Maroc (Filali, 1991) ont montré que l'ETM du blé varie de 340 à 375 mm. En fonction de ces besoins et des cumuls moyens pluviométriques enregistrés dans les zones céréalières irriguées des pays du Maghreb, il s'avère que les apports d'eau doivent assurer en moyenne entre 30% et 75% des besoins hydriques de chacune des espèces.





Définitions de l'évapotranspiration de référence, maximale et réelle

L'évapotranspiration de référence (ETo) ou évapotranspiration potentielle : est définie comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration d'une surface de gazon de hauteur uniforme, couvrant complètement le sol et abondamment pourvue en eau.

L'évapotranspiration maximale (ETM) : représente l'évaporation d'une culture à différents stades de développement, lorsque l'eau est en quantité suffisante et que les conditions agronomiques sont optimales (sol fertile, bon état sanitaire, ...).

L'évapotranspiration réelle (ETR) : est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à son humidité spécifique actuelle et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire réel.

Les modes d'irrigation des céréales

L'irrigation est définie comme étant un apport d'eau, afin d'augmenter et de stabiliser la production. Deux types d'irrigation sont pratiqués actuellement : l'irrigation d'appoint et l'irrigation totale. La différence entre l'irrigation d'appoint et l'irrigation totale peut être résumée comme suit (Handoufe *et al.,* 1992) : dans le cas de l'irrigation totale, on apporte la quantité d'eau supplémentaire nécessaire pour satisfaire totalement les besoins en eau (optimum) de la culture ; alors que, dans le cas de l'irrigation d'appoint, on apporte une quantité d'eau limitée et ce, quelles que soient les conditions pluviométriques de l'année.

L'irrigation totale ou systémique

Ce type d'irrigation est basé sur la satisfaction totale des besoins en eau de la culture pour atteindre les rendements potentiels. L'objectif de cette irrigation est d'atteindre l'ETM de la culture. Les besoins en eau sont apportés à différentes périodes du cycle de la culture en complément aux précipitations. Dans ce cas, la période d'apport des irrigations est fonction de l'humidité du sol et des précipitations.

Les apports d'irrigation peuvent survenir à différents stades de la culture. Ils s'étalent du semis jusqu'au grossissement des grains. La première irrigation qui suit le semis a pour objectif d'homogénéiser la levée des plantes et d'assurer un taux de levée optimal qui conditionne la première composante du rendement : le nombre de plantes/m^2. Les autres irrigations ont pour but de favoriser l'élaboration du nombre de grains/m^2 et le poids de mille grains (PMG).

Les apports d'eau en pré-anthèse ont un effet plus significatif sur le rendement que les apports en post-anthèse. En effet, l'irrigation au stade tallage a un double objectif, d'une part, elle favorise le tallage et d'autre part, elle assure une meilleure valorisation des apports d'eau en post-floraison (Ouattar *et al.,* 1990).

Ainsi, le nombre des irrigations pour satisfaire le besoin total des plantes est fonction de la zone agro-climatique :

- dans les zones humides ou favorables : 1 à 3 irrigations sont suffisantes pour combler le déficit hydrique ;
- dans les zones semi-arides : il est recommandé d'apporter 3 à 4 irrigations ;
- dans les zones arides : 5 à 6 irrigations doivent être apportées ;
- dans les zones sahariennes (système oasien) : 8 à 10 irrigations peuvent être apportées.

Le nombre d'irrigations précité pour chacune des zones peut être revu à la hausse en cas de semis tardifs, d'utilisation de variétés à cycle long ou de sols peu profonds.

En Algérie, les résultats des essais indiquent que la meilleure période d'irrigation se situe généralement durant la phase allant de la montaison au début de la formation du grain. Durant cette phase, les besoins en eau de la céréale sont relativement importants et la culture est très sensible au stress (Ameroun *et al.*, 2002). Pour le cas des céréales, l'irrigation totale est pratiquée uniquement au sud, comme c'est le cas des systèmes oasiens. Autrement, la pratique la plus courante reste l'irrigation d'appoint ou complémentaire pour pallier à un déficit hydrique à une période donnée.

L'irrigation de complément ou d'appoint

L'irrigation d'appoint se distingue de l'irrigation pérenne par le fait qu'elle consiste à apporter une quantité d'eau limitée aux cultures pour pallier au déficit hydrique et ceci dans le but de stabiliser les rendements. Ce type d'irrigation est d'autant plus bénéfique qu'il est appliqué aux stades critiques de la culture.

En zone bour au Maroc, l'irrigation d'appoint est une technique où l'eau est apportée pour corriger le déficit hydrique. Les études de l'irrigation d'appoint sur céréales d'automne (blés essentiellement) ont montré que cette pratique permet de faire passer les déficits hydriques d'un seuil critique à des seuils tolérables.

Les essais répétés au champ dans plusieurs régions du Maroc ont montré que la technique de l'irrigation d'appoint, si elle est bien raisonnée, permet des augmentations de rendement du blé de 60 à 80% (soit des augmentations de 10 à 26 qx/ha) et des taux de rentabilité variant de 26 à 73% selon les dates d'apport d'eau (El Mourid *et al.*, 1993).

Handoufe *et al.*, (1987), ont rapporté que pour la culture du blé au Maroc, trois à quatre irrigations sont largement rentables dans les périmètres de grande hydraulique où le prix de l'eau est relativement moins élevé que dans le cas d'un pompage individuel privé.

Les études réalisées sur l'irrigation d'appoint des céréales ciblent trois phases d'apports : le début du cycle (tallage), le milieu du cycle (l'épiaison) et la fin du cycle (remplissage des grains).

Les recherches menées sur les stades d'apport de l'irrigation d'appoint montrent que l'irrigation au tallage, à l'épiaison et au cours du remplissage des grains peut accroître sensiblement et même fortement le rendement (par rapport au témoin en parcelle non irriguée) (Lahlou *et al.*, 1992 ; Ouattar *et al.*, 1990 ; Karrou *et al.*, 1993 ; Ameroun *et al.*, 2002). Cependant, avec une irrigation bien ciblée au stade tallage ou à l'épiaison, on peut atteindre des gains de rendement de plus de 50% par rapport aux rendements réalisés en régime pluvial (Tableau 3). Ceci montre que l'irrigation d'appoint au début et en milieu de cycle est plus intéressante que celle de fin de cycle. En effet, les gains de rendement en grain ou en biomasse totale par rapport au témoin pluvial sont plus importants lorsque le stade d'apport des irrigations est précoce. Ces





stades précoces d'irrigation favorisent l'élaboration de la composante nombre de grains/m² et la synthèse d'une certaine biomasse végétative qui va contribuer à l'élaboration des assimilats assurant par la suite le remplissage des grains. Ces résultats ont été confirmés par l'étude de l'effet de l'irrigation d'appoint sur les composantes du rendement.

Tableau 3 : Effets du stade d'apport de l'irrigation d'appoint sur le rendement en grain et en biomasse totale du blé au Maroc.

Campagne agricole	Stades d'apport	Rendement en grain (q/ha)	Biomasse totale (q/ha)	Références
1988/89	Tallage	61a	137a	Lahlou *et al.*, 1992
	Epiaison	56b	125b	
	Grossissement des grains	46c	108c	
	Témoin sec (régime pluvial)	39d	97d	
1989/90	Tallage	43a	117a	Lahlou *et al.*, 1992
	Epiaison	49b	116b	
	Grossissement des grains	39c	97c	
	Témoin sec (régime pluvial)	32d	84d	
1990/91	Tallage	54a	138a	Boutfirass et El Mourid, 1992
	Epiaison	44b	105b	
	Grossissement des grains	42b	98b	
	Témoin sec (régime pluvial)	34c	93b	
1991/92	Tallage	25a	70a	Boutfirass, 1997
	Epiaison	15b	47b	
	Grossissement des grains	8c	31c	
	Témoin sec (régime pluvial)	8c	26c	

N.B. : Les valeurs d'une même colonne de chaque campagne portant la même lettre ne diffèrent pas significativement à un seuil de 5%.

Des résultats similaires ont été rapportés en Algérie sur l'effet bénéfique de l'irrigation d'appoint à des stades précoces du cycle de développement (Zair, 1994). Cependant, en fonction de la répartition et du cumul pluviométrique, certains apports en mi-cycle (épiaison) peuvent être plus intéressants. Ceci a été confirmé par Ameroun *et al.* (2002), dans les zones semi-arides des Hauts-Plateaux en Algérie. Ces derniers ont montré qu'une seule irrigation de 80 mm au stade épiaison était suffisante pour atteindre des gains de rendement de l'ordre de 70 à 81% en fonction des espèces (Tableau 4). D'autre part, si deux apports d'eau sont réalisés l'un au début de cycle (tallage ou montaison) et un deuxième en fin du cycle (épiaison ou floraison), les gains pourraient être encore meilleurs en comparaison à une seule irrigation (Figure 1). En effet, les irrigations avant ou après épiaison contribuent toutes à favoriser les principales composantes du rendement, à savoir le nombre de grains/m² et le PMG. Ainsi, les irrigations au tallage et à l'épiaison favorisent la mise en place du nombre d'épis/m² et le nombre de grains/épi (composantes du nombre de grains/m²), alors que l'irrigation au début remplissage des grains est favorable à l'élaboration du PMG (Tableau 5). L'irrigation à partir du stade pâteux est inutile et peut même être nuisible.

Tableau 4 : Effet de l'irrigation de complément sur le rendement en grain des céréales d'automne dans les Hauts-Plateaux d'Algérie (Ameroun *et al.*, 2002).

Espèces	1997/98 (Cumul pluie = 479 mm)			1998/99 (Cumul pluie = 353 mm)		
	en pluvial Rendement (qx/ha)	en irrigué* Rendement (qx/ha)	Gain (%)	en pluvial Rendement (qx/ha)	en irrigué** Rendement (qx/ha)	Gain (%)
Blé tendre	40	51	27	21	38	81
Blé dur	34	47	38	20	34	70
Orge	44	59	34	25	45	80

* : une seule irrigation de 30 mm au stade 2 noeuds ;
** : une seule irrigation de 80 mm au stade épiaison.

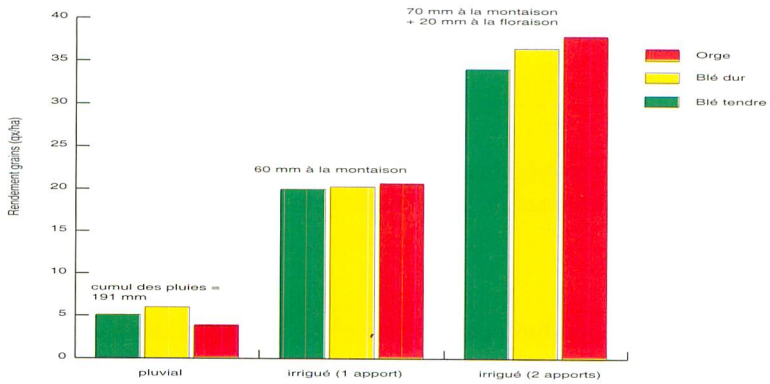


Figure 1 : Effet de l'irrigation de complément, durant la campagne 1996/97, sur le rendement en grain des céréales d'automne dans les Hauts-Plateaux d'Algérie (Ameroun *et al.*, 2002).

Tableau 5 : Effet de l'irrigation d'appoint sur les composantes du rendement du blé tendre dans la zone de Sidi El Aïdi au Maroc (Ouattar *et al.*, 1990).

Régime hydrique	Nombre de talles/m²	Nombre d'épis/m²	Nombre de grains/épi	PMG (g)
60 mm au tallage	899a	428a	34.72a	44.16c
60 mm à l'épiaison	823b	430a	33.56a	44.27c
60 mm au grossissement des grains	817b	332b	30.40b	47.57a
Témoin pluvial	823b	316b	26.69c	46.95b

L'efficience d'utilisation de l'eau

L'amélioration de l'efficience de l'eau doit obligatoirement se traduire par une meilleure gestion de cette ressource et aussi par une meilleure valorisation. En agronomie, l'efficience de l'utilisation de l'eau par la





culture (EUE), est le rapport entre le rendement récolté (grain ou biomasse) et la quantité d'eau consommée durant le cycle de la culture pour obtenir cette production par unité de surface.
Plusieurs travaux de recherche ont montré qu'une bonne gestion de l'irrigation, qui tient compte des stades critiques des céréales, permet d'améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau (Boutfirass, 1997).

Cette amélioration est encore plus significative lorsque les apports sont réalisés en pré-anthèse (Tableau 6). En effet, il a été démontré que les irrigations au tallage permettent d'atteindre les meilleures efficiences d'utilisation de l'eau.

Tableau 6 : Effets de l'irrigation d'appoint sur l'efficience d'utilisation de l'eau (kg grain/ mm /ha) sur le blé (Boutfirass, 1997).

Régime hydrique	1990-1991 Pluie = 342 mm	1991-1992 Pluie = 247 mm
60 mm au tallage	15,25	9,78
60 mm à l'épiaison	12,85	6,28
60 mm au grossissement des grains	12,26	3,93
Témoin pluvial	11,82	4,99

Il faut cependant souligner que la rentabilité de l'eau d'irrigation est étroitement liée aux autres facteurs de production tels que les variétés, les engrais, les pesticides etc…

A quel moment faut-il irriguer ?

La détermination du moment opportun pour irriguer et la quantité d'eau à apporter, comprennent un éventail très large de techniques qui peuvent être regroupées en deux catégories (Aït kadi, 1993) :

- la première catégorie est basée sur le bilan hydrique au niveau du sol qui peut être soit mesuré directement, soit estimé à partir de la connaissance de l'évapotranspiration de la culture et des apports d'eau par l'irrigation ou la pluie ;
- la seconde catégorie utilise des indicateurs liés à la plante et à sa physiologie.



La méthode du bilan hydrique

L'utilisation de la méthode du bilan hydrique pour le pilotage de l'irrigation tient compte de la réserve en eau du sol. En effet, l'eau disponible pour les plantes se retrouve dans l'épaisseur de sol occupée par les racines. Ainsi, pour la détermination de la réserve hydrique du sol au temps i (Rhi), on utilise l'équation du bilan hydrique suivante :

$$\mathbf{Rh\ i = Rh_{i-1} + P_{i-1} + I_{i-1} - ETM_{i-1} - D\ i\text{-}1 - R_{i-1}}$$

Avec : Rhi = Réserve hydrique du sol au temps i ;
Rh_{i-1} = Réserve hydrique du sol au début de la période i-1 ;
P_i = Pluie efficace pendant la période i-1 ;
I_{i-1} = Irrigation pendant la période i-1 ;
ETM_{i-1} = Evapotranspiration pendant la période i-1 ;
D_{i-1}, R_{i-1} = Pertes d'eau par drainage et par ruissellement pendant la période i-1.

L'humidité du sol peut être déterminée par des méthodes directes ou indirectes. Les méthodes directes consistent à faire des prélèvements d'échantillons de sol avec une tarière et de les peser avant et après passage à l'étuve. Les méthodes indirectes utilisent des appareils installés au sol et qui permettent de donner une lecture de l'humidité du sol en convertissant des mesures neutroniques (cas de la sonde à neutrons) ou électriques (cas du TDR).

Notion de Réserve Utile (RU) et de Réserve Facilement Utilisable (RFU)

La réserve utile (RU) correspond à la capacité de rétention du sol dans le volume exploité par les racines. Elle est exprimée par la formule suivante :

RU = (Hcc - Hpf)* da*Zr

Avec Hcc = humidité à la capacité au champ ;
Hpf4.2 = humidité au point de flétrissement permanent ;
da = densité apparente ;
Zr = la profondeur d'enracinement.

La réserve facilement utilisable (RFU) est la quantité d'eau qu'une plante peut extraire d'un sol sans que sa production ne soit affectée. Les doses d'irrigation sont calculées à partir de la RFU et on irrigue dès que celle-ci est épuisée. La RFU est exprimée en fonction de la RU en introduisant un coefficient f selon la formule suivante :

RFU = f * RU

En pratique, le coefficient f varie de 1/2 à 1/3, mais généralement, il est admis de lui donner la valeur de 2/3

Sachant que la consommation en eau des cultures se fait à partir de la réserve facilement utilisable (RFU), la connaissance de ce facteur s'avère essentielle pour le pilotage de l'irrigation (cf. encadré).





A travers la connaissance de Rhi et la RFU, trois cas peuvent se présenter pour prendre une décision sur le déclenchement de l'irrigation :

- 1er cas : Rh i > RFU = l'eau est en excès et cette dernière sera donc perdue par ruissellement et par drainage. Dans ce cas, les besoins en eau sont nuls et il n'est pas nécessaire d'irriguer.

- 2e cas : 0 < Rh i < RFUmax = les plantes disposent de suffisamment d'eau pour leur consommation, et l'apport d'irrigation n'est pas nécessaire.

- 3e cas : Rh i < 0 = dans ce cas la RFU est épuisée et que le niveau hydrique du sol est en dessous de HpFp (humidité au point de flétrissement permanent). Dans ce cas, l'irrigation doit être déclenchée.

Des méthodes basées sur l'état hydrique du couvert végétal

Ces méthodes sont basées sur les critères de stress hydrique exprimés par les plantes. Les mesures de ces critères ou indicateurs sont estimées par certains paramètres. On citera : le potentiel hydrique foliaire et la température de surface du couvert végétal.

- Le potentiel hydrique est un indicateur de l'état de la plante et est mesuré à l'aide d'une chambre à pression. Il consiste à sectionner une feuille, souvent la dernière étalée et on applique une pression croissante jusqu'à l'observation à l'aide d'une loupe de la sortie d'une gouttelette de sève à partir du pétiole. A ce moment, on lit le potentiel hydrique.

- La température de surface du couvert végétal, dans ce cas l'indicateur mesuré est l'écart de température entre la surface du couvert (Ts) et la température ambiante de l'air (Ta). Cet écart est mesuré directement au niveau de la parcelle par un radiothermomètre infrarouge. En cas de déficit hydrique, la plante réagit en réduisant sa transpiration par la fermeture stomatique, ce qui entraîne une augmentation de la température de surface du couvert (Ts) par rapport à celle de l'air (Ta).

Les méthodes précitées demeurent difficilement accessibles aux agriculteurs et leur utilisation demande un matériel coûteux et une certaine technicité de manipulation.

Une méthode basée sur le bac évaporatoire

Il s'agit de bassins circulaires de 1 à 5 mètres de diamètre et de 10 à 70 centimètres de profondeur. Le plus connu d'entre eux est le bac de classe A, d'un diamètre de 1.20 mètre et d'une profondeur de 25.5 centimètres. Le niveau de l'eau du bac classe A est maintenu à environ 5 centimètres du bord. Le récipient est posé sur un support en bois au ras du sol. La mesure de la quantité d'eau évaporée peut être faite chaque jour en mesurant le volume d'eau rajouté au récipient pour le ramener au niveau initial. Ainsi, les bacs classe A sont faciles à manipuler au sein d'une exploitation agricole et sont également peu coûteux.

Des méthodes simples pour savoir quand irriguer

En dehors de la méthode des bilans hydriques et des stades de développement identifiés pour les apports d'irrigation, il existe des méthodes simples pour identifier le moment auquel il faut irriguer. Ces méthodes peuvent aider les agriculteurs qui ne disposent pas de moyens pour contrôler l'état hydrique du sol. Elles se basent sur l'appréciation de l'état hydrique du sol et l'état de la plante.

› Etat de la plante : lorsque le manque d'eau commence à se faire sentir par les plantes, celles-ci réagissent pour contourner le déficit hydrique. Ainsi, un début d'enroulement des feuilles et/ou le début de flétrissement des feuilles basales constituent des signes de stress et les plantes souffrent d'où le besoin d'irriguer.

› Etat du sol : certaines formes de manipulation du sol au toucher permettent d'avoir une idée sur le niveau d'humidité du sol. Si on prend une poignée de terre et qu'on la comprime dans la main, il s'avère après ouverture de la main que :

- le sol conserve une certaine humidité, s'il se forme un boudin ;
- le sol est sec, s'il ne prend aucune forme et reste à son état initial.

Quoique rapides et économiques, ces méthodes (appréciation de l'état de la culture et appréciation sensorielle du sol) manquent de précisions.



Sol sec.



Fentes de retrait dans un sol sec.



Sol humide (boudin).

A quelle dose doit-on irriguer ?

La dose d'irrigation à apporter dépend du niveau du déficit hydrique. Celui-ci est déterminé soit par la méthode des bilans hydriques (Rhi) ou bien par estimation, en utilisant ce qu'on appelle le déficit hydrique climatique (DHC), avec :

$$DHCi = ETMi - Pi$$

Où
ETM_i = évapotranspiration maximale pendant la période i ;
P_i = cumul pluviométrique pendant la période i.

La dose d'irrigation est obtenue en comparant le DHCi et le Rhi à la réserve facilement utilisable (RFU). Si le DHCi et la Rhi tendent à atteindre le seuil minimal de la RFU, c'est-à-dire le Hpf4.2, l'irrigation est déclenchée avec une dose permettant d'atteindre le seuil maximal de la RFU, c'est à dire Hcc. Un exemple est illustré dans le Tableau 7.



Tableau 7 : Pilotage de l'irrigation en fonction du déficit hydrique climatique (DHC) et de la réserve facilement utilisable (RFU). (Mouhouche et Boulassel, 1997).

Mois	Décade	ETM (mm)	Pluie (mm)	DHC (ETM - P) mm	RFU = 45 mm	Irrigation (mm)	RFU = 80 mm	Irrigation (mm)
Novembre	1							
	2	5	8.9		45		80	
	3	9.6	18		45		80	
Décembre	1	9.1	18		45		80	
	2	8.6	18.1		45		80	
	3	8.9	17		45		80	
Janvier	1	9.2	15.8		45		80	
	2	9.9	14.7		45		80	
	3	11.4	14.4		45		80	
Février	1	13.3	14.1		45		80	
	2	15.2	13.9	1.3*	43.7		80	
	3	19.1	13.2	5.8	37.9		78.7	
Mars	1	23.4	12.6	10.7	27.2	33.3**	72.9	
	2	27.5	12	15.5	45		62.2	
	3	30.4	11.7	18.7	26.3		46.7	
Avril	1	32.7	11.5	21.3	45	40	30.8	73.3**
	2	35	11.2	23.8	21.2		80	
	3	38	10	27.9	45	56.7	56.2	
Mai	1	40.9	8.9	32	45	32	28.3	83.7
	2	42.3	7.7	34.5	45	34.5	80	
	3	41.7	5.8	35.9		36.3	45.5	
Juin	1	38.3	3.8	34.5		34.5	80	70.4
	2	16.8	0.9	15.9		16.5		
	3							

* Début du déficit hydrique climatique, ** : Début d'irrigation.

Les systèmes d'irrigation pour les céréales

Les systèmes gravitaires

Ce sont les systèmes les plus pratiqués par les agriculteurs et les moins économes en terme d'eau d'irrigation. Au Maroc, plus de 80% des terres irriguées, le sont par le mode gravitaire. Ils nécessitent une bonne préparation de la parcelle avec un certain nivellement pour permettre à l'eau de circuler. Pour ce type d'irrigation, trois techniques sont très utilisées :

Irrigation par submersion : cette technique consiste à recouvrir le sol d'une couche d'eau plus ou moins épaisse, selon l'importance du déficit à combler et qui s'infiltre verticalement dans le sol par gravité. Les investissements sont peu élevés et la mise en œuvre assez facile, pour peu que le terrain dispose d'une certaine pente (0.1 à 1%). Cette technique occasionne un gaspillage d'eau important et entraîne de nombreux problèmes parasitaires et des risques d'asphyxie.

Irrigation à la raie : le principe est de faire couler sur le sol en pente une mince couche d'eau pendant la durée nécessaire pour que le sol s'humecte jusqu'à une certaine profondeur. On distingue plusieurs modes de ruissellement : planches, rigoles de niveau, ados. Ces méthodes s'adaptent à des pentes plus au moins fortes (0.2 à 3%) selon les techniques utilisées. Elles ne permettent pas toujours d'éviter les pertes par percolation, notamment lorsque le ruissellement est trop lent. Si celui-ci est trop rapide, l'humectation sera limitée en surface. Par rapport à l'irrigation par submersion, les problèmes parasitaires sont moindres.

Irrigation par siphons et rampes à vannettes : l'eau est amenée à la raie par des siphons ou des rampes à vannettes qui permettent la réduction de l'érosion en tête de la raie, une meilleure maîtrise des débits et de l'uniformité de répartition de l'eau.

L'irrigation sous pression

Pour ces systèmes, l'eau est transportée dans des réseaux de conduite pour alimenter sous pression des asperseurs rotatifs qui répandent cette eau sous forme de pluie. Avec ce système, la répartition de l'eau au niveau de la parcelle est plus homogène et les pertes d'eau sont très minimes, voire négligeables. En effet, les systèmes d'irrigation sous pression engendrent une économie d'eau de 30 à 60% par rapport au système gravitaire. Ces systèmes sont également conçus pour être adaptés à différentes topographies et types de sol. Ils ne nécessitent aucun aménagement préalable de la surface à irriguer.

L'un des inconvénients de l'irrigation par aspersion est sa sensibilité aux effets du vent. En effet, la répartition de l'eau devient de plus en plus hétérogène avec l'augmentation de la vitesse du vent. Il faut savoir également que l'aspersion demande une certaine pression pour le fonctionnement des asperseurs.

Quel équipement choisir pour l'irrigation par aspersion ?

Le choix de l'équipement d'irrigation est fonction de plusieurs facteurs :

- la taille de l'exploitation ;
- le coût du matériel ;
- la main-d'œuvre ;
- la topographie du terrain ;
- le type de sol.

Les rampes asperseurs : elles sont équipées de petits asperseurs disposés le long d'une rampe mobile qui est déplacée à la fin de chaque arrosage. Les asperseurs fonctionnent sous une pression de 3 à 4 bars disposés le long de la rampe. Relativement peu coûteux en investissement, ce système est très exigeant en main d'œuvre.





L'enrouleur : ce type de matériel est constitué d'une grosse bobine sur laquelle s'enroule un tuyau flexible en polyéthylène. Au bout du tuyau est branché un canon qui peut arroser à plus de 40 mètres de rayon. L'enroulement du tuyau provoque le déplacement du canon d'arrosage monté sur un traîneau à deux roues. L'enrouleur est placé à l'extrémité de la parcelle, et le tuyau placé sur le chariot est déroulé et placé au bout de la parcelle. Une fois que la dose et le temps d'arrosage sont réglés, l'enrouleur est actionné et le tuyau s'enroule sur la bobine par action de retour. C'est la pression de l'eau qui entraîne la bobine en rotation faisant ainsi revenir le traîneau. A la fin de l'arrosage de chaque bande, l'enroulement s'arrête automatiquement.

L'enrouleur est avantageux dans la souplesse de son utilisation avec son déplacement facile d'une bande à l'autre et même d'une parcelle à l'autre. Cependant, ce système consomme beaucoup d'énergie et exige une pression élevée (7 à 8 bars), ce qui limite son aire d'utilisation.



Enrouleur.



Retenue collinaire (collecte des eaux).



Asperseur.

Le pivot : ce matériel d'irrigation est destiné exclusivement aux grandes exploitations. Il est constitué d'une rampe située à une hauteur de 3 mètres au moins, sur laquelle se trouve des arroseurs. Cette rampe tourne autour d'un point fixe, le pivot.

Les problèmes posés par une mauvaise conduite de l'irrigation

L'usage de l'irrigation permet d'améliorer et de stabiliser les rendements, et aussi de se libérer des variations des précipitations qui peuvent survenir au cours du cycle de la culture. Cependant, l'irrigation présente également certains inconvénients si elle est mal conduite. De ce fait, certaines précautions sont à prendre :

Lorsque les sols sont trop secs, l'infiltration de l'eau se fait mal et si l'apport est trop important, une grande partie de l'eau stagne ou ruisselle en cas de pente. En s'évaporant, l'eau stagnante, laisse en dépôts les sels qu'elle contient, favorisant ainsi une salinisation des sols qui deviennent progressivement incultes. Ce phénomène est surtout observé dans les zones arides et semi-arides. Quand au ruissellement, celui-ci favorise l'érosion des sols. D'autre part, sur des sols mal drainés, les excès d'eau sont à l'origine des phénomènes d'asphyxie.

Les autres problèmes d'une mauvaise irrigation restent le développement des mauvaises herbes, celui des maladies cryptogamiques et de la verse dans les cultures céréalières.

Aussi, l'irrigation doit être raisonnée en fonction des besoins de la plante certes mais elle doit aussi tenir compte du stade de la culture et des risques de développement de parasites. Et à cet effet, il est nécessaire de bien connaître les différentes techniques à associer à l'irrigation pour limiter l'infestation des parasites dans les cultures. Il s'agit de l'utilisation de techniques culturales tel que la lutte chimique (fongicides et herbicides), la lutte mécanique.

De même qu'une irrigation trop excessive peut aussi provoquer le lessivage des éléments nutritifs. Il faut aussi éviter les apports d'eau tardifs qui peuvent retarder la maturité de la culture céréalière.

Tous ces facteurs doivent être pris en considération dans le raisonnement de l'irrigation afin de valoriser au mieux les quantités d'eau apportées à la plante et aussi pour limiter le plus possible les dégâts pouvant être causés à la culture par une irrigation mal maîtrisée.



Céréales sous pivot.





Références

Anonyme, 2003. Recensement général de l'agriculture - 2001. Rapport général des résultats définitifs. RGA-FAO. Direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information. Juin 2003. MADR. Algérie. 125 p.

Aït Kadi M., 1993. Maîtrise de l'eau en agriculture irriguée. In : Journées sur la recherche dans le développement agricole et rural : eau. MARA, Rabat, 8-9 juin 1993. Pp: 4-26.

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration, Guideline for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO Rome, Italy. 300p.

Ameroun R., Khaldoun A., Sadji M., Negri C., 2002. Programme de développement de l'irrigation d'appoint des céréales. Document de travail élaboré par l'ITGC en collaboration avec l'INSID.
Boutfirass M., 1997. Economie et efficience d'utilisation de l'eau en agriculture par l'irrigation d'appoint des céréales. Mémoire d'ingénieurs en Chef. Settat, Maroc : INRA, 47 pp.

Boutfirass M., El Mourid M., 1992. Irrigation supplémentaire et variétés de blé dans les zones semi-arides du Maroc. In: International Conference on "Supplementary irrigation and drought water management. Volume 1. Septembre 27 - October 2, 1992. Valenzano-Bari (Italy), pp: S1-10.1-- S1-10.12

Chati M.T., 1992. Etude de la conduite des irrigations dans le périmètre de Tadla. MARA-PNUD, Projet RAB/90/005. 94p.

El Mourid M., Karrou M., Aït Kadi; 1993. Maîtrise de l'eau. II. Gestion de la contrainte hydrique en agriculture pluviale au Maroc. In : Journées sur la recherche dans le développement agricole et rural. MARA, Royaume du Maroc. Rabat, 8 - 9 juin 1993, pp : 1-15.

Filali A.B., 1991. Irrigation de complément des céréales : une méthode d'analyse. Cas de la région de Meknes, Maroc. MEDIT, 1-2 : 24-29.

Habaieb H., Masmoudi-Charfi C., 2003. Calcul des besoins en eau des principales cultures exploitées au nord de la Tunisie : estimation de l'évapotranspiration de référence par différentes formules empiriques (Cas des régions de Tunis, Béja et Bizerte). Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 14, Numéro 4, 257-265.

Handoufe A., Benchakroun T., Chati T., 1987. L'irrigation des céréales. 1. Blés. Doc.ronéo. Direction de l'Equipement Rural - ORMVA Tadla. MARA, Maroc. 39p.

Handoufe A., Berkaoui A., Berdai H., 1992. Essais sur l'irrigation d'appoint. Réseau Régional pour la gestion de l'irrigation d'appoint en agriculture non irriguée, et l'amélioration de la gestion de l'irrigation au niveau de l'exploitation agricole. MARA, PNUD, Projet RAB/90/005. 96p.

Karrou M., El Mourid M., 1993. Acquis de la recherche sur la physiologie du stress hydrique au Centre Aridoculture. Al Awamia, n°81 : 19-33

Lahlou O., Ouattar S., Boutfirass M., El Mourid M., 1992. Irrigation d'appoint et efficience d'utilisation de l'eau dans les zones semi-arides. Cas du blé. In: International Conference on "Supplementary irrigation and drought water management. Volume 1. Septembre 27 - October 2, 1992. Valenzano-Bari (Italy), pp : S1-18.1 -- S1-18.8.

Lakbaibi M., 1990. Besoins en eau du blé dans la vallée du Drâa par la méthode lysimétrique : contribution à l'optimisation de la production de l'eau. Mémoire de 3ème cycle. Option : Génie rural. IAV Hassan II.

MADRPM, 1999. Sécurisation de la production céréalière à 60 millions de quintaux. Bulletin de transfert de technologies en agriculture. MADRPM/DERD, n° 60 : 1 - 4

Mouhouche B., Boulassel A., 1997. Gestion rationnelle des irrigations de complément des cultures de légumineuses alimentaires et de céréales. Recherche Agronomique INRAA, 1 : 21-31.

Ouattar S., Ameziane T., El Mourid M., Lahlou O., 1990. Etude expérimentale de l'irrigation d'appoint. Projet intensification de la production céréalière, volume 3. MARA- IAV Hassan II. 105p.
Simon H., Codaccioni P., Lecoeur X., 1989. Produire des céréales à pailles. Tec & Doc - Lavoisier éd., Paris 333 p.

Zair M., 1991. Contribution à l'étude de l'influence du déficit hydrique sur le développement du blé en zone semi-aridde. Céréaliculture n°24. p. 9-13.





CHAPITRE XIII La récolte des céréales

La récolte est une étape importante et ultime pour la culture des céréales. Elle est aussi l'aboutissement d'une année d'efforts intenses pour assurer la réussite de la culture et l'obtention d'un rendement optimal. Après avoir été basée sur un système en majorité traditionnel, la mécanisation de la récolte s'est largement développée depuis le début des années 80. Cependant, malgré l'extension du parc de moissonneuses-batteuses, cette opération est encore peu maîtrisée et la manipulation de ces dernières ne répond pas aux normes et exigences du produit de la récolte (grain et paille). En fait, ce manque de maîtrise dans l'utilisation des machines ainsi que la récolte souvent tardive, engendrent beaucoup de pertes qui peuvent atteindre 30%. Aussi, le choix de la période de récolte en plus de la connaissance des réglages de la machine sont des éléments essentiels qui méritent une meilleure maîtrise pour la réussite de la récolte.

Le choix de la date de récolte

Après le stade pâteux, les grains commencent à perdre l'excès d'eau qu'ils contiennent. A partir de cette date, on surveillera l'état des grains pour fixer la date de récolte. Ainsi, on estime que les grains sont mûrs et bons à récolter lorsque leur humidité est d'environ 14% (Tableau 1). A ce moment-là, la végétation est de couleur jaunâtre, la tige casse facilement, les grains sont cassants et se détachent facilement lorsque l'épi est écrasé entre les mains.

Plus important : dans le cas de la semence, pour préserver la qualité germinative, il faut intervenir au stade optimal de maturité, avec des réglages adéquats de la machine.

Tableau 1 : Stade optimal de récolte des céréales d'automne (Thibaud et Lajoux, 2000).

Humidité du grain (%)	Grains	Paille
< 10%	Risque de grains cassés très important	Effet brisant - surcharge des grilles
10 - 12%	Risques qualitatifs - réglages plus fins	Bon battage si 10% des tiges vertes maximum.
13 - 15%	Idéal pour la maîtrise de la qualité	

La durée de la période de récolte

Le stade optimal de la récolte et la durée de la période de récolte revêtent une importance particulière dans la mesure où ils permettent de limiter les pertes. De ce fait, la récolte doit obligatoirement être effectuée dans un délai très court afin d'éviter la surmaturité et les pertes par égrenage.

Les résultats des essais conduits chez les agriculteurs, ont montré que la récolte tardive des céréales, pénalise fortement les rendements en grain (Tableau 2). Les pertes de rendement augmentent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la date optimale de récolte, et elles peuvent atteindre 30% pour des récoltes réalisées un mois après cette date (Nait-Dahmane, 1987).

Tableau 2 : Effet de la date de récolte sur le rendement en grain du blé (Nait Dahmane, 1987).

Date de récolte	Rendement obtenu (qx/ha)	Ecart de rendement par rapport à la première date	
		qx/ha	%
1ère date optimale	27.75	-	-
2e date (retard de 10 jours)	24.65	3.10	11.2
3e date (retard de 20 jours)	21.35	6.40	23.0
4e date (retard de 30 jours)	19.20	8.55	30.1

Le mode de récolte

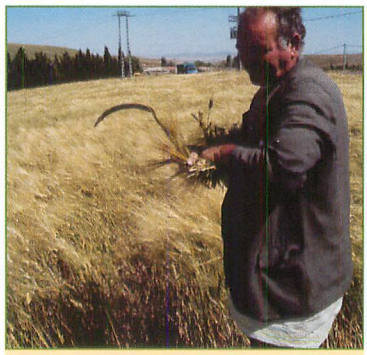
La récolte des céréales peut être effectuée en vrac ou en sac. Celle en vrac est potentiellement plus efficace et plus économique (Kaci, 1983). Cependant, elle nécessite des moyens spécifiques pour le transport et la manutention. Cette opération peut être réalisée :

- Manuellement : ce type de récolte est en déperdition, mais il reste utile dans les zones accidentées où la moissonneuse-batteuse ne peut pas accéder comme les zones montagneuses.

- Mécaniquement : récolte directe et récolte en 2 temps.



Récolte directe.



Récolte en 2 étapes (fauchage manuel).



Transport de la production.

- **Récolte directe** : la moissonneuse-batteuse constitue l'outil primordial pour la récolte directe des céréales (Figure 1).

- **Récolte en deux temps** : la récolte peut être effectuée avec une faucheuse lieuse ou manuellement, et le battage manuellement ou avec une batteuse à poste fixe. Elle est pratiquée uniquement dans les zones accidentées et aussi dans le cas ou la moissonneuse-batteuse n'est pas disponible et que tout retard peut engendrer des pertes considérables.

Réduire les pertes

Les principales causes des pertes à la récolte sont :

- Pertes naturelles (intempéries, oiseaux, insectes…) ;
- Pertes engendrées par une récolte tardive ;
- Pertes causées par le mauvais réglage des machines ou la vétusté de l'équipement de récolte.

Selon Nait Dahmane (1987), les pertes dues au non-respect de la période de récolte peuvent se présenter comme suit :

- Récolte avant maturité = pertes de prématuration ;
- Récolte à maturité = pertes de pleine maturation ;
- Récolte après maturité = pertes de surmaturité.

Le respect de la période de récolte permet d'avoir moins de pertes et des grains de meilleure qualité avec un taux d'humidité faible. Alors que pour les autres périodes de récolte, les pertes augmentent substantiellement et plus particulièrement en cas de retard des moissons.

Quant aux pertes engendrées par la vétusté ou le mauvais réglage des moissonneuses batteuses, elles peuvent être élevées et donc l'utilisation de machines adéquates et bien réglées est essentielle.

Les pertes à la récolte peuvent être réduites grâce :

- au respect de la période de récolte - stade optimal (maturité de la culture) ;
- au nettoyage de la machine avant son utilisation (préparation avant la récolte) ;
- au choix d'équipements adéquats ;
- à l'ajustement des réglages de la machine au champ.

La qualité de la récolte

Le réglage de la moissonneuse-batteuse

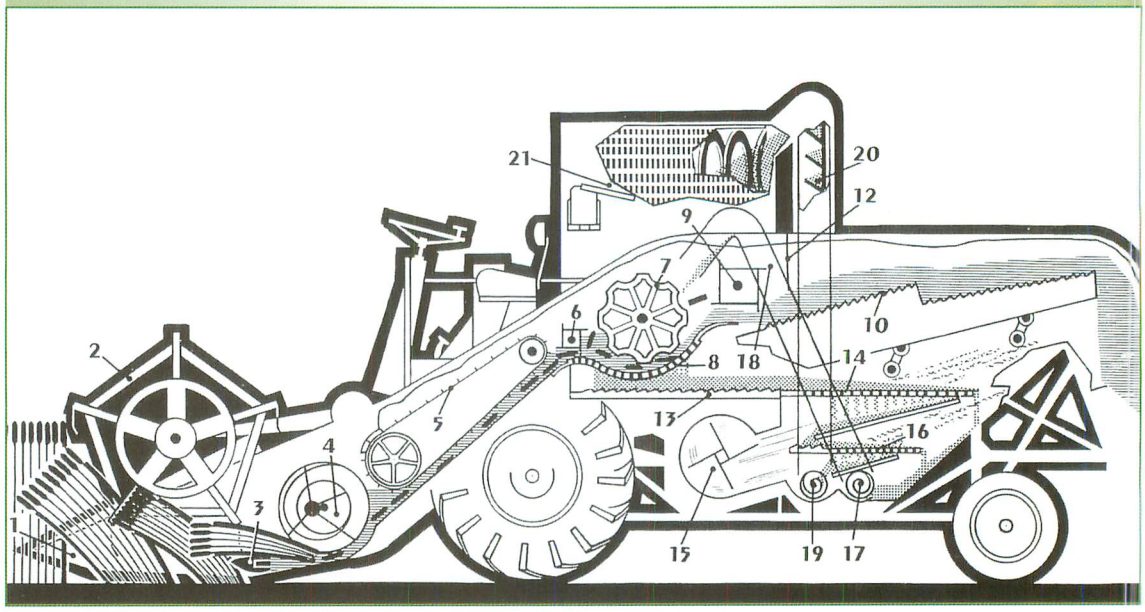
L'un des facteurs qui conditionne l'obtention d'un rendement optimal reste le bon réglage de la moissonneuse-batteuse. Trois fonctions essentielles doivent être bien réglées :

- Coupe - Alimentation ;
- Battage ;
- Séparation - Nettoyage.



Un ensemble de conseils sont utiles pour assurer une bonne récolte (Bahri, 1996 ; Anonyme, 1999) (Figure 2).

Figure 1 : Schéma d'une moissonneuse-batteuse (Anonyme, 1999).



1- Diviseur, 2- Rabatteur, 3- Tablier de coupe, 4- Vis sans fin, 5- Elévateur-convoyeur, 6- Tambour engreneur, 7- Batteur, 8- Contre-batteur, 9- Tambour de dégagement, 10- Secoueurs, 12- Déflecteur, 13- Récepteur des grains battus, 14- Grille supérieure, 15- Ventilateur, 16- Grille inférieure, 17- Vis à ôtons, 18- Elevateur, 19- Vis sans fin, 20- Elevateur à palettes, 21- Réservoir (trieur ensacheur).

La coupe - alimentation

Cette fonction est assurée par le bon fonctionnement du rabatteur, de la barre de coupe, de la vis d'alimentation et du convoyeur. Il faut donc surveiller tous ces équipements.

- Le rabatteur :
  - son régime doit être légèrement supérieur à la vitesse d'avancement. Une vitesse trop rapide, entraîne une suralimentation et peut causer des pertes de grains.
  - son arbre doit être réglé pour qu'il soit légèrement avancé par rapport à la barre de coupe pour éviter les pertes d'épis.
  - Il doit être positionné de telle sorte que les griffes attaquent la culture à mi-distance entre le niveau de la coupe et la hauteur de la barre de coupe.

- La barre de coupe :
  - Il faut relever la barre de coupe pour éviter les obstacles et l'ajuster en fonction de la hauteur des céréales pour récupérer l'ensemble des épis et éviter la surcharge due à la coupe basse.

- La vis d'alimentation et le convoyeur :

  - régler l'espacement entre la plateforme et la vis d'alimentation. Au cas où l'espacement est faible, il y aura une cassure des grains et un hachage de la paille ;
  - ajuster la vitesse de la vis d'alimentation afin d'éviter le jet de la récolte en cas d'alimentation forcée du convoyeur ;
  - régler la tension de la chaîne du convoyeur pour assurer une alimentation convenable à l'unité de battage.

Le battage

- Le serrage batteur / contre-batteur et régime du batteur ;

  - Il faut régler la vitesse de rotation du batteur et l'écartement batteur/contre-batteur. La vitesse du batteur doit être comprise entre 10 et 23 mètres/seconde (Simon *et al.*, 1989). Ceci pour éviter un battage insuffisant (épis non battus et surcharge des secoueurs) ou un battage excessif (grains cassés).
  - En cas de battage excessif malgré un bon réglage du batteur, diminuer la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse.

ATTENTION : CONCERNANT LE RÉGIME DU BATTEUR, SON RÉGLAGE A LE PLUS D'INCIDENCE SUR LES TAUX DE GRAINS CASSÉS ET DE GRAINES DONT L'EMBRYON EST ÉJECTÉ.

Suivant l'état de la récolte, on peut régler le batteur et le contre-batteur (Tableau 3) :

Tableau 3 : Réglages du batteur et contre batteur d'une moissonneuse-batteuse pour la récolte des céréales (Simon *et al.*, 1989).

Etat des grains récoltés	Actions à effectuer sur le batteur	Actions à effectuer sur le contre-batteur
Grains restants dans la paille	Augmenter la vitesse de rotation du batteur	Resserrer le contre-batteur
Grains cassés	Diminuer la vitesse du batteur	
Grains écrasés	Diminuer l'écartement entre le batteur et le contre-batteur	

Pour les réglages de base de la moissonneuse-batteuse, il faut se référer aux indications du constructeur.

La séparation - nettoyage

- Secoueurs

  - Eviter les récoltes trop vertes, elles entraînent un battage insuffisant ;
  - Vérifier que la triangulaire ne bute pas, ce qui entraîne un bourrage de paille au niveau des secoueurs.



- Grille supérieure et grille inférieure
  - Régler l'ouverture de grille supérieure de sorte à ne laisser passer que le grain.
- Ventilateur
  - Ajuster la vitesse de ventilation et l'ouverture des grilles ;
  - Effectuer un bon nettoyage.

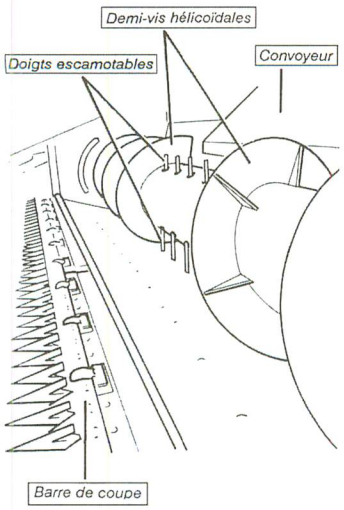
Tableau 4 : Les pertes en bout de grilles à l'arrière de la moissonneuse-batteuse (Thibaud et Lajoux, 2000).

Si l'on trouve	Il faut en priorité	Quelques astuces
des fractions d'épis ou beaucoup d'épillets imbattus	Resserrer d'un cran l'écartement batteur /contre-batteur.	
des épillets en bout de grilles	Augmenter l'ouverture de la rallonge de grille.	Augmenter la charge de la machine
des pertes de grains vêtus et pertes de grains nus	Augmenter l'ouverture de la grille supérieure. Diminuer la capacité de ventilation de 10%. Diminuer la charge de la machine.	

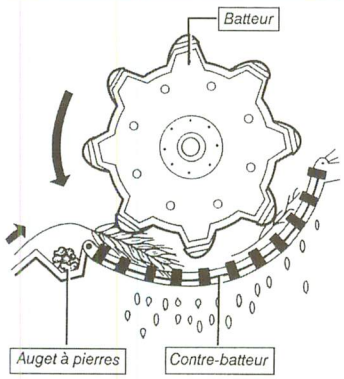


Figure 2 : Comment régler la moissonneuse-batteuse? (Anonyme, 1999).

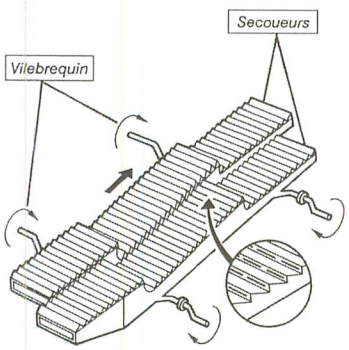
Barre de coupe et vis d'alimentation



Le batteur et le contre-batteur



Les secoueurs



Sacher que la moissonneuse-batteuse remplit trois (03) fonctions essentielles : Coupe-alimentation, battage, et séparation-nettoyage.

1- COUPE-ALIMENTATION : Cette fonction est assurée par le bon fonctionnement du rabatteur, de la barre de coupe, de la vis d'alimentation et du convoyeur.

le rabatteur

- Adapter le régime à la vitesse d'avancement (une vitesse élevée entraîne une suralimentation).
- Régler l'arbre du rabatteur, pour qu'il soit légèrement avancé, par rapport à la barre de coupe, pour éviter les pertes d'épis.
- Positionner le rabatteur, pour que es griffes attaquent la culture au milieu de la distance, entre le niveau de coupe et le haut de la culture.

la barre de coupe

- Régler la hauteur de la coupe, en fonction de la hauteur de la céréale, pour récupérer la majorité des épis et éviter la surcharge due à la coupe basse.
- Affûter la lame et changer éventuellement les sections endommagées, pour une coupe efficace.

la vis d'alimentation et convoyeur

- Régler l'espacement entre la plate-forme et la vis d'alimentation (faible espacement, cassure de grains et hachage de la paille).
- Régler la vitesse de la vis d'alimentation, pour éviter le jet de la récolte, en cas d'alimentation forcée du convoyeur.
- Régler la tension de la chaîne du convoyeur, pour assurer une alimentation convenable à l'unité de battage.

2 - BATTAGE

le batteur et contre-batteur

- Réduire l'écartement entre les deux organes ou augmenter la vitesse du batteur, pour éviter un battage insuffisant (épis non battus et surcharge des secoueurs).
- Augmenter l'espacement entre les deux organes ou diminuer la vitesse du batteur, pour éviter un battage excessif (grains cassés).

En cas où le battage excessif persiste, diminuer la vitesse d'avancement de la moissonneuse-batteuse.

3 - SÉPARATION - NETTOYAGE

les secoueurs

- Vérifier que la triangulaire ne bute pas, ce qui entraîne un bourrage de paille, au niveau des secoueurs

la grille supérieur et grille inférieure

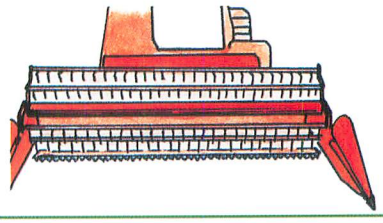
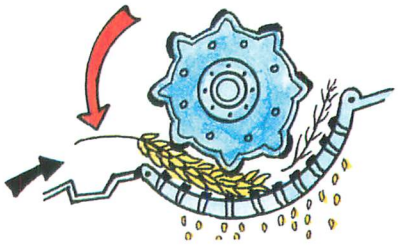
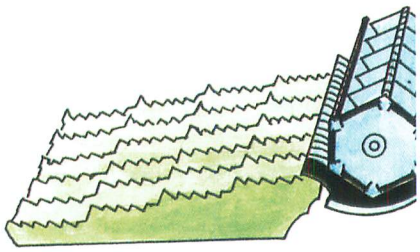
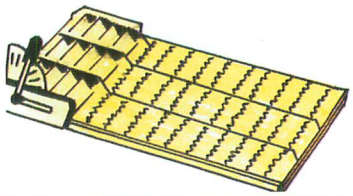
- Régler l'ouverture de la grille supérieure de manière à ne laisser passer que le grain. Dans le cas d'une large ouverture, la paille risque de passer à travers la grille inférieure, causant ainsi une surcharge et le retour massif d'ôtons.

Dans le cas d'une petite ouverture, les grains ont tendance à passer avec les ôtons ou pertes à l'arrière de la machine

le ventilateur

- Ajuster la vitesse de la ventilation et l'ouverture des grilles par un bon nettoyage, ce qui évite de rejeter les épis non battus et les grains à l'arrière de la moissonneuse-batteuse et dans la vis à ôtons.

Figure 3 : Remèdes aux principaux incidents de fonctionnement de la moissonneuse-batteuse (Anonyme, 1999).

INCIDENTS	LOCALISATION	REMEDES
	Organes de coupe	
Pertes de grains au niveau de la coupe		⌄ Réduire la vitesse du rabatteur ⌄ Baisser la coupe si elle est trop haute ⌄ Affûter ou charger les sections ⌄ Redresser les doigts déformés
Pertes de grains au niveau du batteur	Organes de battage	⌄ Augmenter la vitesse du batteur ⌄ Réduire l'écartement ⌄ Attendre que la récolte soit sèche ⌄ Changer les battes
Bourrage du batteur		⌄ Couper plus haut et réduire la vitesse d'avancement ⌄ Augmenter légèrement la vitesse du batteur
Grains cassés		⌄ Réduire la vitesse du batteur ⌄ Ecarter le batteur du contre-batteur
Pertes de grains au niveau des secoueurs	Organes de séparation	⌄ Augmenter ou réduire la vitesse de l'arbre des secoueurs ⌄ Elever la hauteur de coupe ⌄ Augmenter l'écartement entre batteur et contre-batteur si la paille est trop broyée ⌄ Réduire la vitesse du batteur si les ouvertures du secoueur sont obstruées
		
Pertes de grains au nettoyage	Organes de nettoyage	⌄ Régler la grille à ôtons ⌄ Régler et/ou orienter la ventilation ⌄ Nettoyer les grilles ⌄ Changer la grille inférieure par une autre plus adaptée
		

Références

Anonyme, 1999. Récolte des céréales. Conseils pratiques. Programme de développement de la céréaliculture. ITGC/ MAP, Algérie, 6p.

Bahri M., 1996. Régler la moissonneuse-batteuse pour la récolte des céréales. Fiche n°15. Guide du développeur en aridoculture. Fiche d'information agronomique et socio-économique du Centre Aridoculture de Settat 2p.

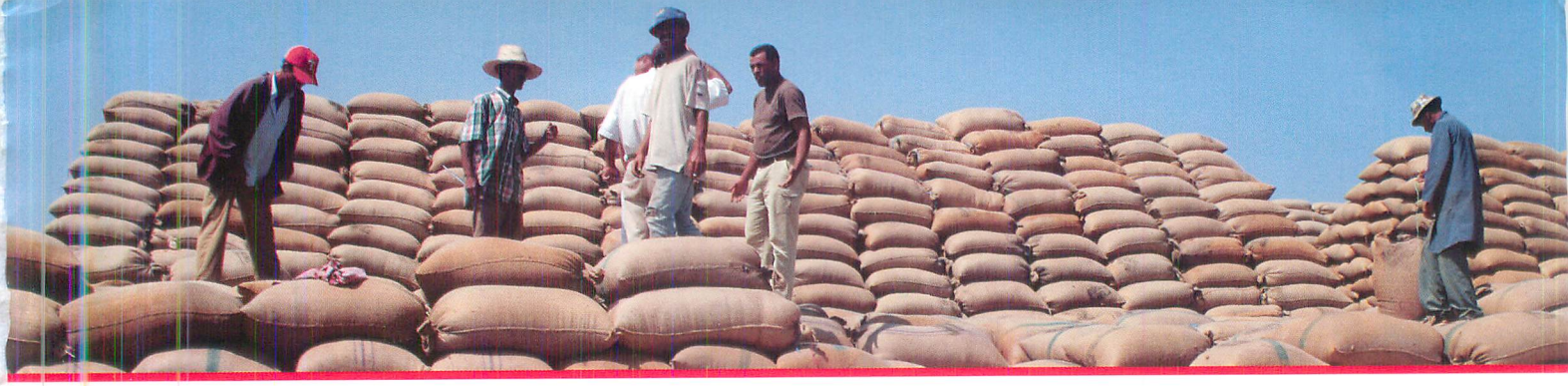
Kaci F., 1983. Optimisation de la récolte des céréales avec la moissonneuse batteuse : cas de la récolte en vrac et en sac. Thèse de magister en sciences agronomiques. INA El Harrach. Alger.

Nait Dahmane T., 1987. Pertes sur champs. Céréaliculture. Revue de l'institut technique des grandes cultures. N°17. ITGC. pp: 7-14.

Simon H., Codaccioni P., Lecoeur X., 1989. Produire des céréales à pailles. Tec & Doc - Lavoisier ed., Paris. 333p.

Thibaud N., Lajoux P., 2000. Semences de blé dur. Récoltez au bon stade et ajustez les réglages au champ. Bulletin de la fédération nationale des agriculteurs multiplicateurs de semences. FNAMS. France. 4p.





CHAPITRE XIV Le stockage des grains de céréales

La préservation de la qualité des grains depuis leur récolte jusqu'au moment de leur utilisation dépend largement de la maturité physiologique des grains après la récolte (Bartali *et al.*, 1994). En terme de préservation, les bonnes pratiques de conservation consistent à maintenir le plus longtemps possible la qualité du produit sans qu'elle soit détériorée. Dans le Maghreb, le stockage des grains de céréales se pratique soit avec les techniques modernes (unités modernes industrielles), soit avec les techniques traditionnelles à la ferme. En effet, les systèmes traditionnels de stockage des grains de céréales sont pratiqués généralement à la ferme, à l'opposé des systèmes modernes qui sont pratiqués pour le stockage de tonnage important.

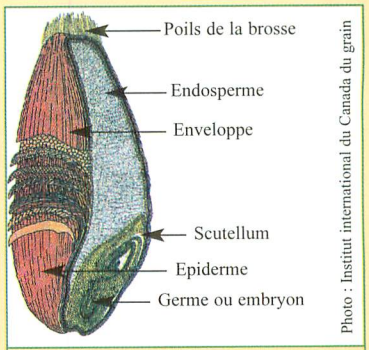
La constitution du grain

Avant de parler du stockage, il est très important de parler d'abord du produit à stocker que sont les grains de céréales. Ces dernières sont des graminées, cultivées pour l'amidon de leurs graines et utilisées pour la consommation humaine ou animale.

Le grain est un organisme vivant, constitué de plusieurs parties dont l'embryon qui assure le développement d'une nouvelle plantule. Ainsi, même pendant le stockage, la graine est à l'état de vie ralentie et peut donc germer dans certaines conditions de température et d'humidité.

Les éléments constitutifs de la graine sont :

- L'enveloppe ou péricarpe : elle protège le grain ;
- L'albumen ou endosperme : substances de réserves ;
- L'embryon ou germe : composé du cotylédon et de la plantule.



Coupe du grain de blé tendre.

Les mécanismes de l'altération du grain

L'entreposage des grains de céréales pour une durée plus ou moins longue, en quantités variables et dans des conditions souvent précaires, n'est pas simple, car plusieurs facteurs d'altération peuvent être à l'origine de pertes considérables. Aussi, afin de réduire au maximum ces pertes, le grain doit être stocké dans de bonnes conditions pour qu'il ne soit pas altéré durant la période de conservation. Autrement, les grains peuvent subir des dommages causés par des agents extérieurs ou des processus internes de dégradation aggravés par la température et l'humidité durant le stockage.



Les causes de ces altérations sont de diverses origines :

- Biologique : attaque de rongeurs, oiseaux et insectes ;
- Microbiologique : moisissures de stockage ;
- Enzymatique : en mauvaises conditions, les enzymes favorisent la dégradation des sucres et le rancissement des lipides ;
- Chimique : en cas de fortes températures, dégradation de la structure de l'amidon, des protéines et pertes de vitamines ;
- Mécanique : mauvaises opérations de manutention qui provoquent la cassure des grains.

Ces altérations peuvent être aggravées par d'autres facteurs tels que la durée du stockage, la température du grain, l'humidité du grain et les insectes.

Le stockage du grain

Il est indispensable de connaître l'humidité et la température du grain avant le stockage. Ainsi, pour les grains de céréales, cela peut être réalisé au moment de la récolte ou au moment de les stocker.

Quant au stockage ou à la conservation des grains, il doit être réalisé selon des normes bien précises afin d'éviter leurs altérations. Ainsi, les principaux facteurs à surveiller au cours de l'entreposage sont :

- **Le taux d'humidité du grain avant l'entreposage** : plus le grain est humide et plus les dégradations sont importantes. L'humidité du grain ne doit pas dépasser 14-14.5%. Au delà, il y a des risques de mauvaise conservation. De plus, les moisissures peuvent se développer avec une humidité relative de l'air de 60-70% et causer d'importants dégâts sur le grain.

- **La température du grain et du local d'entreposage** : il faut abaisser la température de stockage afin de limiter les pertes de matières sèches. En effet, généralement toutes les dégradations enzymatiques, chimiques ou biologiques sont freinées par les basses températures aux environs de 5°C.

- **La présence d'insectes et le niveau de population** : en fait, ils vivent au détriment des grains et contribuent à la propagation des moisissures. De plus, la ponte dans les grains, altère leurs caractéristiques physiques.

La lutte contre les ravageurs des grains (insectes, oiseaux et rongeurs)

Il est essentiel de veiller sur les grains stockés car ils sont susceptibles de subir à tout moment des dégradations de divers prédateurs déjà cités auparavant (oiseaux, rongeurs et insectes). Aussi, dès que la présence de ces prédateurs est vérifiée, il faut s'appliquer à les éliminer pour bloquer les altérations qu'ils peuvent causer sur les grains.

- **Les insectes** : la lutte peut être soit préventive, soit curative. La lutte préventive consiste à nettoyer les locaux et autres matériels utilisés (moissonneuses-batteuses, remorques, vis, etc...), le traitement insecticide des éléments nettoyés, la ventilation et le refroidissement des locaux de stockage. Le choix du mode de stockage constitue un autre facteur de prévention contre les infestations d'insectes au cours du stockage.


Photo : AAC, Canada

Une étude réalisée chez les agriculteurs de la région du Haouz au Maroc, a montré que parmi les modes de stockage traditionnel, celui en vrac est le plus exposé aux attaques d'insectes (Jazouane, 1995). La lutte curative contre les insectes de stockage, permet de traiter les grains avec un insecticide de contact. Il faut le choisir parmi ceux agréés et disponibles sur le marché.

- **Les rongeurs** : de même que pour les insectes, il existe deux façons de lutter contre ces prédateurs : lutte préventive et curative. Pour la première, il s'agit de bien dégager les abords et nettoyer les bâtiments de stockage et aussi veiller à fermer tous les orifices pour éviter que les rongeurs puissent pénétrer à l'intérieur des bâtiments. Sur le plan curatif, il s'agit d'utiliser des appâts et des pièges dans les lieux infestés.

- **Les oiseaux** : la façon la plus efficace de lutter contre les oiseaux est de les empêcher d'entrer dans les infrastructures de stockage et donc d'accéder au grain.

Les techniques utilisées pour la conservation du grain

Une grande partie de la production est gardée au niveau de l'exploitation ou de la localité pour être utilisée localement, soit rapidement, soit au cours de l'année, pour les semis d'une part et pour la consommation humaine et animale d'autre part. Ce stockage au niveau de l'exploitation est très avantageux puisqu'il permet d'éviter des investissements lourds, des frais de transport et de manutention ainsi que des pertes qui peuvent survenir au cours de ces opérations.

Plusieurs dispositifs et procédés bien adaptés sont utilisés actuellement pour la conservation du grain. Les techniques de stockage des grains de céréales sont de deux types :

- **Techniques ou procédés traditionnels** : dans ce cas, les structures utilisées permettent une bonne conservation et sont peu coûteuses, puisque construites avec des matériaux locaux et adaptées en fonction des besoins (type de grain et qualité) ;

- **Techniques modernes** : ce type de stockage, se rencontre surtout dans les coopératives, les magasins portuaires et aussi dans certaines exploitations modernes. Les grains de céréales sont manipulés, emmagasinés et transportés plusieurs fois après la récolte et au moment d'être consommés.

Les techniques traditionnelles

Les principales techniques traditionnelles utilisées au Maghreb pour le stockage des céréales sont : les entrepôts souterrains (matmoras), le silo en roseau et le silo en matériaux locaux.

- **Entrepôts souterrains (matmoras)** : Il s'agit d'un local souterrain, sous forme sphérotronconique, ayant un diamètre de moins de 60 cm et une profondeur de 2.5 à 5 m (Bartali *et al.*, 1994). La conservation des grains dans la matmora se fait en vrac. Ce type d'entreposage présente plusieurs avantages :

  - coût réduit de conservation et de conception ;
  - stabilité thermique ;
  - durée de vie élevée : de l'ordre d'une dizaine d'années (Bartali *et al.*, 1994).



A l'opposé du revêtement en paille utilisé traditionnellement, l'amélioration du système de stockage dans les matmoras nécessite un revêtement interne avec un film plastique, ce qui permet de réduire énormément les pertes dues à ce système de stockage (Aït Bella et El Arabi, 1993).

- **Silo en roseau** : le silo en roseau, appelé également "sella", est d'une forme plus ou moins cylindrique. Il a une hauteur de l'ordre de 1.5 m et un diamètre de 1 m au sommet et 1.2 m à la mi-hauteur (Aït Bella et El Arabi, 1993). Sa capacité est en moyenne de 15 à 20 quintaux, sa structure est aérée et sa durée de vie est de 4 années (Bartali *et al.*, 1994). Le stockage des grains dans les sellas se fait en vrac. L'avantage de cette technique de stockage est son faible coût. Afin d'améliorer ce système de stockage, il est recommandé d'utiliser un film plastique pour le revêtement interne. Sur la face externe de la sella, un enduit avec de la bouse de vache et de l'argile permet d'améliorer l'efficacité de stockage de cette technique (Aït Bella et El Arabi, 1993).

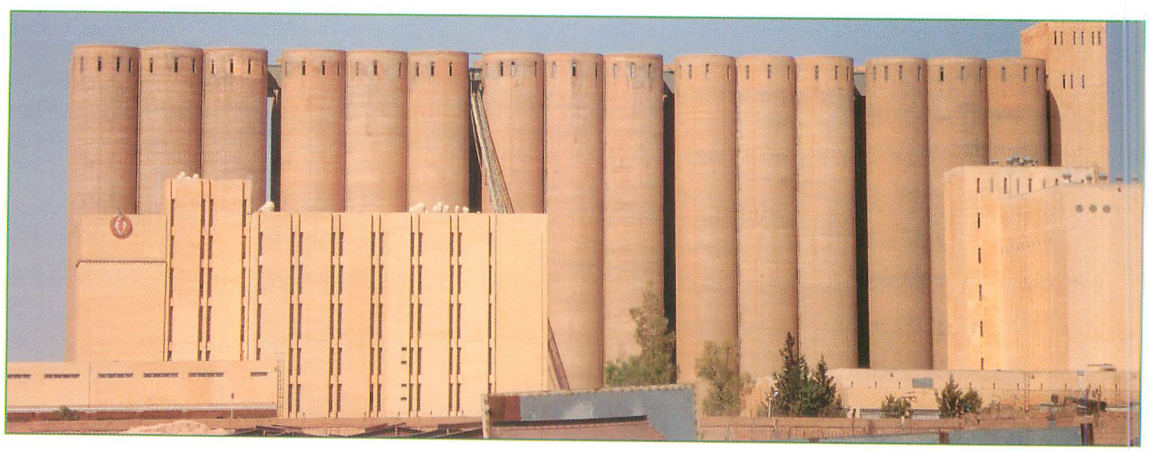
- **Silo en matériaux locaux** : cette technique est utilisée à vaste échelle en Chine et elle a été adaptée dernièrement au Maroc (Aït Bella et El Arabi, 1993 ; Bartali *et al.*, 1994). Les silos sont sous forme de cuves circulaires ayant des parois en argile-paille armées par des cordons de paille disposés en cercles. Les unités ont généralement des diamètres de 4 à 10 m et des hauteurs de 2 à 8 m (Bartali *et al.*, 1994). Les avantages du silo en matériaux locaux peuvent être résumés comme suit (Bartali *et al.*, 1994) :

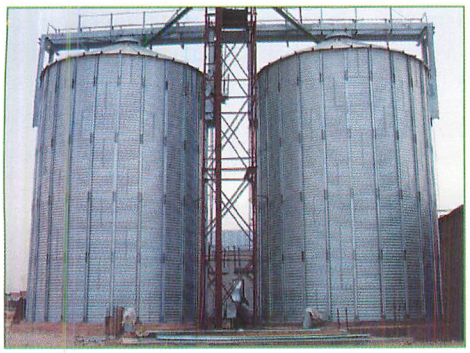
  - coût réduit ;
  - matériaux de construction disponible sur place ;
  - l'argile mélangée à la paille offre une excellente résistance à la fissuration ;
  - Excellente isolation thermique.

Les techniques modernes

Les silos modernes sont des lieux de stockage de grande dimension fabriqués principalement en métal et en béton armé.

- **Les silos en béton armé** : sont fabriqués en béton armé et ont de grandes capacités de stockage. Ils se caractérisent par de grandes hauteurs allant de 50 à 70 m (Bartali *et al.*, 1994).





- **Les silos en métal** : ils sont fabriqués en métal léger, soit en tôles d'acier galvanisé ou en tôles d'aluminium planes ou ondulées. Les avantages de ce type de silos résident d'une part dans son montage qui est souvent facile et rapide, et d'autre part, dans le poids du métal qui par sa légèreté, permet de construire ce type de silos sur différents types de sols (Aït Bella et El Arabi, 1993).

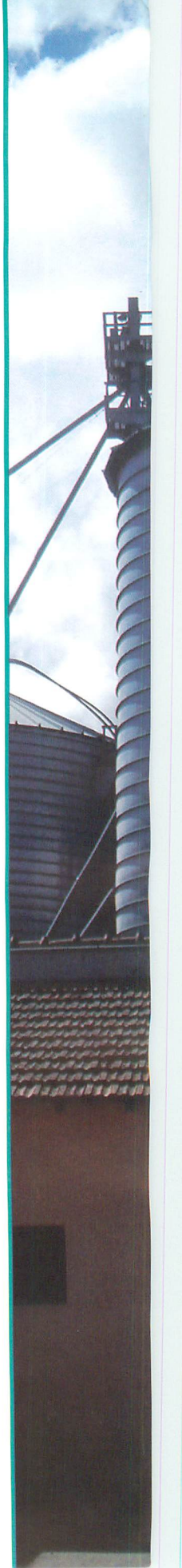


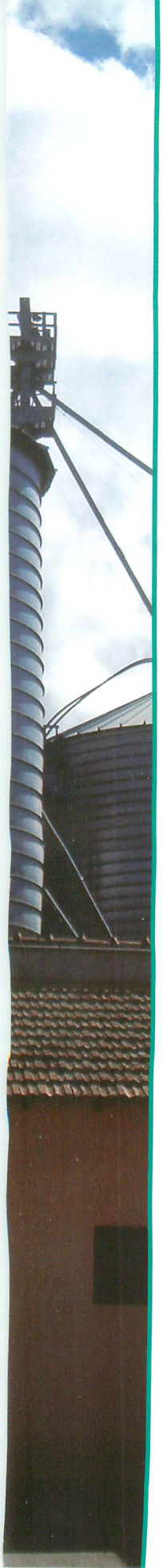
- **Les cases en métal ou en béton** : les avantages de ce type de structure résident dans le fait que les cloisons utilisées en métal ou en béton sont mobiles, de dimensions variables et facilement modifiables en fonction des besoins.

- **Le stockage en sacs dans les entrepôts** : la conservation dans des sacs empilés sur des palettes, permet une grande souplesse, une manutention aisée, mais les risques d'altération par les attaques d'insectes et de rongeurs sont importants et doivent être pris en compte dans ce cas. Cependant, il reste le plus économique (Appert, 1985).



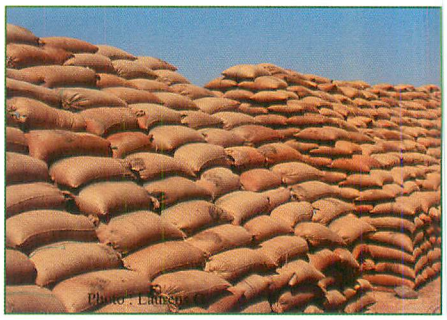






+ **Le stockage en vrac** : il très utilisé et principalement dans des silos verticaux métalliques ou en béton armé. Il manque de souplesse car il faut vider les sacs à la réception mais la manutention est plus rapide et les risques d'attaques et de dégâts de rongeurs sont limités (Appert, 1985).

+ **Le stockage en plein air** : il constitue une solution à caractère provisoire. La production doit être disposée sur des palettes pour éviter que l'humidité du sol n'y pénètre. Elle peut aussi être placée sur des bâches. En plus, à titre de protection, elle peut être recouverte de bâches pour la protéger des intempéries.



Références

Ait Bella, J., El Arabi, E. 1993. Suivi et évaluation des performances de cinq systèmes de stockage de céréales et légumineuses dans le Saïs. Mémoire de 3ème cycle IAV, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Dept Equipement Hydraulique, Rabat (Ma), 200p.

Appert, J. 1985. Le stockage des produits vivriers et semenciers. Le technicien de l'agriculture tropicale. Ed. Maisonneuve & Larose. Centre technique de coopération agricole et rurale. 98p.

Bartali, E.H., Persoons E., Verstraeten Ch. 1994. La conservation des denrées : Cas des céréales. In : Agronomie Moderne, bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. T.E. Ameziane et Persoons (eds). HATIER - AUPELF- UREF (ed.). pp : 465-486.

Jazouane, B. 1995. Evaluation des pertes pondérales et importance des infestations d'insectes sur céréales stockées au Tensift. Mémoire d'accès au grade d'Ingénieur en Chef. MARA - DPV Maroc. 92p.

Dans la région du Maghreb, les céréales d'automne sont très importantes tant sur les plans agronomique et économique que social. Elles représentent la sole la plus importante et constituent la base de l'alimentation et occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires des populations aussi bien dans les milieux ruraux qu'urbains. En effet, elle est évaluée en 2000, à 205 kg/an en Tunisie, 219 kg/an en Algérie et 240 kg/an au Maroc.

De plus, les besoins en céréales des trois pays du Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie) sont très importants et la production céréalière moyenne qui est de 9 347 705 millions de tonnes (FAOSTAT, 2004) pour la même période, demeure faible et ne couvre pas les besoins nationaux.

En fait, la production céréalière est située dans les zones semi-arides et arides soumises aux aléas climatiques. Aussi, les niveaux de productivité moyens restent modestes (11 qx/ha) et ce, malgré tous les programmes de développement engagés par les pays du Maghreb durant ces dernières décennies. Cette dépendance de la production céréalière vis à vis du climat, constitue un frein aux différents programmes d'intensification mis en œuvre depuis plusieurs années.

Ainsi, malgré tous les efforts de développement et d'investissements consentis au cours des dernières décennies, l'utilisation de techniques de production inadéquates ainsi qu'un faible taux d'utilisation des facteurs d'intensification (semences de qualité, engrais et pesticides) ne permettent pas d'obtenir des rendements élevés. De plus, l'agriculture est peu mécanisée avec en moyenne un taux qui varie entre 88 et 225 hectares par tracteur en 2001 et le taux d'utilisation des engrais est encore plus faible (13 à 37 kg/ha) (FAOSTAT 2002 et 2003 ; MEDAGRI, 2002 et 2003).

Aussi, afin de pouvoir améliorer les rendements et par la même, la production céréalière, il est nécessaire d'encourager et de convaincre les agriculteurs d'adopter des techniques de production adéquates dans la zone où ils sont localisés.

Le présent ouvrage n'a pas la prétention d'offrir des solutions à tous les cas mais se propose d'aider et d'orienter les techniciens de l'agriculture à réfléchir sur la meilleure stratégie à adopter pour améliorer le niveau de productivité des céréales dans l'exploitation agricole dans la région du Maghreb.

Mots clés : céréales d'automne, blé, orge, production, semis, variétés, travail du sol, fertilisation, irrigation, désherbage, maladies, récolte, stockage.