

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique**

**BADJI MOKHTAR ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR ANNABA**



**Faculté des Sciences  
Département de Biologie**

**Thèse**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de **Doctorat es Sciences**

**Option**

Biologie végétale et Amélioration des Plantes

**Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la  
qualité technologiques chez le blé dur en Algérie**

Présentée par :

**Mme Ait-Slimane-Ait-Kaki Sabrina**

**Devant la commission de Jury**

<b>M. BRINIS Louhichi.</b>	Président	Pr. Univ. Annaba
<b>M. TAHAR Ali</b>	Directeur de thèse	Pr. Univ. Annaba
<b>M. HALILET Mohamed Tahar</b>	Examineur	Pr. Univ. Ouargla
<b>M. SOLTANE Mahmoud</b>	Examineur	M. C. C.U. El Tarf
<b>M. BOUDELAA Mokhtar</b>	Examineur	M. C. Univ. Annaba

## Année Universitaire 2007- 2008

### Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce à l'aide de nombreuses personnes que je voudrais remercier ici.

Tout d'abord, je tiens à remercier Monsieur Tahar Ali, Professeur à l'Université Badj-Mokhtar d'Annaba et directeur du laboratoire de Biologie Végétale et Environnement, d'avoir accepté de diriger ce travail avec compétence et dévouement, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie également Mme Desclaux Dominique, Ingénieur de recherche à l'ENSAM de Montpellier, pour son aide précieuse et de m'avoir accueillie au sein du laboratoire de Diversité et Génome des Plantes Cultivées à INRA de Montpellier. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde sympathie.

Ce sujet aux multiples facettes, m'a amené à travailler avec plusieurs équipes dans lesquelles j'ai toujours été bien accueillie.

A l'I.T.G.C. d'El Khroub, je tiens à remercier Mr. Benbelkacem A. pour tous ces précieux conseils et orientations.

Mes vifs remerciements vont à Mr Zeghida A., Directeur de l'I.T.G.C. d'El Harrach, qui a toujours mis à ma disposition les variétés de blé dur qui ont servi à mon travail, je le remercie également pour son soutien moral et matériel durant toute la période de ma thèse.

*Mes remerciements vont à :*

Monsieur Brinis Louhichi ; Professeur à l'Université Badji-Mokhtar, pour avoir bien voulu me faire l'honneur de présider le jury, je le remercie également pour tout le savoir qu'il ma transmit durant mon cursus universitaire.

Monsieur Hallilet Mohamed Tahar ; Professeur au Centre Universitaire de Ouargla, qui me fait l'honneur de d'examiner ce travail.

Monsieur Boudelaa Mokhtar ; Maître de conférence à l'université Badji-Mokhtar, pour avoir accepté de faire partie du jury.

Monsieur Soltane Mahmoud ; Maître de conférence au Centre Universitaire d'El Tarf, pour avoir accepté d'examiner cette thèse. Je n'oublierai jamais ces encouragements et son aide tellement précieuse lorsque j'étais au département de Biologie du C.U.E.T.

Un grand merci à Mme Tlili-Ait kaki Yasmina ; Maître de conférence au département de pharmacie, pour tout ce qu'elle ma prodigué comme conseils et encouragements.

Au sein des laboratoires où j'ai effectué mes analyses, je remercie tous les techniciens et ingénieurs de laboratoire.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur Benaouda Zineddine ; Maître de conférence à l'Université de Sidi Bel Abbes, pour m'avoir aidé dans mon travail pratique.

A mes amies et collègues de travail, Chibane Hayet, Monssari Akila, Haddadj Assia, Halladj Fatma, Rizi Hadia et Boutabba Nawel, pour leur aide et soutien moral.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail en particulier, Barour Choukri de l'Université de Souk Ahras et Mezrich lamine de l'Université de Skikda.

Des remerciements particuliers à mes parents, ma belle famille et à Monsieur Ait Slimane Idir pour tout ce qui ont fait pour moi.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, mes vifs remerciements.

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Classification des espèces du genre <i>Triticum</i> (D'après Mac Key, 1968)	
02	Composition chimique des différentes parties d'un grain de blé : Valeurs moyennes et écarts courants exprimés en % de la matière sèche de la partie considérée	
03	Effet du stress hydrique sur le développement des céréales à différents stades	
04	Rôle du précédent cultural pour la culture du blé	
05	Fiche technique culturale du blé dur	
06	La répartition de l'azote et des protéines dans le grain de blé (% de matière sèche)	
07	Distribution histologique des principaux constituants du grain	
08	Liste des variétés de blé dur expérimentées	
09	Principaux caractères des variétés étudiées	
10	Evolution des rendements du blé dur (2000 /2005) en fonction des superficies	
11	Principales caractéristiques des essais durant les deux campagnes d'essais	
12	Caractéristiques agro-pédo-climatiques de certaines wilayas d'Algérie par classe potentielle	
13	Distribution de la pluviométrie pour le site d'El Khroub sur une moyenne de 25ans (1913 – 1938)	
14	Températures moyennes sur 25 ans (1913 à 1938) de la région de Constantine	
15	Températures moyennes sur 25 ans (1980 à 2005) de la région de Sidi Bel Abbas	
16	Distribution de la pluviométrie pour le site de Sidi Bel Abbas sur une moyenne de 25ans (1980 – 2005)	
17	Analyse de la variance à un critère de classification du PMG : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub).	
18	Analyse de la variance à un critère de classification du PMG : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar).	
19	Analyse de la variance à un critère de classification du PMG : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas).	
20	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de mitadinage : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub).	
21	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de mitadinage : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar).	
22	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de mitadinage : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas).	
23	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de moucheture : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub).	
24	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de moucheture : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar).	
25	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de moucheture : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas).	
26	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de cendre : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub).	

27	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de cendre : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar).	
28	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de cendre : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas).	
29	Analyse de la variance à un critère de classification d'indice de brun : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub).	
30	Analyse de la variance à un critère de classification d'indice de jaune : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub).	
31	Analyse de la variance à un critère de classification d'indice de brun : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar).	
32	Analyse de la variance à un critère de classification d'indice de jaune : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar).	
33	Analyse de la variance à un critère de classification d'indice de brun : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas).	
34	Analyse de la variance à un critère de classification d'indice de jaune : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas).	
35	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de protéines : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub).	
36	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de protéines : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar).	
37	Analyse de la variance à un critère de classification du taux de protéines : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas).	
38	Rendement (qx/h) des 21 variétés de blés dur par région de culture.	
39	Rendement semoulier (%) des 21 variétés de blés dur par région de culture.	
40	Qualité moyennes des 21 variétés de blé dur cultivées en Algérie (moyenne des trois sites).	
41	Modèle linéaire généraliser pour le rendement semoulier : Effet Année x Site.	
42	Modèle linéaire généraliser pour le poids de mille grains : Effet Année x Site.	
43	Modèle linéaire généraliser pour les taux de protéines : Année x Site	Effet
44	Modèle linéaire généraliser pour les taux de mitadinage : Année x Site	Effet
45	Corrélation entre Protéines /PMG des 21 variétés testes dans chaque site.	
46	Corrélation entre Protéines /mitadinage des 21 variétés testes dans chaque site.	
47	Test T de Student pour données appariées : PROTNI et PROTKH pour le site El-Khroub (2003/2004 – 2004/2005).	
48	Test T de Student pour données appariées : PROTNI et PROTKH pour le site Oued Smar (2003/2004 – 2004/2005).	
49	Test T de Student pour données appariées : PROTNI et PROTKH pour le site Sidi Bel Abbas (2003/2004 – 2004/2005).	
50	Test T de Student pour données appariées : Protéines NIRS et Kjeldhal pour chaque variété	
51	Test T de Student pour échantillons associés par paires : Comparaison de deux méthodes entre les deux années pour l'ensemble des sites	

## Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Le grain de blé : Structure	
02	Composition histologique d'un grain de céréale	
03	Les différents stades de développement du blé	
04	Effet de la sécheresse sur le métabolisme de la cellule	
05	Utilisation du grain de blé dur ( <i>Triticum durum</i> Desf.)	
06	Composition des protéines de la semoule de blé (D'après SHEWRY <i>et al.</i> , 1986)	
07	Distribution de la pluviométrie dans les différentes zones agro écologiques d'Algérie	
08	Précipitations dans la région d'El Khroub (2003/2005)	
09	Températures moyenne dans la région d'El Khroub (2003/2005)	
10	Précipitations dans la région de Oued Smar (2003/2005)	
11	Températures dans la région de Oued Smar (2003/2005)	
12	Précipitations dans la région de Sidi Bel Abbes (2003/2005)	
13	Température dans la région de Sidi Bel Abbes (2003/2005)	
14	La mouture du blé dur	
15	Comparaison des PMG des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)	
16	Comparaison des PMG des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)	
17	Comparaison des PMG des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbes (2003-2004-2005)	
18	Comparaison des Taux de mitadinage des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)	El
19	Comparaison des Taux de mitadinage des 21 variétés de blé dur pour le site Smar (2003-2004-2005)	Oued
20	Comparaison des Taux de mitadinage des 21 variétés de blé dur pour le site Abbes (2003-2004-2005)	Sidi Bel
21	Comparaison des Taux de Moucheture des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)	El
22	Comparaison des Taux de Moucheture des 21 variétés de blé dur pour le site Smar (2003-2004-2005)	Oued
23	Comparaison des Taux de Moucheture des 21 variétés de blé dur pour le site Bel Abbes (2003-2004-2005)	Sidi
24	Comparaison des Taux de Cendre des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)	El
25	Comparaison des Taux de Cendre des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)	
26	Comparaison des Taux de Cendre des 21 variétés de blé dur pour le site Bel Abbes (2003-2004-2005)	Sidi
27	Comparaison de l'Indice de Brun des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)	
28	Comparaison de l'Indice de Jaune des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)	El
29	Comparaison de l'Indice de Brun des 21 variétés de blé dur pour le site Smar (2003-2004-2005)	Oued

30	Comparaison de l'Indice de Jaune des 21 variétés de blé dur pour le site Smar (2003-2004-2005)	Oued	
31	Comparaison de l'Indice de Brun des 21 variétés de blé dur pour le site Bel Abbes (2003-2004-2005)	Sidi	
32	Comparaison de l'Indice de Jaune des 21 variétés de blé dur pour le site Abbes (2003-2004-2005)	Sidi Bel	
33	Comparaison des taux de protéines des 21 variétés de blé dur pour le site Khroub (2003-2004-2005)	El	
34	Comparaison des taux de protéines des 21 variétés de blé dur pour le site (2003-2004-2005)	Oued Smar	
35	Comparaison des taux de protéines des 21 variétés de blé dur pour le site Abbes (2003-2004-2005)	Sidi Bel	
36	Moyennes des protéines et des PMG pour l'ensemble des sites (campagne 2003/2004).	(campagne	
37	Moyennes des protéines et des PMG pour l'ensemble des sites (campagne 2004/2005).		
38	Moyennes des protéines et mitadinage pour l'ensemble des sites (campagne 2003/2004)		
39	Moyennes des protéines et mitadinage pour l'ensemble des sites (campagne 2004/2005).		
40	Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004).		
41	Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2004-2005).	des 21	
42	Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004).		
43	Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2004-2005).		
44	Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbes (2003-2004).	des	
45	Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbes (2004-2005).	des 21	

# Table de matières

## Introduction

## Partie I. Etude bibliographique

### Chapitre 01 : Caractéristiques et propriétés du blé dur

#### Introduction

#### 1.1 Importance économique et distribution

##### 1.1.1 Situation céréalière en Algérie

##### 1.1.2 Le blé dans le monde

##### 1.1.3 Variétés et catégories de blé

#### 1.2 Classification et origine du blé dur

##### 1.2.1 Classification botanique

##### 1.2.2 Origine génétique

##### 1.2.3 Origine géographique

#### 1.3 Caractères botaniques

##### 1.3.1 Structure histologique du grain de blé dur

##### 1.3.2 Composition biochimique du grain de blé

### Chapitre 02. La biologie du blé

#### 2.1 Le cycle physiologique du blé

##### 2.1.1 Période végétative

##### 2.1.1.1 Phase Germination levée

##### 2.1.1.2 Phase Levée- Tallage

##### 2.1.2 Période reproductrice

##### 2.1.2.1 Phase Montaison Gonflement

##### 2.1.2.2 Epiaison – fécondation

##### 2.1.2.3 Grossissement du grain

##### 2.1.2.4 Maturation du grain

#### 2.2 Exigence du blé

##### 2.2.1 Climat

##### 2.2.1.1 Température

##### 2.2.1.2 Eau

##### 2.2.1.2.1 La sécheresse

##### 2.2.1.2.2 Concept de déficit hydrique

##### 2.2.1.2.3 Comment Corriger le manque d'eau

##### 1. L'irrigation

##### 2. Utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation

#### 2.2.1.3 Eclairage

#### 2.2.2 Exigences édaphiques

1. Les caractéristiques physiques
2. Les caractéristiques chimiques

#### 2.3 Itinéraires techniques

##### 2.3.1 Précédent cultural

##### 2.3.2 Choix variétal

##### 2.3.3 Travail du sol

##### 2.3.4 Date et dose de semis

##### 2.3.5 La fertilisation

##### 2.3.5.1 Fumure de fond

##### 2.3.5.2 Fumure azotée

### **Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur**

#### 3.1 Introduction

##### 3.1.1 Notion de qualité

##### 3.1.2 Notion de qualité technologique

##### 3.1.3 Valeur meunière et semouliers des blés

#### 3.2 Qualité de 2<sup>ème</sup> transformation

#### 3.3 Les composants du grain en relation avec la qualité

##### 3.3.1 Les protéines

##### 3.3.2 Le gluten

##### 3.3.3 L'amidon

##### 3.3.4 Les pentosane

##### 3.3.5 Les lipides

##### 3.3.6 Interactions Lipides - protéines – amidon

##### 3.3.7 Les enzymes

##### 3.3.8 Les substances minérales

### **Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé**

#### 4.1 L'amélioration du blé dur

#### 4.2 Les outils utilisés pour l'amélioration de la qualité

##### 4.2.1 Outils biochimiques et technologiques

##### 4.2.2 Outils biotechnologiques

#### 4.3 Evolution sous pression de domestication et sélection

##### 4.3.1 La sélection du blé

##### 4.3.2 Amélioration par sélection de la teneur en protéines

#### 4.4 Mesure de la stabilité des critères de sélection

##### 4.4.1 Héritabilité $h^2$

##### 4.4.2 Contribution des critères technologiques a l'interaction G x E

##### 4.4.3 Quantification des interactions Génotype x Environnement

#### 4.5 Etude de la stabilité des critères de qualité : intra- site, inter- site

#### 4.6 L'amélioration de la production sous conditions climatiques variables

- 4.6.1 La sélection directe
- 4.6.2 La sélection indirecte

## **Partie II.**

### **Chapitre 05. Matériel et méthodes**

#### Introduction

#### 5.1 Protocole expérimental

#### 5.2 Le matériel végétal

#### 5.3 Présentation des régions d'étude

##### 5.3.1 La régions de Constantine

##### 5.3.2 La Station expérimentale de Oued Smar

##### 5.3.3 La régions de Sidi Bel Abbas

#### 5.4 Critères de qualités et méthodes d'appréciation

##### 5.4.1 La classification des blés dur

##### 5.4.2 Les analyses physiques

##### 5.4.3 Les analyses technologiques

##### 5.4.4 Les analyses biochimiques

#### 5.5 Collecte et Analyse statistique des données

##### 5.5.1. Les données

##### 5.5.2. Analyses statistiques

###### 5.5.2.1 Description des données

###### 5.5.2.2 Comparaison de deux méthodes d'analyses : NIRS et Kjeldhal

###### 5.5.2.3. Test T de STUDENT pour échantillons appariés

###### 5.5.2.4. Analyse de la variance à un critère de classification

###### 5.5.2.5 Analyse statistique multi variée

###### 5.5.2.6 MANOVA équilibré (interaction générale)

###### 5.5.2.7 Analyse en composantes principales (ACP)

###### 5.5.2.8 Dendrogramme (observation en groupes)

### **Chapitre 06 : Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensembles des cultivars.**

#### Introduction

#### 6.1 Le poids de mille grains.

#### 6.2 Le mitadinage.

#### 6.3 La moucheture.

#### 6.4 Les cendres.

#### 6.5 Détermination de la teneur en pigments.

#### 6.6 Les protéines.

#### 6.7 Discussion générale des résultats

## **Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque géotype aux différents milieux.**

Introduction

7.1 Sélection variétale

7.2 Effet variétal sur la qualité

7.3 Effet de l'environnement sur la qualité : Appréciation des variétés

Discussion générale

## **Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines**

Introduction

8.1 Relation PMG/protéines

8.2 Relation protéines/mitadinage

8.3 Comparaison entre deux méthodes d'analyses

8.3.1 Distribution pour chaque site.

8.3.2 Distribution pour chaque variété.

8.3.3 Distribution pour l'ensemble des sites

Discussion générale

**Conclusion générale**

**Références bibliographiques**

**Annexes**

## Résumé

Culture emblématique du pourtour méditerranéen, le blé dur est transformé principalement en semoule et en pâtes alimentaires. En Algérie, une grande partie de la production céréalière est soumise aux pratiques de l'agriculture traditionnelles, incapable d'amortir les irrégularités du climat, d'où des variations considérables dans les rendements d'une année à l'autre.

Cependant les exigences en terme de qualité technologique du grain de blé sont parfois difficiles à concilier avec les contraintes des producteurs. Ainsi, par exemple les forts taux de mitadinage et de moucheture, enregistrés en zone traditionnelle de culture du blé dur, entraînent des réfections importantes. Le niveau d'héritabilité  $h^2$  de ces critères permet d'attendre, en partie, un progrès par la sélection. Cependant, ils sont aussi fortement dépendants de l'environnement.

C'est ainsi que dans le cadre de l'amélioration du système d'adaptation variétale du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en Algérie et la classification du territoire en zones agro écologique homogènes, un travail a été initié et a permis d'expérimenter un germoplasme de blé dur (locales et introduites) sur trois sites et durant deux années consécutives (2003/2004 et 2004/2005) afin d'étudier en premier lieu la productivité de chaque variété et de les comparer, d'une part, entre sites et, d'autres part, dans les sites. En deuxième lieu l'appréciation des qualités technologiques à savoir le poids de 1000 grain, les protéines, le mitadinage et les indice de colorations. Et enfin l'étude de l'impact du milieu sur l'expression finale des caractères par l'étude de l'interaction Milieu x Génotype.

Les résultats complétés par une analyse statistique appropriée, nous ont permis de rassembler des informations concernant les caractères d'adaptation aux différentes zones expérimentées et de d'apprécier la stabilité de rendement ainsi que les taux de protéines.

**Mots clés :** Blé dur, Adaptation, Qualité technologique, Protéines, Interaction Milieu x Génotype

## **Problématique**

C'est en raison essentiellement de son importance et de ses incidences sur les équilibres socio-économiques, voire politiques de l'Algérie (dépendance structurelle vis-à-vis du Marché mondial) que la céréaliculture devient une urgence de développement. Par ailleurs, les données socio-économiques relatives à la démographie et aux revenus disponibles, montrent qu'il y a des pressions très fortes sur la demande des produits alimentaires et agricoles, notamment céréaliers (Benmahammed *et al.*, 1998).

L'Algérie, située globalement dans la diagonale semi-aride et aride, connaît une activité agricole à caractère pluvial, sans perspectives notables d'évolution tant qu'elle ne sera pas soustraite à l'influence des conditions climatiques qui en déterminent les niveaux de production et ne permettent pas, pour répondre aux énormes besoins de consommation des populations, de valoriser pleinement les importantes réserves de productivité disponibles. De ce fait, notre pays est à la recherche d'une voie qui lui permette d'émerger vers des niveaux de développement acceptables, après que les conditions géographiques et les données historiques que nous connaissons l'eussent placé dans le lot des pays pour qui se pose une problématique de développement (Benbelkacem et Kellou, 2000). Notons surtout que l'Agriculture pluviale étant très proche de son extension, la céréaliculture a déjà atteint les zones fragiles et marginales. Les systèmes de production et les assolements typiques de la grande céréaliculture en Algérie s'articulent principalement autour de la Jachère / Céréaliculture / Elevage ou Céréaliculture / Jachère ; le système de pratiques agricoles mis en place depuis assez longtemps, extensif, réduit la fertilité du sol et précarise les systèmes agro économiques (Abdelguerfi et Laouar, 2000).

Par ailleurs, l'adoption des pratiques d'intensification agricole par les agriculteurs devient difficile en raison notamment d'une pluviométrie globalement déficitaire (insuffisante), aléatoire et mal répartie dans l'espace et dans le temps (grandes variations interannuelles et saisonnières) caractérisée par un déficit qui survient généralement aux phases critiques de la plante. Le progrès génétique et l'amélioration des techniques culturales ont permis une augmentation des rendements. Toutefois l'autosuffisance reste difficile à atteindre. Les efforts enregistrés sont contrecarrés par un taux de croissance démographique élevé. Ces ainsi que les rendements de blé, de l'ordre de 07 à 08 qx n'ont pas évolué depuis des décennies, restent les plus bas de la région méditerranéenne et ont même baissé sous l'effet de la sécheresse qui y sévit depuis assez longtemps. Aussi, la question des rendements et la

productivité des sols deviennent le problème principal à résoudre. Que s'est-il donc passé et qu'est-ce qui a fait chuter la production céréalière algérienne ? Pour les agriculteurs, c'est dans la qualité des semences qu'il faut chercher les causes de cette effarante baisse de la production. Les responsables accusent, eux, les mauvaises conditions climatiques qui ont généré une chute des rendements et les agriculteurs qui ne respecteraient pas les directives des agronomes et refusent de vendre aux coopératives leurs récoltes qu'ils cèdent directement aux minoteries.

Les statistiques disponibles renseignent sur la faiblesse des performances réalisées en modèle intensif (8,70 qx en 1976 et 20 qx 1996) ou en modèle extensif (4,30 qx en 1976 et 9,5 qx en 1996). Pour faire face à ces besoins sans cesse croissants, l'Algérie doit ainsi importer quelque 1,8 M de tonnes de blé dur, dont environ 40% est importée sous forme de semoule. De plus, si le déséquilibre entre la consommation et la production nationale persiste, cette dernière ne couvrirait dans les vingt prochaines années, selon des estimations, que 16% seulement des besoins. Et selon l'économiste américain Lester Brown du Worldwatch Institut, l'offre céréalière annuelle mondiale, tombée de 30 millions de tonnes entre 1950 et 1984 à 12 millions entre 1984 et 1992, ne devrait pas excéder neuf millions d'ici l'an 2030 (F.A.O. 2007).

## Introduction

---

L'Algérie possède une superficie globale de 2.380.000 Km<sup>2</sup> et possède des caractéristiques topographiques et bioclimatiques qui permettent de montrer une diversité des paysages et des systèmes de cultures. Une grande partie de la céréaliculture se concentre à l'intérieur du pays, sur les hautes plaines. Ces dernières se caractérisent par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, des gels printaniers très fréquents et des vents chauds et secs en fin de cycle de la culture. Tous ces facteurs influent sur la production céréalière qui se caractérise par une moyenne nationale très variable d'une année à l'autre (Selmi, 2000 ; Djekoun *et al.*, 2002).

L'amélioration de la production au niveau de ces zones ou du moins sa stabilité peut se voir par la recherche de nouvelles variétés plus adaptées, qui réagissent positivement aux variations pédoclimatiques pour donner un rendement acceptable à chaque récolte. Au niveau des zones semi-arides et arides, caractérisées par de nombreuses contraintes climatiques, la production connaît de fortes variations spatiales et inter annuel. Le plus souvent la sélection n'a fourni que des génotypes sensibles à la variation environnementale. La variabilité des rendements en grain est due à des interactions des génotypes avec l'environnement de production parce que ces génotypes ont été le plus souvent sélectionnés

sur la base de leur potentiel de rendement sans tenir compte de l'aspect adaptation (Fischer, 1985, Ceccarelli et Grando, 1991).

Selon Papadakis (1938) les limites des dimensions du génotype sont rarement atteintes et ne constituent donc jamais une cause de limitation du rendement. Ce qui limite les rendements d'une variété c'est l'environnement mis à sa disposition, de sorte que si une variété donne de meilleurs rendements qu'une autre, c'est parce qu'elle possède la capacité de mieux utiliser les disponibilités de l'environnement de production. La caractérisation du milieu où la plante sera appelée à évoluer est donc un préalable nécessaire à l'identification des contraintes climatiques que cette dernière devra affronter pour lui trouver une stratégie qui la prépare à mieux tolérer ou à échapper à ces stress (Yakoubi *et al.*, 1998).

Dans notre pays, une grande partie de la production céréalière est soumise aux pratiques de l'agriculture traditionnelles, incapable de faire face aux irrégularités du climat, d'où des variations considérables dans les rendements d'une année à l'autre.

### **Introduction**

---

De plus, les populations locales de blé ont été délaissées par les organismes spécialisés et les agriculteurs au profit de variétés introduites massivement, avec une régression significative de la grande diversité qui prévalait antérieurement. On peut alors se poser une question : Comment accroître la production des céréales en Algérie ? il faut donc, et le plus rapidement possible, augmenter les ressources locales en céréales alimentaires et réduire le décalage qui existe entre l'offre et la demande.

Cette augmentation peut être envisagée de deux façons :

1. Par l'augmentation des superficies consacrées aux céréales ; c'est la solution la plus séduisante, mais c'est aussi la plus improbable.

La grande culture des céréales est actuellement concentrée dans les régions arides et semi-arides de l'Algérie, comprises dans la zone tellienne et bornées par les limites intangibles que constituent au Nord, l'isohyète de 600 mm et au Sud l'isohyète de 300 mm ; Au-dessous, les céréales cèdent la place à d'autres cultures.

2. Par l'augmentation des rendements ; il faut donc se tourner vers une meilleure utilisation des terres labourables existantes, génératrices et garantes de rendements plus élevés. Sans qu'on puisse raisonnablement compter pouvoir contrebalancer de façon certaine et continue, l'influence climatique dans les grandes régions céréalières en réduisant les méfaits des accidents météorologiques (gelées tardives de printemps, sirocco, sécheresse, etc..), il a été démontré que l'on peut cependant par l'application de règles et de techniques des études appropriées, en limiter les effets. Par ailleurs, il est possible de mettre le milieu de son côté en localisant et en intensifiant les céréales dans les seules régions où les potentialités sont vite valorisées (Desclaux et Poirier, 2004 ; Annicchiarico *et al.*, 2005).

La variabilité des rendements en grain est due à des interactions des géotypes avec l'environnement de production parce que ces géotypes ont été le plus souvent sélectionnés sur la base de leur potentiel de rendement sans tenir compte de l'aspect adaptation. Ainsi le problème posé ces dernières années est l'apparition de variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) caractérisées par une forte productivité mais aussi par une mauvaise aptitude à la transformation industrielle, ce qui nous a amené à rechercher de nouveaux facteurs liés à la qualité culinaire et susceptibles d'être utilisés en sélection.

#### **Introduction**

---

Parmi les différents facteurs responsables de la qualité, l'influence prépondérante des protéines, et particulièrement celles qui constituent le gluten. Précisément, au niveau de cette fraction, il est possible de distinguer une notion quantitative (teneur en gluten), davantage liée aux facteurs agro climatiques, et une notion qualitative dépendante du patrimoine génétique.

C'est cette dernière notion, qui retient plus particulièrement l'intérêt des sélectionneurs de blé dur. L'amélioration du rendement et de la qualité du blé dur passe donc par la création variétale et le choix de critères fiables pour l'identification de mécanismes d'adaptations aux contraintes environnementales. Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress abiotiques, la résistance aux maladies en plus d'une bonne qualité technologique.

Cependant les exigences en termes de qualité technologique du grain de blé sont parfois difficiles à concilier avec les contraintes des producteurs. Ainsi, par exemple les forts taux de mitadinage et de moucheture, enregistrés en zone traditionnelle de culture du blé dur,

entraînent des réfactions importantes. Une amélioration de ces critères nécessite la mise en place d'un programme de recherche qui permet de préciser les déterminants génétiques et environnementaux et d'en connaître les bases physico-chimiques.

Le niveau d'héritabilité de ces critères permet d'atteindre, en partie, un progrès par la sélection. Cependant, ils sont aussi fortement dépendants de l'environnement.

Ainsi, le mitadinage est très lié à la nutrition azotée et à la composition protéique des grains. Un fractionnement des apports d'azote (apport tardif à floraison notamment) améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadinage. La moucheture peut être provoquée par des contraintes abiotiques (seuil de température et d'hygrométrie) ou biotiques (insectes et pathogènes).

La coloration et l'intensité des taches varient selon l'agent causal. Les variétés de blé dur ont une sensibilité différente vis-à-vis de celui-ci.

Dans ce contexte, le travail présenté dans cette thèse vise une meilleure étude de la variabilité des rendements en grain, des taux de protéines des génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) issus des essais d'El Khroub, Oued Smar et Sidi Bel Abbas.

## **Introduction**

---

Hormis l'introduction et la conclusion, le manuscrit, résultat de ce travail, est donc organisé en huit grands chapitres.

Le premier, le deuxième, le troisième, et le quatrième chapitre consistent en une synthèse bibliographique. En premier lieu, les caractéristiques ainsi que l'origine du blé dur, sont présentés. Suivi de la physiologie et les besoins de la culture. Dans le chapitre trois, nous exposant les critères de qualité, et enfin la dernière recherche bibliographique a concernée l'amélioration et la sélection de ces cultivars.

Dans le cinquième chapitre sont alors exposés le large éventail des matériels et les méthodes mis en œuvre dans le cadre du travail expérimental. Les techniques de caractérisations des propriétés physico-chimiques et technologiques sont détaillées, et les protocoles expérimentaux sont précisés.

Les résultats sont ensuite développés dans les trois derniers chapitres où sont discutés :

- Evaluer les facultés d'adaptation de ces cultivars dans trois milieux différents.
- Etudier les critères de sélection en technologie tel que les protéines, le mitadinage et la moucheture.
- Analyser la variabilité des rendements en grain, des génotypes de blé dur (*Triticum durum*).
- Détermination sur la base des caractères étudiés, les meilleures zones de stabilité.

## Chapitre 01. Caractéristiques et propriétés du blé dur

---

### Chapitre 01. Caractéristiques et propriétés du blé dur

#### Introduction

Le blé est la céréale la plus cultivée et la plus consommée aujourd'hui dans le monde. Domesticqué au Proche-Orient à partir d'une graminée sauvage il y a environ 10.000 ans, il compte actuellement quelque 30.000 formes cultivées. La production mondiale, en progression constante, et les échanges qui se multiplient entre les régions du monde font de cette céréale l'un des principaux acteurs de l'économie mondiale. Le mot blé a longtemps désigné toute une série de céréales, dont le seigle, le sorgho et le mil. Le latin, plus précis, identifie sous le genre *Triticum* les espèces céréalières auxquelles il est légitime de donner le nom de blé.

## **1.1 Importance économique et distribution**

### **1.1.1 Situation céréalière en Algérie**

Les céréales jouent un rôle dans l'agriculture nationale puisqu'elle occupe plus de 90% des terres cultivées. En Algérie du fait des habitudes alimentaires, les céréales d'hivers constituent la base de l'alimentation quotidienne ainsi que l'alimentation du cheptel.

La consommation augmente rapidement, principalement du fait de la croissance du nombre de consommateurs qui a doublé en vingt ans. La productivité nationale est assez faible puisqu'elle ne tourne qu'autour de 08 à 10 qx/ha et ceci se répercute sur l'écart qui s'est creusé entre l'offre et la demande qui est énorme (Selmi, 2000).

Les superficies réservées aux céréales sont de l'ordre de 06 millions d'hectares. Chaque année 03 à 3.5 millions d'hectares sont emblavés. Le reste étant laissé en jachère c'est-à-dire non cultivé. La majeure partie de ces emblavures se fait dans les régions de Sidi Bel Abbés, Tiaret, Sétif et El Eulma. Ces grandes régions céréalières sont situées dans leur majorité sur les hauts plateaux. Ceux-ci sont caractérisés par des hivers froids, un régime pluviométrique irrégulier, et des gelées printanières, des vents chauds et desséchants (Belaid, 1996 ; Djekoun *et al.*, 2002).

Malgré les efforts consentis, les rendements restent très bas. Leur faible niveau est souvent expliqué par l'influence des mauvaises conditions pédoclimatiques ; cependant, à ces conditions, nous pouvons associer entre autres, une faible maîtrise des techniques culturales (Chabi *et al.*, 1992).

Les tendances socio-économiques qui marquent l'agriculture ne sont pas négligeables. Ainsi, l'exode rural, la priorité donnée à l'industrie durant les années 70 ont marqué durablement la céréaliculture algérienne (Selmi, 2000).

---

## **Chapitre 01. Caractéristiques et propriétés du blé dur**

---

### **1.1.2 Le blé dans le monde**

Avec une production moyenne annuelle de 27 millions de tonnes (580 millions de tonnes pour le blé tendre, 530 millions de tonnes pour le riz,...), le blé dur est une céréale secondaire à l'échelle mondiale. Mais cette production est très localisée dans le bassin méditerranéen d'une part (Europe du Sud, Moyen orient, Afrique du Nord), et en Amérique du Nord d'autre part (Canada central et Nord des USA), où est produit le quart du blé dur mondial (blé dur de printemps dans cette région continentale froide). En fin, on trouve un peu de blé dur en Europe centrale (ex U.R.S.S), ainsi qu'en Argentine (Ferret, 1996).

La production globale de céréales au début des années 1990 montre bien la nature des changements intervenus. La Chine vient au premier rang avec 14,6 % de la production

mondiale, devant l'Inde (11,7 %), les États-Unis (9,4 %), la Russie (7 %), la France (5 %) et le Canada (4 %). Parmi les pays d'Asie, seule l'Inde équilibre bien production et consommation.

Depuis trente ans, les conditions de la production ont été profondément modifiées, tandis que la consommation augmentait. La Chine et l'Inde ont multiplié par trois les surfaces consacrées au blé. Mais le plus significatif reste l'élévation des rendements mondiaux moyens : de 12 q en 1960 à plus du double en 1990 (25,8 q /ha). Si les pays de l'Amérique du Sud demeurent stables avec 20 q /ha, et l'Afrique et le Proche-Orient avec 10 q, l'Égypte et l'Arabie Saoudite ont atteint, en culture irriguée, 35 à 40 q.

Depuis les 15 dernières années, la production mondiale de blé dur varie entre 22,3 millions de tonnes (en 1983-84 et 1988-89) et 34,4 millions de tonnes (1991-92), soit une moyenne de 27 millions de tonnes. Elle présente donc d'importantes fluctuations proches de 25% (Ferret, 1996 ; Selmi, 2000).

Cette situation, favorable aujourd'hui aux gros producteurs exportateurs du monde occidental, même si les États-Unis et l'Europe sont fortement concurrents, pourrait changer si l'Asie parvenait à un certain niveau d'autosuffisance et si la production des Républiques de l'ex-URSS se redressait. Au cours des années 1980, l'URSS importait annuellement à peu près l'équivalent de ce qui était perdu chaque année par incurie ou insuffisance d'équipements, même lorsque les récoltes étaient bonnes. Et pour la campagne 2005-2006, l'Algérie a importés plus de 2,55 millions de tonnes de blé, ce sont là les statistiques avancées par les responsables de l'association France Export Céréales, sur les 10 millions de tonnes importées par le Maghreb, 5 millions sont l'œuvre de l'Algérie.

### 1.1.3 Variétés et catégories de blé

Il existe un très grand nombre de variétés de blé. Ce sont les cultivateurs et les producteurs qui essaient d'adapter au mieux ces variétés en fonction de la nature du sol et du climat de la région, afin d'obtenir le meilleur rendement possible. Toutes les différentes variétés de blé sont classées en trois grandes catégories :

**Les blés tendres** : Les grains des blés sont arrondis, les enveloppes sont épaisses, sans transparence. Ils se prêtent particulièrement bien à la mouture ; en effet, lors du passage entre les cylindres, les enveloppes s'aplatissent et s'ouvrent sans se broyer, libérant l'amande et donnant une très forte proportion de son. Les blés tendres permettent d'obtenir une farine de bonne qualité, contenant environ 8 à 10 % de gluten, ayant de bonnes aptitudes pour la panification.

---

#### Chapitre 01. Caractéristiques et propriétés du blé dur

---

**Les blés durs** : Cette catégorie de blé est cultivée dans les pays de climat chaud et sec. Les grains de blés durs sont allongés, souvent même pointus, les enveloppes sont assez minces et légèrement translucides. Ils donnent moins de son que les blés tendres et la farine obtenue, bien que contenant plus de gluten (12 à 14 %), se prêtent moins bien à la panification.

**Les blés mitadins** : Ces blés ont des caractéristiques et des qualités intermédiaires entre les blés tendres et les blés durs. Les grains sont plus plats que les grains de blé tendre et moins longs que ceux du blé dur. Les enveloppes assez résistantes sont d'une épaisseur moyenne.

Contenant du gluten de très bonne qualité, les blés mitadins sont parfois employés comme des blés de force, mélangés à des blés tendres, ce qui donne des farine de très bonne qualité pour la panification (Abecassis, 1993).

#### 1.1.4 Variétés en Algérie

Malgré la grande richesse des ressources génétiques, les variétés connues actuellement présentent un spectre assez réduit au regard de la diversité des conditions agro climatiques de l'Algérie pour plusieurs raisons, dont quelques unes sont liées à une méthodologie d'amélioration empirique, d'autres à l'introduction précipitée de matériel végétal présentant des caractéristiques d'adaptation spécifique (Ait kaki, 2007).

### 1.2 Classification et origine du blé dur

#### 1.2.1 Classification botanique

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille. D'après la classification de Bonjean et Picard (1990), le blé dur est une monocotylédone classé comme suit :

Embranchement :	Spermaphytes.
S/Embranchement :	Angiospermes.
Classe :	Monocotylédones.
Super ordre :	Commeliniflorales.
Ordre :	Poales.
Famille :	Graminacées.
Genre :	<i>Triticum</i> sp.
Espèce :	<i>Triticum durum</i> Desf.

Différentes classifications sont basées sur des critères morphologiques et on été proposées par de nombreux auteurs (Kornicke, 1885 in Grignac, 1965 ; Dalhgreen et Clifford, 1985) Vavilov (1936) cité par Auriou (1967) et Moule (1971) fait intervenir pour la première fois dans la classification l'origine géographique des espèces.

Selon Monneveux *et al.* (1989), ce type de classification a eu le mérite d'orienter la recherche des gènes susceptibles d'intéresser le sélectionneur sur le plan des caractéristiques agronomiques (résistance aux basses températures, précocité et gros grains vitreux).

---

## Chapitre 01. Caractéristiques et propriétés du blé dur

---

#### 1.2.2 Origine génétique

C'est il y a environ 10 000 ans, au Proche-Orient, dans la région du Croissant fertile (certains chercheurs pensent pouvoir localiser exactement le foyer originel dans le massif montagneux du Karakadag, dans le Sud-Est de la Turquie) que le blé a été domestiqué par

hybridation entre trois espèces d'une graminée sauvage, l'épeautre ou engrain sauvage : *Triticum spelta* L., *Triticum boeoticum* et *Aegilops longissima*.

Il a gagné l'Europe occidentale par deux grands axes : d'une part la Méditerranée – dès 5000 avant notre ère, un blé panifiable était cultivé dans le sud de la France –, d'autre part la vallée du Danube – deux espèces de blés non panifiables (amidonnier et engrain), vieux de 4000 ans, ont été retrouvées dans la région parisienne, ainsi que du froment en Bretagne et en Normandie.

La détermination de l'origine de chacun des génomes du blé est difficile du fait de l'évolution des espèces. Les connaissances actuelles concernant l'origine des génomes du blé ont été acquises grâce à des études cytologiques, mais le développement des outils moléculaires a permis d'affiner et de compléter ces connaissances (Rayburn et Gill, 1985 ; Picard, 1988 ; Lecorre et Bernard, 1995). Les travaux de Kihara (1924) cités par Félix, (1996) ont permis d'attribuer l'origine du génome A à *Triticum monococcum* var. *boeoticum* ou var. *urartu*. Une étude basée sur le polymorphisme de séquences répétées a établi que *Triticum urartu* est le donneur du génome A pour tout les blés polyplœides tandis que *Triticum monococcum* var. *boeoticum* est présent seulement chez *Triticum zhukovski* (Dvorak *et al.*, 1992). Le génome « D » aurait pour origine *Aegilops squarrosa*.

Sakamura (1918) cité par Cauderon (1979), fut le premier à déterminer le nombre exact des chromosomes de diverses espèces de *Triticum* de niveaux de ploïdie différents :

- *Triticum aestivum* : 42 chromosomes, hexaploïde ;
- *Triticum turgidum* : 28 chromosomes, tétraploïde [ $2n = 4x = 28$ ] Génome AABB ;
- *Triticum monococcum* : 14 chromosomes, diploïde (Cauderon, 1979 ; Liu *et al.*, 1996).

Feldman (1976), affirme que le blé tire son origine d'une forme sauvage de l'espèce diploïde (*Triticum monococcum* sensu lato), dans une région délimitée par l'Iran, la Syrie et la Turquie. La première espèce tétraploïde, le *Triticum turgidum* résultat d'une hybridation avec *T. monococcum* et une herbe nommée *Aegilops speltoides* (Graminée) ; la première espèce a fourni le génome A, et la seconde, le génome B. La domestication de ce blé tétraploïde (AABB) a donné l'amidonnier, qui est à l'origine des cultivars de blé dur.

D'après Nachit *et al.*, ( 1998 ), les espèces sauvages représentent une source très riche de variabilité pour les caractères de qualité. Citant l'exemple du *Triticum dicoccoides* utilisé intensivement dans l'amélioration génétique de la valeur nutritionnelle et technologique du blé dur.

Le genre *Triticum* comporte, selon Mac Key ( 1968 ), 21 espèces ( tableau n°01 ) ; si 16 d'entre-elles peuvent être considérées comme "domestiquées", deux seulement tiennent aujourd'hui une place déterminante dans la culture céréalière mondiale, à savoir : le blé tendre ( *T. aestivum* L. ) et le blé dur ( *T. turgidum* conv. *durum* Desf ). Au sein du genre *Triticum*, les espèces tétraploïdes sont les plus nombreuses ( 11 espèces ) (Monneveux, 1989 ; Abdelguerfi et Laouar, 2000).

**Tableau n°01 : Classification des espèces du genre *Triticum*  
(D'après Mac Key, 1968)**

<b>ESPECES DIPLOIDES</b>		
<b>Génome AA</b>		
<i>T. urartu</i> Tum.		Sauvage
<i>T. monococcum</i> L.	subsp. <i>boeoticum</i> BOISS. subsp. <i>monococcum</i> L.	Sauvage Cultivée.
<b>ESPECES TETRAPLOIDES</b>		
<b>Génome AABB</b>		
<i>T. turgidum</i> ( L. ) Thell.	subsp. <i>dicoccoides</i> ( Korn. ) subsp. <i>dicoccum</i> ( Schrank ) subsp. <i>paleocolchicum</i> ( Men. ) subsp. <i>carthlicum</i> ( Nevski ) conv. <i>turgidum</i> L. conv. <i>durum</i> ( Desf. ) conv. <i>turanicum</i> ( Jakubs ) conv. <i>polonicum</i> L. conv. <i>aethiopicum</i> ( Jakubz.)	Sauvage Cultivée Cultivée Cultivée Cultivée Cultivée Cultivée Cultivée Cultivée
<b>Génome AAGG ou AAB' B'</b>		
<i>T. timopheevi</i> Zhuk.	subsp. <i>araraticum</i> ( Jakubz. ) subsp. <i>timopheevi</i> Zhuk.	Sauvage Cultivée
<b>ESPECES HEXAPLOIDES</b>		
<b>Génome AAAABB</b>		
<i>T. zhukowskyi</i> Men. et Et		Cultivée
<b>Génome AA BB DD</b>		
<i>T. aestivum</i> L.	subsp. <i>compactum</i> ( Host. ) subsp. <i>macha</i> ( Dek. et Men ) subsp. <i>spelta</i> ( L. ) Thell. subsp. <i>sphaerococcum</i> ( Perc ) subsp. <i>vavilovi</i> ( Tum. ) sears supsp. <i>vulgare</i> ( Vill. ) Mk.	Cultivée Cultivée Cultivée Cultivée Cultivée Cultivée.

**Chapitre 01. Caractéristiques et propriétés du blé dur**

**1.2.3 Origine géographique**

Le Moyen Orient serait le centre géographique d'origine. À partir duquel, l'espèce s'est différenciée dans trois centres : la méditerranée, le sud de l'U.R.S.S et le proche et moyen orient.

L'Afrique du Nord est considérée comme un centre secondaire de diversification de l'espèce (Chikhi, 1992).

### 1.3 Caractères botaniques

D'après Desfontaine ( 1789 ), le blé dur ( *Triticum durum* Desf. ) serait une espèce distincte des autres blés ( *T. turgidum* et *T. aestivum* ) par une paille solide qui présente des plantules à un seul cotylédon, des feuilles à nervures parallèles et des fleurs groupées en petits épis appelées épillets ( Ben Salem *et al.*, 1995 ).

Morphologiquement, le blé dur se différencie du blé tendre par un feuillage plus clair, totalement glabre. L'appareil végétatif est à tallage faible, à chaume long et souple, d'où une certaine sensibilité à la verse (Olmedo, 1995). L'épi est à rachis solide, à glumes carénées jusqu'à leur base et à glumelles inférieures terminées par une longue barbe.

La fécondation est interne, le blé dur, comme le blé tendre, étant autogame. Le grain est gros, de section triangulaire, très riche en albumen et de texture vitreuse (Simon *et al.*, 1989 ).

#### 1.3.1 Structure histologique du grain de blé dur

Les grains de blé sont des fruits, appelés caryopses. Ces derniers sont de forme ovoïdes, possèdent sur l'une de leurs faces une cavité longitudinale "le sillon" et à l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poils "la brosse".

Le caryopse est constitué de 03 parties :

**a) Les enveloppes :** Donnent le son en semoulerie, elles sont d'épaisseur variable et sont formées de 3 groupes de téguments soudés :

- Le péricarpe ou tégument du fruit constitué de 3 assises cellulaires :
  - Epicarpe, protégé par la cuticule et les poils.
  - Mésocarpe, formé de cellules transversales.
  - Endocarpe, constitué par des cellules tubulaires (Godon et Willm, 1991).

- Le testa ou tégument de la graine constituée de 2 couches de cellules.
- L'épiderme du nucelle appliqué sur l'albumen sous-jacent.

**b) L'albumen :** Principalement amylicé et vitreux chez le blé dur, possède à sa périphérie une couche à aleurone riche en protéines, lipides, pentosanes, hémicelluloses et minéraux (fig. 01et 02).

c) **L'embryon** : comporte

- Le cotylédon unique ou scutellum riche en lipides et protéines.
- La plantule plus ou moins différenciée :
  - La radicule ou racine embryonnaire protégée par le coléorhize.
  - La gemmule comportant un nombre variable de feuilles visibles, enfermées dans un étui protecteur : le coléoptile.

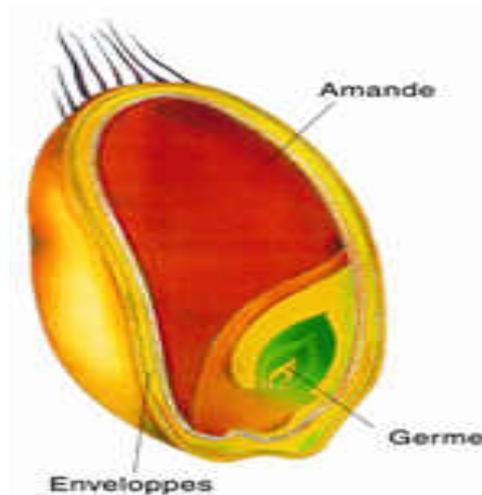


Figure n° 01 : Le grain de blé : Structure

### 1.3.2 Composition biochimique du grain de blé

Les grains de céréales sont des organes végétaux particulièrement déshydratés, leur teneur en eau est environ de 14 %. Le cotylédon du blé représente 82 % à 85 % du grain, il accumule toutes les substances nutritives nécessaires : glucides, protéines, lipides, substances minérales et vitamines (tableau n°02) (Cretois *et al.*, 1985 ; Abed et Belabdelouhad, 1998).

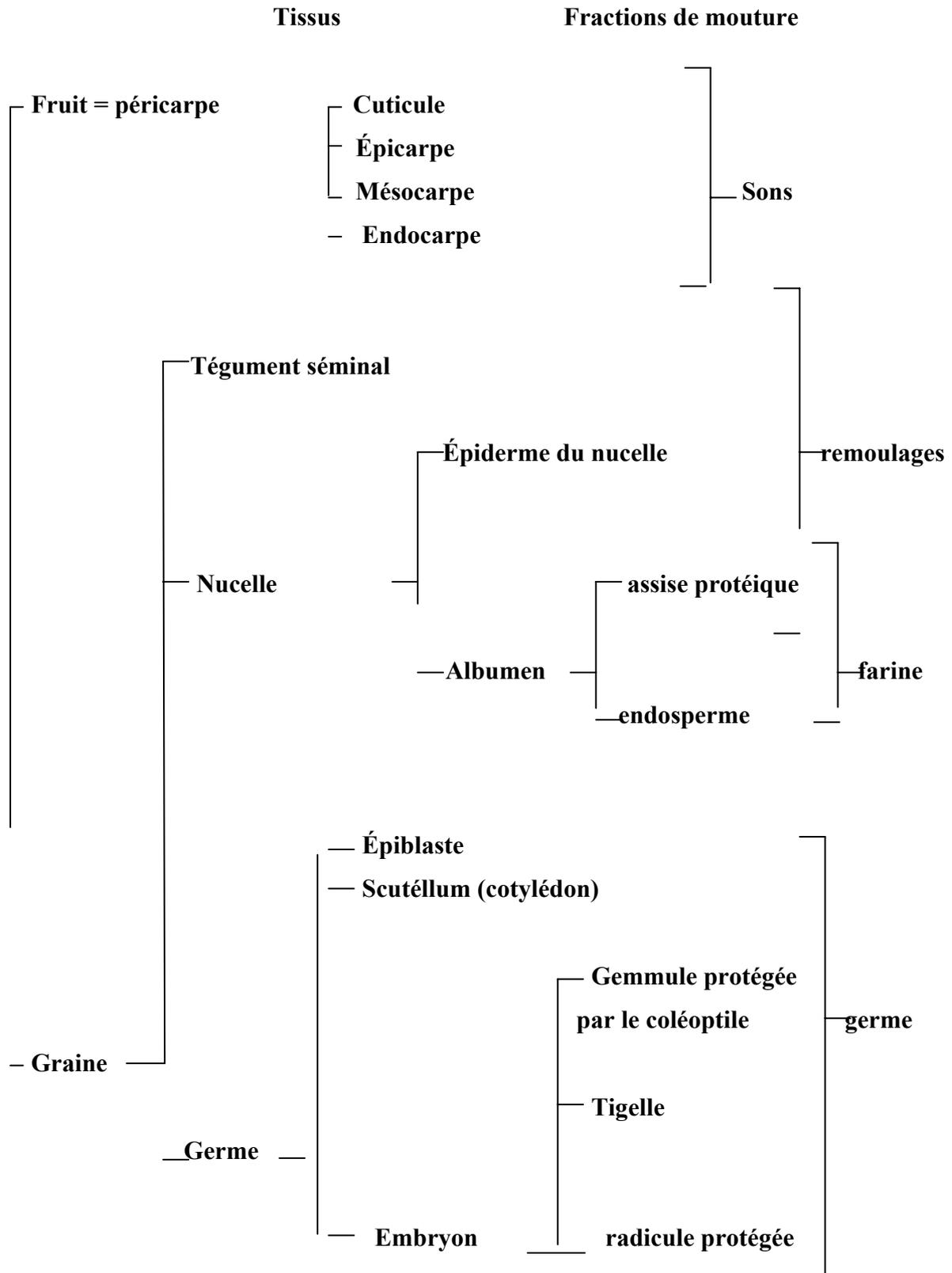
Pendant la maturité de la graine les substances de réserves sont accumulées soit dans le cotylédon, soit dans le péricarpe. Ces substances sont principalement des métabolites qui assurent la nutrition de la plantule lors de la germination. Les réserves de la graine comprennent essentiellement :

- 70 à 80 % de **glucides**, essentiellement de l'amidon ; du gluten associé à l'amidon ; des hémicelluloses ( des parois cellulaires ) ; des sucres solubles et des protides.
- 9 à 15 % de **protéines** : essentiellement des protéines de réserves.
- 1,5 à 2 % de **lipides** dont 60 % sont des lipides libres apolaires et 40 % sont des lipides polaires.

- **Enzymes** tels que : des  $\alpha$  et  $\beta$  amylases, des protéases ainsi que des lipases et des lipoxygénases (Campion et Campion, 1995 ; Samson et Morel, 1995 ; Cherdouh, 1999).

**Chapitre 01. Caractéristiques et propriétés du blé dur**

---



**Figure 02 : Composition histologique d'un grain de blé  
(Godon et Willm, 1991).**

Chapitre 01. Caractéristiques et propriétés du blé dur

---

**Tableau n°02 : Composition chimique des différentes parties d'un grain de blé : Valeurs moyennes et écarts courants exprimés en % de la matière sèche de la partie considérée (Godon, 1991)**

Parties du grain %	Amidon (petites glucides)	Protéines	Lipides	Cellulose Hémicellulose Pentosanes	Minéraux
Péricarpe	16 (± 2)	12 (± 2)	1 (± 0,2)	67 (± 7)	4 (± 1)
Tégument séminal	10 (± 1)	16 (± 3)	4 (± 1)	58 (± 5)	12 (± 3)
Assise protéique	12 (± 2)	32 (± 3)	8 (± 1)	38 (± 3)	10 (± 5)
Germe	20 (± 1,5)	38 (± 2)	15 (± 2)	22 (± 2)	5 (± 1)
Amande	85 (± 10)	11 (± 3)	2 (± 0,1)	1,5 (± 1,5)	0,5 (± 0,2)

## Chapitre 02. La biologie du blé

### Introduction

Qu'elle soit vivace ou annuelle, toutes les graminées ont un rythme de végétation et de fructification annuel. Au cours de ses différents stades de croissance, le blé présente des exigences variables en eau et en matières minérales. Ainsi les différents stades du cycle de développement du blé sont tous très importants mais, toutefois, trois phases peuvent être retenues, ils s'agit de la phase : Levée début Montaison, Montaison Floraison et Floraison Maturation, chacune d'elles coïncidant avec les phases d'élaboration du rendement caractérisées par l'une des composantes : épis/plant, grains/épis et poids du grain (Gate *et al.*, 1997).

### 2.1 Le cycle physiologique du blé

Dans ce cycle annuel, une série d'étapes séparées par des stades repères, permettent de diviser le cycle évolutif du blé en deux grandes périodes (figure 03):

- Une période végétative.
- Une période reproductrice.

#### 2.1.1 Période végétative :

Elle s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi. On y trouve deux stades :

##### 2.1.1.1 Phase Germination - levée

La germination est le passage de la semence de l'état de vie lente à l'état de vie active. Le grain de blé ayant absorbé au moins 30% de son poids en eau. Le coléoptile joue un rôle protecteur et mécanique pour percer le sol. A la levée les premières feuilles amorcent la photosynthèse. Néanmoins les réserves du grain continuent à être utilisées. On parlera de levée lorsque 50% des plantes seront sorties de la terre (Chabi *et al.*, 1992).

##### 2.1.1.2 Phase Levée- Tallage

Le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire. Il est caractérisé par trois caractéristiques :

- Formation du plateau de tallage,
- Emission des talles,
- Sortie de nouvelles racines.

L'importance du tallage dépendra de la variété, de la densité de semis, de la densité d'adventices et de la nutrition azotée (Chikhi, 1992). Le tallage marque la fin de la période végétative et le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

## Chapitre 02. La biologie du blé

---

### 2.1.2 Période reproductrice

Elle comprend la formation et la croissance de l'épi ; elle se caractérise par :

#### 2.1.2.1 Phase Montaison Gonflement

Elle se manifeste à partir du stade épi à 1 cm, c'est la fin du tallage herbacé et la tige principale ainsi que les talles les plus âgées commencent à s'allonger suite à l'élongation des entrenœuds, auparavant emplies sous l'épi (Belaid, 1996). Il est suivi du stade 1 à 2 nœuds, ici les nœuds sont aisément repérables sur la tige. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Merizek, 1992).

#### 2.1.2.2 Epiaison – fécondation

C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et que va s'effectuer la fécondation. Le nombre de fleurs fécondées durant cette période critique dépendra de la nutrition azotée et l'évapotranspiration (Clement et Prats, 1970). Elle correspond au maximum de la croissance de la graine qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de transpiration qui influencent le nombre final de grain par épi.

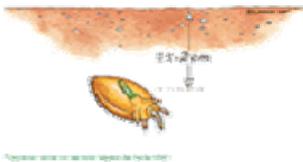
#### 2.1.2.3 Grossissement du grain

Il correspond à la croissance de l'ovaire. Il s'agit d'une phase d'intense activité de la photosynthèse. A la fin de cette phase 40 à 50% de réserves se sont accumulées dans le grain qui, ayant bien sa taille définitive, reste mou et de couleur verte. C'est le stade grain laiteux (Chabi *et al.*, 1992).

#### 2.1.2.4 Maturation du grain

C'est la dernière phase du cycle végétatif. D'après Belaid (1996) la maturation correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains. Par la suite, les grains perdent leur humidité :

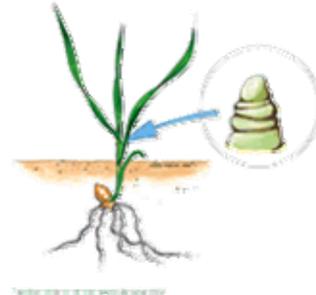
- A 45% d'humidité, c'est le stade pâteux.
- A 20% d'humidité, c'est le stade rayable à l'ongle.
- A 15 – 16% d'humidité, c'est le stade cassant (mûr pour la récolte).



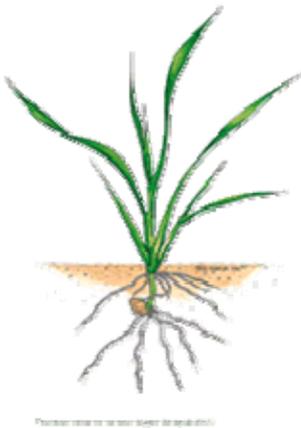
1- La germination



2- La levée



3- Trois feuilles



4- Début tallage



5- Épi à 1 cm



6- Un nœud



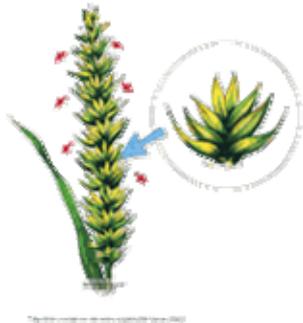
7- Méiose pollinique



8- L'épiaison



9- La floraison



10- Bâillement.



11- Grain formé



12- Épi à maturité

## Figure n°03 : Les différents stades de développement du blé

### Chapitre 02. La biologie du blé

---

## 2.2 Exigence du blé

Un bon comportement de la culture durant tout son cycle de développement exige la réunion de certains facteurs qui conduisent à l'observation d'un meilleur rendement et parmi les exigences on peut citer :

### 2.2.1 Climat

Selon Clement et Prats (1970), les facteurs climatiques ont une action prépondérante sur les différentes périodes de la vie du blé.

#### 2.2.1.1 Température

La température conditionne à tout moment la physiologie de blé selon le zéro de végétation et de germination c a d la température à partir de laquelle un blé germe et pousse, est de 0°C cependant l'optimum se situe entre 20 et 22 °C entre ces deux extrêmes, une température élevée sera favorable au développement et à la croissance (Simon *et al.*, 1989). D'après Jeferes (1978) il est généralement admis que la température agit de manière positive sur la croissance optimale.

Baldy (1992a) ajoute que les fortes températures provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine : Les températures entre 25 et 32 °C défavorisent l'allongement racinaire l'optimum se situe entre 5 et 12 °C.

Mekhlouf *et al.*, (2001) situent les exigences en température pour les stades suivants :

- Stade levée : La somme des températures =120°C.
- Stade tallage : La somme des températures =450°C.
- Stade plein tallage : La somme des températures =500°C.
- Stade épi 1cm : La somme des températures = 600°C.

Le zéro de végétation du blé est de 0°C, mais ses exigences globales en chaleur sont assez importantes. Clement et Prats (1970) voient que la température journalière intervient à divers moments du cycle du blé de plusieurs manières :

- Elle détermine la rapidité de la germination et du début du développement de la jeune plante.
- Elle intervient au moment de la montaison dans l'élaboration de la quantité de matière sèche, mais elle a un effet défavorable sur l'évolution des talles vers l'épiaison (conditions de déficit hydrique).
- En excès et au cours de la maturation du grain, elle peut conduire à l'échaudage (Mekhlouf *et al.*, 2001).

#### 2.2.1.2 Eau

Selon Soltner (1990), l'eau a une grande importance dans la croissance de la plante. En plus de l'eau de constitution des cellules et de celle qui entre dans les synthèses glucidiques catalysées par la chlorophylle, l'eau est le véhicule des éléments minéraux solubles de la sève brute.

## Chapitre 02. La biologie du blé

---

A cet égard, Clement et Prats(1970) voient qu'il est intéressant de définir le coefficient de transpiration du blé, c'est-à-dire la quantité d'eau qui doit traverser la plante pour l'élaboration d'une certaine quantité de matière sèche. Pour le blé, suivant les variétés, la valeur du coefficient de transpiration varie de 450 à 550 grammes d'eau pour un gramme de matière sèche.

### 2.2.1.2.1 La sécheresse:

La sécheresse est parmi les facteurs les plus invoquées pour expliquer la faiblesse et la variabilité des rendements des céréales. Le rendement d'une culture sera affecté en fonction de l'intensité du déficit et de sa position dans le cycle de la plante (Wery et Ture, 1990). On a tendance à identifier la sécheresse au stress hydrique ; la sécheresse possède un rapport à un aspect climatique, et le stress hydrique plutôt physiologique (Ouedraogo, 1992 ; Ait-kaki ,1993 ; Baldy ,1993b).

Henin, 1976 définit la sécheresse de deux façons :

1- Il y a sécheresse dès qu'il se produit dans la masse des tissus un déficit hydrique amenant une baisse de rendement.

2 - Il y a sécheresse chaque fois que le déficit en eau provoque des réactions de défense de la plante, se traduisant par des modifications de l'état de feuillage qui caractérisent le flétrissement.

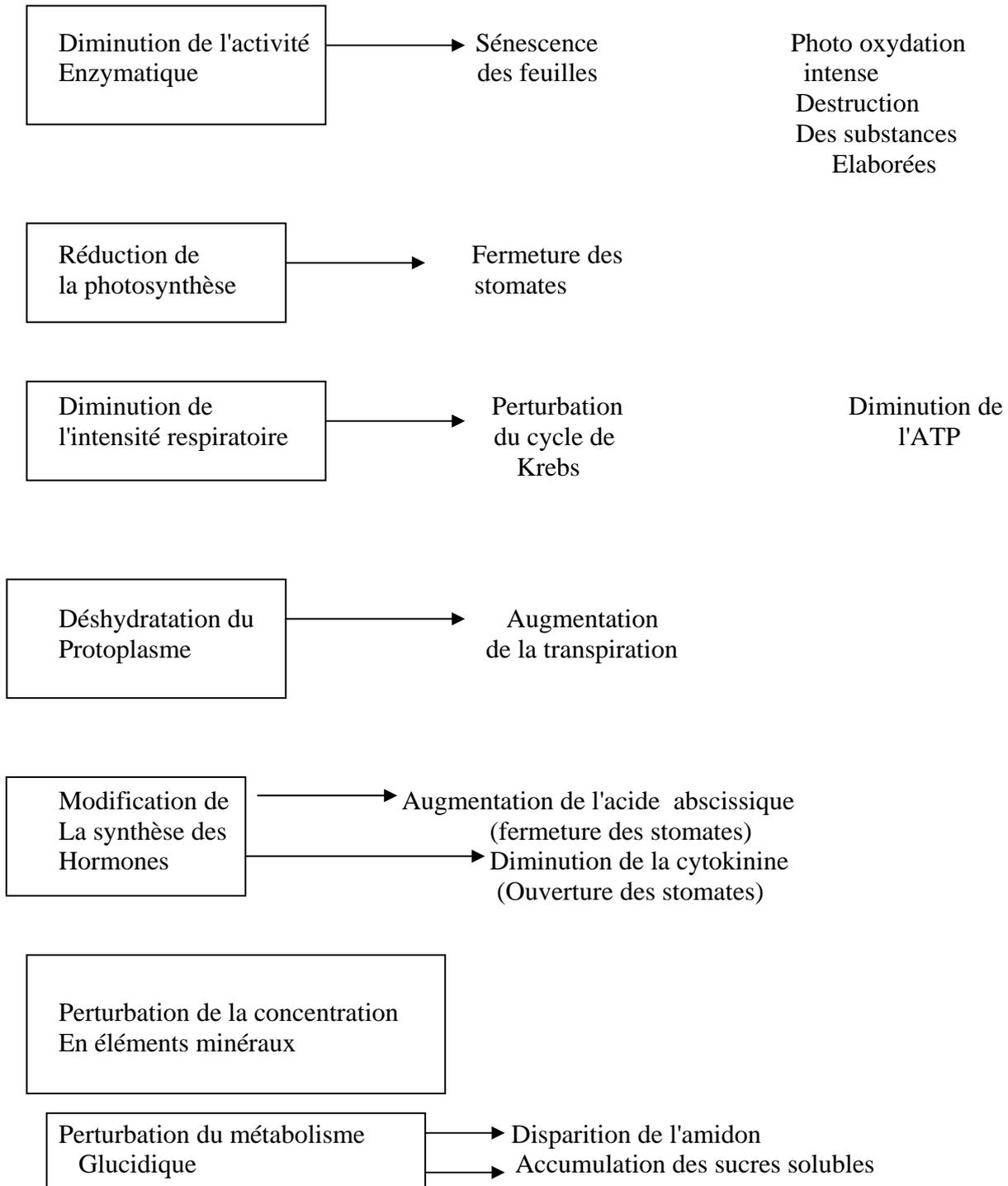
**Tableau n°03 : Effet du stress hydrique sur le développement des céréales à différents stades (Austin, 1989).**

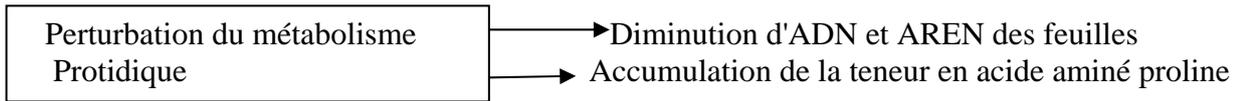
Conséquence sur le rendement	Effet du stress hydrique	Stade de développement
Altération des composantes du rendement s'il y a moins de 100 plants/m <sup>2</sup>	Germination réduite et retardée	Grain
Réduction des épis par mètre carré, et du rendement Accélération de la sénescence	Taux plus élevé de mortalité de talles L'assimilation de l'azote est réduite	Plantule
Réduction du nombre de grain et du rendement	Mort des ébauches florales	Tallage, début épiaison

Une grande accumulation des sucres solubles dans les tiges limitant la perte de la capacité photosynthétique durant le remplissage du grain	Réduction de la longueur des tiges	Allongement des tiges développement des épis
Réduction de la grosseur du grain	Accélération de la sénescence	Anthèse

**Chapitre 02. La biologie du blé**

---





**Figure n°04: Effet de la sécheresse sur le métabolisme de la cellule**

**Source : Nemmar, 1983**

**Chapitre 02. La biologie du blé**

---

### **2.2.1.2.2 Concept de déficit hydrique**

Le déficit hydrique est un phénomène courant durant le cycle de développement des plantes, il est lié à la demande évaporatrice. Il se traduit rapidement par une réduction de la croissance de la plante (Rekika, 1998).

Le stress hydrique s'installe dans la plante quand l'absorption ne peut satisfaire la demande de la transpiration. La plante perd une partie de son eau d'imbibition et la majeure partie des processus physiologiques commence à être affectés (Baldy, 1993b ; Gate, 1995).

#### **a) Les besoins en eau**

Le blé consomme en moyenne 500 litres d'eau par kilogramme de matière sèche élaborée. Sa culture est très aléatoire pour des pluviométries annuelles inférieures à 450mm. La destruction des adventices, un enracinement profond, permettra à la plante de mieux supporter les périodes sèches.

Les périodes d'alimentation en eau se situent :

- 1/ Dans les 20 jours qui précèdent l'épiaison ;
- 2/ Durant la période d'enrichissement du grain en matière sèche correspondant à la maturation. Un déficit en eau lié à des fortes températures est responsable de l'échaudage des grains.

D'une manière générale une céréale a besoin d'une quantité importante d'eau pour assurer un rendement intéressant (Simon *et al.*, 1989).

#### **b) Effets du stress hydrique sur le rendement et ses composantes**

Le rendement d'une culture sera affecté en fonction de l'intensité de déficit et sa position dans le cycle de la plante. Selon Bouniols *et al.*, (1982), le rendement est considéré comme le critère de réponse au déficit hydrique.

Nemmar, 1983 nota qu'au cours de la germination, un certain taux d'humidité est nécessaire pour assurer une bonne levée qui est le premier élément de la densité de peuplement et par conséquent du rendement final. Un déficit hydrique survenant au stade montaison affecte deux composantes du rendement ; le nombre d'épis par mètre carré et le nombre de graines par épi, et éventuellement des conséquences indirectes sur le poids de 1000 grains (Ait-kaki, 1993).

A partir de la montaison, le blé rentre dans une phase de sensibilité à la sécheresse .cette sensibilité s'accroît particulièrement de la mi-montaison à la floraison, période où s'élabore une composante principale pour le rendement du blé ; le nombre de grain par m<sup>2</sup> (Deumier, 1987 ; Baldy ,1993a).

Olufalio, 1994 rapporte qu'une réduction de la quantité d'eau disponible influence le métabolisme et les processus physiologiques, qui contrôlent la croissance et le développement de la plante, ces effets peuvent aussi se répercuter sur les composantes de rendement, le rendement lui-même ainsi que sa qualité sur le poids de 1000 grains.

## Chapitre 02. La biologie du blé

---

Selon Chahrour, 2004 les déficits hydriques qui s'installent après la floraison ont une action préjudiciable sur les deux opérateurs qui déterminent la qualité de matière sèche accumulée dans les grains :

- Diminution de la taille de l'enveloppe du grain.
- Réduction de l'activité et la durée de fonctionnement des organes sources conséquences d'un excès d'eau (Simon *et al.*, 1991).

Sur le travail du sol :

- Il demande un matériel plus puissant et plus onéreux.
- Création de semelle de labour.
- Périodes de travaux écourtées.

Sur le rendement de la culture :

- La période végétative est écourtée ;
- L'entretien des cultures est plus difficile;
- Le rendement est diminué.

### 2.2.1.2.3 Comment Corriger le manque d'eau

#### 1. L'irrigation

Le déficit hydrique pendant les stades sensibles provoque des pertes considérables, en rendement un recours à l'irrigation complémentaire représente donc une alternative nécessaire. Le blé dur est plus sensible à ce déficit hydrique que le blé tendre pendant la montaison et la floraison ce qui nous incite à être vigilant pendant cette période. Il faudra également anticiper et mettre une forte dose d'irrigation au stade gonflement, en cas de sécheresse sévère et de réduire cette dose après l'épiaison pour éviter la verse (Baldy ,1993a).

L'irrigation sera valorisée jusqu' au stade grain laiteux, soit 20 jours après la floraison (reste à savoir si le peuplement épis, n'a pas été affecté) l'effet des fortes chaleurs durant le

remplissage du grain pourra annuler l'effet des irrigations antérieures par le blocage de la migration des réserves vers le grain (Magdelaine *et al.*, 1993).

## 2. Utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation

Selon Gillet, 1970 une meilleure utilisation de l'eau d'irrigation nécessite :

- Recherche les stades et les phases de développement critiques au cours desquels, les arrosages se révèlent plus efficaces et plus rentables ou tout rationnement ou excès d'eau sont néfastes pour l'avenir de la culture.
- Déterminer pour chaque région naturelle l'évapotranspiration potentielle et maximale (ETP), (ETM) , entre autre le coefficient cultural (Kc) des diverses espèces végétales pour évaluer correctement leurs besoins en eau des cultures (  $Kc = ETM / ETP$ ).
- Tenir compte de la réserve utile (RU), et de la réserve facilement utilisable (RFU), car tout apport supplémentaire à la capacité de rétention (Cr) sera perdu par percolation profonde.

## Chapitre 02. La biologie du blé

---

### 2.2.1.3 Eclaircissement

Selon Clement et Prats (1970), le blé est une plante de pleine lumière. Le tallage herbacé s'achève pour une valeur précise du photopériodisme valable suivant les variétés.

L'écartement des lignes aux semailles permet de placer le blé dans des conditions d'éclaircissement optimales, garantissant un bon tallage.

*Soltner* (1990), voit qu'une certaine durée d jour (photopériodisme) est nécessaire pour la réalisation du stade B précédant la montaison. Et *Simon et al.*, (1989), ajoutent que le stade B dépendrait principalement de la durée du jour, il faut en effet que la durée de l'éclaircissement soit d'environ 12 heures pour que l'épi commence à monter dans la tige : c'est le photopériodisme d'autre part il convient d'éviter l'ombrage et les cultures trop denses qui vont favoriser l'apparition de maladies cryptogamiques .

### 2.2.2 Exigences édaphiques

#### 1. Les caractéristiques physiques :

- Une texture fine, limono argileuse qui assurera aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact, d'où une bonne nutrition.
- Une structure stable, résistant à la dégradation par les pluies d'hiver, évite au blé l'asphyxie et permet une bonne nitrification au printemps.
- Une bonne profondeur et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux gros rendements (*Soltner*, 1990 ; *Baldy*, 1993a).

#### 2. Les caractéristiques chimiques : telles que

- Le blé craint les sols tourbeux contenant de fortes teneurs en sodium, magnésium ou fer.

- Le pH optimal se situe dans la gamme de 06 à 08. La culture de blé est modérément tolérante à l'alcalinité du sol dont la C.E. ne doit pas dépasser 04 mmhos/cm (Clément, 1971).

Le blé réussit mieux dans les terres neutres profondes et de textures équilibrée, ce sont des limons argileux profond, avec une porosité suffisante, le complexe absorbant important permet à la plante de se nourrir à partir des réserves chimiques du sol. Il est bien évident que ces critères ne sont pas toujours respectés, l'agriculteur peut être amené à semer du blé dans des terres se ressuyant mal au printemps car les dégâts dus aux maladies cryptogamiques (piétins, fusariose,...) risqueraient d'être considérables.

Les terres très argileuses, très calcaires ou trop sableuses (acides) sont déconseillées pour cette culture (Clément, 1971).

---

## Chapitre 02. La biologie du blé

---

### 2.3 Itinéraires techniques

#### 2.3.1 Précédent cultural

Le précédent cultural a une influence indiscutable sur le niveau de parasitisme, sur les travaux nécessaires effectués sur la fertilisation de la culture en cours et sur l'état structural du sol. Malgré l'utilisation des techniques les plus appropriées de travail du sol, d'application rationnelle de la fertilisation et des traitements phytosanitaires, les différentes plantes laissent le sol après leur récolte dans un état modifié (Dotchev et Belaid, 1990 ; Kribaa *et al.*, 2001).

L'absence d'une rotation ou blé sur blé favorise les proliférations des parasites (Nématodes, Champignons, insecte) et des mauvaises herbes ; ce qui engendre fréquemment une baisse des rendements. Le tableau n°04 valorise le rôle du précédent cultural pour la culture du blé en Algérie

**Tableau n°04 : Rôle du précédent cultural pour la culture du blé (Dotchev et Belaid, 1990).**

<b>Précédent cultural</b>	<b>Culture suivante Blé</b>
Blé	-
Orge	-
Avoine	-
Mais	+
Sorgho	+
Riz	-
Tournesol	++
Arachide	++
Pois chiche	++
Lentille	+
Haricot	++
Soja	++

Fève	++
Tabac	+
Betterave	++
Pomme de terre	++
Vesce	++
Bersim	++
Luzerne annuelle	++
Luzerne pluriannuelle	++
Jachère travaillée	++

**Indication :**

++ : Très bon précédent cultural.

+ : Bon précédent cultural.

\_ : Mauvais précédent cultural.

---

**Chapitre 02. La biologie du blé**

---

**2.3.2 Choix variétal**

Les qualités recherchées dans une variété dépendent de l'objectif que s'est fixé l'agriculteur et des conditions climatiques et pédologiques locales. Pour choisir une variété, il faut avoir en tête les caractéristiques fondamentales suivantes:

**a) Productivité :** Sans aucun doute, la capacité de production de la variété est un facteur fondamental qui doit orienter notre choix. Cependant, selon les particularités agro climatiques, la production peut être plus au moins régulière.

**b) Qualité :** Le critère de qualité est complexe et recouvre plusieurs facteurs dont ; les caractéristiques technologiques, certaines variétés peuvent ainsi mieux répondre que d'autres à une spécificité recherchée par le sélectionneur et l'industrielle.

**c) Précocité :** Les variétés modernes présentent une période de floraison- maturité plus courte que les anciennes, ce qui permet de concilier beaucoup plus facilement les deux facteurs; floraison tardive pour éviter les gelées et maturité précoce pour éviter le dessèchement.

**d) Résistance :** Aux maladies et aux accidents .il est indispensable que la variété possède une résistance suffisante aux maladies et aux accidents les plus fréquents dans la région.

**e) Pouvoir de multiplication :** Non seulement la multiplication naturelle des plantes permet d'économiser beaucoup de graines, ce qui n'est pas négligeable, mais en plus elle permet de compenser une naissance déficiente si peu de plantes parviennent à émerger (Ait kaki, 1993 ; Canado *et al.*, 2003).

**f) Alternativité :** C'est une caractéristique variétale; le degré d'alternativité est fonction du besoin en vernalisation. Il devrait être déterminé par la date limite à partir de laquelle la montée ne se produit plus.

**g) Qualité de récolte :** En ce qui concerne les blés durs, la culture est destinée à la fabrication des semoules et des pâtes alimentaires. La semoulerie recherche des lots ayant des rendements élevés en semoule (Dulcir, 1978).

### 2.3.3 Travail du sol

Les labours profonds d'été (25 à 30 cm) permettent d'assurer l'accumulation de l'eau des pluies d'automne (Clement et Prats, 1970), la destruction des mauvaises herbes, le maintien et l'amélioration de la structure du sol, l'enfouissement des engrais et des résidus de récolte et la réalisation de lit de semences. On utilise généralement une charrue à socs ou à disques (Belaid, 1996). La terre doit être affinée en surface par passage de pulvérisateur à disques ou de herbes, et retassée au croskill avant et après le semis (Clement et Prats, 1970 ; Kribaa *et al.*, 2001).

## Chapitre 02. La biologie du blé

---

### 2.3.4 Date et dose de semis

La date de semis dépend de chaque variété. Elle permet de maîtriser la période optimale de floraison pour éviter les gelées tardives et les siroccos précoces. Elle permet aussi de profiter, pour le semis tardif, de l'action favorable des pluies sur les structures du sol ; mais un semis tardif provoque une diminution du nombre de racines primaires (Chabi *et al.*, 1992) et limite le tallage herbacé. Selon Clement et Prats (1970), l'époque la plus favorable est comprise entre le 01 novembre et le 15 décembre (tableau n°5).

### 2.3.5 La fertilisation

La fertilisation est l'ensemble des apports d'engrais (substances chimiques apportant des éléments minéraux à une plante cultivée), et la fumure (désignant l'apport de fumier). Henry et De Buyser (2000), notent qu'il est préférable que la fumure soit apportée lors de la culture sarclée précédent le blé. Plusieurs recherches et démonstrations menées pratiquement dans tout les pays ont montrés que les engrais minéraux contribuent jusqu'à

plus de 50% des augmentations de rendement par unité de surface , la fertilisation est donc un facteur très important de production (Fink, 1982 ; Joly, 1988 ; Kribaa *et al.*, 2001).

Les effets des engrais sur les rendements sont aussi grandement influencés par l'amélioration des autres facteurs de production tels que l'irrigation, les techniques culturales, sans oublier la qualité de l'assolement –rotation des systèmes de cultures (Chahrour, 2004).

#### **2.3.5.1 Fumure de fond**

Celle-ci doit être apportée au labour. La potasse paraît en aidant à une meilleure utilisation de la fumure azotée. Les quantités à apporter au labour sont de 80 à 100 unités de  $P_2O_5$  et de 100 à 200 unités de  $K_2O$  suivant la richesse des sols.

#### **2.3.5.2 Fumure azotée**

Selon Clement et Prats (1970), les meilleurs résultats sont obtenus, soit avec des apports de 80 unités au début du tallage, soit mieux 40 unités au début du tallage (fin janvier, début février) plus 40 unités au début de la montaison. Les apports au semis semblent peu favorables, entraînant un trop grand allongement du premier entre-nœud et favorisant la verse. L'apport avant la montaison paraît le plus marquant, mais à la condition que le sol ne soit pas trop sec.

Selon Bahloul, 1989 une bonne alimentation en eau après la floraison permet aussi une assimilation tardive de l'azote qui peut améliorer la teneur en protéines du grain. Un manque d'eau début montaison réduit voir annule l'effet de l'azote sur le peuplement (Remy, 1983). D'après Ounane (1998), la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique et l'assimilation des nitrates du sol, subissent une diminution plus ou moins importante avec l'intensité de la contrainte hydrique.

Une insuffisance en azote , en présence d'une fourniture correcte en phosphore, entraîne une maturation précoce pouvant modifier la qualité , en augmentant par exemple le taux de matière sèche . Des excès d'azote conduisent à un retard de la maturité et une humidité élevée de la récolte, en particulier si le temps est humide au moment de la moisson.

### **Chapitre 02. La biologie du blé**

---

La composition minérale de la plante est influencée directement par l'équilibre des éléments nutritifs, à ce titre un excès de potassium réduit l'absorption de calcium et de magnésium.

Une déficience en oligo-élément provoque une baisse de rendement et de défauts de qualités très divers. Par conséquent la qualité dépend aussi de caractéristiques du sol, comme l'acidité. Une prairie cultivée en sol acide peut être carencée en cobalt, un élément essentiel pour les animaux

Une fertilisation optimale, avec un bon équilibre entre les éléments nutritifs, est indispensable pour assurer à la fois de hauts rendements et une bonne qualité ; les fumures permettent d'accéder à la qualité optimale. Pour une utilisation donnée de produit ne sont pas toujours identiques à celle qui procure les meilleurs rendements (Ghouar, 2006).

## Chapitre 02. La biologie du blé

---

**Tableau n°05 : Fiche technique culturale du blé dur (I.T.G.C)**

<b>Période</b>	<b>Opération</b>	<b>Blé dur</b>
Juillet	Epannage fumure de fond	1.5 ql/ha de super 46%
	Labour	Un labour moyen de 25 à 30 cm sera suffisant. Préférer la charrue à disque pour les terres caillouteuses

Octobre	Reprise du labour		Utilisation de cultivateur en terre humide
	Recroisement		Utilisation de cultivateur en terre humide
	Epannage fumure azotée		1.5 ql /ha de sulfate d'ammonium 21% Ou 1 ql/ha d'urée 46%
	Façons superficielles		Utilisation d'une herse légère
Novembre	Semis	Dose/ha	120 kg
		Profondeur	3à6 cm en conditions sèches et en terrain caillouteux
			2à4 cm en conditions humides
		Matériel	Utiliser un semoir en ligne avec organes de descente
		Variétés	Utiliser les variétés précoces
	Période	Novembre -Décembre	
Roulage		Rouleau croskill en terre lourde et lisse en terre légère. Eviter le roulage en conditions humides	
Février	Désherbage		Utilisation de produits herbicides recommandés pour chaque espèce (choisir les produits non phytotoxiques pour le cheptel)
Mars	1 <sup>ère</sup> irrigation		40 mm (8 à 10 heures par aspersion)
Avril	2 <sup>ème</sup> irrigations		40 mm (8 à 10 heures par aspersion)
	3 <sup>ème</sup> irrigations		40 mm (8 à 10 heures par aspersion)
	Epurations (production de semences)		Les épurations doivent supprimer tout mélange variétal ou spécifique
Juin	Récolte		Récolter à maturité : 14% d'humidité, lorsque le grain n'est plus rayable à l'ongle mais cassant sous la dent Eviter la sur maturité qui augmente les pertes en grain
	Bottelage de la paille		
Juillet	Remise en état de la parcelle		A la déchaumeuse ou au cover-crop

### Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

---

## Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

### Introduction

Le blé et ses dérivés constituent la base alimentaire de la population du pays. Selon un expert, le blé couvre la quasi majorité des besoins énergétique (70%) et protéique (84%). La consommation annuelle atteint 102 kg de blé dur et 33 kg de blé tendre par habitant, c'est la

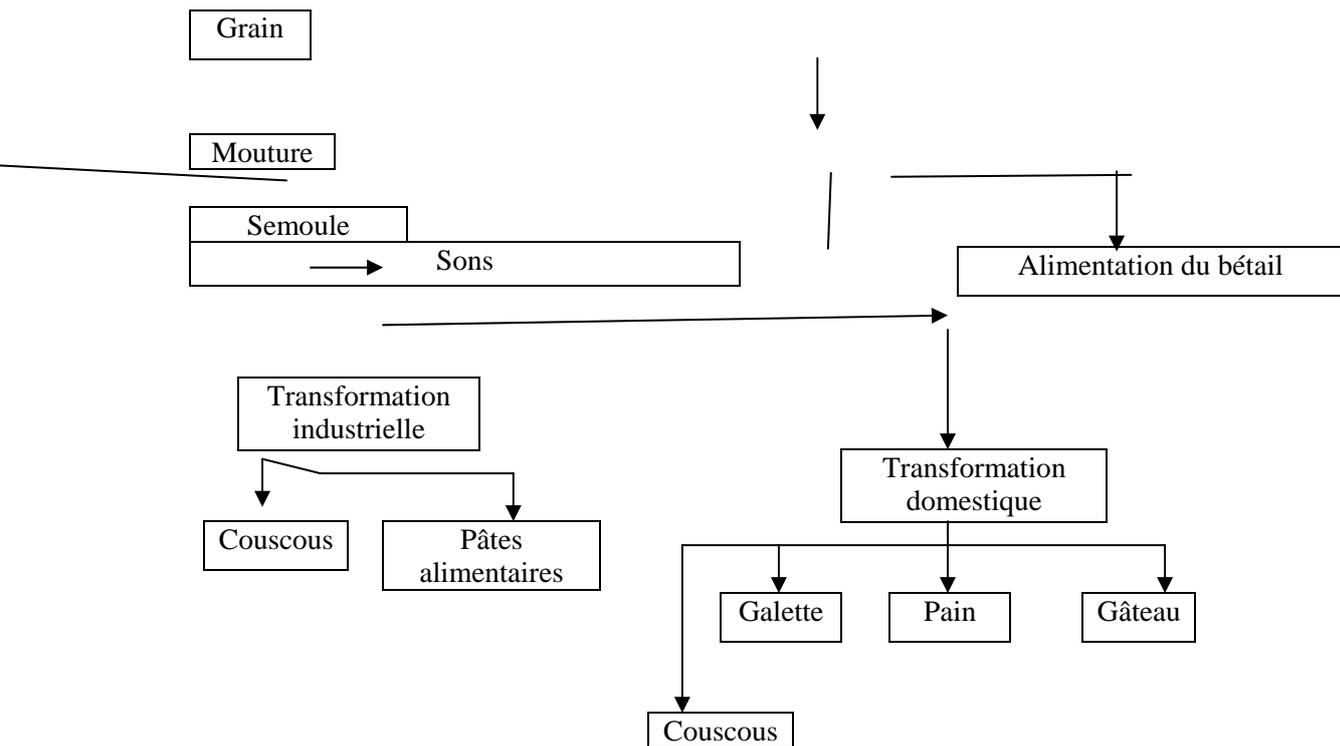
raison pour laquelle le blé est toujours leader dans l'occupation des terres agricoles. L'Algérie achète également plus de 50% de la production mondiale de blé dur mise sur le marché annuellement. Pour satisfaire les besoins du consommateur qui exige des produits plus élaborés, l'Etat n'a cessé de construire des unités de transformation de blé. Les semoules de blé dur participent à l'alimentation sous diverses formes, mais sa principale utilisation reste la fabrication des pâtes alimentaires et le couscous. La farine issue de la mouture de blé tendre représente une grande partie de l'alimentation quotidienne des algériens vu la diversité des produits qui en dérivent (pain, biscuit, biscottes...)

Grâce à sa valeur nutritionnelle élevée et à ses qualités technologiques (viscosité de l'albumen, finesse des enveloppes, teneur élevée en protéines et pigments caroténoïdes, ténacité du gluten), le grain de blé dur (*Triticum durum* Desf.), est utilisé comme matière première pour la fabrication des semoules et des pâtes alimentaires ou encore le couscous, galettes, pain et gâteaux (figure 05). Aussi l'objectif essentiel de la sélection demeure l'obtention d'une qualité semoulière et pastière répondant aux exigences des industriels et du consommateur.

Dans le bassin méditerranéen, et spécialement dans les régions sud de l'Italie dont la principale vocation est la production de pâtes ; le blé dur trouve une large utilisation dans la préparation de plusieurs types de pains (Ciaffi *et al.*, 1995 ). En Algérie, les céréales constituent la base de l'alimentation. Elles représentent à elles seules 73,6 % de l'apport calorique global et fournissent en moyenne 80 % des protéines totales consommées.

La filière blé dur dispose aujourd'hui de nombreux tests fiables d'appréciation de la qualité. Toutefois cet ensemble de mesures est évolutif et son enrichissement progressif vient de la créativité des chercheurs et de nouveaux besoins exprimés par les industriels.

Pour cela, les partenaires de la filière se sont accordés sur différentes mesures, analyses et tests, chacun porteur d'informations partielles et relatives sur la qualité mais leur mise en relation permet une évaluation globale donnant généralement satisfaction.



**Figure n°05 : Utilisation du grain de blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Ghezlane, 1979)**

### 3.1.1 Notion de qualité

La notion de " qualité " des blés durs est très complexe, sa définition dépend à la fois des variétés, des conditions de culture, de l'interaction entre génotype - milieu et de la valeur nutritionnelle ( Liu *et al.*, 1996 ).

Par ailleurs, l'amélioration de la qualité des variétés en vue de la fabrication de la semoule ou des pâtes alimentaires, ne sera réalisée que lorsque toutes les contraintes limitant le rendement seront levées ( Feillet, 1986 ; Abecassis, 1993 ).

Les variétés locales de blé dur sont très utilisées dans l'industrie alimentaire, leur qualité dépend de l'orientation des produits qu'en sont issus, ainsi :

- Le semoulier recherche des variétés à poids spécifique élevé du fait que les unités de transformation se basent uniquement sur ce paramètre pour triturer le blé (Feillet et Dexter, 1996).
- Le pastier recherche des semoules pures et non contaminées par le son et dont la qualité des protéines sont satisfaisantes.
- La ménagère recherche des semoules pures et de couleur ambrée. Cette semoule doit présenter une granulométrie homogène et une bonne teneur en gluten et de qualité supérieure pour la fabrication du couscous. Quant à la semoule de qualité inférieure, elle est destinée à la fabrication de la galette.

### 3.1.2 Notion de qualité technologique

La qualité d'un blé dur est fonction de l'utilisation que l'on en fait. Les produits fabriqués sont surtout les pâtes alimentaires (industries de deuxième transformation) et la semoule (industries de première transformation). La qualité implique donc à répondre à des critères nutritionnels, hygiéniques et organoleptiques (Trenteseaux, 1995).

La qualité de la matière première dépend de celle du produit fini. Ainsi, la connaissance précise des constituants du grain de blé sont responsables de sa qualité technologique, la définition de leurs déterminants génétiques et le rôle des paramètres agro climatiques constituent des clés indispensables à l'ensemble des agents de la filière : sélectionneurs, agriculteurs et transformateurs (Benbelkaacem et Kellou, 2000).

Des travaux déjà anciens ont montré l'importance des protéines du gluten - gliadines et gluténines - ainsi que certaines enzymes et lipides, dans l'aptitude des blés à être transformés en pain ou en pâtes (Abecassis *et al.*, 1990 ). La qualité technologique du blé dur englobe donc toute une série de caractéristiques qui vont du rendement en semoule jusqu'à l'aptitude à la transformation de cette semoule en pâtes (Nottin *et al.*, 1949 ).

Les caractères technologiques d'un blé sont fortement liés à sa variété. Et sont susceptibles de fluctuations sous l'influence des conditions environnantes, ces écarts peuvent aller jusqu'à déprécier complètement le blé vis à vis de l'industrie.

L'appréciation de la valeur des blés durs repose donc sur les caractéristiques suivantes :

### 3.1.3 Valeur meunière et semouliers des blés

Le blé dur, *Triticum durum*, se distingue du blé tendre, *Triticum aestivum* par des caractéristiques génétiques, morphologiques et physiologiques (Abecassis, 1991). Sur le plan technologique, le blé dur possède comme son nom d'espèce l'indique un grain de structure cornée et de consistance dure, la vitrosité de son amande lui confère l'aptitude particulière à être transformé en semoule dont l'usage courant consiste à les transformer en pâtes alimentaires (Cubadda, 1988; Mok, 1997).

Selon Grignac (1976), Abecassis (1991) et Kaan (1993), la qualité semoulière est fonction des conditions de culture, de récolte et des caractéristiques intrinsèques des variétés (rapport amande/ enveloppe, friabilité de l'amande et facilité de séparer l'amande des enveloppes).

Abecassis, (1996) déclare que les facteurs extrinsèques (impuretés, teneur en eau, grain cassés) sont liés aux conditions de culture et de récolte alors que les facteurs intrinsèques dépendent essentiellement de la nature des blés nettoyés à leur arrivée sur le premier broyeur de la semoulerie. D'autres facteurs de type réglementaire, permettent d'évaluer la pureté des semoules tels que : la teneur en cendres des blés et la répartition minérale dans le grain.

La granulométrie des semoules varie beaucoup en fonction des marchés et des usages locaux. Dans les pays du Maghreb et du Moyen-Orient, on utilise surtout des grosses semoules pour la fabrication du couscous ou la consommation en l'état. Dans les pays européens et d'Amérique du Nord, où le développement de la semoulerie est lié à l'accroissement de la demande en pâtes alimentaires, les semoules moyennes ou fines sont alors préférés (Abecassis, 1991).

Les qualités de la semoule peuvent être divisées en deux catégories : celles qui se révèlent sur la semoule même, comme, surtout, sa coloration et celles qui nécessitent sa transformation en pâte compacte, crue ou cuite, pour pouvoir être appréciées.

Kovacs, (1995) signale que la valeur semoulière dépendra de la nature des semoules employées et leur l'aptitude à produire des pâtes alimentaires de qualité.

Cette valeur peut être aussi définie comme l'aptitude d'un blé dur à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée. Et peut être appréciée indirectement par détermination du PMG, du taux de mitadinage, de moucheture, par l'homogénéité de la taille des grains et par le taux de cendres. Le PMG est un critère variétal, mais peut subir des fluctuations liées en particulier à l'échaudage ce dernier résulte d'une maturation hâtée et fournit un grain ridé, riche en son. La présence de grain échaudé a une incidence sur le rendement en mouture (Dexter et Matsuo, 1977).

### Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

---

Le PMG, pour une même variété, est corrélé positivement au taux d'extraction. Dans les zones chaudes de culture du blé dur telle que l'Afrique du nord, les PMG sont moins importants. Ce déficit provient de la brièveté de la période de reproduction (Grignac, 1970 ; (Benbelkaacem et Kellou, 2000).

Le taux de mitadinage est un critère d'appréciation déterminant dans le rendement et la qualité de la semoule et des produits dérivés. D'après Matweef (1946) le mitadinage serait dû, en particulier, à l'excès d'eau dans le sol et à un déficit d'azote et qui donne un grain gonflé, blanchâtre, à structure partiellement ou entièrement farineux, diminuant le rendement en semoule.

Un grain est vitreux lorsque la structure de son amande a un aspect translucide. Cela est dû à une compacité élevée entre les constituants de l'amande (granules d'amidon "cimenté" par les protéines). Il est donc important de contrôler le pourcentage de grains mitadinés, car il apporte une indication directe sur la valeur semouliers (Desclaux, 2005).

Les travaux de Lallemand (1979) ont montré que des taux exceptionnellement élevés seraient liés en particulier à une absence de la fumure azotée. Un déficit d'azote entraîne une grande sensibilité au mitadinage.

Il existe d'autres altérations dues aux attaques de certains insectes parasites du blé, qui non seulement réduisent les rendements à l'hectare, mais altèrent profondément la valeur des grains récoltés. Les plus courants de ces insectes est la punaise des blés.

Cet insecte suce les grains encore verts, et y injecte des diastases protéolytiques, qui persistent et rendent les semoules impropres à la fabrication des pâtes (Matweef, 1966). Ces diverses altérations des qualités d'une variété peuvent être jugées par un simple examen visuel.

Outre son effet défavorable sur le rendement en semoule, le mitadinage exerce une influence défavorable sur la qualité culinaire des pâtes alimentaires (Feillet, 1986).

En l'absence de tels accidents, les blés se présentent de façon normale et peuvent avoir, au contraire, des différences très sensibles, concernant en particulier, l'épaisseur du son ainsi que la coloration et la composition physico-chimique de l'amande ; ces caractères, varient surtout en fonction de la variété, influant tant sur le rendement en semoulerie que sur la valeur des pâtes alimentaires (Matweef, 1946 ; Feillet, 1996).

La structure de l'amande règle donc le rendement en semoule en proportion inverse de celui des farines, c'est la structure vitreuse de l'amande qui favorise la formation des semoules; la structure farineuse, jugée comme anomalie pour un blé dur, tend à fournir des farines (Samson et Morel, 1995).

### Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

---

En conclusion, l'industriel exige des grains de forme régulière (taille homogène), le semoulier cherche un poids de 1 000 grains élevé et un pourcentage de grain mitadinés très bas (Feillet et Dexter, 1996).

Un dernier facteur de la valeur semoulière, qui se résume par la richesse en matières minérales. En effet, compte tenu de l'albumen amylicé qui est beaucoup moins minéralisé que les enveloppes et la couche à aleurone ; il est possible de déterminer la pureté et le taux d'extraction des semoules en mesurant leur teneur en matières minérales : plus le taux de cendres sera faible, plus une semoule sera considérée comme pure.

Ainsi donc, le taux de cendres des semoules dépend non seulement de leur pureté mais également de la minéralisation des blés durs mis en oeuvre (Abecassis et Feillet, 1985).

Matveef (1963) cité par Feillet (1970) a démontré que le taux de cendres doit être inférieur à 0.50 ; ce paramètre étant considéré comme un critère de pureté des semoules. Plus tard Maher *et al.*, 1977 soulignent que le taux de matières minérales de semoule doit être normalement compris entre 0.55 et 0.75 % à 14% d'humidité.

Il est bien établi que la teneur en cendres dépend essentiellement du lieu de culture et des conditions de maturation, mais très peu de la variété.

#### 3.2 Qualité de 2<sup>ème</sup> transformation

Les pâtes alimentaires présentent de nombreuses qualités. En plus de leurs propriétés technologiques favorables (simplicité de fabrication, excellente aptitude à la conservation, et au stockage), les pâtes possèdent de bonne qualité nutritionnelle (Icard et Feillet, 1996).

Les propriétés organoleptiques des pâtes sont également un des principaux facteurs de leur qualité; elles concernent non seulement leur aspect à l'état cru mais aussi leur comportement durant et après la cuisson (Feillet et Dexter, 1996).

La qualité pastière peut être considérée du point de vue culinaire et du point de vue visuel. L'aspect visuel tient compte du degré de moucheture et de la couleur de la pâte, qui est due à la combinaison de deux composantes : les couleurs jaunes et brunes (Porceddu, 1995).

### - Aspect des pâtes alimentaires

Les pâtes alimentaires recherchées par le consommateur doivent être claires et de couleur jaune ambré, exempte de gerçures et de piqûres et présente une belle texture superficielle. La couleur dépend des caractéristiques des blés utilisés (teneur en pigments et en oxydoréductases) et des réactions d'oxydoréduction intervenant au cours des différentes étapes de la fabrication des pâtes, et qui modifie les composantes des semoules de nature protéique, polysaccharides ou lipidique (Trentesaux, 1995 ; Icard et Feillet, 1996).

D'après Matweef (1966), la coloration de l'amande des blés durs peut embrasser toute une gamme de teintes allant du blanc au jaune orangé. Les industriels apprécient les semoules d'un jaune franc, donnant des pâtes de bel aspect, et refusent les semoules blanches ou grisâtres.

En ce qui concerne l'influence de la granulométrie des semoules sur la qualité des pâtes alimentaires, plusieurs auteurs indiquent que la quantité d'amidon endommagé, généralement plus importante avec les semoules fines, est corrélée négativement avec la fermeté des pâtes cuites et positivement avec les pertes à la cuisson (Dexter et Matsuo, 1977). Les protéines de la semoule jouent un rôle prépondérant dans la qualité des pâtes alimentaires, elles interviennent à la fois dans le développement des propriétés viscoélastiques des pâtes cuites et dans leurs états de surfaces (Desclaux, 2005).

Et selon Calvel (1980), c'est le gluten qui communique à la pâte ses propriétés plastiques : cohésion, élasticité, ténacité. Et en plus de ces propriétés rhéologiques, le gluten maintient la forme de la pâte durant le processus de panification.

### - Qualité culinaire des pâtes alimentaires

La qualité culinaire est un critère important associé à la qualité de la semoule (Liu et *al.*, 1996 ). Elle est déterminée par deux paramètres : Tenue à la cuisson et à la sur cuisson qui dépend de la quantité et de la viscoélasticité du gluten et de la teneur en protéines (D'Egidio et *al.*, 1982 ). D'après Feillet et Dexter, (1996). La qualité culinaire supérieure est liée au rapport élevé gluténines / gliadine ou au pourcentage élevé des protéines insolubles. Elle peut être appréciée par les caractéristiques suivantes :

- Temps minimal, optimal et maximal de cuisson (temps à partir duquel il y a gélatinisation de l'amidon, temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée et temps au-delà duquel il y a délitescence dans l'eau de cuisson).
- Gonflement ou absorption d'eau pendant la cuisson (100g de pâtes sèches fixent 160 à 180 g d'eau).

- Texture des produits cuits (caractéristiques rhéologiques). Etat de surface (notions de collant et de délitescence) (Hatcher et Kruger, 1993).

### Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

---

Dans l'ensemble, la qualité culinaire dépend des caractéristiques des blés mis en oeuvre (potentiel de qualité propre à la variété et pouvant s'exprimer différemment selon le milieu) de la pureté des semoules (taux d'extraction) et des conditions de fabrication des pâtes.

Les caractéristiques pastières et la qualité culinaire sont étroitement liées à la qualité et la quantité de leurs protéines et plus précisément des protéines du gluten (D'Egidio *et al.*, 1971 ; Jeaujean *et al.*, 1980).

Walsh et Gills, (1971) trouvent que la grande fermeté des spaghettis est liée aux teneurs élevées des gluténines mais aussi à un faible taux des gliadines.

La texture des pâtes cuites est principalement sous la dépendance de la teneur en protéines : 12 à 13% de protéines dans la semoule sont nécessaires pour qu'un blé dur permette de fabriquer des pâtes de qualité requise (Autran, 1996). Elle dépend aussi de la viscoélasticité du gluten pour un temps de cuisson donné. Les pâtes sont d'autant plus fermes que les propriétés viscoélastiques sont plus satisfaisantes.

### 3.3 Les composants du grain en relation avec la qualité

La qualité du blé est influencée par chacun des constituants du grain qui joue un rôle seul ou en interaction avec d'autres constituants dans l'expression de la qualité. Parmi ces composantes : Les protéines, l'amidon, les sucres, les lipides, les enzymes, ect...

#### 3.3.1 Les protéines

Le grain de blé dur est constitué d'environ 12 % de protéines, qui sont essentiellement localisées dans l'albumen et la couche à aleurone. Cette teneur est susceptible de varier énormément (de 8 à 20 % de MS), en fonction des variétés, des facteurs climatiques, agronomiques et des conditions physiologiques de développement de la plante, des parties histologiques du grain et de la maturation du grain.

Dans la couche à aleurone une grande partie est éliminée lors de la transformation du blé en semoule, ce qui entraîne des répercussions sur la valeur nutritionnelle du produit final puisque cette couche contient une proportion élevée en vitamines B1, en minéraux ainsi qu'une fraction non négligeable des protéines du grain (Hernandez *et al.*, 2004).

### Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

---

C'est à OSBORNE (1907) que l'on doit la première classification des protéines. Il les séparait en deux grands groupes suivant leur solubilité dans l'eau (Linden et Lorient, 1994).

**Les protéines solubles :** représente 15 à 20 % des protéines totales

- Albumines solubles dans l'eau.
- Globulines solubles dans les solutions salines.

**Les protéines de réserves :** représentent 80 à 90 % des protéines totales (Hernandez *et al.*, 2004).

- Gliadines solubles dans les solutions alcooliques.
- Gluténines solubles dans les solutions diluées d'acides ou de bases, ainsi que dans les détergents (Fig. 06).

Le contenu protéique du blé paraît expliquer 30-40 % de la variabilité dans la qualité culinaire (Damidaux et Feillet, 1978). Les protéines de la semoule de blé dur interviennent à la fois dans le développement des propriétés viscoélastiques des pâtes cuites et dans leurs états de surface (collant, état de surface) (Matsuo *et al.*, 1982 ; Feillet, 1984 ).

Masci *et al.*, (1995), affirment que les protéines stockées dans le blé déterminent plusieurs caractéristiques de l'évolution de la qualité de la farine et de la semoule de blé.

Et d'après Kaan *et al.*, (1993) une teneur en protéine du grain élevée et stable est un caractère génétique d'importance capitale pour l'obtention de produits de qualité, mais elle est difficile à combiner avec d'autres caractères favorables des variétés modernes.

Matweef, (1966) recommande un blé dur ayant une teneur en protéines supérieure à 13 % pour la production de bonnes pâtes car une teneur inférieure à 11 % donne des pâtes de mauvaise qualité.

La teneur en protéines s'est donc révélée un facteur déterminant des propriétés rhéologiques et culinaires des semoules. Elles sont responsables de la qualité des pâtes alimentaires à 87 %.

La qualité des protéines est un caractère extrêmement héritable et, seulement une partie est influencée par l'environnement (Liu *et al.*, 1996 ).

Sur le plan quantitatif la teneur en protéines dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante (Mok, 1997). Et sur le plan qualitatif, elle est

basée sur les différences de propriétés des protéines, celle-ci étant liées au patrimoine génétique de la variété.

### Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

---

Ainsi, selon LIU *et al.* (1996), la qualité de la protéine d'une culture particulière est généralement présumée être contrôlée par un type d'allèles présents dans diverses loci et qui contrôlent le gluten des protéines, nommés les gliadines et les gluténines.

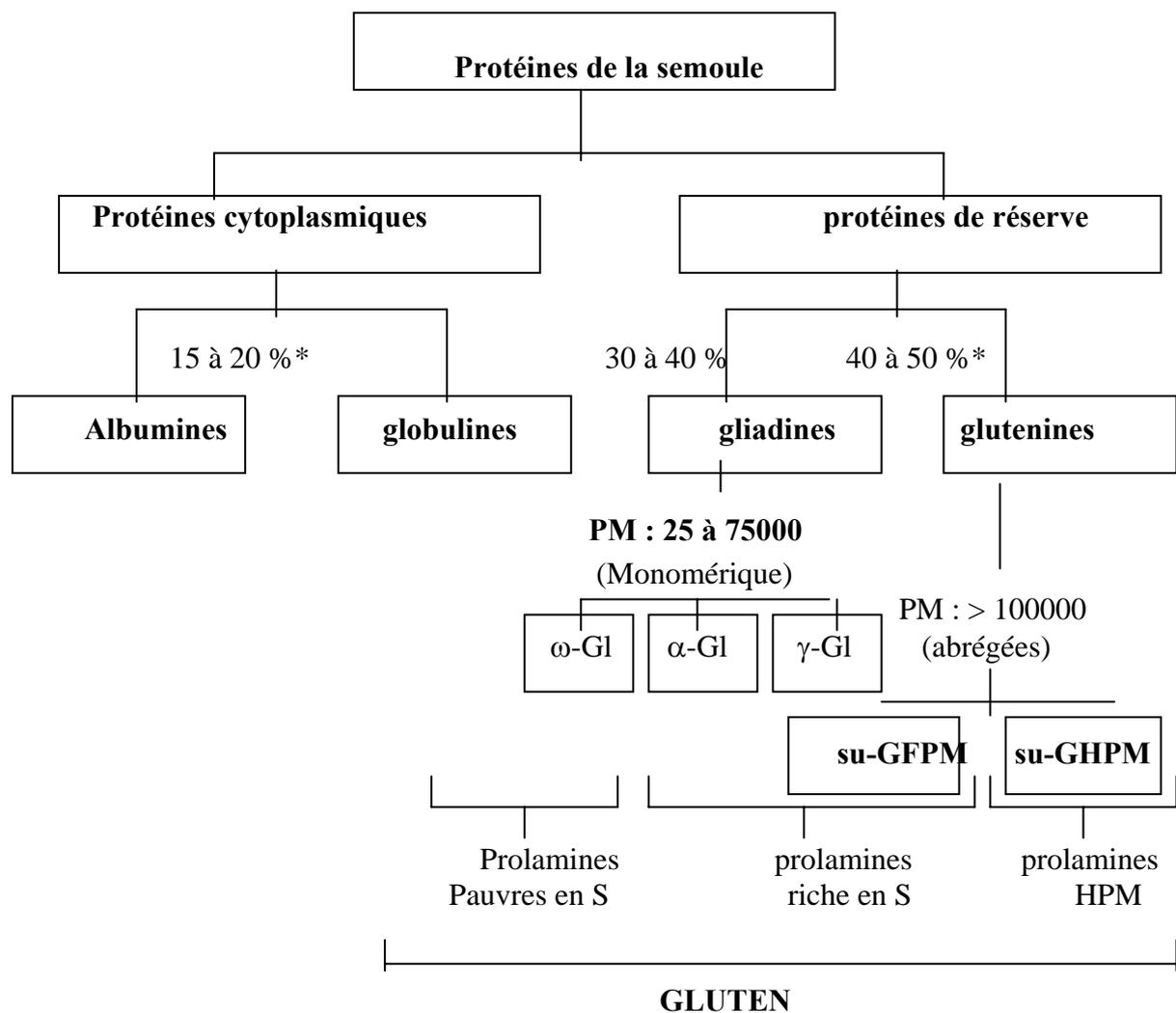
L'azote présent dans le grain provient à 70-80% de la quantité absorbé par la plante jusqu'à la floraison, la teneur en protéine est donc, en très grande partie, déterminée par la capacité de la culture à extraire l'azote du sol pendant la période de montaison, en effet la plante n'absorbe qu'une fraction de l'azote disponible (Desclaux, 2005).

Cette part est augmentée en jouant sur le fractionnement de la fertilisation si bien qu'à l'exception de conditions très particulières (plantes chétives, pluviométrie inférieure à 10mm dans les 20 au 30 jours qui suivent la date d'apport) la quantité absorbée à la floraison s'en trouve plus élevée, fractionnement modifie aussi la destination de l'azote dans la plante ceux sont les organes en croissance au moment et après l'intervention (soit la dernière feuille, l'épi..) qui l'interceptent en priorité et le transfèrent par la suite plus favorablement vers le grain (Gate *et al.*, 1996 ; (Hernandez *et al.*, 2004).

L'effet de la nutrition azotée sur l'accumulation des réserves protéiques des grains a également été largement étudié chez les céréales. A coté des variations quantitatives, on observe des variations relatives entre classe protéique ; les principales caractéristiques envisagées étant principalement de type technologique.

Des teneurs plus élevées en azote du grain sont à la fois dues à une meilleure remobilisation de l'azote à partir des parties végétatives (acides aminés provenant de l'hydrolyse de protéines) et/ou à une meilleure assimilation directe de l'azote. Même à des stades tardifs, les mouvements d'azote des feuilles vers l'épi se poursuivent. Les différences de teneurs protéiques du grain seraient à relier aux activités des enzymes impliquées dans la dégradation des protéines des tissus végétatifs (Bénétrix et Autran, 1997).

Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur



(avec eau, lipides, glucides, 10 % )

\* pourcent des protéines totales de la semoule

Gl : gliadine      G : glutenine      HPM : haut poids moléculaire  
FPM : faible poids moléculaire

**Figure 06 : Composition des protéines de la semoule de blé  
(D'après SHEWRY et *al.*, 1986 )**

**Tableau n° 06 : La répartition de l'azote et des protéines dans le grain de blé  
(% de matière sèche) (PETERSON, 1974)**

Fraction du grain	Proportion Du grain %	N%	N x 5.7	% des protéines du total du grain
-------------------	-----------------------------	----	---------	--------------------------------------

Péricarpe	5.8	0.5	2.8	1.7
Testa	2.2	1.7	9.7	2.3
Couche à aleurone	7.0	3.15	18.0	16.0
Albumen externe	12.5	2.2	12.5	19.0
Albumen médian	12.5	1.4	8.0	12.5
Albumen interne	57.5	1.0	5.7	41.0
Embryon	1.0	5.33	30.4	3.5
Scutelum	1.5	4.27	24.3	4.5

### 3.3.2 Le gluten

Le gluten est un complexe protéique viscoélastique que l'on peut obtenir par lexivation sous un mince filet d'eau, d'un pâton formé de semoule ou de farine de blé et d'eau. Le gluten est constitué de 75 à 80 % de protéines, 5 à 7 % de lipides, 5 à 10 % d'amidon, de 5 à 8 % d'eau et des matières minérales en proportion plus faibles (Linden et Lorient, 1994).

Les protéines du gluten constituent 80 % du total des protéines du grain (Osborne, 1907, cité par Liu *et al.*, 1996 ). Les composantes majeures du gluten sont les gliadines et les gluténines, qui représentent 70 % des protéines totales du blé. Ce sont les deux principaux groupes de protéines de l'endosperme, et varient suivant la variété de blé utilisée (Linden et Lorient, 1994 ; Masci *et al.*, 1995 ; Mok, 1997 ).

Les propriétés physico-chimiques (composition en acides aminés, solubilité...) et rhéologiques (viscoélasticité) du gluten sont la résultante des caractéristiques de ses constituants et de leurs interactions. Les deux fractions (gluténines et gliadines) diffèrent par leurs propriétés fonctionnelles : Ainsi les macromolécules de gluténines forment des polymères de protéines et développent une grande surface sur laquelle de nombreuses liaisons non covalentes peuvent se réaliser avec des gliadines (forme des chaînes polypeptides monomériques) ou d'autres molécules de gluténines et sont largement responsables de la viscoélasticité du gluten et de la pâte (Masci *et al.*, 1995 ; Liu *et al.*, 1996 ).

Alors que les interactions non covalentes des gliadines entre elles et les polymères de gluténines conduisent à rendre la masse du gluten élastique les albumines et les globulines n'ont pas d'effet majeur sur les propriétés du gluten (Liu *et al.*, 1996 ).

Les propriétés rhéologiques du gluten sont influencées par deux facteurs principaux :

- La qualité et la quantité des fractions protéiques dans le complexe glutineux (composition en acides aminés, masse moléculaire,...).
- Les interactions entre les différents constituants protéiques du gluten (liaisons disulfures, liaisons hydrogènes, interactions hydrophobes) (Liu *et al.*, 1996 ; Kovacs *et al.*, 1997 ).

Par ailleurs plusieurs hypothèses ont été émises pour l'étude de la structure du gluten :

Selon Feillet (1986) la structure du gluten hydraté prend la forme d'un feuillet de type lipoprotéique, organisée autour d'une couche bi moléculaire de phospholipides qui forment un plan glissement entre les deux couches du feuillet assurant l'écoulement visqueux. Par contre, d'autre affirme que la structure fibrillaire ne dépend que des protéines seules (Abecassis, 1991). D'après Kovacs *et al.*,( 1997 ), le volume de sédimentation pourrait être un bon indicateur de qualité du gluten, cependant il dépend de la quantité et la composition en protéines du blé.

### 3.3.3 L'amidon

L'amidon est le composant essentiel du grain de blé. C'est une substance de réserve stockée dans les cellules de l'albumen du grain qui représente 65-70 % (environ 3/4 de M.S.) Chimiquement l'amidon est un polymère d'un sucre, le glucose. Il se présente sous deux formes : l'amylose (polymère de glucose) et l'amylopectine (polymère ramifiée de glucose). La qualité de l'amidon des céréales dépend de leur pourcentage en ratio : amylose / amylopectine (Gibson *et al.*, 1997 ).

La fonction la plus importante de l'amidon en technologie est attribuée à la gélatinisation, dont l'intensité dépend de l'humidité, de la température, de la durée du traitement et de la teneur en protéines de l'aliment. Selon Gibson *et al.* (1997) la gélatinisation serait un phénomène physique survenant au cours de la cuisson ou de la pré cuisson en milieu humide. Le grain d'amidon perd sa configuration native et acquiert une structure plus lâche, dans ce cas, le caractère hydrophile du polymère se développe.

Ce phénomène se caractérise par un gonflement et une solubilité de l'amidon, qui permet au produit de garder son aspect original. Un amidon gélatinisé fourni à la surface du produit une pellicule imperméable qui réduit les pertes de nutriments hydrosolubles au cours du trempage ou de la cuisson à l'eau.

### 3.3.4 Les pentosane

Les pentosane sont des polysaccharides non amylacés constitutifs des parois végétales des Graminées. Les différentes fractions de mouture des blés, qui correspondent globalement aux zones histologiques du grain, ont une teneur en pentosane proportionnelle à la quantité de parois cellulaires présentes dans chaque tissu. Ainsi, les sons sont beaucoup plus riches en pentosane que les farines (albumen amylacé), les teneurs y étant respectivement de 20 - 30 % et de 1,5 - 3 % (Icard et Feillet, 1996).

Les pentosane solubles possèdent une forte capacité de rétention de l'eau. Ils fixent jusqu'à 10 gr eau / gr, alors que le gluten et l'amidon ne fixent que 0,5 à 2 gr eau / g. Et présentent des propriétés de surface liées à leur viscosité intrinsèque (Bushuk, 1966).

Ces derniers, sensibles aux agents oxydants, gélifient rapidement, sans qu'ils soient nécessaires de leur faire subir un chauffage suivi d'un refroidissement. Ce phénomène de gélification oxydative, donne des gels thermo irréversibles où les liaisons chimiques impliquées sont de type covalent. En fait, la gélification des pentosanes provient au moins partiellement d'un phénomène radicalaire. L'acide férulique et les groupes thiols ou tyrosine sont en concurrence pour réagir avec les radicaux libres. L'ensemble des réactions est alors mis en jeu simultanément (Lempereur *et al.*, 1995 ).

### 3.3.5 Les lipides

Les lipides du blé représentent en moyenne 2 à 3 % du grain sec. Ce sont des constituants mineurs du blé, certains sont libres, mais la majorité est associée aux composantes majeures (amidon, protéines) et leurs effets sont importants dans les processus technologiques. Les chimistes céréaliers ont l'habitude de classer les lipides des céréales d'après leurs différences d'extractibilité. Ainsi les lipides extraits par des solvants apolaires anhydres (pentane, hexane, benzène, chloroforme) sont appelés " libres". Ils représentent 1 à 2,6 % de la MS.

Les lipides jouent un rôle important dans la technologie des produits céréaliers, que se soit lors de leur fabrication en intervenant sur les caractéristiques rhéologiques, emulsification et production de composés volatiles des pâtes, et par conséquent sur la qualité du produit fini, ou au cours du stockage, en raison des altérations consécutive de leurs acides gras poly insaturés facilement oxydables (Feillet et Dexter, 1996).

Dans le cas du blé dur, les travaux qui relient la fraction lipidique à la qualité des blés, sont peu nombreux. Généralement, les lipides qui représentent 1 - 2 % de la semoule de blé dur et des pâtes, jouent un rôle relativement important dans la qualité culinaire, en s'associant aux protéines au cours du malaxage ou du séchage des pâtes (Laignelet, 1983). Les effets des lipides sur les propriétés fonctionnelles de la pâte dépendent d'un équilibre entre lipides polaires et non polaires.

### 3.3.6 Interactions Lipides - protéines – amidon

Les produits à base de blé dur sont des mélanges hétérogènes, parmi lesquels les protéines, l'amidon et les lipides qui ne peuvent pas être considéré indépendamment. Les interactions entre ces macromolécules contribuent à une gamme de propriétés fonctionnelles dans la détermination de la qualité culinaire des pâtes.

L'apparition de ces complexes, notamment entre l'amidon et les protéines pourraient contribuer à la formation d'un film protéique qui empêcherait la sortie des composants de l'amidon et surtout l'amylose pendant la cuisson (Icard et Feuillet, 1996). Cette caractéristique potentielle est principalement dépendante de la qualité, quantité des protéines et l'interaction macromoléculaire (Dexter et Matsuo, 1977 ; Damidaux et Feuillet, 1978).

Par ailleurs, les lipides réagissent avec les protéines et l'amidon pour former un complexe amidon - glycolipides - protéines au moyen de liaisons hydrogènes entre glycolipides et amidon ou gliadine et des liaisons hydrophobes entre glycolipides et glutenine (Laignelet, 1983).

Feillet, (1984) signale que les lipides libres de la farine sont liés aux protéines du gluten par des liaisons hydrophobes et hydrophiles qui contribuent dans la stabilité des protéines.

Hoseney *et al.*, (1970) ont montré que les lipides polaires sont liés aux gliadines (liaison hydrophobes) et par conséquent contribuent à la structure du gluten et influent sur la capacité de rétention des gaz lors de la fermentation.

Les études réalisées par Marion (1992) ont montré que les lipides ont assez peu d'influence sur les propriétés rhéologiques de la pâte proprement dit. Ils interviennent surtout lors de la fermentation et la cuisson en permettant une plus ou moins bonne expansion des gaz dans la pâte.

#### 3.3.7 Les enzymes

L'intérêt porté au enzyme en pastification provient de la relation qui a été établie, depuis plusieurs dizaines d'années, entre leur activité et l'un des principaux critères de la qualité des pâtes : leur couleur (Icard et Feuillet, 1996). Les pigments caroténoïdes, qui dans le cas du blé sont principalement constitués par la lutéine, sont à l'origine de la composante jaune recherchée dans les semoules de blé dur et les pâtes alimentaires ( Samson et Morel, 1995 ).

Chez le blé, la lyxogénase est principalement localisée dans la partie périphérique du grain, elle est plus abondante dans le germe du grain que dans l'albumen.

Cette enzyme possède trois iso enzymes à activités différentes : deux d'entre elles catalyseraient la destruction des caroténoïdes et la troisième aurait une activité peroxydasique (Icard et Feuillet, 1996).

Selon certains auteurs, la lyxogénase n'interviendrait pas seulement sur l'oxydation des caroténoïdes, une fraction de la lyxogénase étant adsorbée par les gluténines de la pâte. Cette adsorption, réversible, est inhibée lors de chauffage ou de modifications chimiques du gluten (Abecassis *et al.*, 1990 ; Icard et Feuillet, 1996 ).

Selon Matsuo *et al.*, ( 1982), une perte de 25 à 30 % des pigments durant la fabrication n'affecte pas la couleur des pâtes depuis que la création variétale a permis de disposer de variétés de blé possédant des teneurs très élevées en caroténoïdes.

Les peroxydases et polyphénoloxydases, sont deux enzymes associées à la composante brune, défavorable, des pâtes alimentaires. Elles sont principalement localisées dans les couches périphériques du grain de blé (couche à aleurone, son et germe), ce qui explique que leur teneur plus faible dans la semoule que dans le grain entier (Icard et Feuillet, 1996).

Dans une étude sur les relations entre la composition chimique des semoules de blé dur et la qualité des macaronis, Taha et Sagi (1987) ont montré que de fortes activités peroxydasique

et polyphénoloxydasique correspondent à une diminution de l'indice de jaune des semoules et la qualité des macaronis, ils ont de même montré que de fortes activités peroxydasique et polyphénoloxydasique correspondent à une diminution de l'indice de jaune des semoules avec des coefficients de corrélation respectifs de -0,78 et -0,93.

### Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

---

De nombreux auteurs pensent que la sélection de variétés de blé possédant de faibles teneurs en ces enzymes associées à une bonne conduite de la mouture (peu de contamination par les couches périphériques du grain) constitue le facteur principal d'amélioration de la clarté des pâtes (Feuillet, 1986 ; Taha et Sagi, 1987).

Abecassis *et al.*, (1990) soulignent que le séchage à haute température peu inhiber les activités enzymatiques dans des conditions contrôlées des paramètres de séchage et montre qu'il y a très peu de différences d'activité peroxydasique entre les pâtes séchées à 37 et 70°C mais que par contre, l'activité chute très fortement lorsque les pâtes sont séchées à 90°C. Au cours de la germination, l'activité des enzymes augmente; en particulier celle de l'amylase. Les enzymes  $\alpha$ - et  $\beta$ - amylases sont des enzymes de dégradation de l'amidon en sucres simples assimilables par la plantule.

Les  $\alpha$ - amylases sont synthétisées durant la germination et hydrolysent des liaisons  $\alpha$  ( 1 - 4 ) des chaînes d'amylose et d'amylopectine, tandis que la  $\beta$ -amylase est synthétisée durant le développement de la plante et est stockée dans l'endosperme jusqu'à la germination, elle hydrolyse les chaînes d'amidon à partir de leur extrémité non réductrice en libérant du  $\beta$ -maltose. Une forte activité amylastique peut conduire à rendre inutilisable la panification d'un lot de blé.

Ainsi, l'activité enzymatique fait intervenir la quasi-totalité des constituants biochimiques de la semoule et des autres composés entrant dans la fabrication des pâtes alimentaires ; à savoir l'eau et l'oxygène moléculaire.

Les réactions d'échanges d'électrons lors de la formation de liaisons chimiques ont lieu au niveau des groupements soufrés des protéines, des polysaccharides tels que les pentosanes et des liaisons multiples des acides gras, et également au niveau de molécules telles que les pigments (Matsuo *et al.*, 1982 ; Icard et Feuillet, 1996 ).

### Chapitre 03. Evaluation de la qualité d'un blé dur

---

#### 3.3.8 Les substances minérales

En meunerie, la connaissance des matières minérales, et plus précisément du taux de cendres, est très importante. Dexter et Matsuo (1977) ont montré que la teneur en matières minérales varie dans le même sens que le taux d'extraction des semoules. Les études de Matweef (1946), qui consistent à doser les cendres du blé dans les parties constituantes du grain, montrent que les cendres des enveloppes peuvent varier du simple au double pour la même variété de blé suivant son milieu de culture ; les cendres de l'amande farineuse cependant, accusent des écarts minimes entre les blés les plus divers et y sont en très faible quantité ( la teneur en cendres de l'amande est d'environ 10 fois plus faible que celle des enveloppes.

De même que Matweef (1966), conclura que la teneur en cendres d'une semoule ne peut réellement servir de critère de sa pureté que dans la mesure où elle peut être ramenée à celle du grain entier par la détermination du rapport R (teneur en cendres des semoules / teneur en cendres des blés) et qui doit être inférieur à 0,5.

**Tableau n°7 : Distribution histologique des principaux constituants du grain**

	Grain	Péricarpe (6)		Aleurone (7)		Albumen (84)		Germe (3)	
	% G	% T	% G	% T	% G	% T	% G	% T	% G
<b>Protéine</b>	13.7	10	4.4	30	15.3	12.0	73.5	31	6.8
<b>Lipides</b>	2.7	0	0	9	23.6	2	62.9	12	13.5
<b>Amidon</b>	68.9	0	0	0	0	82	100	0	0
<b>Sucres Réducteurs</b>	2.4	0	0	0	0	1.8	62.7	30	37.3
<b>Pentosanes</b>	7.4	43	35.1	46	43.8	1.6	18.3	7	2.9

<b>Cellulose</b>	2.8	40	87.1	3	7.6	0.1	3.1	2	2.2
<b>Minéraux</b>	1.9	7	22.6	12	43.6	0.5	22.6	6	9.7

Source : (Feuillet,

2000).

---

## Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé

### Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé

#### 4.1 L'amélioration du blé dur

L'histoire de l'amélioration génétique du blé dur (génome AB) est relativement courte, si on la compare à celle du blé tendre (génome ABC), qui a bénéficié dès la fin du XIXe siècle, d'efforts considérables de sélection (Monneveux, 1989).

Dans la plupart des pays producteurs de blé dur, et en particulier dans les pays méditerranéens, il faut attendre les années 50 pour voir se développer des programmes importants de sélection portant sur cette espèce ; le travail réalisé va s'intensifier au cours des trois décennies qui suivent grâce à la prise en compte de cette espèce par les programmes nationaux de recherche, et grâce également aux efforts des centres internationaux comme le CIMMYT ( Mexique ) et l'ICARDA ( Syrie ) ( Al Hakimi et Monneveux, 1993 ).

L'amélioration génétique des céréales s'est donnée pendant longtemps pour objectif primordial l'augmentation de la productivité : rendement potentiel (Monneveux, 1989). Nachit et *al.*, (1998 ), estiment que chez le blé dur, la qualité du grain est primordiale, les espèces sauvages, les variétés locales et les populations de pays représentent une source très riche de variabilité pour les caractères de qualité.

De nombreux caractères intéressants comme la tolérance aux stress abiotiques (déficit hydrique, salinité, hautes et basses températures) sont présents chez les espèces sauvages des genres *Triticum* et *Aegilops*. Ces espèces ont été largement utilisées pour l'amélioration de la résistance aux maladies.

#### 4.2 Les outils utilisés pour l'amélioration de la qualité

Le blé dur (*Triticum turgidum ssp durum*) est une plante cultivée qui sert essentiellement à la fabrication des pâtes alimentaires et de la semoule. Elle a été domestiquée il y a 12000

ans dans le Croissant Fertile à partir de la forme sauvage *Triticum turgidum ssp dicoccoides*. Son aire de répartition traditionnelle est le pourtour méditerranéen mais le blé dur est également cultivé en chine, au Canada et dans les grandes plaines nord-américaines.

Depuis sa domestication, l'espèce a été améliorée par une sélection continue et importante, qui a conduit à une homogénéisation forte du fond génétique des variétés cultivées. Le blé dur fait donc partie des plantes pour lesquelles la conservation des ressources génétiques est active. L'effort de conservation porte à la fois sur la diversité de *T. durum*, mais également sur les formes apparentées au blé dur. Afin de raisonner et de gérer ses ressources génétiques, on s'intéresse à l'histoire évolutive de l'espèce, mais aussi à la diversité génétique qu'elle renferme et aux variations qu'elle a pu subir au cours de son évolution depuis sa domestication jusqu'à nos jours (Kribaaa *et al.*, 2001).

---

#### Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé

---

L'un des objectifs importants de l'amélioration est de promouvoir l'utilisation combinée des outils biotechnologiques et biochimiques avec ceux de la sélection classique (Nachit *et al.*, 1998 ).

Notamment, l'utilisation des techniques biochimiques qui permettent une caractérisation génétique des variétés, actuellement, ce sont les techniques d'électrophorèses, et dans certains cas d'électrofocalisation, qui paraissent présenter le meilleur compromis entre la finesse et la reproductibilité des résultats. Et les biotechnologies, tel que l'haplodiploidisation qui s'est révélée être un outil efficace tant en sélection qu'en marquage moléculaire (Nachit *et al.*, 1998 ).

##### 4.2.1 Outils biochimiques et technologiques

L'application des outils biochimiques diffère suivant l'étape du cycle de sélection. Les premiers tests d'approche de la qualité génotypique ou intrinsèque mis au point par les sélectionneurs et les chimistes céréaliers, sont basés sur l'étude de la fraction protéique. Comme l'a souligné Autron (1981), c'est en se basant sur les caractéristiques biochimiques du grain que de véritables tests de sélection peuvent être découverts et développés.

Parmi les différents constituants biochimiques susceptibles d'être retenus, il convient de distinguer :

- Ceux qui, indispensables à l'expression de la qualité, ne sont pas, à première vue, explicatifs des différences variétales de qualité (l'amidon, certaines lipides...).
- Ceux qui, également indispensable à la qualité, sont vraisemblablement explicatifs des différences variétales de qualité (exemples : certaines protéines, enzymes et peut être des constituants lipidiques et glucidiques impliqués dans des interactions avec les protéines).

C'est ainsi qu'un certain nombre de tests tels que : le test du résidu protéique dans l'acide acétique ( par Orth et Bushuk, 1972 ) , le test de sédimentation en milieu SDS ( par Axford *et al.*, 1979 ) , test de la viscoélasticité du gluten ( par Damidaux, 1979 ) et le test de gel protéique ( par Gautier, 1983 ) ont vu le jour et ayant permis de juger la qualité indépendamment des variations quantitatives en protéines.

De nos jours, l'utilisation des protéines de réserve à un stade précoce de la sélection permet de prédire le potentiel qualité d'un génotype. L'application couplée des outils biochimiques et technologiques présente un énorme avantage qui permet d'obtenir des analyses rapides et en grandes séries sur de petites quantités d'échantillons (Branlard et Dardevet, 1993 ; Liu et Shepherd, 1995).

#### **4.2.2 Outils biotechnologiques**

L'apport des biotechnologies végétales, notamment l'utilisation des méthodes *in vitro*, constitue un instrument complémentaire aux méthodes conventionnelles, en particulier l'haplodiploidisation, la culture de cellules isolées embryogènes, la culture de microspores isolées, le sauvetage d'embryons immatures, et l'utilisation des marqueurs moléculaires ( L'amplification par P.C.R., technique rapide et simple et de l'haplodiploidisation ), permettent l'accélération des schémas de sélection (D'ovidio *et al.*, 1990 ; Nachit *et al.*, 1998 ; Ait Kaki, 2007).

---

### **Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé**

---

Les biotechnologies se caractérisent par le fait qu'elles s'adressent, en général, à des éléments dissociés de la plante. Elle permet une nouvelle ouverture vers la génétique moderne par:

- Dissociation de la plante en organes, tissus, cellules, protoplastes, noyaux, ADN etc...
- Manipulation et modification de l'élément dissocié
- Reconstitution d'individus - plantes nouvelles
- Sélection des produits obtenus
- Mise en évidence de gène candidats.
- Cartographie d'une population de blé. (Demarly, 1995).

Le développement de la biotechnologie a permis la réduction des délais d'obtention de lignée pure, objective du sélectionneur, ainsi la caractérisation phénotypique et l'appréciation de la valeur génétique des génotypes pourront se faire précocement.

Les biotechnologies mettent donc à la disposition des biologistes des possibilités dont la variété et la puissance sont incomparables et ont ouvert une nouvelle voie à l'étude des réactions de la plante face à l'environnement (Monneveux, 1997).

#### **Conclusion**

Depuis que les blés durs cultivés en Algérie ont été inventoriés en 1961, les populations locales de blés ont été délaissées par les organismes spécialisés et les agriculteurs au profit

de variétés introduites massivement avec une régression significative de la grande diversité qui prévalait antérieurement (Dekhili, 1998). Le progrès génétique et l'amélioration des techniques culturales ont permis une augmentation des rendements. Toutefois l'autosuffisance reste difficile à atteindre. Les efforts enregistrés sont contrecarrés par un taux de croissance démographique élevé.

La recherche de variétés produisant un rendement élevé en grains peut aboutir à l'obtention de variétés de mauvaise qualité, en particulier de mauvais rendement semoulier. Pour cette raison, une attention particulière est apprêtée aux valeurs nutritionnelles et technologiques des cultivars obtenus. L'étude des paramètres technologiques sert de critères de sélection dans le programme d'amélioration génétique (Benbelkacem et *al.*, 1995 ).

L'amélioration du rendement des blés durs passe par la création variétale et le choix de critères fiables pour l'identification de mécanismes d'adaptations aux contraintes environnementales. La connaissance des caractéristiques des variétés, la maîtrise des techniques culturales permettrait de mieux valoriser les produits et de les orienter vers leurs différentes utilisations (panification, pastification, production de couscous...) (Annicchiarico et *al.*, 2005).

Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress abiotiques, la résistance aux maladies et une bonne qualité technologique restent les plus recherchés. Ainsi, l'objectif principal visé par l'améliorateur consiste à sélectionner des variétés combinant une bonne valeur agronomique à une valeur d'utilisation satisfaisante.

---

## Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé

---

### 4. 3 Evolution sous pression de domestication et sélection

Les blés ont subi une domestication avec différentes pressions de sélection, les faisant passer de graminée sauvage à l'espèce cultivée avec le niveau de production actuel. Un séquençage partiel permettrait de comprendre comment se manifestent ces pressions de sélection au niveau du génome et en liaison avec le processus général d'adaptation à la récolte, d'adaptation aux grandes régions géographiques, aux stress environnementaux, aux diverses utilisations de la récolte.

L'analyse de séquences de régions représentatives du génome devrait permettre de recueillir des informations scientifiques permettant d'apprécier de façon statistique les effets respectifs de la polyploidisation, de la domestication et de la sélection, et ainsi d'augmenter les connaissances sur l'organisation du génome du blé et les inférences sur l'expression des gènes.

#### 4. 3.1 La sélection du blé

Depuis les premières sélections faites par l'homme, basées uniquement sur certains aspects agronomiques du blé, la sélection a bien évolué et recouvre un ensemble d'activités techniques et scientifiques très diversifiées. Bien que les découvertes techniques et

génétiques tendent actuellement à raccourcir les délais de création de nouveaux cultivars, il faut environ 10 à 15 ans pour mettre une nouvelle variété sur le marché (Demarly, 1987).

Les objectifs de la sélection ne sont pas uniquement d'obtenir de bons rendements avec des variétés bien adaptées aux techniques culturales hautement mécanisées mais également, d'améliorer les facteurs de régularité de ce rendement et la qualité technologique du produit.

Le sélectionneur devra donc réunir dans un même génotype des caractères souvent antagonistes telle qu'une production élevée régulière et une haute teneur en protéines (Picard, 1988).

Les méthodes de sélection génétique sont responsables d'environ 50 à 60% de l'accroissement de productivité observé au cours des quarante dernières années (Demarly, 1987 ; Picard, 1988). Cependant, plusieurs problèmes se posent comme la perte de la variabilité génétique (dérive génétique) due à l'élimination nécessaire et consciente de grandes quantités de lignées au cours de la sélection, mais aussi au choix limité de géniteurs. Pour éviter cette perte, une stratégie globale a été mise en œuvre : la sélection récurrente d'après la théorie énoncée par Gallais (1977). Grâce à cette méthode, des populations peuvent servir à la création variétale tout en conservant une bonne variabilité (Picard, 1988 ; Georget, 1990 ; Rharrabti *et al.*, 2001).

---

## Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé

---

### 4.3.2 Amélioration par sélection de la teneur en protéines

Les blés dur (*Triticum durum*), non panifiables, sont tétraploïdes et possèdent les génomes A et B. Chaque génome A, B ou D provient d'une espèce diploïde ancestrale différente. Ces 03 espèces ancestrales ont elles-mêmes évolué à partir d'un ancêtre diploïde commun. En raison de cette origine commune, chaque génome comporte des chromosomes et des gènes qui sont aussi présents dans chacun des autres génomes.

Ainsi chaque chromosome est représenté 04 fois dans les blés durs (composition AA BB) et 06 fois dans les blés tendres (composition AA BB DD) ( Nachit *et al.*, 1997).

Le très grand polymorphisme génétique des protéines de réserve peut s'expliquer par le fait que ces protéines n'exercent pas de fonctions structurales indispensables. Ainsi les mutations n'ont pas entraîné d'effets défavorables pour la plante.

L'amélioration des protéines du blé, peut recourir à la sélection de variétés après croisement ou mutation, ou bien au génie génétique, pour l'augmentation de la teneur en protéines des grains, et l'amélioration de la qualité nutritionnelle, élever la force des farines, ainsi que leur aptitude à la panification.

#### 4.4 Mesure de la stabilité des critères de sélection

La stabilité des critères technologiques est abordée à l'aide de deux paramètres : l'héritabilité et la contribution aux interactions génotype x environnement.

##### 4.4.1 Héritabilité $h^2$ :

L'héritabilité au sens large est un bon indicateur du degré de confiance que l'on peut accorder à l'évaluation de la valeur génotypique par la valeur phénotypique.

Ce paramètre peut être calculé pour chaque critère et chaque couple d'années (par sites), de façon à travailler sur des séries variétales homogènes.

##### \* *Le Phénotype et le Génotype* :

Le phénotype d'une plante peut être défini comme l'ensemble des caractères visibles (observables et mesurables) résultant de l'expression de l'ensemble des gènes (génotype) dans un environnement donné (Haji et Hunt, 1999 ; Desclaux *et al.*, 2005).

Un génotype peut donc avoir différents phénotypes, qui peuvent être représentés par des courbes de réponse aux facteurs du milieu. Cette variation de l'expression du génotype selon l'environnement s'appelle la plasticité phénotypique.

---

### Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé

---

#### 4.4.2 Contribution des critères technologiques a l'interaction G x E

Afin d'apprécier la stabilité de chaque critère technologique en fonction des lieux d'expérimentation, il est nécessaire d'étudier les modèles liée a l'interaction G x E, Le plus souvent un carré moyen issu de l'analyse de la variance.

Ce carré moyen représente l'écart à l'additivité :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \theta_{ij} + e_{ij}.$$

Avec :

$\mu$  = moyenne générale,  $\alpha_i$  = effet principal génotype,  $\beta_j$  = effet principal milieu,  $\theta_{ij}$  = effet d'interaction entre génotype et milieu,  $e_{ij}$  = résiduelle.

Sachant que ce modèle est limité à l'analyse de la variation et l'interprétation des résultats ne peuvent se faire qu'en terme de déviations.

Pour un caractère donné, on ne peut pas dire quelle proportion est due à son génotype et quelle proportion est due à l'environnement mais le modèle d'analyse que l'on peut écrire :

$$Y_{ij} - \mu = (\alpha_i - \mu) + (\beta_j - \mu) + \theta_{ij} + e_{ij}$$

Permet de dire quelle proportion de la déviation du caractère de l'individu  $i$  par rapport à la moyenne générale qui peut être attribuée à la déviation de sa valeur génotypique par rapport à la moyenne des valeurs génotypiques et à la déviation de son milieu par rapport à la moyenne des milieux (Fischer, 1985).

La quantité de variation environnementale dépend donc de la distribution des génotypes, de même que la quantité de variance génétique dépend de la distribution des milieux.

---

#### Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé

---

##### 4.4.3 Quantification des interactions Génotype x Environnement

Cette approche peut se faire par le biais des études d'interaction génotype x environnement. Il est nécessaire de connaître, pour chaque critère, si de telles interactions existent et si le classement variétal pour un critère peut être différent selon les milieux d'expérimentation (Fischer, 1985 ; Haji et Hunt, 1999).

Afin de différencier les interactions liées à l'année de celles liées aux lieux d'essais, l'analyse de l'interaction peut se faire par le modèle :

$$Y = \text{effet variété} + \text{effet milieu} + \text{interaction variété} \times \text{milieu.}$$

Avec dans un premier temps, le milieu considéré comme la combinaison lieu x année et dans un deuxième temps, l'analyse par année avec le milieu équivalent au lieu d'essais.

Y, étant le rendement ou les critères technologiques.

#### **4.5 Etude de la stabilité des critères de qualité : intra- site, inter- site**

Les critères technologiques choisis pour approfondir l'étude de la stabilité, sont la teneur en protéines, le taux de mitadin, le poids spécifique, la moucheture et l'indice de jaune qui génère des interactions variété x conduite de l'essai.

L'idée ici est d'établir la correspondance d'une gamme de résultats variétaux de rendement et qualité avec les milieux dans lesquels ils se sont élaborés (Rharrabti *et al.*, 2003 ; Royo *et al.*, 2004).

Selon Desclaux *et al.* (2005), la variation génotypique pour un caractère dépend très étroitement de la distribution des milieux. Il est donc indispensable de préciser dans quel environnement sont étudiées ces critères. Toujours selon le même auteur, d'un point de vue agronomique, l'adaptabilité se réfère au rendement proprement dit alors que la stabilité se réfère à la variabilité du rendement. Et un des premiers critères d'adaptation d'un génotype à un environnement donné est la moyenne du caractère considéré (rendement en général) pour ce génotype.

#### **4.6 L'amélioration de la production sous conditions climatiques variables**

La culture des céréales, et en particulier celle des blés, est soumise à différentes contraintes tant climatiques, techniques qu'économiques et sociales. De ce fait, leur production ne satisfait guère les besoins de consommation de la population, imposant le recours aux marchés extérieurs pour de massives importations qui représentent pas moins de 70% de la demande domestique en produits céréaliers (Djekoun *et al.*, 2002). Étant l'une des principales céréales cultivées et consommées en Algérie, le blé dur constitue 45% de la production nationale.

---

### **Chapitre 04. L'amélioration génétique du blé**

---

Aussi, l'amélioration de cette spéculation en quantité et en qualité par l'augmentation des rendements à travers l'exploitation efficiente des ressources naturelles, l'utilisation de matériel végétal performant et la maîtrise des techniques de production devient impérative, voire stratégique, dans l'optique de réduction des importations, corollaire incontournable de l'amélioration du niveau de sécurité alimentaire dans le pays (Bouzerzour, 1990 ; Benmahammed *et al.*, 1998 ; Royo *et al.*, 2004).

Les principales contraintes climatiques qui sont souvent avancées comme causes de la faiblesse de la production au niveau des zones semi-arides sont les basses températures printanières qui coïncident avec l'épiaison et la sécheresse en interaction avec les hautes températures de fin de cycle, qui touchent plus la formation du nombre de grain/m<sup>2</sup> et le remplissage du grain et la nature des sols qui, dès le départ, limite le potentiel de production du végétal (Desclaux et Poirier, 2004 ; Annicchiarico *et al.*, 2005).

En effet le sol intervient surtout par sa composition en éléments minéraux, en matière organique et par sa structure qui joue un rôle important dans la nutrition du végétal et déterminent son espérance de rendement en grain (Fischer, 1985). Il intervient aussi par la profondeur de son profil qui joue le rôle de réservoir d'eau. Avec une faible couche travaillée ce réservoir est très limité ce qui accentue les effets de la sécheresse au niveau des zones semi arides (Gallagher *et al.*, 1976).

#### **4.6.1 La sélection directe**

L'objectif de tout programme de sélection est l'amélioration de la production. De ce fait le rendement en grain est le caractère le plus utilisé comme critère de sélection. Cette sélection est pratiquée au niveau des générations précoces par le choix des plantes ségrégant, en semis espacé, aussi bien qu'au niveau des essais comparatifs de rendement en grain d'un matériel végétal beaucoup plus homogène et homozygote (Dann *et al.*, 1977 ; Mc Intoch, 1983 ; Djekoun *et al.*, 2002).

Dans les milieux erratiques, les variétés sélectionnées sur la base du rendement en grain se montrent très performantes en bonnes années mais réagissent défavorablement en années difficiles.

#### **4.6.2 La sélection indirecte**

Le rendement en grain est un caractère fortement influencé par le milieu et par conséquent se caractérise par un faible coefficient d'héritabilité ce qui explique son inefficacité à identifier des variétés stables lorsqu'il est utilisé comme critère de sélection. Ceci est d'autant plus vrai que la sélection est pratiquée au niveau de milieux caractérisés par l'irrégularité du climat (Rharrabti *et al.*, 2001, Rharrabti *et al.*, 2003).

## Introduction

La production céréalière se caractérise, en Algérie par des fluctuations qui varient en dents de scie d'une année à l'autre. En plus des techniques culturales non encore entièrement suivies, les principales causes de cette situation restent les fluctuations climatiques (sécheresse, haute température, maladies cryptogamiques liées à une forte hygrométrie) (Ait Kaki, 1993). Et malgré l'introduction de nouvelles variétés de blé, à « haut rendement », les géotypes locaux (peu productifs) restent les mieux adaptés aux conditions climatiques de nos terres.

L'objectif donc de ce travail, a été la définition d'une méthodologie d'extrapolation géographique des résultats d'un réseau d'essais variétaux conduits sur plusieurs années.

La zone d'étude pour la caractérisation du milieu a concerné le Nord de l'Algérie dans des régions céréalières à conditions édapho-climatiques variées à savoir : Nord Est Constantine (El khroub), le centre « Alger » (Oued Smar), et l'Ouest « Sidi Bel Abbes ». L'expérimentation variétale a été réalisée sur 21 variétés dans un réseau expérimental composé de 03 sites d'essais, qui a été conduit pendant deux années.

La méthodologie développée a permis d'identifier deux macro zones d'adaptation spécifique afin d'orienter le programme de l'amélioration génétique du blé dur, d'une part, et fournir des références géographiques pour la préconisation variétale dans le pays, d'autre part.

Nous avons donc essayé durant ces deux campagnes, de classer vingt et une (21) variétés de blé dur (*Triticum durum*) sur la base de plusieurs critères qui présentent un progrès au niveau de la valeur d'utilisation à savoir :

- La composition physique, chimique, technologique et biochimique de la matière première (grain et semoule).
- Étude de divers paramètres qualitatifs par la méthode de la spectroscopie proche infra rouge (NIRS).
- Étude des relations entre protéines de réserve et amidon.
- Étude des zones de cultures et localisation des sites favorables à la culture des céréales.
- Étude des interactions obtenues : G x E et réalisation d'un zonage variétal.
- Exploitation de l'outil statistique.

## 5.1 Protocole expérimental

Pour chacune des deux années et pour chacun des sites le dispositif expérimental adopté était le bloc aléatoire complet ou bloc de Fisher ou bloc randomisé avec quatre répétitions. Les 21 variétés de blé dur ont été réparties au hasard dans chacun des blocs.

Chacune des parcelles à 10 mètres de longueur sur 1.2 mètres de largeur avec 06 lignes de blé distantes de 0.2 m. La surface récoltée est de 09 mètres de longueur sur 0.8 m de largeur.

Ce genre d'expériences « multi locales et pluriannuelles » ont pour but de vérifier hors station la comportement des 21 variétés de blé dur sélectionnées et cela dans toute la région de diffusion potentielle de ces variétés et au cours de plusieurs années successives (Dagnelie, 2003).

## 5.2 Le matériel végétal

L'expérimentation a été réalisée sur un germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Ce sont des variétés sélectionnées et produites dans les zones de production céréalière.

Parmi ces 21 variétés figurent :

- Des populations locale : Bidi 17, M.B.B. Hedba, O.Z.
- Un Back Cross: Bidi 17/Waha/Bidi 17
- Des variétés introduites : Vitron, (Cimmyt – Espagne), Inrat 69 (Tunisie), Polonicum (INRA – France), Siméto, Ofanto (Italie), Waha (Icarda – Syrie).

Les variétés retenues ont été choisies car elles présentent différentes combinaisons de teneurs en protéines et mitadinage, tout en ayant des potentiels de rendement et des rythmes de développement comparables.

La liste des variétés ainsi que leurs origines et leurs lieux de sélection est donnée par les tableaux 08 et 09 suivant :

**Tableau n°08 : Liste des variétés de blé dur expérimentées  
(Abdelguerfi et Laouar, 2000 ; Ykhlef et Djekoun, 2000)**

Variétés	Symboles	Origine	Lieu de sélection
<b>Bidi 17</b>	V1	Population locale	ITGC/ Guelma 1936
<b>Bidi17/Waha/Bidi 17</b>	V2	Sélection locale	ITGC
<b>Cirta (Hedba/Gd ovz 619)</b>	V3	Sélection locale	ITGC - Khroub
<b>Gloire de Montgolfier (RAHOUIA 80)</b>	V4	Sélection locale (Tiaret 1980)	ITGC
<b>Guemgoum R'Khrem</b>	V5	Sélection locale	ITGC
<b>Hedba 03</b>	V6	Sélection locale	1921
<b>Inrat 69 (SABAOU)</b>	V7	INRA/ Tunisie	Sélection ITGC
<b>Kebir</b>	V8	CIMMYTE/ICARDA	ITGC / Sidi Bel Abbas
<b>Mohamed Ben Bachir</b>	V9	Sélection locale (1931)	Population Ben Bachir
<b>Mexicali (TASSILI)</b>	V10	CIMMYTE	Sélection ITGC
<b>Montpellier (BIBANS)</b>	V11	France (Montpellier, 1965)	ITGC
<b>Oued Zenati</b>	V12	Population locale (Guelma 1936)	ITGC / Guelma
<b>Ofonto (OUARSENIS)</b>	V13	Italie	ITGC / Tiaret
<b>Polonicum (CHOUGRANE)</b>	V14	INRA/France	ITGC/ 1973
<b>Sahel</b>	V15	CIMMYTE	ITGC/ 1977
<b>Simeto (SERSOU)</b>	V16	Italie	ITGC – Tiaret
<b>Tell 76</b>	V17	Sélection locale	ITGC
<b>Vitron (HOGGAR)</b>	V18	Introduite d'Espagne	ITGC/Tiaret
<b>Waha</b>	V19	ICARDA	ITGC/ El Khroub 1976
<b>Ardente</b>	V20	France	ITGC / Sidi Bel Abbas
<b>Duillio</b>	V21	Italie	ITGC

**Tableau n°09 : Principaux caractères des variétés étudiées  
(Ben Belkacem et Kellou, 2000 ; Ykhlef et Djekoun, 2000, Ait Kaki, 2002)**

Variétés	Caractéristiques	Caractéristiques	Productivité	Zone	Conseil
----------	------------------	------------------	--------------	------	---------

	<b>morphologiques</b>	<b>technologiques</b>		<b>d'adaptation</b>	<b>de culture</b>
<b>Bidi 17</b>	Grain jaune terne, assez gros et peu allongé	Assez résistante à la moucheture et au mitadinage. Qualité semoulière bonne	Moyenne	Littoral et plaines intérieures	Variété Semi-précoce. Semis : mi-nov.
<b>Bidi 17/Waha/Bidi17</b>	Grain clair ambré	Bonne résistante à la moucheture et au mitadinage. PMG moyen	Très productive	Littoral et plaines intérieures	Semis : nov.
<b>Cirta (Hedba/Gd ovz 619)</b>	Grain jaune terne, petit et allongé.	Assez résistante à la moucheture et au mitadin. PMG moyen	Moyenne	Plaines intérieures et Hauts plateaux	Variété semi-précoce
<b>Gloire de Montgolfier (Rahouia)</b>	Grain ambré et vitreux	Bonne résistance à la moucheture et au mitadinage. PMG moyen	Moyenne	Hauts plateaux	Variété tardive. Semis : octobre
<b>Guemgoum R'Khrem</b>	Grain blanc ambré, de forme allongé.	Résistante à la moucheture et au mitadinage. PMG élevé.	Faible	Hauts plateaux	Variété tardive. Semis : octobre
<b>Hedba 03</b>	Grain jaune clair ambré, allongé	Résistante au mitadinage. Et assez résistante à la moucheture. PMG moyen.	Moyenne	Hauts plateaux, plaines intérieures	Variété tardive. Semis : mi-octobre mi nov.
<b>Inrat 69 (Sabaou) (Mahmoudi 8041 x Kyperounda)</b>	Grain allongé, gros, jaune terne	Résistante à la moucheture et au mitadinage. PMG : moyen. Qualité semoulière assez bonne.	bonne	Littoral et plaines intérieures	Variété Semi-précoce. Semis : début nov. mi-déc.
<b>Mohamed Ben Bachir</b>	Grain clair ambré et de calibre moyen	Assez résistante à la moucheture et résistante au mitadin. PMG élevé	Bonne productivité	Hauts plateaux	Précoce de type hiver. Semis : mi-octobre mi-nov.
<b>Mexicali (Tassili)</b>	Grain allongé	Légèrement sensible à la moucheture et au mitadinage. PMG : élevé.	Assez Bonne	Hauts plateaux et zones sahariennes	Variété précoce. Semis : mi-nov. à la mi-déc. (hauts plateaux) et en nov. (sahara)
<b>Montpellier</b>	Grain ambré à roux	Bonne résistance à	Moyenne	Littoral, plaines	Variété

<b>(Bibans)</b>		la moucheture et au mitadinage PMG moyen		intérieures	semi-tardive Semis : nov.
<b>Oued Zenati</b> (Sélection dans la population locale Bidi 17 T durum leucomelan)	Grain ambré, gros et peu allongé	Assez résistant à la moucheture et au mitadinage. PMG élevé.	Moyenne	Plaines intérieures	Variété tardive.  Semis : nov.
<b>Polonicum (Chougrane)</b>	Grain est jaune terne, gros et allongé.	Bonne résistance à la moucheture et au mitadinage. PMG moyen	Productivité moyenne	Plaines intérieures et hauts plateaux	Semi-tardive de type hiver
<b>Sahel 77</b> (Cit « S »xPg « S » AA 'S' Ruffx)	Grain blanc, moyen	Assez résistante à la moucheture et au mitadinage. PMG élevé	Bonne	Littoral, plaines intérieures	Variété précoce. Semis : mi-nov. à la mi-déc.
<b>Simeto (Ouarsenis)</b>	Grain blanc ambré.	Assez sensible à la moucheture et au mitadinage. PMG élevé	Bonne	Hauts plateaux et plaines intérieures	Semis : nov.
<b>Vitron (Hoggar)</b>	Grain roux, moyen	Légèrement sensible au mitadin et à la moucheture. PMG élevé	Bonne	Hauts plateaux et zones sahariennes	Précoce de type hiver. Semis : nov.
<b>Waha</b> (PLC/Ruff/Gta « S »/3/Rolette Cm. 17904)	Grain clair ambré à roux, moyen	Bonne résistance à la moucheture et au mitadin. PMG moyen	Bonne productivité	Hauts plateaux et plaines intérieures.	Précoce de type printemps. Semis : de la mi-nov. à la mi-déc.

## Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

### 5.3 Présentation des régions d'étude

Le choix de la zone agricole est une étape importante dans la culture du blé. Elle conditionne en effet le niveau de rendement espéré, la qualité de la récolte et finalement le produit brut attendu par la culture.

Le tableau n°10 représente l'évolution des rendements du blé dur en Algérie en fonction des superficies.

**Tableau n° 10 : Evolution des rendements du blé dur (2000 /2005) en fonction des superficies (F.A.O, 2006)**

<b>Année</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
<b>Superficie (H)</b>	827.000	1.836.410	1.398.460	2.047.470	1.800.000	1.800.00
<b>Rendement (Qx/ha)</b>	9.194	11.104	11.104	14.480	14.456	14.444
<b>Production</b>	760.361	760.361	1.507.803	2.264.852	2.602.000	2.600.000

La notion de station doit être bien distincte de la notion de parcelle agricole. Selon Lonchamp et Barralis (1988) « une station est un emplacement homogène dans des conditions physiologiques et biologiques sur lequel sont effectuées des observations ».

L'aire de culture du blé dur devra être comprise entre 400 et 500 mm de pluie par an. Et elle sera possible en dessous de 400 mm de pluie/an lorsqu'on aura amélioré les techniques culturales et le bilan hydrique des sols dans les zones semi-arides.

La caractérisation des milieux a concerné le Nord de l'Algérie. L'expérimentation variétale a été réalisée sur Vingt et une (21) variétés dans un réseau composé de 03 sites d'essais, qui a été conduit pendant deux années (2003 -2004 / 2004 – 2005).

Les trois sites choisis sont :

- **Site 1** : Constantine (ITGC El Khroub).
- **Site 2** : Oued Smar (ITGC Alger).
- **Site 3**: Sidi Bel Abbes (ITGC).

#### Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

Les essais ont été installés chez quelques agriculteurs, comme nous pouvons le constater sur le tableau 11, les essais ont été installés sur une précédente jachère travaillée, ont reçu une fertilisation de fond de 46 unités de phosphore et 46 unités d'azote en couverture. Et ils ont

été semés au cours de la période allant de fin novembre à la mi-décembre à une dose de 100 Kg/ha.

**Tableau n°11. Principales caractéristiques des essais durant les deux campagnes**

Caractéristiques des essais	Campagne	
	2003/2004	2004/2005
Précédent cultural	Jachère travaillée	
Date d'installation	Fin novembre – Mi décembre	
Fertilisation de fond	46 Kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / ha	
Dose de semis	100 Kg/ha	
Fertilisation azotée	46 Kg/ha d'azote au tallage	
Date de récolte	Mi juin – Début juillet	

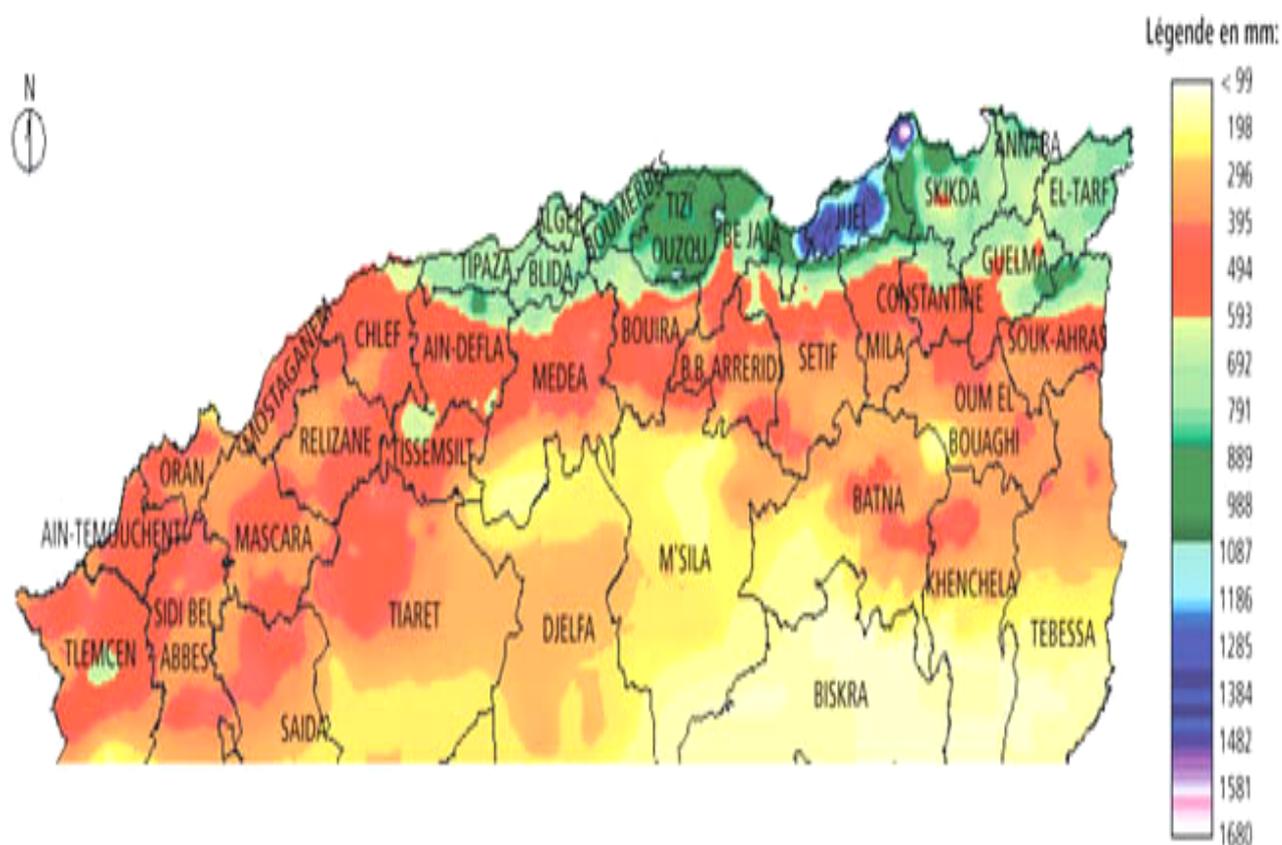
L'étude des milieux d'expérimentation permet :

D'une part, une caractérisation des milieux par le diagnostic agronomique des facteurs limitants. D'autre part, les milieux seront définis uniquement à partir des données de rendement des 21 variétés cultivées, comme il est couramment fait lorsque aucune information supplémentaire (les composantes du rendement) n'est disponible.

### **Caractéristiques générales de la zone**

- Les précipitations diminuent du nord au sud et d'Est en Ouest.
- Les moyennes pluviométriques annuelles varient de moins de 25 mm dans les régions sahariennes à plus de 1 500 mm dans certaines localités du nord. Cette variation dans l'espace dépend de l'altitude, de la continentalité et du relief.
- Les grandes régions écologiques se distinguent relativement bien. Au nord, se trouve la zone de culture (littoral, les plaines sublittorales, les plaines intérieures, les hautes plaines, etc.), au centre la zone steppique, au sud le Sahara avec ses Oasis.

La figure n°07 qui suit représente la répartition des précipitations dans les différentes zones du Nord d'Algérie à caractère agro écologique.



**Figure n° 07 : Distribution de la pluviométrie dans les différentes zones agro écologiques d'Algérie (I.T.G.C. El Harrach)**

Le tableau 12 qui suit, représente la diversité des sols Algérien. Les wilayat sont classées par région géographique (Est, Centre, Ouest et Sud) pour chaque zone écologique (A, B, C1, C2, M et S), avec :

Zone	Type de sols dominants	Classe de pluie/an (mm)
A	Argileux profonds	+ de 600
B	Argileux à argilo limoneux	450 à 600
C1	Limono calcaires	350 à 450
C2	Limoneux à limono sableux	200 à 350
M	Variables	200 à 600
S	Sableux à sablo limoneux	0 à 100

**Tableau n°12 : Caractéristiques agro-pédo-climatiques de certaines wilayas d'Algérie  
par classe potentielle (Chaumont, 1979, ONM, 1997)**

	Zone écologique	% dans les classes du potentiel sol						Cumul pluie (mm)
		A	B	C1	C2	M	S	
<b>Plaines littorales</b>	<b>El Tarf</b>	<b>82</b>	-	-	<b>18</b>	-	-	<b>624</b>
	<b>Annaba</b>	<b>100</b>	-	-	-	-	-	<b>485</b>
	<b>Skikda</b>	<b>32</b>	-	-	<b>68</b>	-	-	<b>606</b>
	<b>Jijel</b>	<b>50</b>	-	-	<b>50</b>	-	-	<b>874</b>
	<b>Bejaia</b>	<b>50</b>	-	-	<b>50</b>	-	-	<b>667</b>
	<b>Boumerdès</b>	<b>100</b>	-	-	-	-	-	<b>534</b>
	<b>Tipaza</b>	<b>100</b>	-	-	-	-	-	<b>639</b>
	<b>Mostaganem</b>	-	-	<b>84</b>	<b>16</b>	-	-	<b>290</b>
	<b>Oran</b>	-	<b>12</b>	<b>88</b>	-	-	-	<b>293</b>
<b>Plaines intérieures</b>	<b>Ain</b>	<b>12</b>	<b>35</b>	<b>53</b>	-	-	-	<b>302</b>
	<b>Témouchent</b>							
	<b>Souk-Ahras</b>	-	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	-	-	<b>506</b>
	<b>Guelma</b>	-	<b>53</b>	<b>36</b>	<b>11</b>	-	-	<b>517</b>
	<b>Constantine</b>	-	<b>90</b>	-	<b>10</b>	-	-	<b>437</b>
	<b>Mila</b>	-	<b>50</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	-	-	<b>568</b>
	<b>Bouira</b>	-	<b>46</b>	<b>21</b>	<b>08</b>	-	-	<b>445</b>
	<b>Tizi-Ouzou</b>	-	<b>67</b>	-	<b>33</b>	-	-	<b>696</b>
	<b>Blida</b>	-	<b>80</b>	-	<b>20</b>	-	-	<b>733</b>
	<b>Ain-Defla</b>	-	<b>30</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	-	-	<b>522</b>
	<b>Chlef</b>	-	<b>30</b>	<b>62</b>	<b>03</b>	-	-	<b>318</b>
	<b>Relizane</b>	-	<b>18</b>	<b>70</b>	<b>12</b>	-	-	<b>279</b>
	<b>Mascara</b>	-	<b>41</b>	<b>12</b>	<b>47</b>	<b>9</b>	-	<b>276</b>
	<b>Sidi Bel Abbes</b>	-	<b>34</b>	<b>57</b>	-	<b>9</b>	-	<b>297</b>
<b>Tlemcen</b>	-	<b>32</b>	<b>27</b>	<b>35</b>	<b>6</b>	-	<b>334</b>	
<b>Hauts plateaux</b>	<b>Oum El Bouaghi</b>	-	<b>14</b>	<b>50</b>	-	<b>36</b>	-	<b>296</b>
	<b>Tébessa</b>	-	<b>31</b>	<b>56</b>	<b>13</b>	-	-	<b>326</b>
	<b>B.B.Arréridj</b>	-	<b>13</b>	<b>56</b>	<b>31</b>	-	-	<b>327</b>
	<b>Médéa</b>	-	<b>43</b>	<b>50</b>	<b>05</b>	<b>02</b>	-	<b>335</b>

	Tiaret	-	37	44	-	08	-	329
Sud	Biskra	-	-	-	-	-	100	106

**Chapitre 05. Matériel et méthodes**

---

### 5.3.1 La régions de Constantine

#### a. Situation géographique

La région de Constantine est limitée géographiquement au Nord par la région de Skikda, à l'Est par Guelma, à l'Ouest par Mila et au sud par celle d'Oum El Bouaghi. Elle se situe à une altitude de 590 dans l'Atlas telléen.

#### b. Localisation de la Station expérimentale d'El Khroub

Se localise dans la zone des collines et basses montagnes du sud de Constantine, dont l'altitude moyenne est de 600 m. Elle se trouve dans la zone sub littorale sud.

#### c. Climatologie

Pour avoir une idée sur les conditions de cette région d'étude, nous nous sommes référés à une moyenne de 25 ans, celle de Seltzer (1946) pour les données thermiques et pluviométriques, et résumé dans les tableaux n° 13 et 14.

**Tableau n°13: Distribution de la pluviométrie pour le site d'El Khroub sur une moyenne de 25ans (1913 – 1938) (Seltzer, 1946).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Site	El Khroub											
A	27	41	47	69	89	64	50	49	52	26	06	12
B	06	08	09	10	12	10	09	07	06	05	02	03
Cycle végétatif			Semis		Départ en végétation	Tallage et montaison		Epiaison		Maturation		

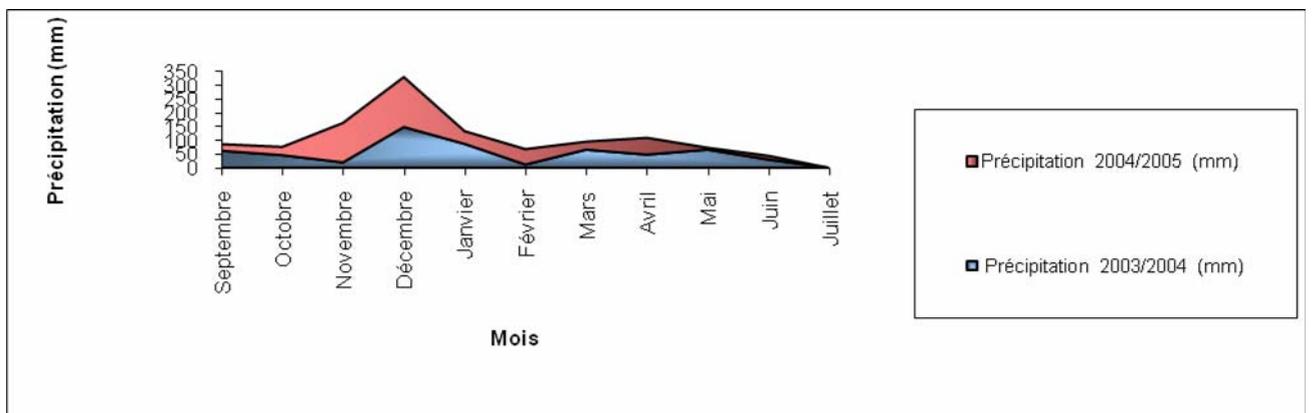
- La ligne A ; représente la hauteur en pluie en mm.
- La ligne B ; représente le nombre de jours de pluie.

Les données pluviométriques de la région de Constantine montrent que le total pluviométrique s'avère optimal pour le développement du blé dont les besoin en eau sont de 350 – 600 mm.

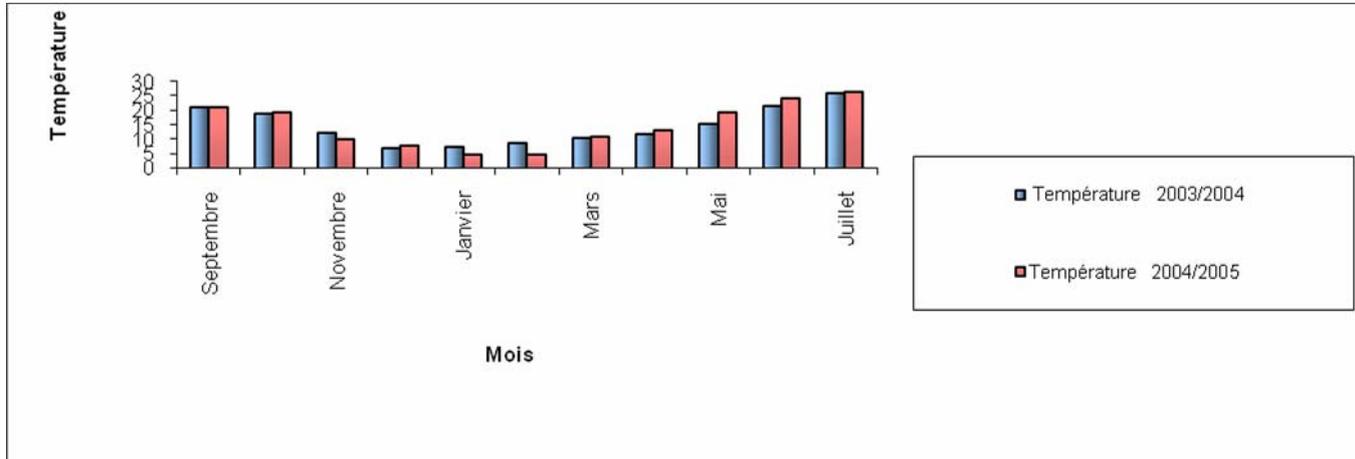
**Tableau n°14 : Températures moyennes sur 25 ans (1913 à 1938) de la région de Constantine (Seltzer, 1946).**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Moyennes des températures minimales (m°c)</b>	2,9	3,8	5,4	7,3	10,5	15,1	17,9	18,1	16,4	11,3	6,9	3,4
<b>Moyennes des températures maximales (M°c)</b>	14,3	13,3	15,8	18,9	29,1	28,0	32,8	32,8	29,2	22,7	17,0	12,11
<b>Température moyenne mensuelle (m + M)/2</b>	7,1	8,55	10,6	13,1	16,8	21,55	25,35	25,45	22,8	17,0	11,55	7,75

Les données climatiques récentes entre 2003 -2005, et qui intéresse notre étude sont regroupées dans les figures suivantes :



**Figure n°08 : Précipitations dans la région d’El Khroub (2003/2005)  
(I.T.G.C. El Khroub)**



**Figure 09 : Températures moyenne dans la région d’El Khroub (2003/2005)  
(I.T.G.C. El Khroub)**

### 5.3.2 La station expérimentale de Oued Smar

Les essais ont eu lieu à la station expérimentale ITGC d’Oued-smar. Le site appartient, selon la classification d’Emberger, à l’étage bioclimatique sub-humide à hivers chaud avec un  $Q_2 = 93$ . La pluviométrie annuelle moyenne y est de 672 mm et la moyenne des températures minima est supérieure à 10°C. Le mois le plus froid est janvier et le mois le plus chaud est août. La saison se divise en deux périodes : une période humide et froide qui va d’octobre à avril et une période sèche et chaud de mai à septembre.

La zone connaît peu d’accidents climatiques. Elle est directement exposée à l’influence maritime et protégée des vents chauds, venant du sud, par l’Atlas blidéen.

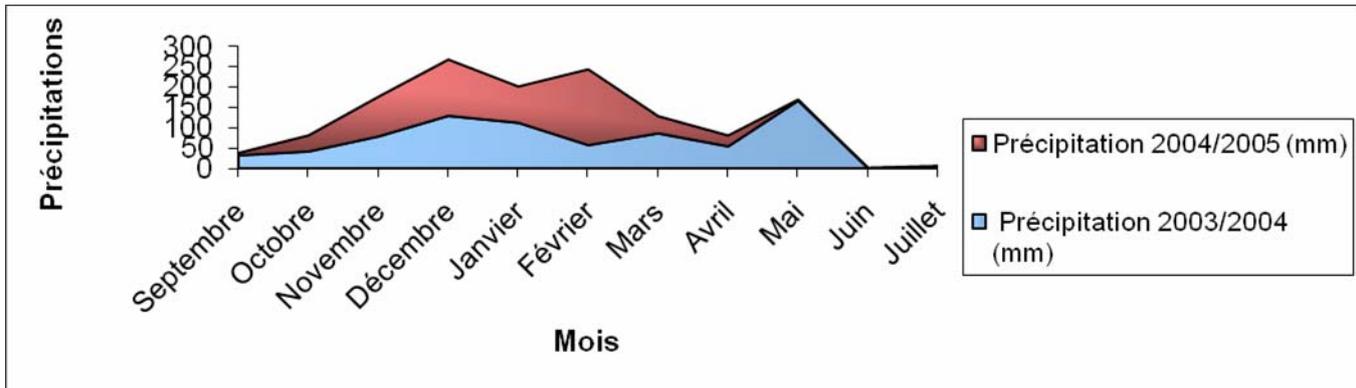
#### Localisation géographique :

36,7 Nord, 3,2 Est.

24 Altitude :

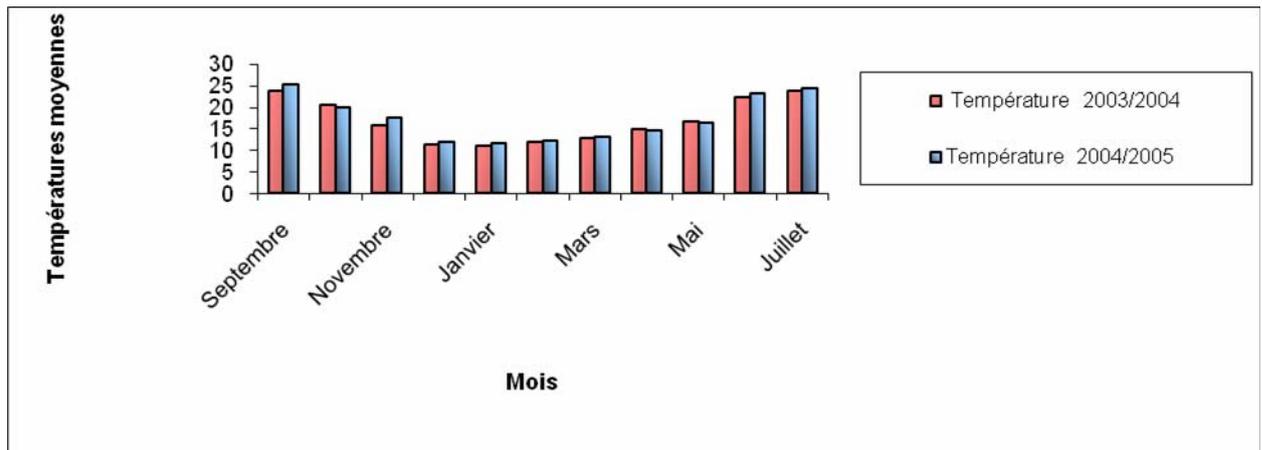
#### Données climatiques :

Les pluviométries des deux années sont portées dans la figure suivante :



**Figure 10 : Précipitations dans la région de Oued Smar (2003/2005)  
(I.T.G.C. El Harrach)**

La pluviométrie mensuelle pour les deux années, est en grande variation. Les mois d'Octobre 2004/2005 est particulièrement sec. Par contre les mois de février et mars (des deux campagnes) sont assez satisfaisant surtout qu'ils correspondent aux stades critiques du blé vis-à-vis de l'eau : montaison-gonflement-épiaison.



**Figure 11 : Températures dans la région de Oued Smar (2003/2005)  
(I.T.G.C. El Harrach)**

### 5.3.3 La régions de Sidi Bel Abbas

Localisation géographique :

35.2 Nord, 0.3 West.

483 Altitude

Données climatiques :

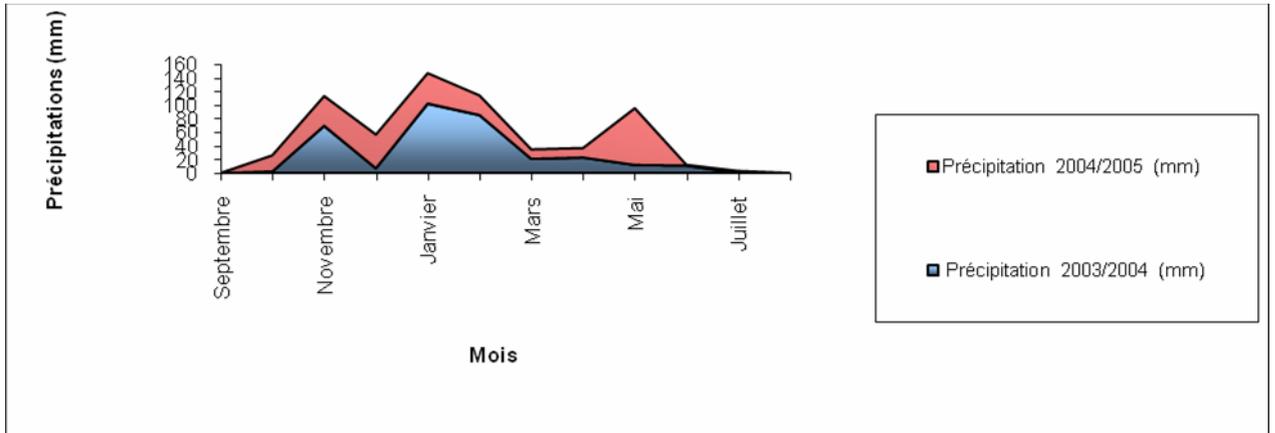
**Tableau n°15 : Températures moyennes sur 25 ans (1980 à 2005) de la région de Sidi Bel Abbas (Source : I.T.G.C de Sidi Bel Abbas)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Moyennes des températures minimales (m°c)</b>	3.14	3.49	4.94	6.10	9.50	13.84	15.85	17.38	13.71	10.56	06.60	04.25
<b>Moyennes des températures maximales (M°c)</b>	15.65	16.25	18.86	20.84	24.74	30.41	34.45	34.71	30.51	25.27	19.28	16.03
<b>Température moyenne mensuelle (m + M)/2</b>	09.12	09.86	11.84	13.85	17.07	21.98	24.61	26.02	22.24	17.78	12.86	09.65

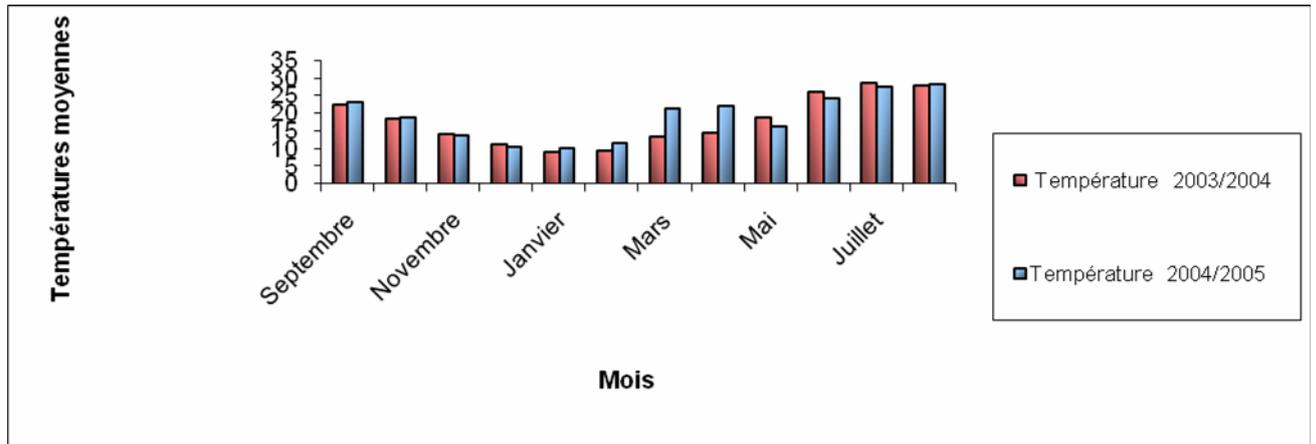
**Tableau n°16: Distribution de la pluviométrie pour le site de Sidi Bel Abbas sur une moyenne de 25ans (1980 – 2005) (Source : I.T.G.C de Sidi Bel Abbas)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Site</b>	<b>Sidi Bel Abbas</b>											
<b>Moyennes des</b>	16.68	22.00	43.94	33.63	39.98	44.06	38.07	28.56	26.32	07.26	01.64	2.82

Chapitre 05. Matériel et méthodes



**Figure 12 : Précipitations dans la région de Sidi Bel Abbès (2003/2005)**  
(I.T.G.C. Sidi Bel Abbès)



**Figure 13 : Température dans la région de Sidi Bel Abbès (2003/2005)**  
(I.T.G.C. Sidi Bel Abbès)

## 5.4 Critères de qualités et méthodes d'appréciation

L'objectif de cette partie est d'exposer le principe des méthodes d'analyse utilisées au sein de la filière blé.

Les analyses sont classées sous les quatre rubriques suivantes :

- Analyses physico-chimiques.
- Analyses technologiques.
- Analyses biochimiques.

**Présentation du laboratoire d'analyses :** Les analyses ont été réalisées dans des laboratoires différents :

- **Laboratoire « Qualité blé dur ».** Institut Techniques des Grandes Culture. El Harrach. Alger. L'ITGC dispose de laboratoire d'analyse de qualité et particulièrement d'analyses technologiques des céréales qui est situé au sein de son siège , le laboratoire assure des analyses fiables pour la détermination de la qualité des céréales (blé dur, blé tendre , orge , triticale ) ainsi que des produits qui en découlent (farine,semoule) tout en essayant de relier le rendement à la qualité .le laboratoire possède une expertise particulière dans le domaine de qualité notamment des blés , il est subdivisé en 03 grandes unité équipées chacune selon la spécialité d'analyse : unité blé dur , unité blé tendre et une boulangerie .
- **Laboratoire de biochimie.** INA El Harrach. Alger.
- **Laboratoire « blé dur »** de l'Unité Mixte de Recherche. Diversité et Génome des Plantes Cultivées INRA. Montpellier. France.
- **Laboratoire de contrôle de la qualité.** JET-LAB. Entreprise LA BELLE. Alger

### 5.4.1 La classification des blés durs

Jusqu'en 2004, les variétés de blés durs étaient classées en A, B, C, D. Ces classes étaient peu utilisées tant par les industriels que les organismes stockeurs ou les prescripteurs... La grille de cotation a donc été reconstruite pour arriver à un classement plus en phase avec les besoins du marché.

Plusieurs types de qualité ont été définis :

Blé durs de haute qualité : Variétés à très haute valeur, sans défaut.

Blés durs couleur : Variétés avec un indice de jaune élevé, clairs (pas brun) avec (ou peu) de moucheture.

Blés durs protéines : Il est apparu important de distinguer les variétés de blé dur à bonne teneur en protéines. En effet, la teneur en protéines est un critère très important de la qualité des blés durs ; elle explique la tenue à la cuisson ; elle est fortement liée au taux de mitadinage et donc au rendement semoulier. Pour entrer dans cette catégorie, une variété doit être bonne pour les critères protéines et mitadinage, et ne pas avoir de gros défauts sur les autres critères.

Blés durs moyens : Blés durs de qualité courante et ne présentant pas de gros défauts.

Blés durs passables : Variété avec un (des) défaut(s).

#### 5.4.2 Les analyses physiques

Ces mesures, communes à de nombreuses espèces, permettent d'apprécier si le lot de blé dur est sain, loyal et marchand : condition à sa mise en marché. Réalisées au cours de l'agrégage, principalement lors de la réception du blé en silo, elles interviennent, pour la plupart d'entre elles, dans le contrat de commercialisation.

Et, l'influence des caractéristiques physiques sur la qualité technologique du blé dur sont très significative, au cours de la mouture, ces caractéristiques se font sentir directement sur les produits transformés en semoule ou en farine et sur les valeurs boulangères, pastières et nutritionnelles.

##### a) Le rendement en grains :

Le rendement en grains est défini comme la résultante du produit de la biomasse aérienne et l'indice de récolte (Bouzerzour, 1998). La biomasse aérienne est la résultante de plusieurs caractéristiques de la plante tel que le nombre d'épis produit par unité de surface et la hauteur de la plante. Le rendement en grains peut être vu comme le contenu d'un parallélépipède dont les trois cotés sont le nombre d'épis, le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains.

Bouzerzour (1998), rapportent une forte corrélation entre le rendement en grain et la durée de la phase végétative, plus cette dernière est longue, plus le niveau de rendement en grain escompté est élevé.

Le rendement potentiel est estimé à partir de la formule suivante :

$$\text{Nombre d'épis/m}^2 \times \text{le nombre de grains/m}^2 \times \text{PMG} \times 10^{-3}.$$

Et l'indice de récolte est déterminé à partir du rapport suivant :

$$\text{Indice de récolte} = \frac{\text{Poids de la matière sèche des grains}}{\text{Poids de la matière sèche à la récolte}}$$

---

## Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

### b) Détermination du poids de mille (1000) graines

C'est une des composantes du rendement agronomique et rendement semoulier. Cette mesure est surtout effectuée lors de la sélection du blé dur, c'est un critère essentiellement variétal qui dépend beaucoup des conditions de cultures qui l'influencent, de façon très significative.

#### Intérêt agronomique

C'est un bon indicateur du mode d'élaboration du rendement et des problèmes rencontrés par la plante lors de son développement : échaudage, attaques par les insectes ou certaines maladies cryptogamiques (Anonyme 2001).

#### Intérêt technologique

Il est un des indicateurs du rendement technologique dans les industries de première transformation (rendements semoulier, meuniers ou brassicoles).

#### Principe

Le P.M.G est la détermination en grammes de la masse de 1000 grains entiers.

#### Mode opératoire

Prélever au hasard une quantité de grains de l'espèce considérée. Sélectionner des grains entiers, compter ces derniers à l'aide du compteur automatique Numigral, puis peser la masse de 1000 grains, selon la norme : NF V03-702.

Les résultats sont déterminés d'après la formule :

$$\text{PMG (g/ms)} = P \times [(100 - H)] / 100.$$

Avec,

- P. Masse en grammes de 1000 grains entiers.
- H. Teneur en eau des grains.

## Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

### c) Poids à l'hectolitre

Ce critère commercial rapide à mettre en œuvre est considéré comme un indicateur de la valeur semoulière en relation avec le rapport enveloppe sur amande. Plus le poids à l'hectolitre est élevé, plus le rapport enveloppes sur amande est faible et le rendement semoulier important. La valeur minimale pour la mise à l'intervention est de 78 kg/hl.

### d) Rendement brut en semoule

Cette méthode basée sur la spectrométrie proche infrarouge permet de prédire le rendement brut en semoule d'un lot de blé destiné à la semoulerie. A partir d'un broyât de grains entiers, une fraction de la mouture est introduite dans un spectrophotomètre infrarouge. La calibration mise en œuvre restitue le rendement brut en semoule, c'est-à-dire le potentiel de production de semoule (Desclaux, 2005).

### e) Détermination de la teneur en eau

Elle est intéressante pour la détermination et la conduite des opérations de récolte, de séchage, de stockage ou de transformation industrielle. Dans le cas du blé dur, la teneur en eau maximale tolérée est de 14.5%.

**Intérêt analytique :** Pour rapporter les résultats des analyses de toute nature à une base fixée (matière sèche).

**Intérêt technologique :** Pour les déterminations et la conduite rationnelle des opérations de récolte et de stockage.

**Intérêt commercial et réglementaire :** Les contrats commerciaux et les normes réglementaires fixent des seuils de teneur en eau.

**Principe :** On entend conventionnellement par la Teneur en eau , la perte de masse exprimée en pourcentage subie par le produit, elle est déterminée après séchage de 5g de grain broyés , dans une étuve Chopin réglée à 130°pendant deux (02) heures (Lempereur *et al.*, 1995).

### Mode opératoire :

- Préparation de l'échantillon : L'échantillon utilisé doit être représentatif de la population dont il est issu.
- Le broyage : Les dimensions des particules obtenus après broyage doivent être les mêmes que celle imposés par ma méthodes de dosage de l'eau.
- Les prises d'essai avant séchage sont disposées dans des capsules tarées et pesées avec une balance analytiques.
- Les capsules contenant les échantillons sont séchés à une température de 130 °c pendant deux heures.

### Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

- La duré de l'étuvage est se deux heures pour la mouture entière et de 1h 30mn pour les farines et les semoules.
- Les capsules de la prise d'essai sont laissées à refroidir durant 30 mn.

**Précaution :** On place un couvercle sur les capsules au moment de les sortir de l'étuve ; puis on laisse refroidir les capsules avant la pesée, dans un dessiccateur garni d'un déshydratant efficace et actifs (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou tamis moléculaire).

**Expression des résultats :** Selon la formule

$$H (\%) = [(M_1 - M_2) / (M_1 - M_0)] \times 100.$$

Avec,

**H.** Teneur en eau.

**M<sub>1</sub>.** La masse de la prise d'essais + la vase métallique (avant séchage).

**M<sub>0</sub>.** La masse de la vase métallique (capsule).

**M<sub>2</sub>.** La masse de la prise d'essai + la vase métallique (après séchage).

#### f) Recherche des impuretés

Cette analyse revêt un caractère particulier dans le cas du blé dur. Le produit transformé étant relativement peu élaboré, la présence de certaines impuretés a une incidence sur la qualité de la semoule ou des pâtes.

Les impuretés sont classées en 05 catégories : les grains cassés, les impuretés constituées par les grains, les grains mouchetés et/ou fusariés, les grains germés et les impuretés diverses.

La recherche des grains mouchetés est spécifique au blé dur. La moucheture, en entraînant la présence de piqûres brunes dans les produits finis (semoule et pâtes), crée un préjudice

commercial. Cette caractéristique, essentiellement variétale, peut être favorisée par des conditions climatiques particulières au moment de la floraison.

Pour les industriels, seules les taches colorées localisées dans le sillon et couvrant plus du quart du sillon (réglementation CEE 1908-84) sont pénalisantes car elles peuvent se retrouver dans la semoule et dans les pâtes alimentaires.

La dépréciation de la valeur marchande des lots de blés durs peut être très importante avec des réfections de prix, voire des refus de lots présentant des taux de moucheture supérieurs à 5%. Ce pourcentage correspond au poids des grains mouchetés par rapport au poids total de l'échantillon.

---

## Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

### f) Détermination de la moucheture

**Intérêt :** Le taux de moucheture est essentiellement commercial. La présence sur les grains de tache brun ou noire plus au moins grandes causé par le développement de certains champignons, provoquent des points noirs dans la semoule et les pâtes alimentaires et affectent ainsi la valeur commerciale du produits fini dans l'état actuelle des connaissances on pense que la moucheture du blé dur traduit la réaction de défense de la plante à des stress multiples, toutes les variétés n'ont pas le même degré de sensibilité à ce dommage.

**Détermination :** La détermination se fait selon la méthode de BIPEA, norme ISO 7970. Elle s'effectue sur 20g de blé propre par appréciation visuelle , seuls sont considéré comme mouchetés les grains présentant à des endroits autre que le germe , des coloration situés entre le brun et le noire brunâtre.

Les résultats sont la moyenne de 03 trois répétitions et sont exprimés en pourcentage, selon la formule :

$$M (\%) = (M1/M2) \times 100$$

Avec,

**M<sub>1</sub>**: Masse en gramme de grain entier Mouchetés présent dans 20g de l'échantillon.

**M<sub>2</sub>**: Masse en gramme de prélèvement 20g

#### 5.4.3 Les analyses technologiques

Ces analyses donnent la meilleure information qualitative mais requièrent des équipements assez lourds. Elles sont le plus souvent mises en œuvre en laboratoire.

**Qualité culinaire :** Le critère de qualité culinaire est complexe et recouvre plusieurs facteurs dont :

- La texture des produits cuits (fermeté et élasticité).
- L'état de surface qui regroupe les notions de collant (prise en masse) et de délitescence (aspect « baveux ») des produits.

---

## Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

**Identification variétale :** Toutes les variétés de blé dur n'ont pas les mêmes caractéristiques technologiques. Certaines d'entre elles peuvent ainsi mieux répondre que d'autres à une spécificité recherchée par l'industriel. Les utilisateurs se sont donc intéressés à la notion variétale et à la connaissance de la composition d'un lot de blé dur. L'électrophorèse des gliadines permet de reconnaître les variétés présentes dans un lot et par conséquent de s'assurer du respect du contrat.

### Préparation des échantillons de blé

**1) La mouture :** C'est une opération simple de la transformation en semoule ou en farine, utilisée par le moulin NAMAD. La mouture est la phase durant laquelle sont produites la farine (qui servira plus tard à l'élaboration du pain) et la semoule qui sera principalement utilisée pour fabriquer des pâtes alimentaires ou conserver en l'état pour entrer dans la composition de plats tel que le couscous. On utilise pour arriver au produit final la partie appelée "amande" du grain en la réduisant en poudre. Le processus est représenté dans la figure 14.

**2) Conditionnement :** Il s'agit d'apporter la quantité d'eau nécessaire afin d'assouplir l'écorce du grain et de faciliter la séparation du son de l'amande, après nettoyage des grains de leurs impuretés. Les échantillons sont hydratés à une teneur en eau égale à 14% durant 24h, puis à 17% pendant 2h après la mouture. La semoule extraite des grains de blé dur est récupérée puis conservée au laboratoire, afin d'être utilisée pour les analyses. L'appareil utilisé est le mélangeur Chopin durant une demi (1/2) heure.

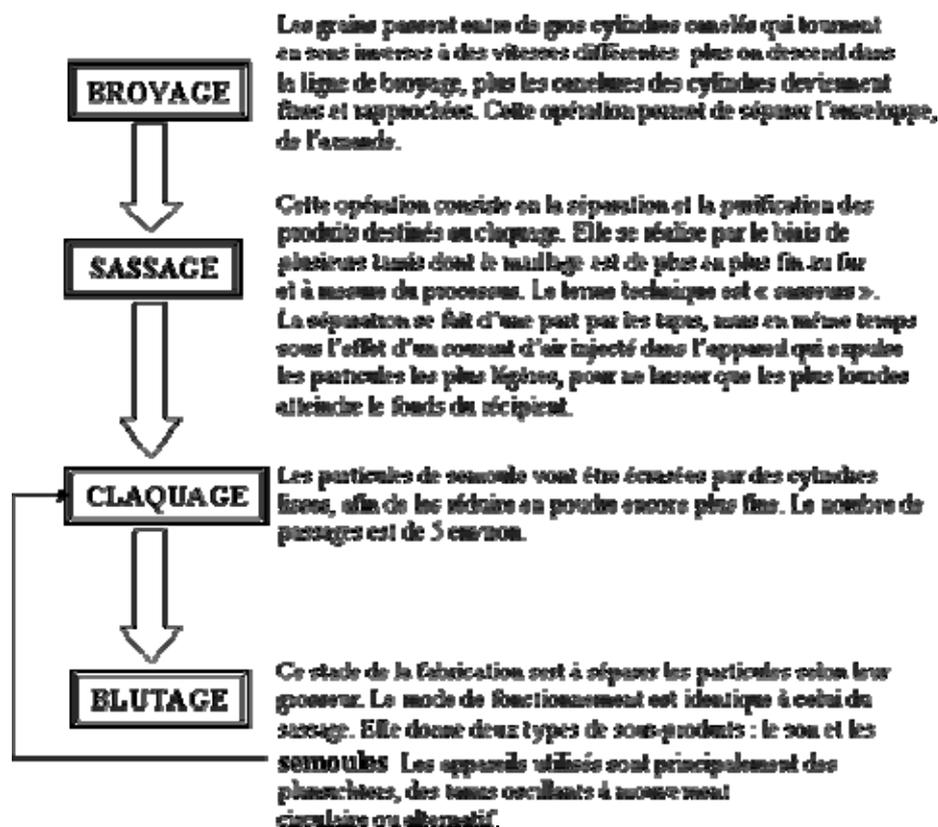


Figure n° 14 : La mouture du blé dur

Chapitre 05. Matériel et méthodes

a) Détermination du mitadinage

L'objectif du semoulier est de fabriquer de la semoule et non de la farine, le blé dur doit donc être peu mitadinés. Selon le règlement communautaire n° 824/2000 du 19 avril 2000, un grain mitadiné est un "grain dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse".

Le mitadin est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain. Les grains de blé mitadinés présentent des zones farineuses et opaques dans un ensemble vitreux alors que les grains de blé normaux apparaissent totalement vitreux et translucides. Le taux de mitadin (exprimé en %) indique le nombre de grains partiellement ou totalement farineux dans un lot de grains. S'il est trop élevé, le rendement semoulier chute. La qualité commerciale type indique que moins de 20 % des grains doivent être mitadinés, au-delà de 40 %, le blé dur est vendu au prix du blé tendre.

Le mitadinage est dépendant à la fois de la quantité d'azote présent dans le grain et des conditions de récolte. En effet, plus la teneur en protéines d'un lot est élevée, moins le mitadinage est important.

**Principe :** C'est une anomalie constatée sur les grains de blé dur qui devient farineux par une modification de la structure de l'albumen provoquée par un manque d'azote au stade gonflement. La détermination est faite sur 300 grains, selon la méthode du Farinotome de POHL.

**Le mode opératoire :**

- Introduire la plaque du coupe grain, verser une poignée de grains entiers sur la grille ensuite secouer de façon qu'un grain se place verticalement dans chaque alvéole et rabattre le couvercle pour maintenir les grains à tranché. On procède à la sélectionner lentement de tous les grains.
- On retire la plaque avec précaution puis on compte le nombre de grains mitadinés.
- On donne à chaque grain un degré selon le mitadinage (0.25, 0.50, 0.75, 1) et on calcule la somme des degrés et exprimer en pourcentage par rapport à 150 (Afnor, 1982).

Le taux de mitadinage selon la norme NF V03 – 705, est exprimé selon la formule :

$$M = \sum D \times 100 / 150$$

Avec,

D : le degré de mitadinage pour chaque essai.

---

**Chapitre 05. Matériel et méthodes**

Le taux de vitrosité peut être calculé selon:

$$V = 100 - M$$

**b) Teneur en cendre**

Les matières minérales du blé sont principalement réparties dans les enveloppes et la teneur en cendre donne une indication sur le taux d'extraction en semoulerie au regard de la réglementation en vigueur qui associe la pureté des semoules à leur taux de cendre. En fait, la législation impose des taux de cendres maximum à ne pas dépasser en fonction des catégories de semoules (ex : 1.10% pour la semoule de qualité supérieure).

**Intérêt :** La mesure de la teneur en cendre est d'un intérêt capitale pour deux points particuliers

- L'appréciation de la conduite de Moulin

- Le classement des farines selon les types définis par la réglementation

**Principe :** La mesure du taux de cendre dans le produit d'une incinération à 1.000°C d'une certaine quantité de farine donne l'importance des matières minérales présentes dans la farine matière minérale contenus surtout dans le son, on exprime ce taux en partie pour 100, par approximation la connaissance du taux de cendres donne le poids spécifique de la farine lui-même directement liée au taux d'extraction.

Les méthodes de détermination de taux de cendres basés sur le principe de l'incinération dans des conditions strictement définis, d'une masse contenus dans l'échantillon.

**Mode opératoire :** La teneur en cendres est déterminée par la peser des résidus obtenus par incinération d'une prise d'essai dans une atmosphère oxydant à une température de 900° jusqu'à combustion complète de la matière organique. On détermine également la teneur en eau de l'échantillon séparé selon la norme ISO 712.

**1/ Nacelles d'incinération :** Etant donné le poids très faible des cendres après incinération (environ 20mg pour une prise d'essai de 5g) la masse de la nacelle ne doit absolument pas varier lors de l'incinération et pendant les chocs thermiques.

Les nacelles en quartz ou silice peuvent être employés pour la méthode à 550°C. Il convient de choisir des nacelles rectangulaires à fond plat et de forme basse

## **2/ Four électrique**

a) Vérifier la géographie thermique du four en le remplissant de nacelles contenant un témoin vérifier la température 900° (+-) 25° à l'aide d'une canne pyrométrique.

## **Chapitre 05. Matériel et méthodes**

---

b) L'incinération doit être réalisé en atmosphère oxydant, c'est à dire en présence d'oxygène.

## **3/ Appareil de refroidissement**

a) Un dessiccateur de 180mm de diamètre intérieur, muni d'une plaque perforée en métal ou porcelaine et d'un robinet.

b) Utilisation d'anhydride phosphorique comme agent déshydratant est préférable.

## **4/ Balance analytique**

a) Précision 1/10 mg pour les pesées – nacelles vides nacelles + cendres.

b) Précision 1mg pour la pesée de la prise d'essai.

c) Pour le blé dur et les semoules, prélever des prises d'essai de 5g.

**5/ Préparation des nacelles:** On place les nacelles dans l'acide chlorhydrique dilué à 50% pendant une heure. On rince à l'eau ordinaire puis ensuite à l'eau distillée.

On procède au séchage des nacelles en quartz et en silice à l'étuve (102°, 1h). Puis on place les nacelles en platines quelques minutes dans le four à 900°.

**6/ La prise d'essai :** Dans les nacelles préalablement préparées sont déposés 02 à 06gr de l'échantillon, et afin d'obtenir une incinération uniforme, 01 à 02 ml d'éthanol sont ajoutés à la prise d'essai.

**7/ Pré- incinération :** La précaution à prendre, pour éviter une usure rapide des nacelles par choc thermique.

On place la première nacelle à l'entrée du four et l'enflamme, lorsque la flamme a disparu, on pousse progressivement la nacelle à l'intérieur du four.  
On répète la même opération pour chaque nacelle.

**8/ L'incinération :** On compte le temps d'incinération à partir du moment où le four, porte fermée, atteint la température de 550° ou 900°.  
Pour la méthode à 900°, il faut impérativement respecter la durée d'incinération de 1h-1h 15.

**9/ Refroidissement :** Après la durée d'incinération prescrite par la méthode, on fait sortir les nacelles progressivement avant de les placer dans un dessiccateur. Durée de refroidissement : 30 - 40min (Audigie *et al.*, 1978 ).

## Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

**10/ Détermination :** Selon la norme NF V03 – 720.

$$C (\%) = [(M_2 - M_1) / (M_1 - M_0)] \times 100 / 100 - H.$$

Avec,

**C (%) :** Teneur en cendre.

**M<sub>0</sub>.** Masse en gramme de nacelle vide.

**M<sub>1</sub>.** Masse de la nacelle vide + prise d'essais (avant séchage).

**M<sub>2</sub>.** Nacelle et prise d'essais (après séchage).

**H.** L'humidité ou teneur en eau.

### **c) Détermination de la couleur**

L'intérêt de la mesure est surtout commercial. En effet, le consommateur recherche des pâtes claires de belle couleur jaune ambrée. Or la législation interdisant toute adjonction de coloration dans les pâtes, la couleur ne peut provenir que de la semoule et par conséquent du blé dur.

Ce caractère résulte d'une composante jaune, principalement génétique, qui doit être la plus élevée possible et d'une composante brune, davantage liée aux conditions de culture, qui doit être faible. Différentes méthodes permettent d'évaluer le potentiel couleur, depuis le blé jusqu'aux pâtes.

#### **a. La composante jaune**

Principalement génétiques, elle est fonction des pigments caroténoïdes des semoules et de l'activité des lipoxygénases détruisant ces pigments au cours de la pastification (Grignac, 1970). Elle est mesurée par l'indice de jaune et doit être la plus élevée possible. Et il semble que la destruction des pigments jaunes commence au cours du stockage du grain et s'accélère après la transformation du blé en semoule.

#### **b. La composante brune**

Liée aux conditions de culture, elle est corrélée aux activités des peroxydases et des polyphénoloxydases et doit être très faible (Abecassis, 1991). Son évaluation quantitative se fait par l'indice de brun.

Les substances responsables du brunissement de la semoule hydratée résultent d'une oxydation des pigments de couleur orange « Flavones » et jaunes « caroténoïdes ». Les réactions de peroxydation des acides gras insaturés contenus dans la semoule contribuent à augmenter ce brunissement (Laignelet *et al.*, 1972). Certaines protéines riches en cuivre seraient à l'origine d'une élévation de l'indice de brun. Plusieurs chercheurs ont montré l'importance du facteur génétique sur l'aptitude des semoules à donner des pâtes de couleur foncée. La couleur est donc un critère essentiellement variétal.

## **Chapitre 05. Matériel et méthodes**

---

**Principe :** Il s'agit d'apprécier la couleur de la semoule par un colorimètre. Les résultats sont exprimés dans le système L, a, b, dans les conditions retenues par la commission international de l'éclairément (CIE).

$$\Rightarrow \text{Indice de Brun } \mathbf{IN/B} = \mathbf{100 - L.}$$

$$\Rightarrow \text{Indice de jaune } \mathbf{IN/J} = \mathbf{b} \text{ (Alary } \textit{et al.}, 1988 \text{ ).}$$

Avec,

L : lecture à la longueur d'onde 550 nm.

b : lecture à la longueur d'onde 480 nm.

Le nombre de répétitions est de 10 essais.

#### d) Détermination de la teneur en gluten

Le blé est la seule céréale dont les protéines ont la propriété de constituer dans la pâte un réseau protéique ; le gluten, fraction insoluble des protéines dans une solution saline, est le responsable majeur de la qualité rhéologique des pâtes c'est-à-dire l'extensibilité, l'élasticité et la ténacité, qui ont une influence sur le comportement des pâtes au cours de la fabrication et sur la qualité du produit finis.

Sa mesure est assez peu utilisée dans certaines pays telles que la France, mais elle l'est d'avantage en Italie et en Grande Bretagne où elle constitue le plus souvent, le seuil test technologique d'appréciation de la qualité des blés durs. La quantité de gluten est très liée à la teneur en protéines.

**Principe :** Extraction du gluten par malaxage d'un mélange de mouture d'une solution de chlorure de sodium.

**Mode opératoire :** La pesée de 10g de semoule que l'on met dans un mortier spécifique après y avoir ajouté 5ml de solution NaCl.

#### 5.4.4 Les analyses biochimiques

##### Dosage des protéines

Ce critère influe fortement la qualité du blé dur compte tenu de ses relations étroites avec le taux de grains mitadinés et avec la qualité culinaire. La teneur minimale pour la mise à l'intervention est de 11.5%. En règle générale, plus la teneur en protéines est élevée, meilleure est la qualité du blé dur. Un seuil de 14% est le plus souvent nécessaire à l'obtention d'un taux de vitrosité satisfaisant. Aujourd'hui ce critère est mesurable à l'aide de la méthode classique de Kjeldhal, mais également à l'aide de la spectrophotométrie proche infrarouge.

### Chapitre 05. Matériel et méthodes

---

#### 1/ Dosage de l'azote total par la méthode Kjeldhal

**Principe de la méthode:** La teneur en azote est mesurée par la méthode chimique ; Kjeldhal, qui date de 1883, et a été très utilisée et modifiée par Feuillet (1976). Considérée comme une méthode de référence, elle repose sur le principe suivant :

L'azote organique contenu dans l'échantillon est transformé quantitativement en sulfate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  par minéralisation de la prise d'essai par l'acide sulfurique et en présence d'un catalyseur ; l'ammoniac est ensuite débarrassé de son sel par la soude (NaOH), puis entraîné par la vapeur d'eau dans une solution d'acide borique qui le retient, avant d'être dosé par une solution acide titrée. Le point de virage de la réaction est apprécié par pHmétrie (Feuillet, 2000).

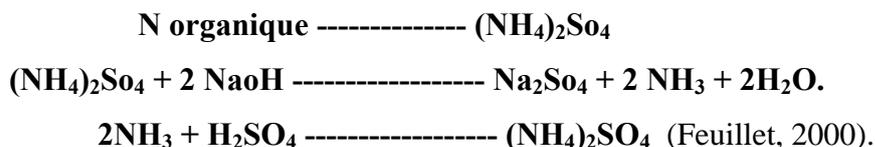
### Mode opératoire

**1/ La minéralisation sulfurique :** On introduit dans le matras 01 gr de semoule à analyser plus 02 gr du catalyseur, 20 ml d'acide sulfurique concentré et 10 ml d'eau distillée. On place le matras incliné dans le minéralisateur pour protéines, pendant une demi-heure.

**2/ Distillation de l'ammoniac :** On verse dans le matras refroidi contenant la solution obtenue, 20 ml d'eau distillée, quelques billes de verre, 80 ml de la solution d'hydroxyde de sodium à 33%. On met-le tout dans le distillateur Kjeldahl.

**3/ Le titrage :** On titre rapidement l'azote ammoniacal additionné de quelques gouttes de rouge de méthyle, par l'acide sulfurique N/20 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) à l'aide d'un pH-mètres jusqu'à retrouver le pH initial de l'acide borique. La coloration passe du rouge au jaune.

La réaction obtenue est stoechiométrique :



On déduit la quantité d'azote présente dans l'échantillon du volume d'acide sulfurique versé pour neutraliser la solution d'ammoniaque.

$$N = [(n \times 0,0014) \times 100 / P] \times 100 / 100 - H$$

Avec,

n : ml d'acide sulfurique N/10 utilisés pour neutraliser l'ammoniaque en solution.

P : prise (g) d'échantillon.

H : teneur en eau de l'échantillon.

---

## Chapitre 05. Matériel et méthodes

Et pour obtenir la teneur en protéines, la valeur trouvée est multipliée par un coefficient de conversion K. Les résultats sont exprimés en pourcentage par rapport à la matière sèche.

$$\text{PROTS} = N \times 5,7 (\% \text{ MH})$$

N. teneur en azote g/100g MH

Et, 
$$\text{PROTS} = [(N \times 5.7) / (100 - H)] \times 100 (\% \text{ MS}).$$

Avec,

5.7. Facteur de conversion.

H. teneur en eau de l'échantillon.

## 2/ Analyse dans le proche infra rouge

**Intérêt :** La spectrométrie dans le proche infra rouge est une technique analytique de plus en plus répandue, pour le contrôle rapide de la qualité des céréales.

Le plus souvent non destructive, elle ne nécessite qu'une préparation réduite de l'échantillon.

En outre, elle permet la détermination rapide et non coûteuse de plusieurs paramètres.

**Principe :** La spectrométrie dans le proche infra rouge (NIRS) est une méthode d'analyse comparative dont le principe repose sur l'absorption de la lumière proche infra rouge par la matière organique (Alava *et al.*, 2001).

En utilisant des calibrations dans les quelles les données spectrales d'échantillons connues sont mises en corrélations avec les valeurs analytiques de référence, la spectrométrie peut prédire, pour un lot inconnu, le niveau du paramètre en se basant uniquement sur l'empreinte spectrale de l'échantillon.

La collecte des spectres se fait sur un appareil NIRS 6500 à partir d'échantillons placés dans des modules de « transport » contenant environ 500 grains. Par sa rapidité et sa précision, cette méthode réduit considérablement le travail analytique, lourd et coûteux, des méthodes chimiques traditionnelles de laboratoire.

Pour l'analyse des constituants des grains, qui repose sur la mesure directe de l'interaction entre constituant chimiquement défini et le rayonnement (teneur en protéines, teneur en eau,...), l'erreur de prédiction est généralement faible quoique par définition toujours supérieure à celle de la méthode de référence (0.3 pour les protéines de blé contre 0.2 en méthode de référence) (ITCF et ONIC, 1995 ; Alava *et al.*, 2001).

La calibration a été faite à partir de 400 spectres correspondant à 02 années et différents lieux, à l'aide du logiciel ISI NIRS II (Desclaux, 2005).

Les spectres correspondants aux 21 variétés ont été collectés sur grains entiers en grandes cellules et en mini coupelles, avec un NIR system 6500 travaillant par réflectance, de 400 à 2500nm, avec un pas de (02 ) deux nm.

Des analyses statistiques ont été utilisées pour comparer nos échantillons (SAS et Minitab 15.0).

### **5.5 Collecte et Analyse statistique des données**

Les données qui ont fait l'objet de notre étude ont été, mises à notre disposition par les l'Instituts Technique des Grandes Cultures (I.T.G.C.) au niveau de chaque site.

Nous disposons donc, des données de 21 variétés de blé dur qui ont été expérimentées durant deux années (2003 -2004 / 2004 – 2005) au niveau des sites Khroub, Oued Smar et Sidi Bel Abbès.

- **Année 2003/2004 :** Pour cette année nous avons pu avoir les rendements et les composantes du rendement pour les 21 variétés de blé dur pour chacun des sites.
- **Année 2004/2005 :** Nous disposons des résultats du dispositif expérimental en blocs aléatoires complets, des rendements des différentes variétés et des valeurs des composantes du rendement et ceci pour les trois sites.

L'analyse des données issues des expérimentations agronomiques multi locales sera enrichie par une approche destinée à caractériser les conditions du milieu d'expérimentation.

Classiquement, les analyses sont basées sur la performance moyenne des lignées (ou variétés) pour chaque combinaison site x tests technologiques et agronomiques.

Chaque expérimentation est caractérisée par une année, un site, un itinéraire technique. La prise en compte des conditions expérimentales (données climatiques et édaphiques) de chaque lieu est essentiel pour interpréter le comportement du matériel testé et pour mieux cerner ses potentialités.

Pour cela, la démarche utilisée est la suivante :

- a. Typologie de chaque site expérimental : Le plan d'expérimentation doit être capable de diagnostiquer, a priori, la présence de facteurs limitants liées à l'environnement.
- b. Structuration de l'information multi locale : Par analyse des aptitudes des lignées à valoriser tel ou tel type de milieu.

L'adoption de cette stratégie repose sur plusieurs bases :

- Disposer de géotypes pour lesquels il existe un référentiel de données suffisamment important pour être utilisés comme révélateurs du milieu.
- Identifier les paramètres à mesurer sur ces géotypes pour caractériser correctement l'apparition d'un facteur limitant à différentes périodes du cycle et donc à chaque lieu d'essai.
- Avoir une méthode d'analyse statistique permettant de gérer cette information et d'en assurer l'exploitation.

**5.5.1. Les données** : Les données utilisées proviennent des expérimentations réalisées sur les sites choisis de 2003 -2005.

Les 10 critères ont été mesurés sur un total de 21 variétés.

*Avec :*

**RDT**= rendement, **RDTS** = rendement semoulier, **PROTNI** = teneur en protéine par la méthode NIRS, **PROTKH** = teneur en protéine par Khjeldal, **PMG** = poids de mille grains, **MITA** = Taux de mitadinage, **MOUCH** = Taux de moucheture, **HUM** = humidité, **CEND** = cendre, **IJAUNE** = indice de jaune, **IBRUN**= indice de brun.

*Et,*

- **Site 1** : El Khroub « 2003 – 2004, 2004 – 2005 ».
- **Site 2** : Oued Smar « 2003 – 2004, 2004 – 2005 ».
- **Site 3**: Sidi Bel Abbes « 2003 – 2004, 2004 – 2005 ».

**5.5.2. Analyses statistiques :** Le logiciel utilisé est le MINITAB 15.0 .

**5.4.2.1** Description des données

La description des données a consisté à calculer certains paramètres statistiques usuels qui sont la moyenne arithmétique ( $\bar{x}$ ), l'écart type ( $s$ ), la plus petite valeur ( $x_{\min}$ ) et la plus grande valeur ( $x_{\max}$ ) (Dagnélie, 1999).

**5.4.2.2** Comparaison de deux méthodes d'analyses : NIRS et Kjeldhal

- a. Test t de STUDENT pour l'ensemble des sites (I, II, III).
- b. Test t de STUDENT pour chaque site.
- c. Test t de STUDENT pour chaque variété.

**5.4.2.3.** Test T de STUDENT pour échantillons appariés

Le test t de STUDENT pour échantillons appariés à été utilisé pour chaque site, afin de comparer entre années pour chacune des variétés et pour chaque variable.

**5.4.2.4.** Analyse de la variance à un critère de classification

L'analyse de la variance (ANOVA) est une extension du test t à deux échantillons qui compare deux moyennes de population en un test qui compare plus de deux moyennes.

- a. Pour la même année : Comparaison entre sites pour chacune des variétés et pour chaque variable.
- b. Pour la même année, le même site et la même variable : Comparaison entre variétés.

**5.4.2.5.** Matrice des corrélations.

Le coefficient de corrélation est une mesure du degré de linéarité de la relation entre deux variables. La valeur de ce coefficient est comprise entre  $-1$  et  $+1$ . Si une variable tend à augmenter lorsque l'autre diminue, le coefficient de corrélation est négatif. Par contre, si les deux variables tendent à augmenter ou à diminuer simultanément, le coefficient de corrélation est positif.

**5.4.2.6** Analyse statistique multi variée

- a. Calcul du modèle linéaire (GLM) : Pour chaque variable.

En considérons :

- **Facteur :** Année - Site.
- **Model :** année site année \* site

b. Calcul de l'analyse de la variance à deux facteurs : Pour chaque variable  
En considérons :

- **Facteur** : Année - Site.
- **Model**: année site année \* site

#### 5.4.2.7 Analyse en composantes principales (ACP)

Pour isoler les composantes du milieu qui expliquent l'interaction G x E.

#### 5.4.2.8 Dendrogramme (Analyse hiérarchique des variables)

Il existe de nombreuses méthodes permettant de regrouper des environnements (ou des génotypes) d'un réseau d'essais.

Chaque méthode se caractérise par :

- Sa mesure de similarité.
- Son algorithme de regroupement.

Et le problème essentiel est de savoir si ces regroupements sont stables d'une année à l'autre. Sous terme lieu sont confondues deux composantes : une fixe (site = sol, photopériode...), et une aléatoire (climat), ainsi donc le problème réside dans la stabilité des classements ainsi obtenus.

## **Chapitre 06. Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

### **Introduction**

La quasi-totalité du blé dur produit en Algérie est destiné à l'alimentation humaine via la fabrication de pâtes ou de semoules. La qualité du grain est donc déterminante pour la valorisation des récoltes.

La valeur technologique d'une variété de blé dur est évaluée à l'aide d'une douzaine de critères technologiques qui peuvent être répartis en trois grandes catégories :

- Valeur semoulière ; par le déterminisme du poids de mille grains, le poids spécifique et le taux de mitadinage.
- Aspect des pâtes ; par l'étude du taux de moucheture, et les indices de coloration (indice de jaune, indice de brun).
- Qualité des pâtes, par le dosage de l'azote (teneur en protéine), le test de sédimentation, le test de viscoélasticité et d'état de surface (Abecassis, 1993 ; Ait kaki, 2002).

De part l'accroissement du nombre de variétés proposées aux agriculteurs, et de l'importance d'augmenter les rendements en grain du pays, il ne suffit plus d'avoir uniquement un bon matériel végétal, il est indispensables de bien l'exploiter en quantifiant l'importance des interactions génotypes x environnement pour les critères technologiques et de définir les bases d'un échantillonnage de lieux d'essais afin de maintenir une bonne récolte associée à une bonne appréciation de la valeur technologique du blé dur (Bouzerzour et Djekoun, 1996 ; Desclaux *et al.*, 2005).

Les critères technologiques choisis ici pour approfondir l'étude de leur stabilité concernent le poids de mille grains (PMG), le poids spécifique, le taux d'extraction, le taux de mitadin, le taux de moucheture, la teneur en cendre, les indices de colorations et le taux de protéines.

L'idée est d'établir la correspondance d'une gamme de résultats variétaux de rendement et qualité avec les milieux dans lesquels ils se sont élaborés. A cet effet trois sites ont été choisis :

**Site I** - El Khroub, altitude moyenne (Constantine).

**Site II** - Oued -Smar, plaine littorale (Alger).

**Site III** - Sidi Bel Abbes, altitude moyenne.

Pour chaque variable à expliquer, on réalise une série d'analyses statistiques, en commençant par une analyse de la variance pour évaluer les effets simples variété et milieux, puis par une

analyse multi variable, pour mettre en évidence les relations des variables entre elles, suivie d'une analyse en composante principale.

## Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.

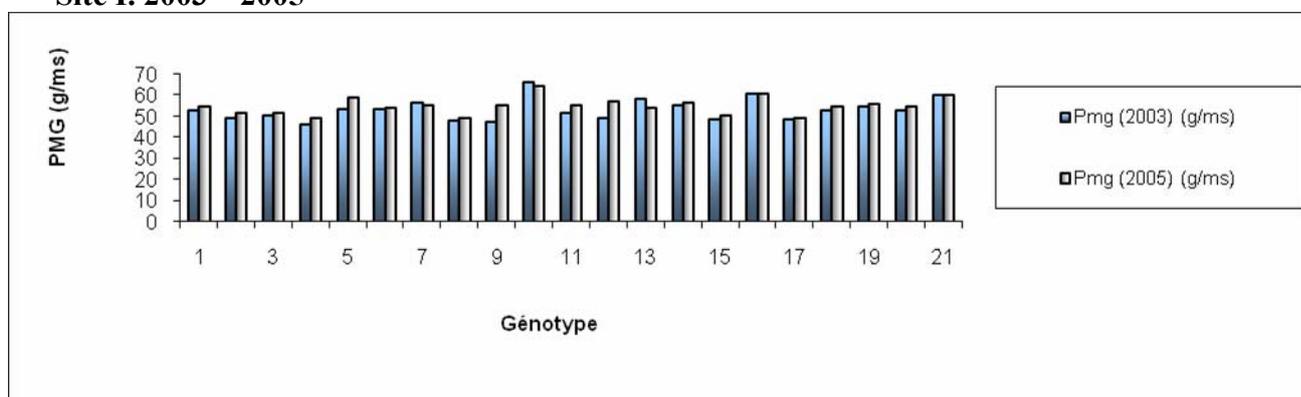
### 6.1 Le poids de mille grains

#### Etude de la distribution des PMG sur les trois sites :

Le poids de mille grains est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après la floraison combiné aux températures élevées (conditions fréquentes en Algérie) entraîne une diminution du poids de 1 000 grains par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l'échaudage des grains (Zouaoui, 1993 ; Chaker, 2003).

L'étude de la distribution des histogrammes et de l'analyse de la variance, nous a donné les résultats suivants :

#### Site I. 2003 – 2005



**Figure n° 15 : Comparaison des PMG des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)**

**Tableau n°17 : Analyse de la variance à un critère de classification du PMG : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	2575,43	62,82	26,30	0,000***
Variation résiduelle	200,61	2,39		
Variation totale	2776,04			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

L'analyse de l'histogramme, nous permet de constater que pour la zone d'El Khroub les valeurs du PMG de l'ensemble des géotypes pour l'année 2003/2004 varient entre 46 g/ms et 66g/ms, et pour l'année 2004/2005 entre 49g/ms et 64 g/ms.

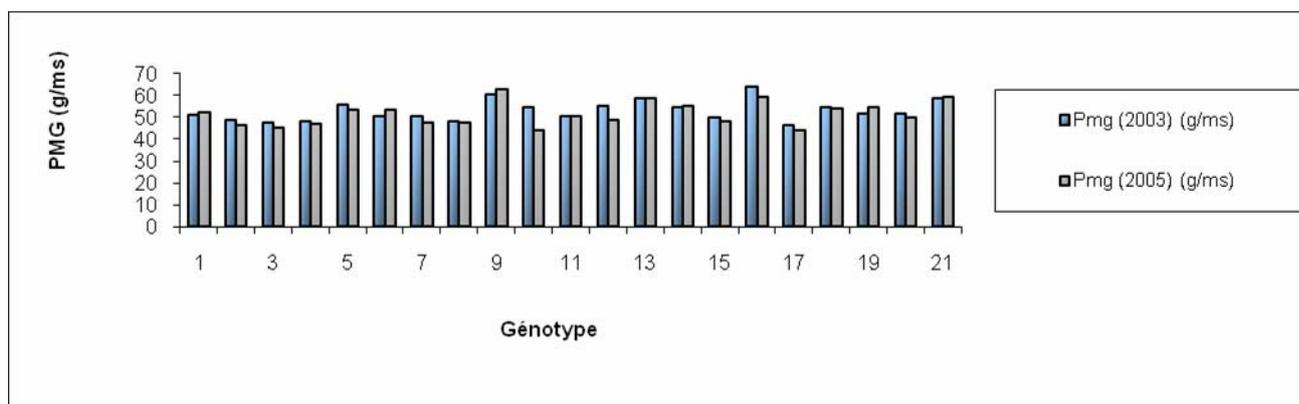
La variété Mexicali présente pour les deux années les taux les plus élevés (66,43g et 64,19g), suivi des variétés italienne (introduite) Siméto ( 60,84 g et 60,70g) et Duillio (59,95 g et 60,26g). Par contre la variété Rahouia (Gloire de montgolfier) nous avons enregistré les taux les plus bas avec 46,32g et 49,18g, suivi de la variété Kebir avec 47,96g et 49,03g.

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

---

Quant à l'analyse de la variance représentée dans le tableau 17, il en ressort que les différences entre années pour le El Khroub sont très hautement significatives pour ce caractère. Ce résultat pourrait s'expliquer par les variations climatiques dont la température et la pluviométrie de la région. Cette hypothèse n'exclut pas toutefois la valeur génétique des cultivars (Alary *et al.*, 1993).

**Site II. 2003 – 2005**



**Figure n°16 : Comparaison des PMG des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)**

**Tableau n° 18 : Analyse de la variance à un critère de classification du PMG : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	2540,09	61,95	6,59	0,000***
Variation résiduelle	790,08	9,41		
Variation totale	3330,16			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

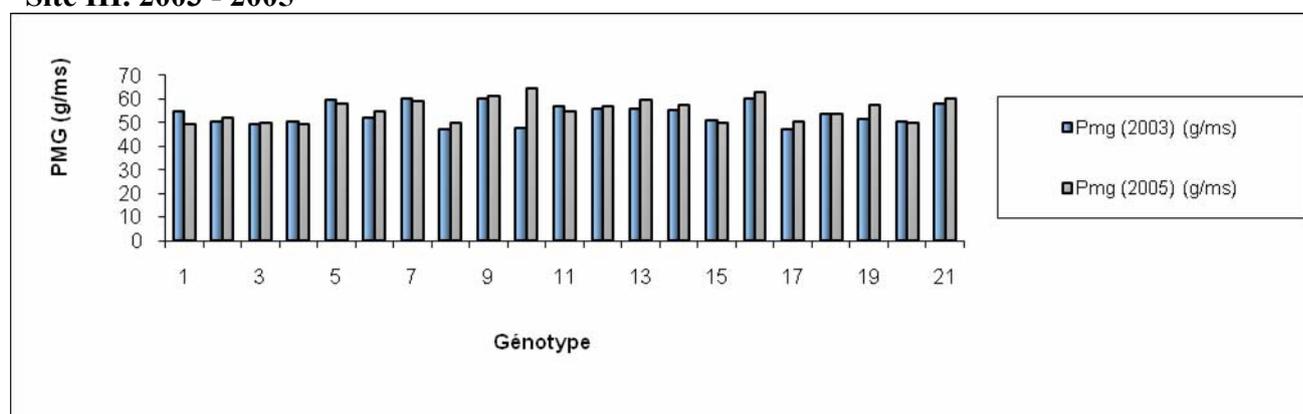
Les résultats de la figure 16, nous montre que le poids le plus élevé a été obtenu chez les variétés Mohamed Ben Bachir (60,30g et 62,70g) et Siméto (63,81g et 59,43g). Par contre

les variétés Cirta (47,38g et 45,50g) et Tell 76 (46,22g et 44,42g) affichent les taux les plus bas. La variété italienne Duillio se démarque du lot par des taux stables (58,86g et 59,46g).

De plus, l'analyse de la variance, représentée par le tableau 18 nous révèle des différences très hautement significative pour ce paramètres entre les deux campagnes.

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

**Site III. 2003 - 2005**



**Figure n°17 : Comparaison des PMG des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbès (2003-2004-2005)**

**Tableau n°19 : Analyse de la variance à un critère de classification du PMG : Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbès)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	3025,88	73,80	14,39	0,000***
Variation résiduelle	430,80	5,13		
Variation totale	3456,67			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1‰

Nous remarquons que les taux en générale sont assez stables pour les deux campagnes (2003/04 – 2004/05). La variété Siméto présente les valeurs les plus élevées avec 60,14g et 62,91g, suivi de Mohamed Ben Bachir, Duillio et Inrat 69. En ce qui concerne les taux les plus bas ils sont représentés par les variétés Cirta et Tell 76. Et l'analyse de la variance ne fait que confirmer les différences entre les 21 cultivars.

**Discussion :**

Une variété introduite dans un milieu donné est exposée à subir un certain nombre d'aléas. Pour ce milieu, l'idéal serait une variété capable d'échapper à tous les accidents. Ceci est rarement possible. Il ne s'agit en général que d'un compromis entre les éléments défavorables du milieu et les caractéristiques biologiques du cultivar (Annicchiarico *et al.*, 2005).

Le rendement d'une variété est le résultat de phases successives de croissance développement comprenant la mise en place d'organes, processus liés à la photopériode et à la somme de températures et leur croissance en taille, directement liée à l'énergie lumineuse interceptée et à la disponibilité en eau et en éléments minéraux absorbés par le système racinaire. Une variété pourra donc être adaptée à une zone lorsque le compromis entre les éléments climatiques et le développement du génotype, se révélera en moyenne le plus favorable à l'extériorisation du rendement potentiel (Bouzerzour et Djekoun, 1996).

### Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.

Dans la présente étude les différences entre les variétés ont été très significatives. La moyenne la plus appréciable a été de la variété introduite Duillio et cela pour les trois sites, suivie de Simeto et Mohamed Ben Bachir. On générale les valeurs du PMG ont varier entre 46g à 66g.

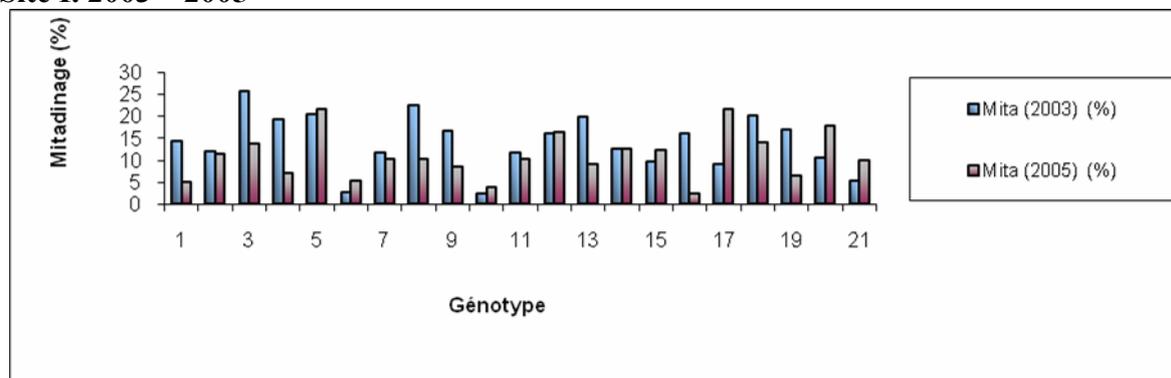
## 6.2 Le Mitadinage

### Etude de la distribution du taux de mitadinage sur les trois sites :

La vitrosité constitue un important facteur aussi bien au niveau de la mouture que de l'agréage. Les grains mitadinés sont ceux qui sont amylicés, gravement endommagés, brisés ou provenant de blés d'autres classes.

Le taux de mitadinage est un critère d'appréciation déterminant dans le rendement et la qualité de la semoule et des produits dérivés (pâtes, couscous). Les grains endommagés, ayant une incidence sur le poids spécifique, diminuent le rendement de la mouture, alors que d'autres types de dommages, tels que la moucheture, peuvent causer la décoloration et des piqûres dans la semoule (Feuillet, 2000 ; Desclaux *et al.*, 2005).

#### Site I. 2003 – 2005



**Figure n°18 : Comparaison des taux de mitadinage des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)**

**Tableau n°20 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de mitadinage: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	4351,10	106,12	13,21	0,000***
Variation résiduelle	674,79	8,03		
Variation totale	5025,89			

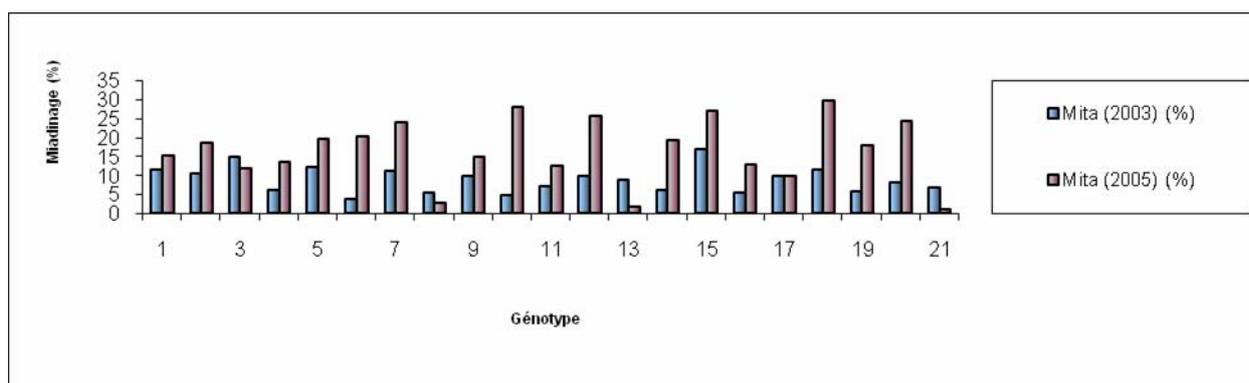
\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1‰

Le taux de mitadinage indiqué dans la figure 18 représente le pourcentage de grains non entièrement vitreux. Il s'agit par conséquent d'un taux de mitadinage total, supérieur à l'indice de Nottin qui prend en considération l'importance de l'amande farineuse. La distribution est très variable et le taux le plus bas pour les deux campagnes est représenté par la variété Mexicali, suivie Hedba 03 par contre pour les taux les plus élevés sont ceux de Cirta et Guemgoum R'Khrem.

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

La variété Polonicum semble présenter les taux les plus stables pour les deux années, ce n'est pas le cas de la variété tell 76 qui affiche des valeurs très différentes (09,016% et 21,43%). Les résultats trouvés par l'ANOVA représentés dans le tableau 20, ne font que confirmer les observations faites précédemment. Il existe des différences très hautement significatives pour le taux de mitadinage entre les 21 variétés de blé dur testés pour ce site et sur deux années. C'est-à-dire que les variétés ne sont pas mitadinées de la même façon. Etant donné que le mitadinage est un accident physiologique, qui dépend du milieu, les différences qui peuvent exister entre les variétés seront grandes.

**Site II. 2003 – 2005**



**Figure n°19 : Comparaison des taux de mitadinage des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)**

**Tableau n°21 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de mitadinage: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	7115,05	173,54	21,28	0,000***

Variation résiduelle	685,00	8,15
Variation totale	7800,05	

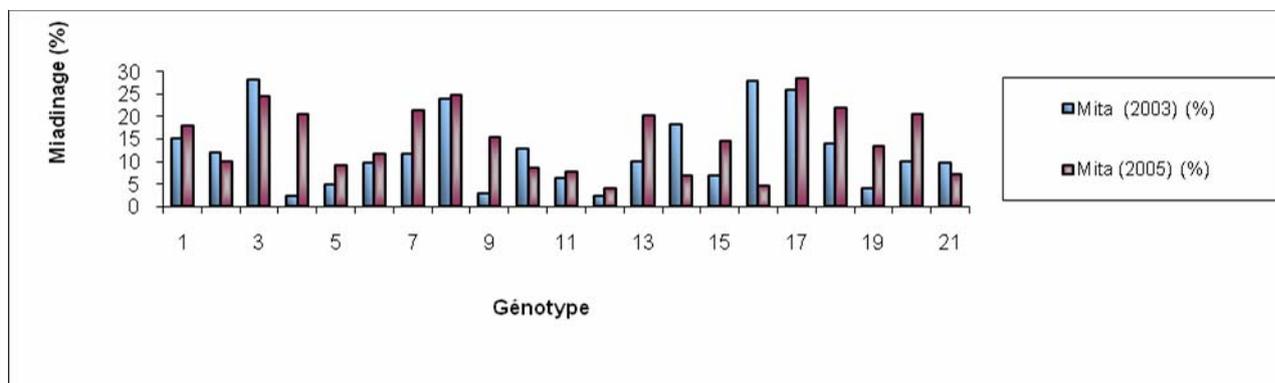
\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

Les résultats obtenus quant aux taux de mitadinage, sont représentés dans la figure 19. L'étude de ce paramètre a permis de constater que les taux sont très variables pour ce site, certains variétés ne présente pas de stabilité pour ce critère, il s'agit de Hedba 03 (03,83 % et 20,31%), Oued Zenati (09,78% et 25,76%), et Vitron (11,56% et 29,69%). Par contre les taux les plus faibles sont pour la variété Duillio (06,71% et 01,07%) et Kebir (05,56% et 02,77%)

L'analyse de la variance à un critère de classification, a montré un effet très hautement significatif entre les variétés pour les deux années.

#### Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.

#### Site III. 2003 - 2005



**Figure n°20 : Comparaison des taux de mitadinage des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbès (2003-2004-2005)**

**Tableau n°22 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de mitadinage: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbès)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	9119,313	222,422	249,72	0,000***
Variation résiduelle	74,817	0,891		
Variation totale	9194,130			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

On ce qui concerne la zone de Sidi Bel Abbès, Le taux de mitadinage le plus important a concerné la variété Tell 76 (26,02% et 28,44%) ainsi que la variété Cirta (28,29% et

24,46%). Les plus bas avec la variété Oued Zenati (02,42% et 04,03%), par contre certaines variétés ne réagissent pas de la même façon les deux compagnes avec des taux très instables tel que la variété Rahouia (02,33% et 20,66%). La variété Duillio présente une certaine stabilité pour les deux années.

L'analyse de la variance montre un effet très hautement significative, les résultats sont très variables. Se qui confirme que les variétés ne réagissent pas de la même façon.

### **Discussion :**

Le mitadinage dû, en particulier, à l'excès d'eau dans le sol ou à sa pauvreté en azote, donne des grains gonflés, blanchâtres, à structure partiellement ou entièrement farineuse, en d'autre terme c'est la présence, dans la masse de la cornée de l'albumen, de tâches d'amidon farineux (Desclaux, 2005). Ces zones sont visibles soit à l'extérieur soit à la coupe du grain. Le mitadinage diminue le rendement en semoule et provoque des points blanchâtres sur les pâtes. La fumure tardive, à la montaison, limite cet accident (Cheret *et al.*, 2003).

## **Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

---

Comme nous venons de le signaler, le mitadin est très lié à la nutrition azotée tardive (pré- et post-floraison) et à la composition protéique des grains qui en résulte. L'apport d'azote fractionné avec dernier apport tardif (floraison) améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadin.

Une caractérisation physico-chimique des grains mitadinés a été établie à différentes échelles structurales et reliée à la qualité technologique.

Les variétés Mexicali, Hedba, Oued Zenati et Duillio présentent des taux de mitadinage relativement faibles (inférieurs à 7%). Les résultats obtenus sur les trois sites ne mettent pas en évidence de corrélation entre le poids de mille grains et le taux de mitadinage. Ceci confirme les observations rapportées par les résultats du projet de coopération bilatérale Algéro- Italienne, par des essais de comportement variétal de blé dur en Algérie entre 1998/2000, et rapportées par Mebirouk (2003). Il est donc nécessaire à l'avenir de déterminer la sensibilité au mitadinage de chaque variété par des mesures annuelles systématiques à long terme.

A cet effet, des outils de mesure et de prédiction par analyse spectrale infrarouge sont en cours de développement pour une mesure rapide en routine. Les conclusions et les outils de contrôle traduisibles en indicateurs et en règles de décision sont utilisés pour améliorer les systèmes de culture régionaux intégrant le blé dur pour les rendre plus stables et plus durables (Desclaux *et al.*, 2005).

### **6.3 La moucheture**

La moucheture du blé dur est un phénomène observé depuis fort longtemps : dès 1909, des publications paraissent sur ce sujet. Pendant une longue période, pathologistes et entomologistes combattent par publications interposées, revendiquant la paternité de l'agent

causal unique : infections fongiques pour les premiers, action des insectes piqueurs (type thrips) pour les seconds. Cependant, de part la divergence des résultats obtenus et la publication de nombreux travaux montrant qu'en l'absence de tout agent pathogène, la moucheture pouvait s'observer sur les grains mûrs (Tabusse 1986 ; Williamson 1997), les facteurs abiotiques ont commencé à intéresser un certain nombre de chercheurs. Grignac (1988) met ainsi en évidence l'importance d'une forte hygrométrie dans l'induction de la moucheture.

Dans les années 1995, l'I.T.C.F. (actuellement Arvalis) reprend ces résultats et imagine un test de brumisation en plein champ pour révéler de manière reproductible les comportements variétaux. Afin de valider ce test et de vérifier sa pertinence sur une large gamme de cultivars, les chercheurs en génétique et amélioration de plantes de l'INRA sont mobilisés. Les questions sont claires : (i) L'hygrométrie est-elle seule responsable d'une expression de la moucheture ? (ii) Quels sont les stades de développement de la plante les plus critiques ? (iii) Qu'en est-il de la controverse, précédemment citée, entre pathologistes et entomologistes ?

Des travaux menés par d'autres chercheurs (Samson et Morel, 1995 ; Rharrabti *et al.*, 2003b) ont permis non seulement de vérifier l'impact d'une forte hygrométrie sur le développement de la moucheture mais surtout de mettre en évidence le rôle de l'interaction hygrométrie x température (Desclaux 2005, Desclaux *et al.* 2005).

#### **Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

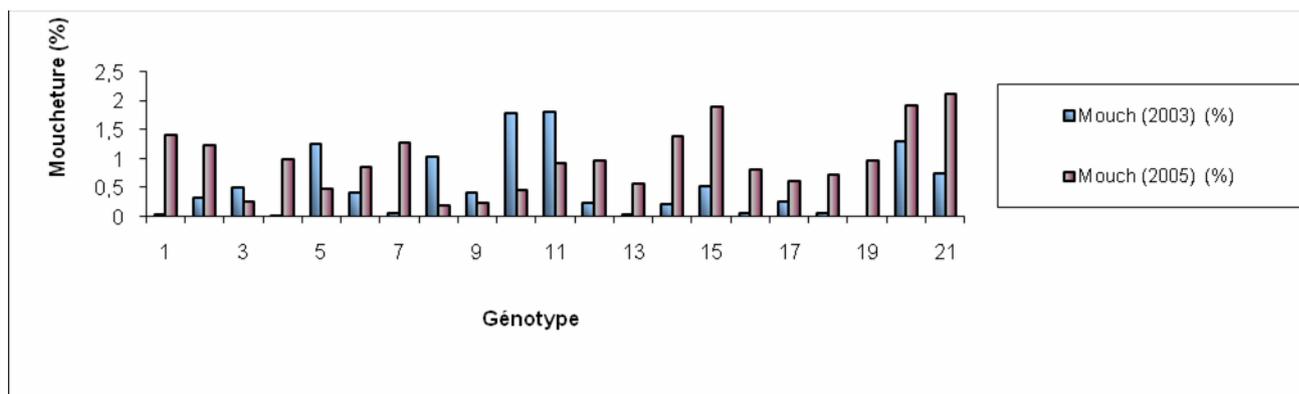
---

En effet, l'impact d'un cumul journalier d'hygrométrie du stade épiaison au stade grains laitoux avait été étudié à différents seuils de température, sur l'expression du taux de moucheture.

Les résultats obtenus par Cherdouh (1999), concernant ces paramètres et réalisées sur 62 variétés de blé dur Algérien, montre une corrélation négative significative ( $r = -0,334$ ) entre l'humidité sur grain et la moucheture ; d'autres résultats similaires ont été déjà constatés par des travaux des I.T.G.C. (1998) avec une corrélation négative de ( $r = -0,416$ ).

#### **Etude de la distribution du taux de moucheture sur les trois sites :**

##### **Site I. 2003 – 2005**



**Figure n°21 : Comparaison des taux de Moucheture des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)**

**Tableau n°23 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de moucheture: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	44,5471	1,0865	39,13	0,000***
Variation résiduelle	2,3321	0,0278		
Variation totale	46,8793			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

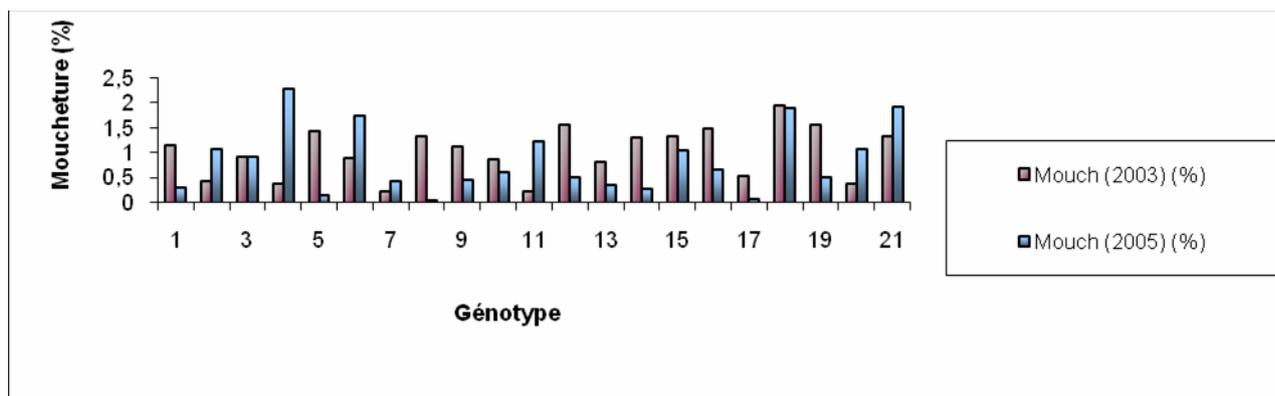
L'interprétation de la figure précédente, révèle que la distribution des individus mouchetés est très variable. Avec pour ce site la moyenne la plus élevée est représentée par la variété Duillio (0,74% et 2,133%), suivi de Mohamed Ben Bachir, Kebir et Cirta.

Mais ont générale toutes les valeurs sont très appréciables, et pour beaucoup de variété les différences entre les deux campagnes reste dans les normes. Pour ce qui est des résultats obtenus par l'ANOVA, il existe des différences très hautement significative pour l'ensemble des variétés entre les deux campagnes, ce qui témoigne de l'impact des données climatiques sur la résistance ou tolérance a la moucheture.

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

---

**Site II. 2003 – 2005**



**Figure n°22 : Comparaison des taux de Moucheture des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)**

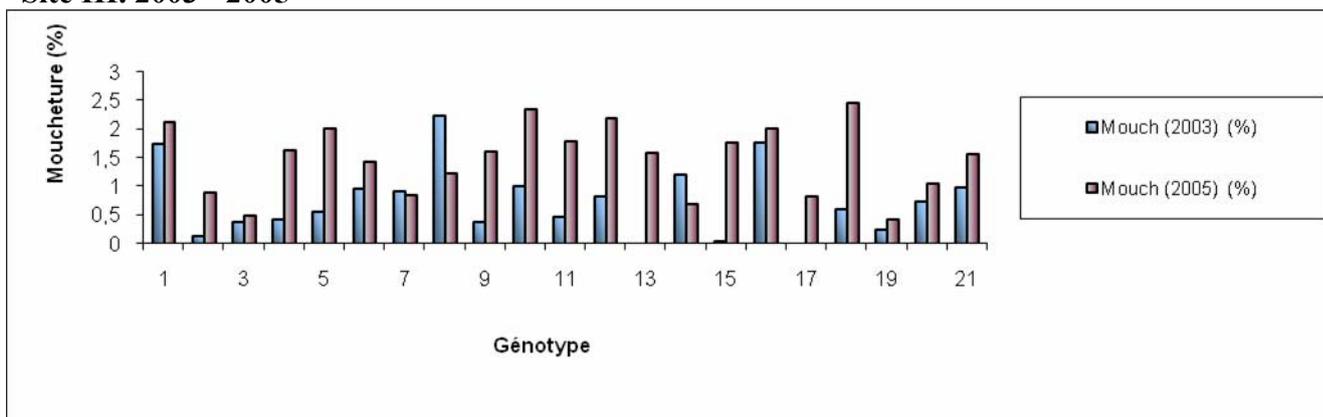
**Tableau n°24 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de moucheture: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	42,4039	1,0342	12,63	0,000***
Variation résiduelle	6,8796	0,0819		
Variation totale	49,2835			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

En ce qui concerne le site Oued Smar, La valeur la plus élevée et la plus stable est pour Vitron (1,95% et 1,91%), suivi de Duillio (1,34% et 1,93%) et de Rahouia (0,38% et 2,30%) . Alors que la majorité des variétés ont des moyennes qui oscillent entre 0,43% et 2,30%. L'analyse de la variance pour ce critère représenté dans le tableau 24, nous révèle des différences très hautement significatives entre les deux années de récoltes.

### Site III. 2003 - 2005



**Figure n°23 : Comparaison des taux de Moucheture des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbas (2003-2004-2005)**

**Tableau n°25 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de moucheture: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbes)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	50,0343	1,2203	45,67	0,000***
Variation résiduelle	2,2447	0,0267		
Variation totale	52,2790			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1‰

L'histogramme des fréquences des taux de moucheture (Fig. 23) sur l'ensemble des cultivars rend compte de la normalité de la distribution avec une valeur modale à 08% de moucheture. Il a été intéressant de constater que certaines variétés n'ont pas été mouchetées notamment pour la première campagne (2003/2004) avec les variétés Ofonto et Tell 76. Mais on générale nos variété sont peu moucheté.

L'analyse de la variance pour ce critère, nous révèle des différences très hautement significatives. Ce résultat na fait que confirmer ce qui a été observé sur les distributions de l'histogramme.

#### **Discussion :**

Les semoules et produits dérivés issus de grains mouchetés présentent des points noirs indésirables qui diminuent leur qualité commerciale. Les pourcentages de grains mouchetés est relativement faible (inférieurs pour la majorité à 5%). Et pour l'instant, on ignore encore la cause réelle de cet imputées. Cela peut être imputable aux différentes zones climatiques dans lesquels sont semés nos cultivars.

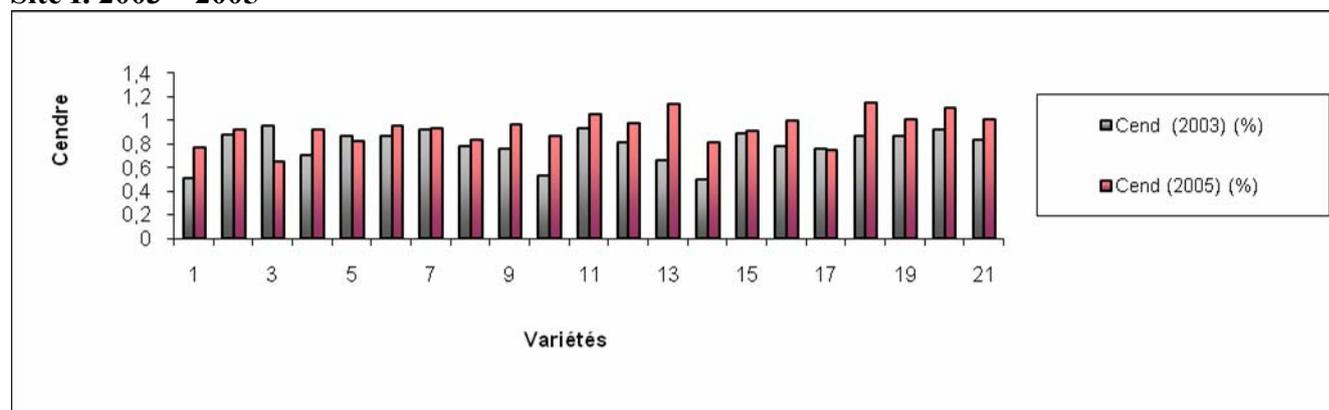
Dans l'ensemble, les variétés s'avèrent très peu mouchetées et donc, n'ont pas d'incidence sur le rendement en semoule, ni sur sa texture.

#### **6.4 Les cendres**

##### **Etude de la distribution du taux de cendre sur les trois sites :**

La teneur en cendres du blé (expression de la richesse en éléments minéraux) est une caractéristique de pureté de la semoule, qui augmente avec le taux d'extraction. Elle peut varier considérablement en fonction de la région et des conditions climatiques pendant la croissance (Feuillet, 2000). D'une manière globale, les taux de cendres enregistrés au niveaux des trois stations sont représentés dans les histogrammes suivant :

## Site I. 2003 – 2005



**Figure n°24 : Comparaison des taux de cendre des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)**

**Tableau n°26 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de cendre: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	2,79630	0,06820	10,49	0,000***
Variation résiduelle	0,54620	0,00650		
Variation totale	3,34250			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

La figure n°24 nous montre clairement les taux de cendre les plus appréciables et les plus stables sont enregistrés chez les variétés Bidi 17 (1,15% et 1,13%), Mohamed Ben Bachir ( 1,07% et 1,10%), Ofonto (1,01% et 1,12%), et Ardente (1,02% et 1,05%).

Le tableau 26, indique qu'il existe des différences très hautement significatives pour le taux de cendre entre les deux années pour le site El Khroub.

Site II. 2003 – 2005

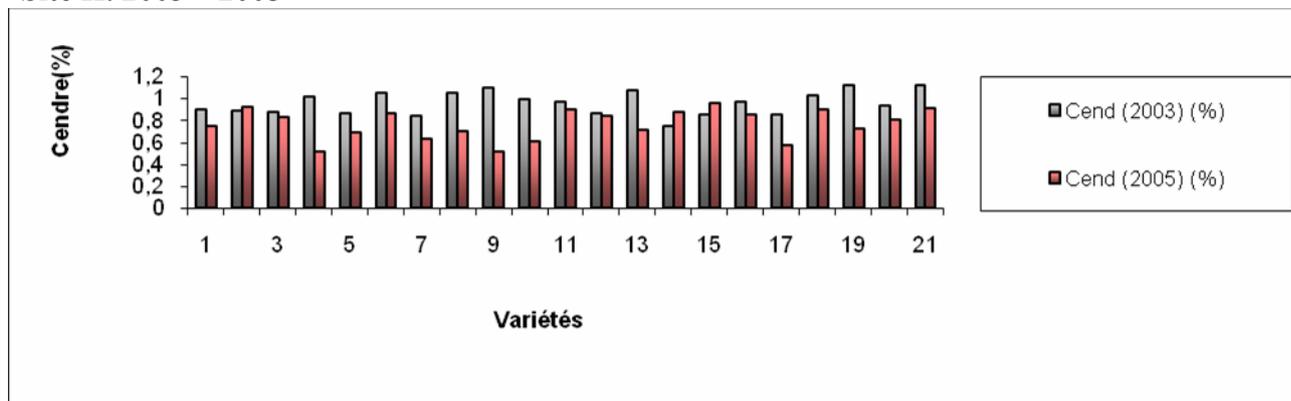


Figure n°25 : Comparaison des taux de cendre des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)

Tableau n°27 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de cendre: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar)

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	1,142832	0,057142	122,86	0,000***
Variation résiduelle	0,019533	0,000465		
Variation totale	1,162365			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

Selon la figure n°25 nous remarquons que les meilleurs valeurs sont obtenus chez Vitron (1,03% et 0,90%), Waha (1,12% et 0,73%) et Duillio (1,12% et 0,91%). L'analyse de la variance pour ce site, révèle des différences très hautement significative entre les deux campagnes agricoles.

Site III. 2003 - 2005

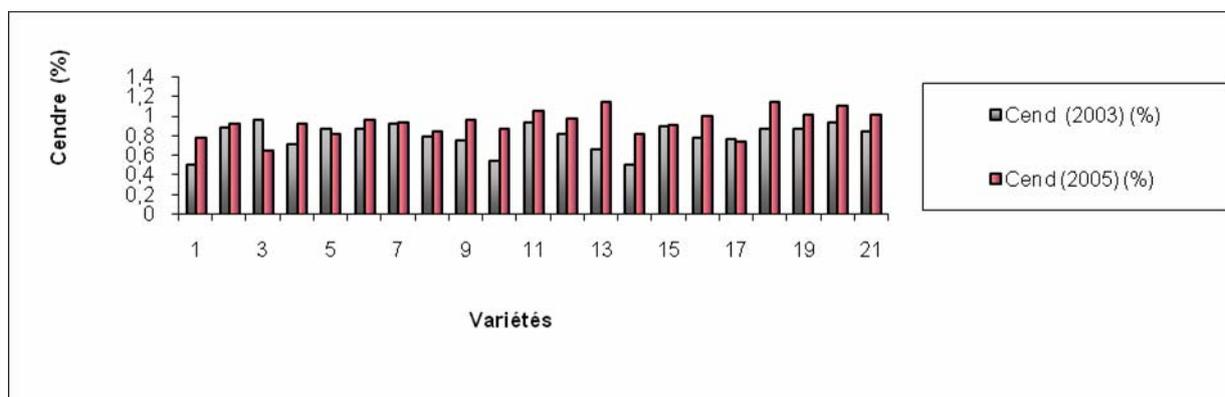


Figure n°26 : Comparaison des taux de cendre des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbas (2003-2004-2005)

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude  
pour l'ensemble des cultivars.**

---

**Tableau n°28 : Analyse de la variance à un critère de classification du taux de cendre:  
Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbès)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	2,29540	0,05599	51,34	0,000***
Variation résiduelle	0,09160			
Variation totale	2,38700			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

L'analyse de l'histogramme nous révèle que pour le site Sidi Bel Abbès, beaucoup de cultivars affichent des valeurs stables pour les deux campagnes, il s'agit des variétés Rahouia (0,87% et 0,82%), Hedba 03 (0,86% et 0,95%), Inrat 69 (0,92% et 0,93%) et le back cross Bidi 17/Waha/bidi 17 (0,87% et 0,92%). D'autres variétés affichent des valeurs intéressantes telles que Vitron, Waha, Ardente et Duillio.

Et selon le tableau n° 28, il existe des différences très hautement significative entre les deux années d'essai.

### **Discussion :**

La teneur en cendres permet de contrôler la pureté des produits de mouture. Selon beaucoup auteurs (Matweef, 1946 ; Selslet et Guezlène, 1983 ; Taha et Sagi, 1987), le taux de cendres des enveloppes du blé dur peuvent varier du simple au double pour la même variété, suivant son milieu de culture ; les cendres de l'amande farineuse cependant, accusent des écarts minimes entre les blés les plus divers et y sont en très faible quantité, en effet la teneur en cendres de l'amande est environ 10 fois plus faible que celle des enveloppes.

D'une manière générale, on notera que les variétés Duillio, Mohamed Ben Bachir, Bidi 17 et Vitron sont relativement riches en cendre.

Ces résultats sont difficilement comparables, car ils sont obtenus dans des conditions expérimentales différentes. Dans les conditions de mouture appliquées en Algérie (taux d'extraction 80%) le taux de cendre des semoules est souvent élevé et varie entre 1,8 et 2,3% (Benbelkacem *et al.*, 1995). Et selon Dexter et Matsuo (1977), une belle semoule à une teneur en cendre de 0,75% à 0,90%.

En ce qui concerne nos cultivars, le taux d'extraction maximum est de 75%, il est donc normal d'avoir des valeurs de taux de cendre entre 0,80% à 0,90%.

### 6.5 Détermination de la teneur en pigments

La couleur est un facteur déterminant dans la qualité organoleptique des semoules et des pâtes alimentaires. Elle est considérablement influencée par les caractéristiques des blés mis en œuvre. Sur le plan technologique, une teneur élevée en pigments caroténoïdes, associée à des faibles activités lipoxygénasique et peroxydasiques, est recherchée dans les blés pour fabriquer des pâtes claires de couleur jaune ambrée (Icard et Feuillet, 1996).

Et selon d'autres auteurs (Feuillet et Dexter, 1996 ; Lu *et al.*, 2005) l'aspect des pâtes alimentaires est déterminé par trois groupes de paramètres : la couleur (qui résulte de la superposition d'une composante jaune et d'une composante brune), le nombre et l'origine des piqûres (piqûres brunes dues à la présence de particules de sons, piqûres noires provenant de grains mouchetés) et la texture des produits (gerçures, bulles d'air, points blancs et état de surface des pâtes sèches qui dépendent des conditions de fabrication des pâtes).

Les bases biochimiques de la composante jaune de la couleur, dont l'intensité dépend de la teneur en pigments caroténoïdes et en lipoxygénase de l'albumen, sont bien documentées. L'origine du brunissement est plus complexe et ses fondements physico-chimiques et technologiques font toujours l'objet de controverses.

Les travaux réalisés à la fin des années 60 ont montré que le brunissement des pâtes était une caractéristique variétale des blés durs mis en œuvre (Matsuo et Irvine, 1967) et que les variétés de type méditerranéen (Montferrier et Bidi 17 par exemple) possédaient des indices de brun très supérieurs à ceux de variétés d'origine nord-américaine telles que Lakota et Wells (Grignac, 1970). Les conditions de développement des blés durs sont néanmoins un facteur très important de l'expression de ce caractère.

Selon Matsuo *et al.* (1982), l'analyse de 30 variétés cultivées pendant 02 années et en 02 lieux montre que les contributions de la variété, de l'année et du lieu de culture à la variance du brunissement des pâtes sont respectivement égaux à environ 15,7%, 0,9% et 68%. Ces résultats ont été confirmés plus récemment par Autran *et al.* (1986). En particulier, pour des échantillons issus de la même variété, le brunissement est d'autant plus important que la teneur en protéine du grain est élevée (Alause et Feuillet, 1970 ; Grignac, 1970 ; Kobrehel *et al.*, 1974 ; Dexter *et al.*, 1982), mais les fondements physico-chimiques de cette relation ne sont pas connus.

Les bases moléculaires du brunissement des pâtes alimentaires demeurent mal connues. Deux hypothèses principales ont été émises : Selon Matsuo et Irvine (1967), le brunissement serait dû à la présence dans l'albumen d'une protéine cuivrique dont la teneur peut être appréciée en déterminant l'absorption à 400 nm d'un extrait aqueux de semoule.

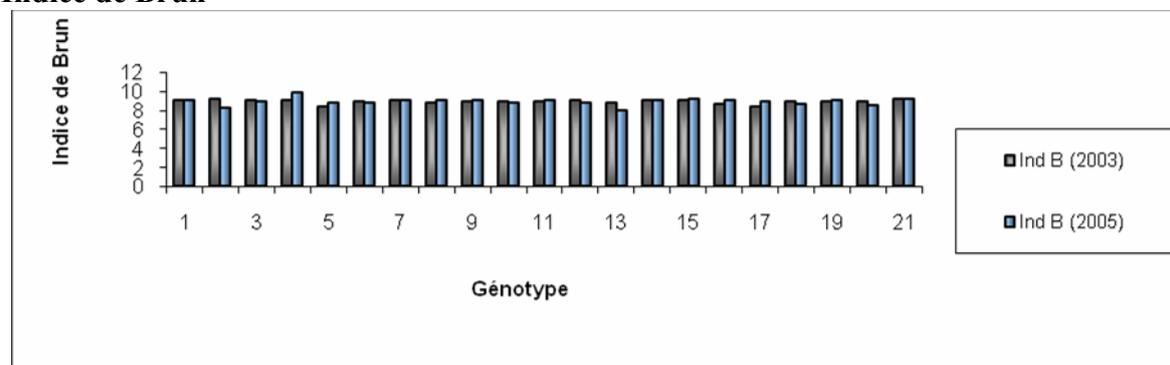
**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude  
pour l'ensemble des cultivars.**

Selon Kobrehel *et al.* (1972), la principale source de variation de l'indice de brun des variétés de blé dur est l'activité peroxydasique des semoules. On sait, d'autre part, que le brunissement des pâtes est d'autant plus marqué que la teneur en matière minérale des produits de mouture est élevée (Irvine et Anderson, 1952 ; Houliaropoulos *et al.*, 1981). De plus, le brunissement s'accroît sensiblement lorsque des températures élevées sont appliquées en cours de séchage (Feillet *et al.*, 1974), suite à l'intensification des réactions de Maillard (Pagani *et al.*, 1992).

**Etude de la distribution des indices de coloration sur les trois sites :**

**Site I. 2003 – 2005**

**Indice de Brun**



**Figure n°27 : Comparaison de l'indice de Brun des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)**

**Tableau n°29 : Analyse de la variance à un critère de classification de l'indice de brun: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	8,4191	0,2053	3,46	0,000***
Variation résiduelle	4,9819	0,0593		
Variation totale	13,4010			

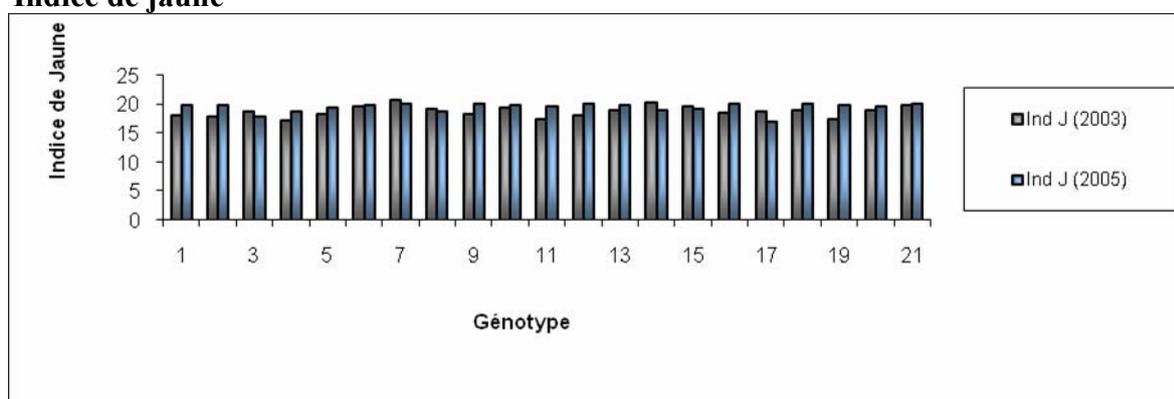
\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

Les valeurs de l'indice de brun oxilent pour la première campagne entre 8,38 et 9,22 et pour la deuxième année entre 8,83 et 9,90. La variété Duillio, s'emble être la plus stable, suivi de Polonicum et Mexicali.

L'analyse de la variance, révèle des différences très hautement significative entre les deux campagnes.

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

**Indice de jaune**



**Figure n°28 : Comparaison de l'indice de Jaune des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)**

**Tableau n°30 : Analyse de la variance à un critère de classification del'indice de jaune: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	107,636	2,625	15,47	0,000***
Variation résiduelle	14,258	0,170		
Variation totale	121,893			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

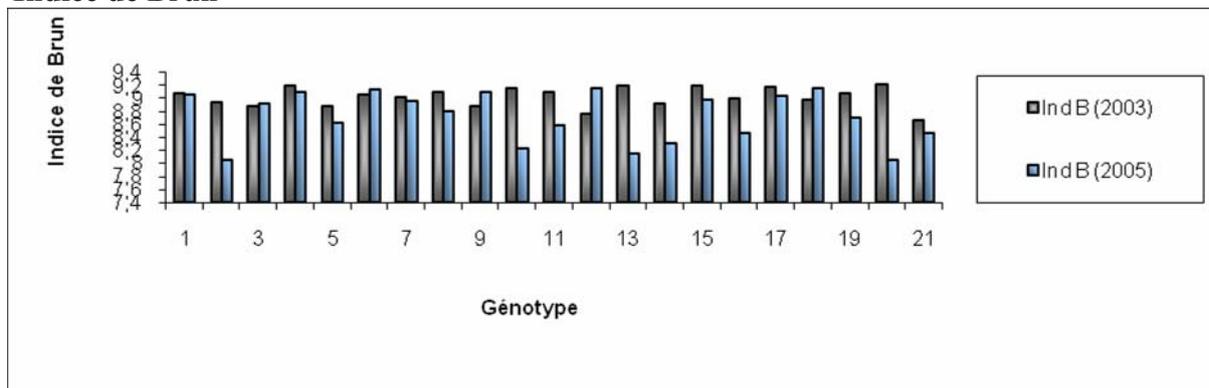
La figure n°28 représente la distribution des valeurs de l'indice de jaune des 21 variétés de blé dur sur les deux années d'essais, où l'on peut observer que les cultivars Duillio, Ofonto, Inrat 69, Mexicali et Polonicum, présentent les indices les plus élever avec un maximum de 20,67.

Les indices de jaune obtenus sont appréciable mais reste inférieurs à la valeur optimale recherché qui est de 25 (Abecassis, 1993).

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

**Site II. 2003 – 2005**

**Indice de Brun**



**Figure n°29 : Comparaison de l'indice de Brun des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)**

**Tableau n°31 : Analyse de la variance à un critère de classification de l'indice de brun: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar)**

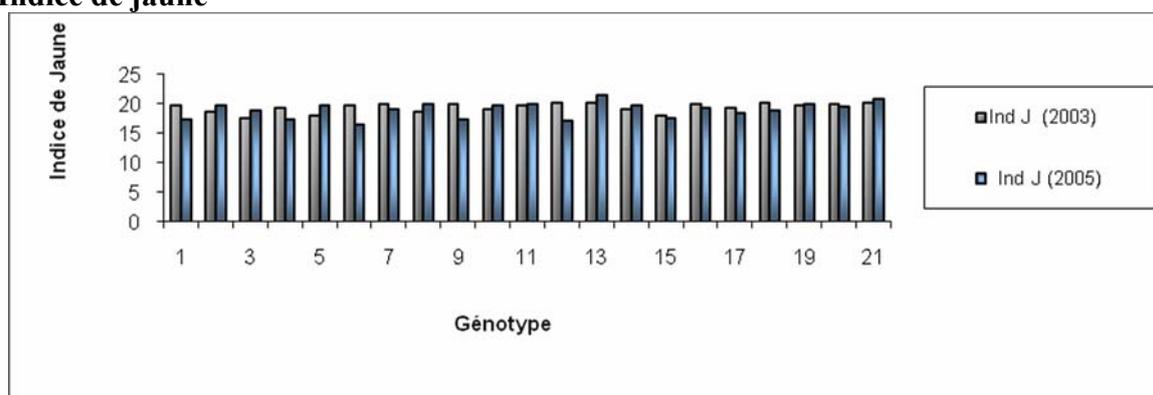
Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	13,28190	0,32395	34,97	0,000***
Variation résiduelle	0,77804	0,00926		
Variation totale	14,05994			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

La figure n° 29 nous indique que les valeurs de l'indice de brun vont de 8,06 à 9,20 pour l'ensemble des variétés sur les deux années. La variété Duilio se démarque par un indice stable et relativement bas, ainsi que Polonicum, Guemgoum R'Khrem, et le back cross Bidi 17/Waha/Bidi 17.

La aussi l'analyse de la variance fait ressortir des différences très hautement significative, entre les deux années pour le paramètres indice de brun.

## Indice de jaune



**Figure n° 30 : Comparaison de l'indice de Jaune des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)**  
**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

**Tableau n°32 : Analyse de la variance à un critère de classification de l'indice de jaune: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	141,0086	3,4392	42,93	0,000***
Variation résiduelle	6,7299	0,0801		
Variation totale	147,7385			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

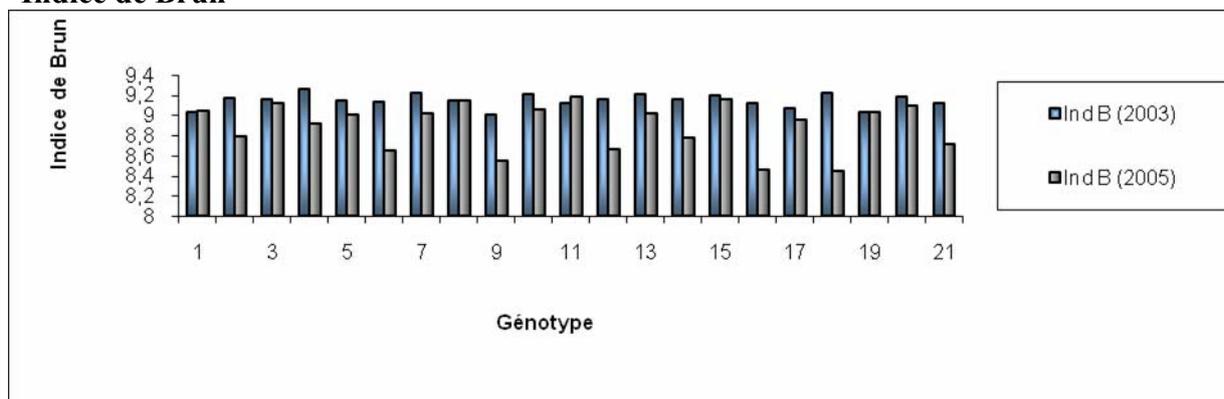
La figure 30 illustre les valeurs de l'indice de jaune obtenu sur le site Oued Smar, ces valeurs varient de 16,49 avec la variété Hedba 03 (2004/2005) et un maximum avec 21,47 chez la variété Ofonto toujours pour la deuxième campagne.

Les meilleurs indices pour les deux années sont retrouvés chez Duillio, Ofonto, Simeto, Inrat 69 et Waha.

De même que l'analyse de la variance représenté dans le tableau 32, confirme les différences entre les deux années d'essais.

## Site III. 2003 - 2005

### Indice de Brun



**Figure n°31 : Comparaison de l'indice de Brun des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbas (2003-2004-2005)**

**Tableau n°33 : Analyse de la variance à un critère de classification de l'indice de brun: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	15,18269	0,37031	78,54	0,000***
Variation résiduelle	0,39604	0,00471		
Variation totale	15,57873			

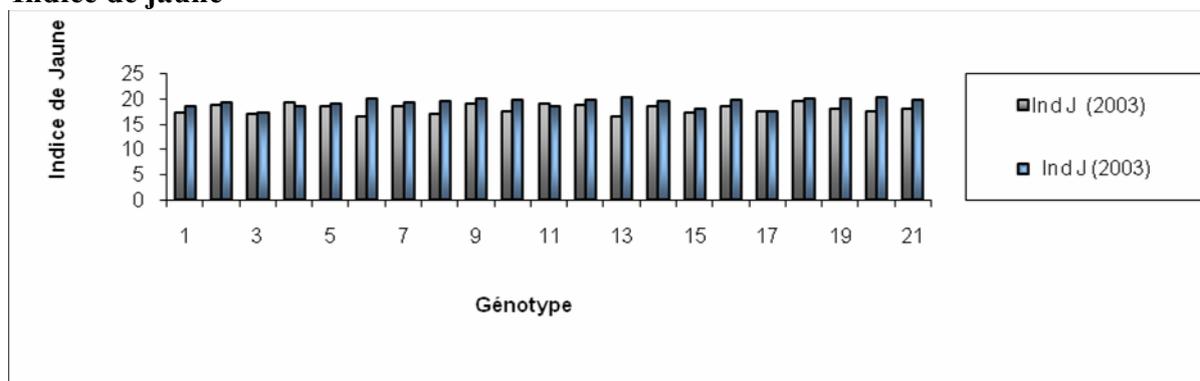
\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

Pour ce qui est du site Sidi Bel Abbas, les valeurs d'indice de brun enregistrer pour l'ensemble des cultivars tendent beaucoup plus vers le 09 que la valeur de 08. Avec des valeurs plus stables pour la majorité des variétés, tel que Bidi 17 (9,035 et 9,045), Cirta (9,162 et 9,125), Kebir (9,144 et 9,154), Montpellier (9,129 et 9,181) et Waha (9,028 et 9,038).

L'analyse de la variance basée sur la comparaison des valeurs des deux campagnes permet de mieux apprécier ces différences, en effet, il existe des différences très hautement significative. Cette variation selon Laignelet (1983) serait due à la substance responsable du brunissement de la semoule, et qui résulte d'une oxydation des pigments de couleur orangée « flavons » et jaune « caroténoïdes ». Les réactions de peroxydation des acides gras insaturés contenus dans la semoule contribuent à augmenter ce phénomène de brunissement (Icard et Feillet, 1996).

**Indice de jaune**



**Figure n°32 : Comparaison de l'indice de Jaune des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbas (2003-2004-2005)**

**Tableau n°34 : Analyse de la variance à un critère de classification de l'indice de jaune:  
Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbes)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	187,5733	4,5750	55,28	0,000***
Variation résiduelle	6,9524	0,0828		
Variation totale	194,5257			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1‰

Sur la figure 32, on observe une variation dans les valeurs de l'indice de jaune, avec un maximum de 20,21 pour la variété Ofonto (2004/2005) et un minimum de 16,41 pour la même variété (2003/2004), cette baisse et irrégularité des valeurs est observé chez la majorité des cultivars, il semblerait que la campagne 2003/2004 soit la plus favorable pour ce site et pour ce critère.

De plus l'analyse de la variance représenté dans le tableau 34, ne fait que confirmer cette variation entre les deux années pour l'ensemble des cultivars testés.

#### **Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

---

#### **Discussion :**

L'indice de jaune est essentiellement lié à la richesse de la semoule en pigments caroténoïdes présents dans la semoule et de l'activité d'enzymes lipoxygénases (Feuillet et Abecassis, 1976) susceptible de détruire les pigments au cours de la pastification. Et pour une matière première déterminée, il est possible de réduire les pertes de pigment en conduisant la mouture de manière à éviter une contamination des semoules par les germes du grain dont on connaît la teneur très élevée en lipoxygénases ainsi qu'en recherchant des conditions de fabrication qui évitent l'activité de ces enzymes.

L'indice de brun est fonction de l'activité d'une autre catégorie d'enzymes (peroxydases). Toute action visant à diminuer l'activité de celle-ci, soit par la sélection de variétés qui n'en possède que de faibles quantités, soit par la mise en œuvre de technologies appropriées (bonne purification des semoules durant la mouture, application de températures élevée en début de séchage), a un effet bénéfique sur la coloration des produits finis (Matsuo *et al.*, 1982).

Les indices de jaune pour la majorité des variétés dépassent la valeur de 16,4. Les indices de brun enregistrés pour nos variétés sont tous inférieurs à la valeur optimale de 12 souhaitée par Feuillet (2000). Les cultivars les plus stables les sites étudiés sont Duillio, Ofonto, Inrat 69 et Siméto.

Et pour chaque site :

- Duillio pour El Khroub (site I).
- Ofonto pour Oued Smar (site II).
- Vitron et Mohamed Ben Bachir pour Sidi Bel Abbes (site III).

## Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.

---

### 6.6 Les protéines

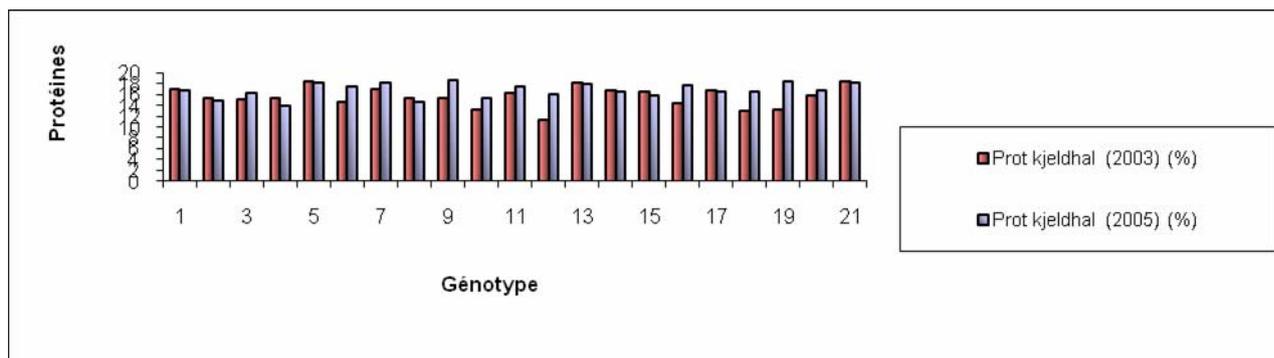
La richesse en protéines d'une semoule et les propriétés intrinsèques de celle-ci constitue un paramètre de qualité importante. Elle dépend de nombreux facteurs tels que la variété, les conditions de culture, le stade de maturité du grain. La teneur en différentes fractions protéiques d'une variété fluctue moins que la teneur en azote total car moins dépendante des variations environnementale (Royo *et al.*, 2004).

Inscrites au niveau du génome, les différentes fractions protéiques peuvent toutefois être présentes à des teneurs variables selon la nutrition azotée.

La fertilisation azotée a une incidence sur le rapport N/S qui se traduit par des variations quantitatives de la synthèse d'acides aminés soufrés comme la méthionine et la cystéine (Rharrabti *et al.*, 2001).

**Etude de la distribution des taux de protéines sur les trois sites :** Ici sont représentés les taux de protéines obtenus par la méthode Kjeldhal.

**Site I. 2003 – 2005**



**Figure n°33 : Comparaison des taux de protéines des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004-2005)**

**Tableau n°35 : Analyse de la variance à un critère de classification des taux de protéines: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site El-Khroub)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	377,627	9,210	58,70	0,000***
Variation résiduelle	13,180	0,157		
Variation totale	390,807			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

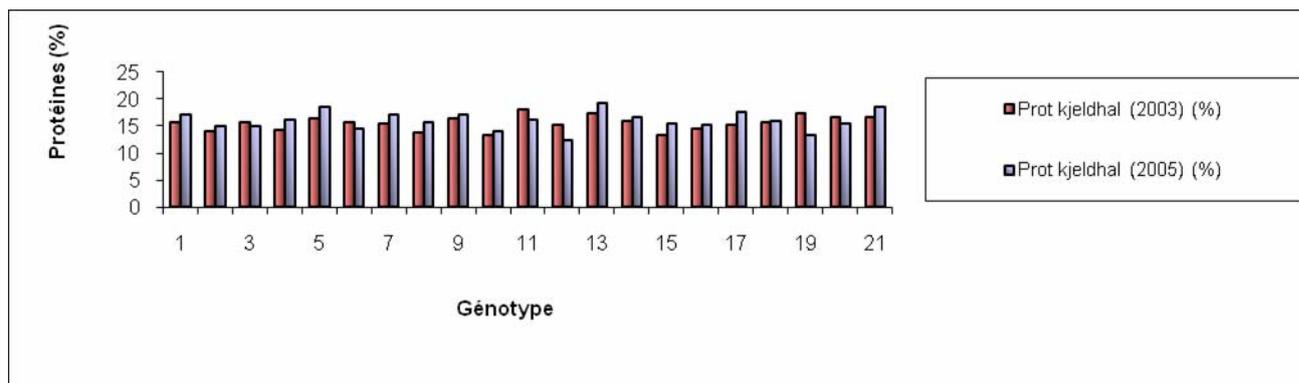
Sur la figure 33, on observe une variation de la teneur en protéines allant de 11,32% Ms pour la variété Oued Zenati (2003/2004) à 18,54 avec Guemgoum R'Khem (2003/2004). Nous remarquons que les variétés Duillio, Ofonto, Inrat 69 et Bidi 17 renferment les teneurs les plus stables et les plus élevés, alors que les variétés Oued Zenati, M.B.B., Waha et Vitron présentent des taux très instables pour ce site d'une année à l'autre.

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

---

Ces résultats très variables sont confirmés par l'analyse de la variance, pour lequel il existe des différences très hautement significatives entre les deux campagnes pour l'ensemble des cultivars.

**Site II. 2003 – 2005**



**Figure n°34 : Comparaison des taux de protéines des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004-2005)**

**Tableau n°36 : Analyse de la variance à un critère de classification des taux de protéines: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Oued Smar)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	296,6260	7,2348	156,84	0,000***
Variation résiduelle	3,8747	0,0461		
Variation totale	300,5007			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

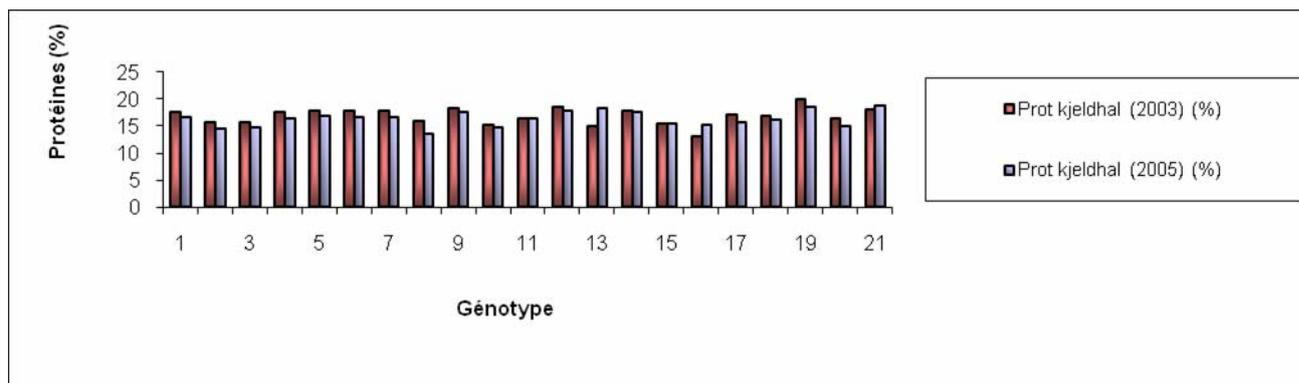
L'analyse de la figure 34, nous permet de distinguer d'une part les variétés ayant des valeurs supérieures, comme c'est le cas pour Bidi 17, Polonicum, Duillio, Montpellier, Guemgoum R'KHem et Ofonto. D'autre part celles avec des valeurs moyennes tel que ; Siméto (14,52% et 15,15%), Hedba 03 (15,66% et 14,49%), Cirta (15,66% et 14,95%). Et enfin celle qui affichent des taux instables entre années, avec Waha (17,32% et 13,23%), Oued Zenati (15,24% et 12,31%).

De plus, l'analyse de la variance, nous révèle qu'il existe des différences très hautement significative entre année pour ce site.

---

**Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.**

---



**Figure n°35 : Comparaison des taux de protéines des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbas (2003-2004-2005)**

**Tableau n°37 : Analyse de la variance à un critère de classification des taux de protéines: Comparaison entre année pour l'ensemble des variétés (site Sidi Bel Abbas)**

Source de variation	S.C.E	C.M	F <sub>obs</sub>	P
Différence entre les années	369,1266	9,0031	354,04	0,000***
Variation résiduelle	2,1361	0,0254		
Variation totale	371,2627			

\*\*\* : Très hautement significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>

Pour ce site les valeurs obtenues sur les 21 variétés sont assez semblables au deux autres sites avec un minimum de 13,11% (Simeto) et un maximum avec 19,91% (Waha).

Beaucoup de cultivars affichent des taux de protéines très appréciable tel que, Duillio, Waha, Oued Zenati, M.B.B, Bidi 17 et Polonicum. Toutefois ces valeurs restent instable d'une année à l'autre et qui confirmer par l'anova.

### Discussion :

L'azote présent dans le grain provient à 70-80% de la quantité absorbé par la plante jusqu'à la floraison, la teneur en protéine est donc, en très grande partie, déterminée par la capacité de la culture à extraire l'azote du sol pendant la période de montaison, en effet la plante n'absorbe qu'une fraction de l'azote disponible (Chung *et al.*, 2003).

Cette part est augmentée en jouant sur le fractionnement de la fertilisation si bien qu'à l'exception de conditions très particulières (plantes chétives, pluviométrie inférieure à 10mm dans les 20 au 30 jours qui suivent la date d'apport) la quantité absorbée à la floraison s'en trouve plus élevée , fractionnement modifie aussi la destination de l'azote dans la plante ceux sont les organes en croissance au moment et après l'intervention (soit la dernière feuille, l'épi..) qui l'interceptent en priorité et le transfèrent par la suite plus favorablement vers le grain (Gate *et al.*, 1996 ; Desclaux, 2005).

L'effet de la nutrition azotée sur l'accumulation des réserves protéiques des grains a été largement étudié chez les céréales. A côté des variations quantitatives, on observe des variations relatives entre classe protéique ; les principales caractéristiques envisagées étant principalement de type technologique.

Des teneurs plus élevées en azote du grain sont à la fois dues à une meilleure remobilisation de l'azote à partir des parties végétatives (acides aminés provenant de l'hydrolyse de protéines) et/ou à une meilleure assimilation directe de l'azote. Même à des stades tardifs, les mouvements d'azote des feuilles vers l'épi se poursuivent. Les différences de teneurs protéiques du grain seraient à relier aux activités des enzymes impliquées dans la dégradation des protéines des tissus végétatifs (Djekoun *et al.*, 2002)

Les résultats obtenus soulignent la diversité de comportement chez les 21 variétés de blés dur vis-à-vis de l'élaboration des protéines. Ces génotypes manifestent différentes réponses à l'assimilation de l'Azote dans les trois stations d'essais.

## 6.7 Discussion générale des résultats

L'aire de culture du blé dur s'étend des zones sub-littorales aux zones des hautes plaines et hauts plateaux. Ainsi, le blé dur occupe 50% des emblavures céréalières divisées en trois régimes d'humidité : humide, semi humide et aride, dans les hautes plaines, dans les hauts plateaux et dans les zones sub-littorales ou littorales.

A la lumière de ces données, les contraintes posées à la culture de blé dur peuvent être : Le climat, représenté par un stress hydrique en début et fin de cycle, des hautes températures (sirocco) et du froid (gelées printanières) (Chaker, 2003). La maîtrise de la fertilisation azotée et minérale et l'utilisation des techniques appropriées contribuent à une qualité supérieure des blés produits et cela, afin de permettre au grain l'élaboration de sa vitrosité.

Annicchiarico *et al.*, 2005, affirment que le blé dur est confronté à un défaut de stabilité de qualité technologique et commerciale, due notamment aux variations de critères importants tel que le mitadin (pénalisant la valeur semoulière) et la moucheture (dépréciant l'aspect des pâtes alimentaires). C'est un obstacle pour développer des systèmes de cultures à faibles intrants ou biologiques. Pour s'orienter vers des variétés à qualité plus stables dans les conditions locales, il faut : (i) préciser les déterminants environnementaux de ces critères et les niveaux de risques par zone ; (ii) mieux connaître les bases génétiques et physico-chimiques ; (iii) développer des outils de mesure de routine précises.

La moucheture du blé dur se caractérise par des plages de coloration brune ou noire sur les grains mûrs. Pour les industriels, seules les taches colorées localisées dans le sillon et couvrant plus du quart du sillon (réglementation CEE 1908-84) sont pénalisantes car elles peuvent se retrouver dans la semoule et dans les pâtes alimentaires. La dépréciation de la valeur marchande des lots de blés durs peut être très importante avec des réflexions de prix, voire des refus de lots présentant des taux de moucheture supérieurs à 5%. Ce % correspond au poids des grains mouchetés par rapport au poids total de l'échantillon.

La moucheture est provoquée par trois agents : conditions abiotiques, thrips et *M. Nivale*. La coloration et l'intensité des taches varient selon l'agent, les attaques de thrips provoquant les plus forts taux (Desclaux et Poirier, 2004).

Le mitadin. Selon le règlement communautaire n° 824/2000 du 19 avril 2000, un grain mitadiné est un "*grain dont l'amande ne peut être considérée comme pleinement vitreuse*". Le mitadin est un accident physiologique fréquent qui se traduit par un changement de texture de l'albumen du grain. Les grains de blé mitadinés présentent des zones farineuses et opaques dans un ensemble vitreux alors que les grains de blé normaux apparaissent totalement vitreux et translucides. Le taux de mitadin (exprimé en %) indique le nombre de grains partiellement ou totalement farineux dans un lot de grains. S'il est trop élevé, le rendement semoulier chute. La qualité commerciale type indique que moins de 20 % des grains doivent être mitadinés, au-delà de 40 %, le blé dur est vendu au prix du blé tendre (Desclaux, 2005).

Si l'on fait une comparaison entre les variétés cultivées dans les stations expérimentales durant les deux campagnes, on constate une sensibilité des variétés au mitadinage les rendant, dans les zones littorales et sub-littorales, inaptés à la transformation.

La production de lots de blé dur ayant des taux de mitadin ou de moucheture acceptables pour la filière est un objectif majeur. Pour parvenir à cela, deux voies doivent être explorées : la recherche de variétés adaptées et la conception de pratiques agronomiques compatibles. A partir de là, l'objectif de ce travail est d'une part, de parvenir à un diagnostic permettant d'identifier les principaux facteurs limitants de la qualité et d'autre part, de travailler conjointement (i) à l'amélioration des connaissances sur les déterminants génétiques et environnementaux des critères de qualité, (ii) au développement d'outils d'aide à la sélection et au diagnostic, et enfin (iii) au transfert de ces connaissances.

Les valeurs obtenues pour le mitadin indiquent que ce caractère peut être amélioré par la sélection et qu'il est possible de travailler sur ce caractère de façon relativement indépendante de la teneur en protéines, celle-ci n'expliquant qu'environ la moitié de la note de mitadin.

Le critère "moucheture" étant du même niveau d'héritabilité que la variable "poids de 1000 grains", un progrès génétique peut également être attendu dans le cas d'une sélection prenant en compte ce critère.

Néanmoins, une part importante de la variance de ces caractères reste sous dépendance environnementale. Il est nécessaire d'identifier parmi les facteurs environnementaux ceux qui sont le plus à même d'affecter les 2 critères de qualité.

Il était nécessaire de replacer le rôle des conditions abiotiques et notamment celui de l'interaction hygrométrie x température par rapport aux autres causes incriminées dans la littérature : les insectes et les champignons. Les insectes : thrips (*Haplothrips tritici*), seraient capables de provoquer la moucheture du blé par la présence des jeunes larves se glissant dans le sillon du grain et piquant le péricarpe au moment où le grain atteint l'état laiteux (Bournier et Bernaux 1971).

## Chapitre 06 Comparaison des résultats obtenus sur les zones d'étude pour l'ensemble des cultivars.

---

Le développement récent de champignons tels *Microdochium nivale*, appartenant à la famille des *Fusarium*, semblerait corrélé à des niveaux importants de moucheture (Caron 2000).

Les conditions climatiques identifiées comme étant les plus favorables à l'apparition de la moucheture se révèlent être aussi les plus favorables au développement de champignons tels *M. nivale* et également à la prolifération d'insectes piqueurs tels les thrips. On peut donc émettre comme hypothèse que les conditions abiotiques ne sont pas la cause directe de la moucheture mais une des causes indirectes. Dans le but de vérifier cette hypothèse, il était nécessaire de mobiliser des compétences de pathologie et d'entomologie en associant de nouveaux chercheurs au projet. Les expérimentations mises en place en serre et en enceinte climatique ont permis de contrôler au mieux les conditions environnementales nécessaires à la prolifération des insectes ou au développement du champignon (Desclaux *et al.*, 2005).

En ce qui concerne l'évaluation de la couleur, elle repose essentiellement sur la mesure par tristimulus en retenant les composantes «L» et «b», définies par la convention International de l'Eclairage. Et à cet égard il faut prêter attention aux points suivants :

- Les coordonnées trichromatiques sont fonction du type d'éclairage, de la sphère de réflectance du matériel retenu, du modèle et du fabricant considérés, et enfin du système de coordonnées représentées conventionnellement par les indices L, a, b, ou L\*, a\*, b\*.
- De nombreuses publications (Autran, 1981 ; Feuillet et Dexter, 1996 ; Lu *et al.*, 2005 ) ont été faites sur l'influence de certains facteurs environnementaux et structural sur la couleur.

Nos conclusions préliminaires sur les premières observations :

Plus un blé (une semoule), contient de protéines, pour une variété considérée, plus la quantité de 'pigment jaune' est élevée. La quantité de «pigments jaunes' est une caractéristique variétale importante. Quant à L'indice brun qui est une composante variétale mais surtout phénotypique ; elle est par conséquent très influencée par les conditions du milieu (facteurs climat, sol, techniques culturales etc...).

En ce qui concerne les résultats de l'azote total obtenu sur nos cultivars, les variations entre année et site peuvent être expliquées par les interactions humidité du sol x fertilisation azotée ; en effet si l'on revient au rendement du blé, il est dépendant non seulement des disponibilités en eau du sol mais également de la fertilisation azotée. Lorsque les précipitations sont suffisantes et bien distribuées, l'azote devient le facteur majeur limitant le rendement en grain et l'élaboration des protéines (Zerargua, 1991 ; Ghouar, 2006).

Sous climat méditerranéen et en culture pluviale, le problème de base, en ce qui concerne la nutrition minérale, est celui d'ajuster les apports d'engrais au régime pluviométrique sous lequel la culture est censée croître. Même sous conditions de stress hydrique, le déficit en

éléments fertilisants conduit à une sous utilisation de l'eau. Et l'apport de l'azote augmente généralement le nombre de grains/m<sup>2</sup>, le nombre d' épis/m<sup>2</sup> et la fertilité mais le poids de 1000 grains ne varie pas (Ait kaki, 1993 ; Benbelkacem, 1996).

---

## Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque génotype aux différents milieux.

---

### Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque génotype aux différents milieux.

#### Introduction

Les caractéristiques analysées des grains jouent d'une façon très significative dans la technologie de leur transformation. L'influence de ces caractéristiques se fait sentir directement au cours du broyage ou de la mouture. Elle peut se répercuter aussi, lors de l'utilisation du produit transformé, sur les valeurs boulangère, pastière, amidonnière et nutritionnelle (Royo *et al.*, 2004).

D'autre part, si cet état physique des grains et de leurs dérivés conditionne leur comportement au cours de la transformation mécanique, il ne faut pas oublier que cet état est, par ailleurs, très souvent lié à la composition chimique des grains qui découle elle-même de l'origine génétique (espèce, variété) et des conditions culturales. Il s'agit donc presque toujours d'un ensemble de caractéristiques physico-chimiques et technologiques.

**7.1 Sélection variétale :** Au cours de chaque campagne céréalière les tests réalisés pour l'évaluation de la qualité du matériel végétal sont les suivants : (i) le poids de mille grains (g) ; (ii) Le rendement (Qx/h) ; (iii) le rendement semoulier (%) ; (iv) le mitadinage (%) ; (v) la teneur en protéines totales (N x 5.7 en %/ms) ; (vi) la teneur en pigments caroténoïdes (ppm).

Les résultats exposés sur les trois tableaux (38, 39, 40) suivants concernent les moyennes des récoltes successives des deux années (2003/2004 – 2004/2005).

#### a) Le rendement (qx/h) :

La comparaison des performances génotypiques dans des environnements favorables et non favorables à l'expression de hauts rendements en grains est souvent utilisée pour identifier les génotypes tolérants et productifs (Benbelkacem *et al.*, 2002). Cette approche vise à minimiser les baisses de rendements en grains dans l'environnement non favorable relativement aux rendements obtenus en milieu favorables.

---

### Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque génotype aux différents milieux.

---

En analysant les rendements au cours des deux campagnes et en comparant les variétés entre-elles, nous pouvons conclure que :

**Pour l'année 2003/2004 :** C'est la variété Waha qui a donné le meilleur rendement moyen avec 32,10 qx/h, alors que la variété Cirta réalise le plus faible rendement étant de 24,59 qx/h.

Pour la région d'El Krhoub (altitude moyenne), ce sont les variétés ; Waha (38,56 qx/h), Duillio (36,22 qx/h), M.B.B (36,86 qx/h), Ofonto (36,04 qx/h), et Inrat 69 (33,75 qx/h) qui réalisent les rendements les plus élevés, en contre partie la variété Cirta donne le rendement le plus faible (21,31 qx/h).

Pour la région de Oued Smar (plaine littorale), les meilleurs rendements sont pour M.B.B (34,68 qx/h), Ofonto (32,50 qx/h), Waha (32,93 qx/h) et Duillio (31,63 qx/h), pour ce qui est de la valeurs la plus faible, elle concerne toujours la variété Cirta (23,81 qx/h).

En ce qui concerne la troisième zone, Sidi Bel Abbes (altitude moyenne), ce sont les cultivars Siméto (34,24 qx/h) et le back cross Bidi 17/Waha/Bidi 17 (32,76 qx/h) qui donnent les rendements moyens les plus appréciables. Les valeurs les plus faibles en été ont été obtenus avec Ofonto (19,29 qx/h) et Mexicali (19,42 qx/h).

---

### Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque génotype aux différents milieux.

---

**Pour l'année 2004/2005 :** Les rendements moyens enregistrés au cours de cette année varient entre 33,61 qx/h pour la variété M.B.B. et 24,47 qx/h pour la variété Oued Zenati.

Pour le site I, El Khroub, Les variétés Ofonto, M.B.B et Duillio ont données les meilleurs rendements, et la variété Cirta a donné le rendement le plus faible (24,84 qx/h).

Le site II, Oued Smar, on retrouvent toujours M.B.B et pour ce site Sahel avec les meilleurs rendements, la variété Oued Zenati quant a elle présente la moyenne la plus faible avec 21,66 qx/h.

Enfin, le site III, Sidi Bel Abbes, le meilleur rendement est pour la variété M.B.B (32,98 qx/h), pour les taux les plus faibles ils concernent les variétés Waha (21,26 qx/h) et Polonicum (21,41 qx/h.).

La variabilité est peu importante, et les moyennes des essais permettent de dégager deux groupes :

1. Le groupe des variétés productives, supérieures à la moyenne comprend :

- M.B.B : 33,33 qx/h / 33,61 qx/h.
- Duillio : 33,25 qx/h / 32,20 qx/h.
- Ofonto : 29,27 qx/h / 31,02 qx/h.
- Siméto : 33,78 qx/h / 25,91 qx/h.

Ces variétés sont assez précoces et conviennent mieux aux conditions du milieu. Elles ont un potentiel de rendement plus élevé. La variété Polonicum, plus tardive par rapport a Cirta (semi précoce), et présente une excellente couverture végétale.

2. Le groupe des variétés relativement à productivités moyennes est :

- Mexicali : 27,01 qx/h / 25,65 qx/h.
- Kebir : 26,20 qx/h / 30,71 qx/h.
- Cirta : 24,60 qx/h / 25,70 qx/h.

La variété Inrat 69 est sensible à la verse, elle pourra être meilleur à condition d'agir sur la verse (régulateurs de croissance). Et la variété semi précoce Mexicali présente un potentiel de rendement légèrement inférieur à Vitron, mais recèle des qualités d'adaptation et de comportement très intéressantes.

L'avantage des semis précoces (novembre) sur les semis tardifs (décembre) peut s'expliquer par le fait que les semis subissent l'effet des basses températures à la surface du sol. La levée est entravée et la durée de la phase tallage est plus courte. Aussi la maturité est retardée, et coïncide avec la période de sécheresse. Les essais futurs doivent être reconduits avec les groupes à fort potentiel de rendement.

---

#### **Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque génotype aux différents milieux.**

---

Ces variations de rendement d'une année à l'autre et d'un site à un autre pour une même variété trouvent leurs explications dans les points suivants :

- La variation du potentiel génétique qui diffère d'un cultivar à l'autre.
- L'effet de l'agro climat qui englobe aussi bien l'effet du biotope ainsi que la conduite de la culture et ses techniques

- Les événements phréologiques qui ne subissent pas les mêmes décades.

## **b) Le taux d'extraction (rendement semoulier)**

La mouture expérimentale réalisée sur les 21 variétés de blé dur, nous donne respectivement au broyage, des rendements en semoules, en farines et en sons. Après sassage, on obtient les rendements en semoules pures, en refus de sassage et en farines d'aspiration. Selon Feuillet (2000), le rendement moyen en semoule obtenu à partir du blé dur, se situe entre 68 – 75%. Nos résultats groupés dans le tableau 39, illustrent les résultats des rendements en semoule pure obtenue pour chaque variété de blé dur durant les deux campagnes et sur les trois sites. On remarque que les variétés Duillio, Ardente, Waha, Vitron et Siméto, présentent les rendements semouliers les plus importants.

---

### **Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque génotype aux différents milieux.**

---

Alary *et al.*, 1985, expliquent que les difficultés rencontrées par le semoulier pour épuiser les sons sont très fortement liées à la facilité de séparer l'albumen des enveloppes. Une liaison très intime entre l'albumen et les couches périphériques du grain aura pour effet de diminuer le rendement semoulier ou d'augmenter les piqûres dans les semoules. Il s'agit d'une caractéristique particulièrement importante qui n'est guère possible d'évaluer par des tests indirects et que seule la mouture d'essai permet d'apprécier. De même, Benbelkacem (1996), signale que dans la plupart des cas, ces rendements en semoules obtenus par des micros moutures ne sont nullement comparables à ceux obtenus dans les industries semoulières, mais une mouture d'essai au laboratoire semble la meilleure méthode de détermination de la valeur semoulière.

Enfin, Feuillet (2000), affirme que deux (ou plus) semoules de même teneur en matériel azoté ne manifesteront pas nécessairement les mêmes aptitudes sur le plan technologique. Cette teneur dépend des conditions agro-alimentaires de développement de la plante, notamment l'alimentation en eau (sécheresse, irrigation) de la fertilisation azotée et des variétés cultivées.

Il est important de signaler également que la teneur en protéines des différentes variétés varie aussi en fonction du rendement en semoules pures. Dans l'ensemble, plus le rendement en semoules pures est élevé et plus la teneur en protéines est élevée. On notera que, malgré les différences considérables de comportement, entre les différents échantillons, la valeur semoulière de chaque variété est satisfaisante, pouvant donner des produits finis de bonne qualité.

**7.2 Effet variétal sur la qualité :** Les variétés de blé dur cultivées actuellement en Algérie se caractérisent en moyenne par une bonne qualité (tableau 40). Toutefois, dans quelques cas des soucis sérieux sont causés par le mitadinage et le lavage du grain.

---

## Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque génotype aux différents milieux.

---

**Discussion :** les conclusions suivantes peuvent être émises :

### Campagne 2003/2004

- Le taux de mitadinage : Les teneurs moyennes des blés durs atteints 11,76%, cette valeur est satisfaisante compte tenu des teneurs en protéines moyennes observées cette année. Il semble que les conditions climatiques de la fin de campagne aient permis la compensation du défaut d'absorption d'azote et favorisé ainsi l'obtention d'un taux de mitadinage satisfaisant et d'une très bonne qualité technologique.
- Les taux de cendre : Le taux de cendre est très appréciable avec une moyenne de 0,88%.
- La teneur en protéines : La teneur moyenne des protéines des blés durs est de 16,02%. Les cultivars ont souffert d'un défaut d'absorption de l'azote jusqu'à la floraison (Site III). Cet état s'explique principalement d'une part, par un mauvais enracinement lié à des sols en excès d'eau et appauvris superficiellement en azote par lessivage ; d'autre part, le processus de minéralisation de l'azote a été fortement réduit par des températures basses à une période où les besoins de la plante sont importants.

---

## Chapitre 07 : Etude de la réponse de chaque génotype aux différents milieux.

---

- Ultérieurement, et sous l'effet de températures élevées, la fin de la montaison a été très rapide, ne permettant pas aux cultures de compenser le défaut d'absorption de l'azote.

Le niveau de teneur en protéines des blés résulte donc de la limitation de leur synthèse et de leur dilution dans une quantité importante de matière sèche (Annicchiarico *et al.*, 2005).

- Le poids de 1000 grains : La valeur moyenne du PMG est de 50,70 g/ms, valeur très appréciables.

#### Campagne 2004/2005

- Le taux de mitadinage : Plus élevé que la campagne précédente avec 14,17%.
- Les taux de cendre : La moyenne est de 0,86%, ce bon résultat est observé pour la quasi-totalité des variétés analysées.
- La teneur en protéines : Très proche de la campagne précédente avec 16,52%.
- Le poids de 1000 grains : pour cette campagne il est de 56,59 %.

En ce qui concerne le poids de mille grains et d'après les résultats obtenus sur les 03 sites, Les moyennes variétales nous permettent de distinguer trois groupes de variétés :

- Des variétés dite rustiques, dont le rendement est supérieur à la moyenne de l'essai (ou proche de celle-ci) en conditions difficiles, mais très inférieur à la moyenne en conditions favorables, ce qui se traduit par un PMG moyen (tous sites confondus) faible. Il s'agit de variétés locales telles que Kebir, Tell 76 et Cirta.

- Des variétés à comportement dite intermédiaire, dont les rendements sont, dans tous les milieux, proches du PMG moyen de l'essai, on trouve dans ce groupe les variétés Inrat 69, Polonicum, Montpellier et Hedba 03.

- Des variétés productives, à adaptation large, caractérisées par des valeurs de PMG supérieurs à la moyenne dans tous les milieux, et par une très bonne réponse à l'optimisation des conditions environnementales, les variétés correspondant à ce comportement sont : Duillio, Ofonto, Siméto, M.B.B, et Vitron.

### **7.3 Effet de l'environnement sur la qualité : Appréciation des variétés**

Une variété est choisie pour la régularité des résultats qu'elle donne dans une région. Etant donné que « les années climatiques se suivent mais ne se ressemblent pas », il est indispensable de tenir compte de références pluriannuelles plutôt que de ne considérer qu'un résultat annuel (Bouzerzour et Djekoun, 1996).

Le poids de mille grains, le mitadinage et la teneur en protéines ont une relation directe avec le rendement semoulier. Les teneurs en protéines totales sont associées surtout à la qualité des produits finis. Par ailleurs, au cours de la sélection une attention particulière est donnée au mitadinage qui déprécie d'une façon significative la qualité du grain quand il dépasse des pourcentages variant entre 12 et 15%.

Des travaux précédents (Baldy, 1993b ; Ghouar, 2006) sur les effets « azote », variété et interaction, azote x variété sont apparus significatifs vis-à-vis du mitadinage, en effet les variétés Oued Zenati, Bidi 17, Hedba 03, Montpellier et Capeiti font apparaître une baisse significative du taux de mitadinage dès l'apport supplémentaire de 60 Unité d'azote contrairement à d'autres variétés testés (entre autre Inrat 69) qui ne réagissent qu'à des dose de 120 Unité d'azote.

La sélection pour l'adaptation vise à améliorer le niveau de productivité dans les environnements peu favorables à l'expression de hautes rendements de meilleure qualité et vise aussi à réduire la variabilité de ces rendements lorsqu'on passe d'un environnement favorable à un autre peu ou moins favorable (Benbelkacem *et al.*, 2002).

Et dans ce contexte, la variance d'interaction génotype x environnement (G x E) qui caractérise chaque génotype étudié est importante à déterminer.

Selon Demarly et Picard (1995), les phénotypes sont plus ou moins représentatifs du génotype. Ce dernier subi nombre d'interactions et de transformations sous l'action du milieu environnant.

Et une des équations de base de la génétique est :

$$\text{Phénotype} = \text{effets du génotype} + \text{effets du milieu} + \text{interactions génotypes milieu.}$$

Le terme, interactions génotype x milieu, est ajouté pour signifier que les effets du génotype et ceux du milieu ne sont pas strictement additifs, et l'importance de l'interaction est liée à la diversité des milieux représentés dans la base de données analysée (Desclaux, 2005).

Les données ont été analysées à l'aide d'un modèle de variance à 02 facteurs « année et milieu » (Modèle linéaire généraliser) les observations sont regrouper dans les tableaux 41, 42, 43 et 44. Les analyses de la variance sont effectuées par site, entre sites pour une même année, par site sur les deux années et entre sites et années.

Tableau n° 41 : Modèle linéaire généraliser pour le rendement semoulier :  
Effet Année x Site

Variétés	Année	Site	Année x Site
Bidi 17	48,62 <sup>***</sup>	93,94 <sup>***</sup>	79,47 <sup>***</sup>
Bidi17/Waha/Bidi 17	00,05 <sup>ns</sup>	04,62 <sup>*</sup>	03,17 <sup>*</sup>
Cirta	01,74 <sup>*</sup>	33,24 <sup>***</sup>	67,65 <sup>***</sup>
Gloire de Montgolfier	48,12 <sup>***</sup>	07,83 <sup>**</sup>	41,53 <sup>***</sup>
Guemgoum R'Khrem	71,00 <sup>***</sup>	98,26 <sup>***</sup>	104,56 <sup>***</sup>
Hedba 03	42,43 <sup>***</sup>	61,44 <sup>***</sup>	100,04 <sup>***</sup>
Inrat 69	44,04 <sup>***</sup>	12,02 <sup>**</sup>	08,83 <sup>**</sup>
Kebir	00,68 <sup>ns</sup>	01,14 <sup>ns</sup>	00,66 <sup>ns</sup>
Mohamed Ben Bachir	50,13 <sup>***</sup>	48,64 <sup>***</sup>	46,24 <sup>***</sup>
Mexicali	01,41 <sup>ns</sup>	01,33 <sup>ns</sup>	01,10 <sup>ns</sup>
Montpellier	02,49 <sup>ns</sup>	07,66 <sup>**</sup>	05,87 <sup>*</sup>
Oued Zenati	10,88 <sup>**</sup>	02,57 <sup>ns</sup>	00,92 <sup>ns</sup>
Ofonto	09,37 <sup>*</sup>	00,52 <sup>ns</sup>	55,29 <sup>***</sup>
Polonicum	04,39 <sup>*</sup>	06,89 <sup>*</sup>	12,91 <sup>**</sup>
Sahel	00,13 <sup>ns</sup>	21,40 <sup>***</sup>	30,89 <sup>***</sup>
Simeto	02,04 <sup>ns</sup>	01,55 <sup>ns</sup>	01,24 <sup>ns</sup>
Tell 76	56,72 <sup>***</sup>	18,29 <sup>***</sup>	06,50 <sup>*</sup>
Vitron	90,63 <sup>***</sup>	226,40 <sup>***</sup>	225,61 <sup>***</sup>
Waha	14,58 <sup>**</sup>	01,89 <sup>ns</sup>	18,64 <sup>***</sup>
Ardente	07,44 <sup>*</sup>	81,03 <sup>***</sup>	25,38 <sup>***</sup>
Duillio	00,47 <sup>ns</sup>	17,23 <sup>***</sup>	15,25 <sup>**</sup>

\* : Significatif au seuil de 5%.

\*\* : Hautement Significatif au seuil de 1%

\*\*\* : Très Hautement Significatif au seuil de 1%.

ns : Non Significatif.

Tableau n° 42 : Modèle linéaire généraliser pour le poids de mille grains :  
Effet Année x Site

Variétés	Année	Site	Année x Site
Bidi 17	01,09 <sup>ns</sup>	02,69 <sup>ns</sup>	00,27 <sup>ns</sup>
Bidi17/Waha/Bidi 17	07,04 <sup>*</sup>	19,06 <sup>***</sup>	28,80 <sup>***</sup>
Cirta	01,86 <sup>ns</sup>	11,22 <sup>**</sup>	06,32 <sup>*</sup>
Gloire de Montgolfier	01,49 <sup>ns</sup>	05,51 <sup>*</sup>	33,77 <sup>***</sup>
Guemgoum R' Khrem	00,57 <sup>ns</sup>	00,64 <sup>ns</sup>	05,11 <sup>*</sup>
Hedba 03	57,50 <sup>***</sup>	25,30 <sup>***</sup>	06,53 <sup>*</sup>
Inrat 69	459,96 <sup>***</sup>	235,79 <sup>***</sup>	193,88 <sup>***</sup>
Kebir	00,10 <sup>ns</sup>	01,94 <sup>ns</sup>	01,79 <sup>ns</sup>
Mohamed Ben Bachir	43,64 <sup>***</sup>	107,86 <sup>***</sup>	08,08 <sup>*</sup>
Mexicali	225,10 <sup>***</sup>	1047,41 <sup>***</sup>	49,56 <sup>***</sup>
Montpellier	02,60 <sup>ns</sup>	14,08 <sup>**</sup>	28,07 <sup>***</sup>
Oued Zenati	00,71 <sup>ns</sup>	00,11 <sup>ns</sup>	05,11 <sup>*</sup>
Ofonto	00,33 <sup>ns</sup>	07,24 <sup>**</sup>	19,05 <sup>***</sup>
Polonicum	02,05 <sup>ns</sup>	01,22 <sup>ns</sup>	00,52 <sup>ns</sup>
Sahel	01,62 <sup>ns</sup>	00,25 <sup>ns</sup>	05,30 <sup>*</sup>
Simeto	00,03 <sup>ns</sup>	00,11 <sup>ns</sup>	00,57 <sup>ns</sup>
Tell 76	03,17 <sup>ns</sup>	09,26 <sup>**</sup>	02,08 <sup>ns</sup>
Vitron	01,49 <sup>ns</sup>	01,59 <sup>ns</sup>	03,52 <sup>*</sup>
Waha	40,15 <sup>***</sup>	14,76 <sup>**</sup>	02,98 <sup>*</sup>
Ardente	00,04 <sup>ns</sup>	13,30 <sup>**</sup>	04,02 <sup>*</sup>
Duillio	02,69 <sup>ns</sup>	02,75 <sup>ns</sup>	00,60 <sup>ns</sup>

\* : Significatif au seuil de 5%.

\*\* : Hautement Significatif au seuil de 1%

\*\*\* : Très Hautement Significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>.

ns : Non Significatif.

**Tableau 43 : Modèle linéaire généraliser pour les taux de protéines :  
Effet Année x Site**

Variétés	Année	Site	Année x Site
Bidi 17	04,26*	32,66***	40,22***
Bidi17/Waha/Bidi 17	06,09*	72,32***	77,94***
Cirta	00,75 <sup>ns</sup>	13,03**	38,10***
Gloire de Montgolfier	29,53***	501,68***	317,75***
Guemgoum R'Khrem	340,70***	149,12***	252,31***
Hedba 03	11,32**	18,55***	121,01***
Inrat 69	32,52***	45,52***	37,10***
Kebir	16,11**	55,97***	75,46***
Mohamed Ben Bachir	49,73***	15,84***	82,64***
Mexicali	27,06***	37,67***	127,61***
Montpellier	05,91*	14,26**	49,50***
Oued Zenati	47,58***	27,50***	226,33***
Ofonto	117,52***	191,12***	583,45***
Polonicum	04,92*	31,72***	29,43***
Sahel	69,24***	13,34**	17,77***
Simeto	15,93**	02,92*	01,43 <sup>ns</sup>
Tell 76	04,27*	23,72***	15,66***
Vitron	18,32**	03,14*	123,44***
Waha	295,66***	56,46***	122,40***
Ardente	12,20**	04,57*	46,69***
Duillio	73,43***	30,66***	52,10***

\* : Significatif au seuil de 5%.

\*\* : Hautement Significatif au seuil de 1%

\*\*\* : Très Hautement Significatif au seuil de 1%.

ns : Non Significatif.

**Tableau n° 44 : Modèle linéaire généraliser pour les taux de mitadinage :  
Effet Année x Site**

Variétés	Année	Site	Année x Site
Bidi 17	03,54*	11,46**	15,99***
Bidi17/Waha/Bidi 17	55,89***	13,08**	16,48***
Cirta	04,38*	01,20 <sup>ns</sup>	00,27 <sup>ns</sup>
Gloire de Montgolfier	02,73 <sup>ns</sup>	05,63*	31,99***
Guemgoum R'Khrem	25,08***	10,58**	06,24*
Hedba 03	66,78***	29,73***	10,56**
Inrat 69	57,24***	19,33***	20,09***
Kebir	124,80***	45,56***	24,09***
Mohamed Ben Bachir	19,16**	12,24**	73,79***
Mexicali	176,36***	107,16***	39,15***
Montpellier	17,50**	01,57 <sup>ns</sup>	09,60**
Oued Zenati	130,76***	03,45*	35,65
Ofonto	50,77***	23,24***	00,94 <sup>ns</sup>
Polonicum	24,67***	18,14***	18,86***
Sahel	85,25***	29,62***	19,09***
Simeto	01,04 <sup>ns</sup>	01,46 <sup>ns</sup>	04,25*
Tell 76	01,83 <sup>ns</sup>	22,79***	70,01***
Vitron	66,75***	06,44*	46,24***
Waha	24,24***	00,26 <sup>ns</sup>	55,58***
Ardente	112,76***	02,18 <sup>ns</sup>	05,46*
Duillio	11,27**	05,30*	19,15***

\* : Significatif au seuil de 5%.

\*\* : Hautement Significatif au seuil de 1%

\*\*\* : Très Hautement Significatif au seuil de 1%<sub>0</sub>.

ns : Non Significatif.

**Discussion :**

L'analyse de la variance à deux critères de classification, montre des effets génotypiques significatifs pour l'ensemble des caractères mesurés, cet effet significatif indique que les variétés étudiées pour les trois zones ciblées diffèrent pour la plupart pour les critères mesurés. Pour le rendement, le taux de protéines et le taux de mitadinage, la variation interannuelle est forte et amplifie la variation inter locale. Et en synthétisant l'information apportée par les différents tableaux, les cultivars peuvent être divisés en 02 groupes principaux pour chaque caractère.

Variabilité des rendements semoulier (tableau 41):

- Les génotypes qui réagissent moins à la variation environnementale sont Kébir, Mexicali, Oued Zenati, Simeto et Bidi17/Waha/Bidi17.
- Les génotypes qui varient fortement en fonction de la variation environnementale sont Bidi 17, Cirta, Hedba 03, M.B.B., Gloire de Montgolfier, Guemgoum R'Khrem, Ofonto, Vitron, Waha et Ardente.

Variabilité du poids de mille grains (tableau 42):

- Les variétés qui présentent une stabilité générale, sont Duillio, Simeto, Bidi 17, Kebir, Tell 76 et Polonicum.
- Et des variétés instables au cours des deux campagnes qui se caractérisent par des moyennes interannuelles variantes, on retrouve Bidi 17/Waha/Bidi17, Gloire de Montgolfier, Inrat 69, Mexicali, Montpellier et Ofonto.

Variabilité des teneurs en protéines (tableau 43)

- Un effet très hautement significative pour chaque cultivars pour l'effet année x site à été observé pour ce paramètre, en revanche une seule variété « Simeto » présente aucun effet significatif entre année x site et un effet hautement significatif entre année.
- En termes de somme des carrés des écarts, l'effet 'environnement' explique l'essentiel de la variation observée pour la teneur en protéines.

Variabilité de la sensibilité au mitadinage (tableau 44):

- L'analyse de la variance des taux de mitadinage, indique des effets année, génotype très hautement significatif pour les variétés Bidi 17/Waha/Bidi17, Guemgoum R'Khrem, Hedba 03, Inrat 69, Kebir, Mexicali, Oued zenati, Ofonto, Polonicum, Waha et Ardente.
- L'observation des interactions Génotype x Site, indique des comportements variétaux très contrastés.

- Et l'étude des interaction site x année sont très hautement significatif pour l'ensembles des génotypes mis a part Cirta et Ofonto (effet variété très réduit, interaction pas du tout significative).

## Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines

### Introduction

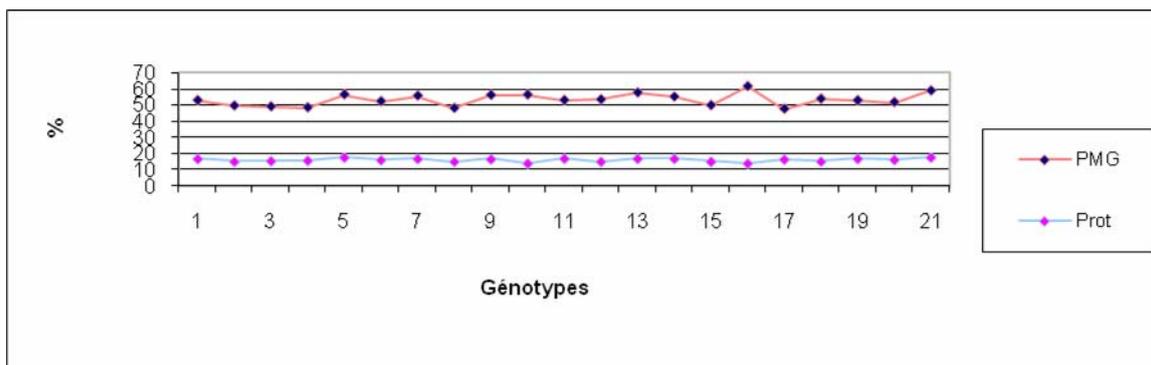
Le taux de protéine apparaît comme la clé de voûte de la valeur technologique d'une variété de blé dur. En effet, de nombreux critères en sont fortement dépendant (mitadin, dureté...) et lui-même très dépendant de l'azote utilisable par la plante. Donc il est nécessaire de mieux comprendre le mode d'élaboration du taux de protéines et les déterminants environnementaux qui influent sur sa stabilité (Hernandez *et al.*, 2004).

Notre objectif est ici d'analyser la variabilité du taux de protéines, et de proposer des relations simples qui permettent de situer les résultats les uns par rapport aux autres. La teneur est décomposée en ses éléments qui la déterminent : la quantité d'azote exportée par les grains (exprimée le plus souvent en Kg/ha) et le rendement en grains (qx/ha).

La teneur en protéines, à un coefficient près de passage, est en effet le rapport entre la quantité d'azote des grains et le rendement à l'hectare (Rdt). La relation entre ces deux variables indique les possibilités plus ou moins fortes de dilution de l'azote des grains sous l'effet de l'augmentation du rendement.

Par ailleurs, la relation entre cette quantité d'azote dans les grains et celle exportée à la récolte par la plante entière, permet d'identifier les situations pour lesquelles l'azote absorbé a plus ou moins efficacement été destiné aux grains (Desclaux, 2005).

### 8.1 Relation PMG/protéines

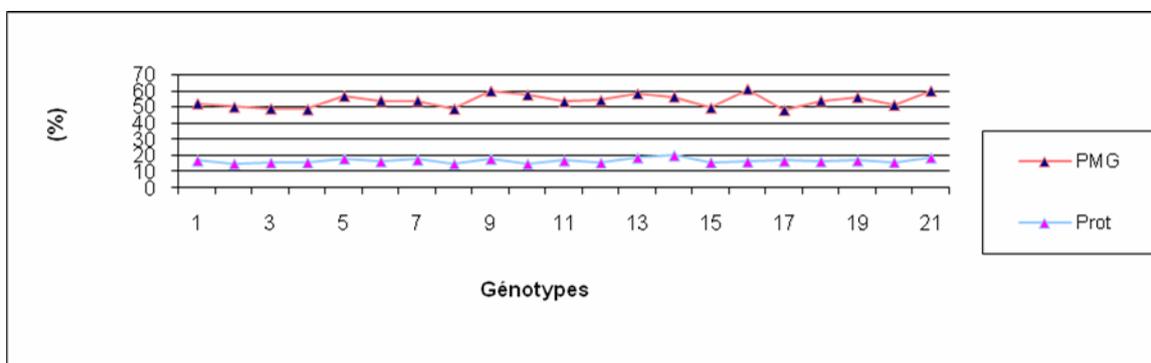


**Figure n° 36 : Moyennes des protéines et des PMG pour l'ensemble des sites (campagne 2003/2004)**

---

**Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines**

---



**Figure 37 : Moyennes des protéines et des PMG pour l'ensemble des sites (campagne 2004/2005)**

---

**Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines**

---

Les figures 36 et 37 illustre la relation entre la moyenne du taux de protéines et celle du poids de 1000 grains des 21 variétés testées pour l'ensemble des sites (durant les deux campagnes).

Certaines variétés qui réalisent une bonne fertilité exprimée par un taux de protéines élevé ont un nombre de PMG élevé, nous retrouvons dans ce groupe :

- 1<sup>er</sup> année : Bidi 17, Guemgoum R'khem, Inrat 69, M.B.B, Montpellier, Ardente et Duillio.
- 2<sup>ème</sup> année Bidi 17, Guemgoum R'khem, M.B.B, Ofonto, Simeto et Duillio.

L'évolution de la moyenne des PMG montre un effet année très prononcé. La variation de cette moyenne indique en effet que les conditions climatiques de l'année de culture décident dans une large mesure du niveau de l'élaboration du taux de protéines et du poids de 1 000 grains.

On ce qui concerne les corrélations entre ces deux paramètres, ils sont groupées dans le tableau n°45. Du fait du nombre important de données, la plupart des corrélations sont significatives. En considérant uniquement les plus importantes (supérieures à 0,50, qui expliquent plus de 25% de la variabilité), les variétés présentant le plus de corrélations sont :

- Bidi 17 :  $r = 0,715$ ,  $r = 0,783$ , Site I, Année 2003 et 2005 respectivement.
- Bidi 17/Waha/Bidi17 :  $r = 0,683$ , Année 2003, Site I.
- Cirta :  $r = 0,999$ ,  $r = 0,912$ , Site II, Année 2003 et 2005 respectivement.
- Gloire de Montgolfier :  $r = 0,912$ ,  $r = 0,914$ , Site I, Année 2003 et 2005 respectivement.
- Guemgoum R'Khem :  $r = 0,964$ ,  $r = 0,907$ , Site III, Année 2003 et 2005 respectivement.
- Hedba 03 :  $r = 0,935$ ,  $r = 0,714$ , Site I, Année 2003 et 2005 respectivement.
- Inrat 69 :  $r = 0,996$ ,  $r = 0,991$ , Site II, Année 2003 et 2005 respectivement.
- Kebir :  $r = 0,937$ , Site II, Année 2003.
- M.B.B :  $r = 0,796$ , Site I, Année 2003.
- Mexicali :  $r = 0,997$ , Site III, Année 2005.
- Montpellier :  $r = 0,999$ , Site I, Année 2003.
- Oued Zenati :  $r = 0,702$ , Site I, Année 2003.
- Ofonto :  $r = 0,718$ , Site I, Année 2003.
- Polonicum :  $r = 0,991$ ,  $r = 0,729$ , Site II, Année 2003 et 2005 respectivement.
- Sahel :  $r = 0,979$ ,  $r = 0,910$ , Année 2003, Site I et III respectivement.
- Simeto :  $r = 0,952$ ,  $r = 0,905$ , Année 2003, Site I et III respectivement.
- Tell 76 :  $r = 0,977$ , Année 2005, Site II.
- Vitron :  $r = 0,613$ , Année 2003, Site I.
- Waha :  $r = 0,963$ , Année 2003, Site I.
- Ardente :  $r = 0,941$ , site II, 2003 et  $r = 0,976$ , site III, 2005.
- Duillio :  $r = 0,966$ ,  $r = 0,862$ , site I et III respectivement, 2003 et  $r = 0,796$ , site II, 2005.

Pour certains sites, il n'existe aucune corrélation significative entre ces deux paramètres, nous enregistrons également des corrélations négativement significatives.

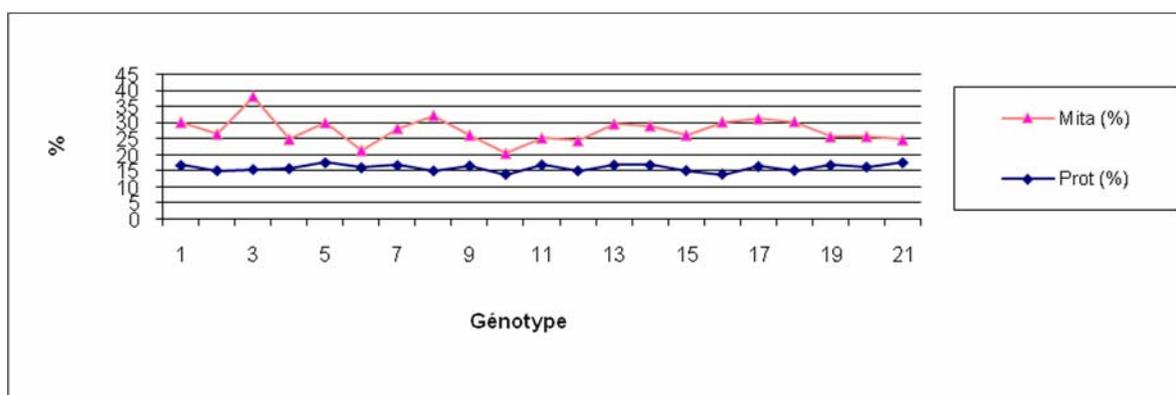
## 8.2 Relation protéines/mitadinage

Les collecteurs et transformateurs de blé dur observent régulièrement que les caractéristiques de la fraction protéique du grain sont insuffisantes : teneurs trop basses et diversement liées avec des critères qualitatifs tels que le mitadin. Ceci peut en particulier résulter d'une inadéquation entre les apports azotés et les besoins de la plante. En effet, au cours des dernières décennies, la sélection variétale s'est traduite par une amélioration de l'indice de récolte des éléments carbonés (composante dominante du rendement en matière sèche) au détriment des éléments azotés (Rharrabti *et al.*, 2003a).

Il est probable que les pratiques agricoles de fertilisation azotée (dose apportée et fractionnement) ne se soient pas adaptées à cette évolution génétique. Par ailleurs, il a été constaté la mise sur le marché de cultivars récents qui, malgré une teneur en protéines élevée, présentaient une sensibilité certaine au mitadinage. Enfin, les recommandations courantes de culture ne prennent pas toujours en compte les différences variétales de capacités d'assimilation de l'azote post-floraison (Baldy, 1993a ; Desclaux, 2005).

Il existe en fait peu de données dans la littérature traitant des relations entre la fraction azotée (taux de protéines) des grains et l'expression du taux de mitadin. La possibilité selon laquelle la vitrosité serait associée à une composition différente en protéines a été étudiée par quelques auteurs sur le blé tendre et rarement sur le blé dur (Desclaux *et al.*, 2005).

Ainsi pour le producteur, limiter le taux de mitadin implique un changement de pratique technique que la recherche doit permettre d'identifier dans un esprit de durabilité du système, en éclaircissant les relations Nutrition azotée de la plante / Elaboration de la fraction protéique / Taux de mitadin. Deux principaux points doivent être abordés : (i) Compréhension de l'élaboration de la teneur en protéines des grains et relation avec le mitadin, (ii) Caractérisation physico-chimique des albumens farineux et vitreux et étude de la fraction protéique en relation avec la qualité technologique.



**Figure n° 38 : Moyennes des protéines et mitadinage pour l'ensemble des sites (campagne 2003/2004)**

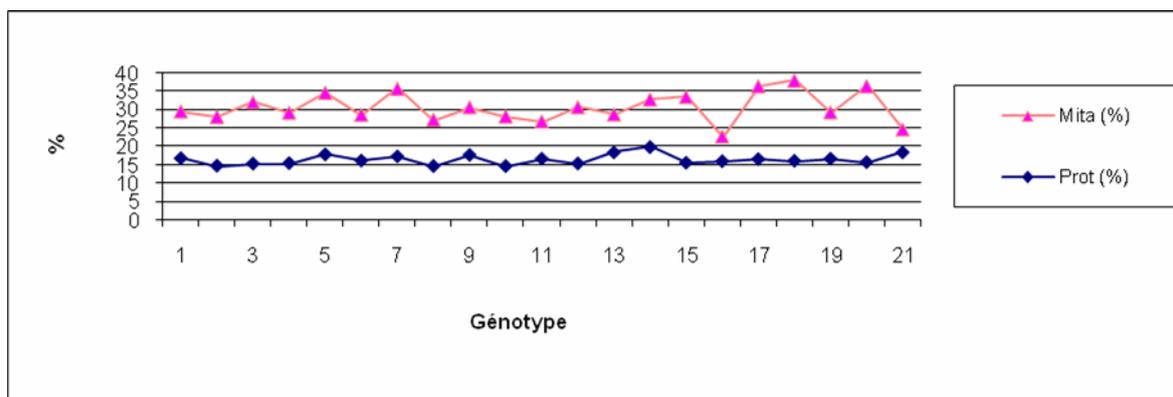


Figure n° 39 : Moyennes des protéines et mitadinage pour l'ensemble des sites (campagne 2004/2005)

Les figures 38 et 39 synthétisent la relation observée sur les moyennes du taux de protéines et ceux du mitadinage des 21 variétés de blés durs sur l'ensemble des sites (2003/2004/2005), d'après ces illustrations, les variations observées peuvent être expliquées par l'effet terrain qui peut laisser supposer que la teneur en protéines crée un potentiel de mitadin qui s'exprimera plus ou moins selon les événements climatiques.

On décèle par ailleurs un effet année important, les variétés ne se comportent pas de la même manière vis-à-vis du mitadinage durant les deux campagnes d'essais.

Dans chacun des dispositifs, les corrélations entre teneur en protéines du grain et taux de mitadin sont très significatives. Cette forte relation entre les 2 caractères signifie que la teneur en protéines explique environ 50 à 60 % de la variabilité du taux de mitadin. Par ailleurs, le fait qu'elle soit négative, signifie que les géotypes ayant un faible taux de mitadin auront par ailleurs, en général, des fortes teneurs en protéines.

Les albumens vitreux et farineux présentent de grandes différences sur le plan physique, structural et biochimique. Les albumens vitreux ont une plus grande résistance à la compression, une plus forte densité et une plus forte teneur en protéines avec une accumulation préférentielle des gliadines. Une augmentation de l'apport azoté favorise l'accumulation des protéines et une augmentation du rapport gliadine/gluténines (Ait Kaki, 2007). L'énergie de rupture et la contrainte à la rupture sont directement affectées par l'apport en N.

Il en résulte que l'augmentation de la teneur en protéines totales en réponse à la fertilisation azotée favorise la formation d'un albumen vitreux avec une énergie de rupture élevée. Ces résultats montrent aussi, qu'à apport azoté équivalent, un apport tardif et en particulier à la floraison favorisent une teneur en protéines élevée et une baisse sensible du taux de mitadin (Samson *et al.* 2004 ; Ghouar, 2006).

### 8.3 Comparaison entre deux méthodes d'analyses

Dans l'ensemble, toutes les variétés étudiées peuvent donner un produit fini de qualité culinaire variable, en fonction de leurs teneurs en protéines. La totalité des échantillons présentent des teneurs en protéines supérieures à 13%.

De même, Abecassis et Feuillet (1986) soulignent que les différences dans la qualité culinaire observées entre semoules, seraient dues à la plus ou moins grande aptitude des protéines de celles-ci, à former au cours de la pastification, un filet capable d'enserrer dans ses mailles les autres constituants de la semoule, grains d'amidon notamment. Pour expliquer ces différences de comportement, la teneur en protéines interviendrait pour les deux tiers et les propriétés intrinsèques de celles-ci, généralement appelées « qualité des protéines », pour un tiers seulement.

Notre objectif ici est d'ouvrir une nouvelle piste de travail en matière de caractérisation rapide des taux de protéines, dans la nature des traitements mathématiques des signaux spectraux afin de développer une prédiction plus précise des taux de protéines.

---

#### Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines

---

### **Comparaison deux méthodes : Protéines Kjeldhal et Protéine NIRS pour chaque site et deux années**

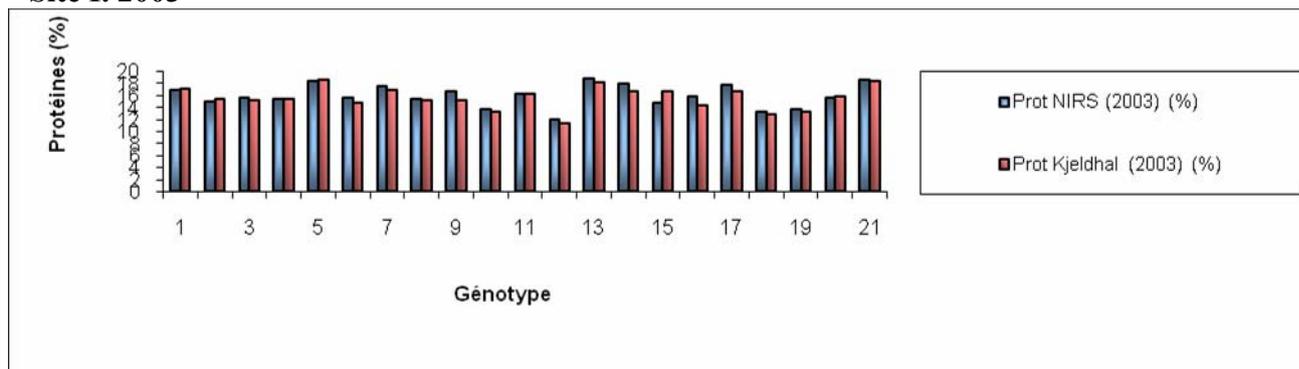
La spectroscopie proche infra rouge (NIRS), repose sur l'absorption de la lumière proche infrarouge par la matière organique. En utilisant des "calibrations" dans lesquelles les données spectrales de l'échantillon connu sont mises en corrélation avec leurs valeurs analytiques de référence, la spectrométrie peut prédire, pour un lot inconnu, le niveau du paramètre en se basant uniquement sur l'empreinte spectrale de l'échantillon. L'erreur de prédiction est généralement faible quoique par définition, toujours supérieur à celle de la méthode de référence (0.3 pour les protéines contre 0,2 en méthode de référence) (Ait kaki, 2007).

Les résultats du test T de Student pour la comparaison de deux méthodes analytiques, à savoir détermination des protéines par la spectrophotométrie proche infra rouge (méthode non destructibles) et la technique de références Kjeldhal (destructibles de l'échantillon), sont divisées en trois parties :

- a. Test T de Student pour chaque site.
- b. Test T de Student pour chaque variété.
- c. Test T de Student pour l'ensemble des sites.

#### **8.3.1 Distribution pour chaque site.**

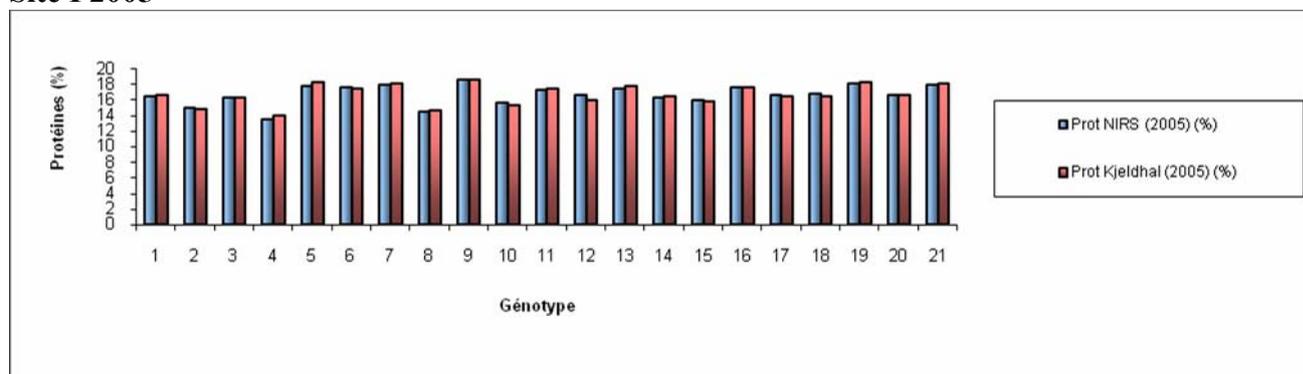
### Site I. 2003



**Figure n°40 : Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2003-2004)**

### Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines

### Site I 2005

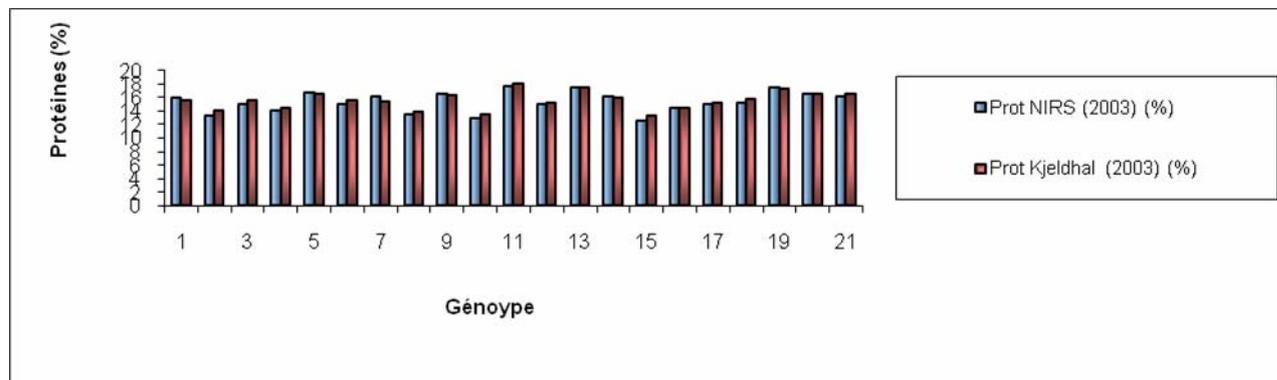


**Figure n°41 : Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site El Khroub (2004-2005)**

**Tableau n°47 : Test T de Student pour données appariées : PROTNI et PROTKH pour le site El-Khroub (2003/2004 – 2004/2005)**

Sites	Année	$t_{obs}$	P
El Khroub	2003/2004	5,06	0,000***
	2004/2005	0,48	0,636 <sup>ns</sup>

## Site II. 2003



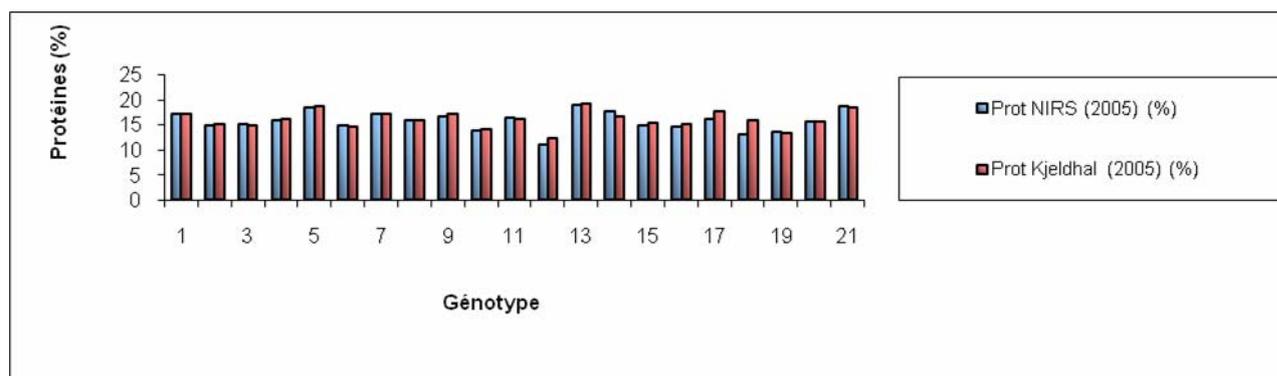
**Figure n°42 : Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2003-2004)**

---

## Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines

---

## Site II. 2005



**Figure n°43 : Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site Oued Smar (2004-2005)**

**Tableau n°48 : Test T de Student pour données appariées : PROTNI et PROTKH pour le site Oued Smar (2003/2004 – 2004/2005)**

Sites	Année	$t_{obs}$	P
-------	-------	-----------	---

Oued Smar	2003/2004	1,75	0,086 <sup>ns</sup>
	2004/2005	1,63	0,107 <sup>ns</sup>

### Site III. 2003

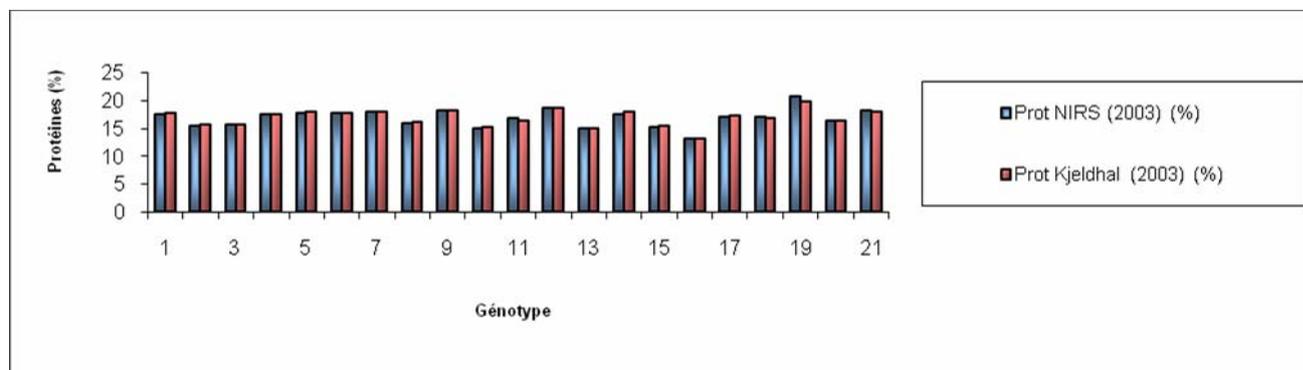


Figure n°44 : Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbès (2003-2004)

### Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines

### Site III. 2005

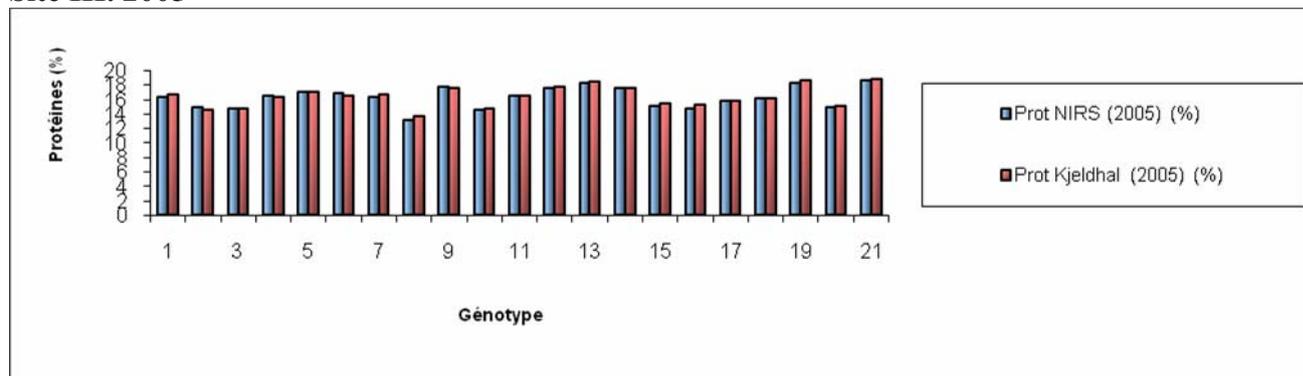


Figure n°45 : Comparaison des taux de protéines obtenues par deux méthodes des 21 variétés de blé dur pour le site Sidi Bel Abbès (2004-2005)

Tableau n°49 : Test T de Student pour données appariées : PROTNI et PROTKH pour le site Sidi Bel Abbès (2003/2004 – 2004/2005)

Sites	Année	t <sub>obs</sub>	P
Sidi Bel Abbès	2003/2004	0,12	0,905ns
	2004/2005	1,52	0,095ns

L'observation des histogrammes (40, 41, 42, 43, 44 et 45) ainsi que les résultats du test T utilisé pour comparer le taux de protéines obtenus par deux méthodes « Kjeldhal et NIRS » pour chaque sites sur deux année, montrent que pour les sites Oued Smar et Sidi Bel Abbes, il n'existe pas de différences significatives.

Par contre le site I « El krhoub » il existe pour l'année 2003/2004 des différences très hautement significatives.

---

**Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines**

---

### 8.3.2 Distribution pour chaque variété.

Les résultats du test T de Student pour la comparaison de deux méthodes d'analyses, chez chaque variété et dans chaque site sont groupés dans les tableaux n°50 suivants.

**Tableau n° 50 : Test T de Student pour données appariées :  
Protéines NIRS et Kjeldhal pour chaque variété**

Géotypes	2003/2004			2004/2005		
	Site I	Site II	Site III	Site I	Site II	Site III
Bidi 17	0,578 <sup>ns</sup>	0,304 <sup>ns</sup>	0,615 <sup>ns</sup>	0,176 <sup>ns</sup>	0,928 <sup>ns</sup>	0,358 <sup>ns</sup>
Bidi17/Waha/Bidi 17	0,457 <sup>ns</sup>	0,057 <sup>*</sup>	0,535 <sup>ns</sup>	0,256 <sup>ns</sup>	0,232 <sup>ns</sup>	0,241 <sup>ns</sup>
Cirta	0,007 <sup>**</sup>	0,802 <sup>ns</sup>	0,146 <sup>ns</sup>	0,961 <sup>ns</sup>	0,449 <sup>ns</sup>	0,448 <sup>ns</sup>
Gloire de Montgolfier	0,923 <sup>ns</sup>	0,676 <sup>ns</sup>	0,109 <sup>ns</sup>	0,043 <sup>*</sup>	0,509 <sup>ns</sup>	0,520 <sup>ns</sup>
Guemgoum R' Khrem	0,422 <sup>ns</sup>	0,262 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>*</sup>	0,018 <sup>*</sup>	0,339 <sup>ns</sup>	0,284 <sup>ns</sup>
Hedba 03	0,073 <sup>*</sup>	0,317 <sup>ns</sup>	0,984 <sup>ns</sup>	0,190 <sup>ns</sup>	0,074 <sup>ns</sup>	0,147 <sup>ns</sup>
Inrat 69	0,012 <sup>*</sup>	0,263 <sup>ns</sup>	0,100 <sup>ns</sup>	0,064 <sup>ns</sup>	0,553 <sup>ns</sup>	0,432 <sup>ns</sup>
Kebir	0,808 <sup>ns</sup>	0,019 <sup>*</sup>	0,509 <sup>ns</sup>	0,029 <sup>*</sup>	0,960 <sup>ns</sup>	0,745 <sup>ns</sup>
Mohamed Ben Bachir	0,027 <sup>*</sup>	0,546 <sup>ns</sup>	0,931 <sup>ns</sup>	0,021 <sup>*</sup>	0,025 <sup>*</sup>	0,074 <sup>ns</sup>
Mexicali	0,015 <sup>*</sup>	0,148 <sup>ns</sup>	0,100 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>	0,543 <sup>ns</sup>	0,051 <sup>*</sup>
Montpellier	0,950 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>*</sup>	0,215 <sup>ns</sup>	0,704 <sup>ns</sup>	0,035 <sup>*</sup>	0,184 <sup>ns</sup>

Oued Zenati	0,130 <sup>ns</sup>	0,345 <sup>ns</sup>	0,503 <sup>ns</sup>	0,221 <sup>ns</sup>	0,101 <sup>ns</sup>	0,105 <sup>ns</sup>
Ofonto	0,090 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>*</sup>	0,499 <sup>ns</sup>	0,082 <sup>ns</sup>	0,340 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>**</sup>
Polonicum	0,005 <sup>**</sup>	0,859 <sup>ns</sup>	0,590 <sup>ns</sup>	0,273 <sup>ns</sup>	0,210 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>**</sup>
Sahel	0,056 <sup>*</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	0,320 <sup>ns</sup>	0,473 <sup>ns</sup>	0,107 <sup>ns</sup>	0,574 <sup>ns</sup>
Simeto	0,129 <sup>ns</sup>	0,492 <sup>ns</sup>	0,580 <sup>ns</sup>	0,832 <sup>ns</sup>	0,023 <sup>ns</sup>	0,624 <sup>ns</sup>
Tell 76	0,195 <sup>ns</sup>	0,384 <sup>ns</sup>	0,066 <sup>*</sup>	0,014 <sup>*</sup>	0,439 <sup>ns</sup>	0,026 <sup>*</sup>
Vitron	0,735 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>**</sup>	0,340 <sup>ns</sup>	0,042 <sup>*</sup>	0,227 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>**</sup>
Waha	0,058 <sup>*</sup>	0,246 <sup>ns</sup>	0,066 <sup>*</sup>	0,406 <sup>ns</sup>	0,848 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>**</sup>
Ardente	0,673 <sup>ns</sup>	0,866 <sup>ns</sup>	0,910 <sup>ns</sup>	0,473 <sup>ns</sup>	0,963 <sup>ns</sup>	0,258 <sup>ns</sup>
Duillio	0,031 <sup>*</sup>	0,180 <sup>ns</sup>	0,208 <sup>ns</sup>	0,087 <sup>*</sup>	0,512 <sup>ns</sup>	0,045 <sup>*</sup>

Dans l'ensemble la majorité des variétés les résultats obtenus par les deux méthodes sont concordants, il existe toutefois des différences significatives observées chez les variétés :

- Hedba 03, Inrat 69, M.B.B., Mexicali, Sahel, Waha et Duillio pour le Site I (2003).
- Bidi 17/Waha/Bidi 17, Kebir, Montpellier, Ofonto et Vitron pour le Site II (2003).
- Guemgoum R'Khrem, Tell 76 et Waha pour le Site III (2003).
- Guemgoum R'Khrem, Gloire de Montgolfier, Kebir, M.B.B., Tell 76, Vitron et Duillio pour le Site I (2005).
- M.B.B et Montpellier pour le Site II (2005).
- Mexicali, Tell 76, Ofonto, Vitron, Waha et Duillio pour le Site III (2005).

---

**Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines**

---

### 8.3.3 Distribution pour l'ensemble des sites

**Tableau n°51 : Test T de Student pour échantillons associés par paires : Comparaison de deux méthodes entre les deux années pour l'ensemble des sites**

	<b>n</b>	<b>x</b>	<b>σ</b>	<b>T<sub>obs</sub></b>	<b>P</b>
1 <sup>er</sup> Campagne	189	16,099	1,786	2,6	0,008**
2 <sup>ème</sup> Campagne	189	16,062	1,824	1,94	0,054ns

### Discussion générale

Au-delà des variables liées au rendement et au statut azoté, les variables climatiques les plus simples et révélatrices de la position des points sur ces relations sont celles liées à l'alimentation hydrique de la plante. L'un des indicateurs climatiques, en relation avec le statut azoté de la culture est la valorisation des apports d'engrais par les pluies. Cette dernière peut être facilement approchée en cumulant le nombre de jours qu'il faut attendre pour cumuler environ 20 mm depuis la date d'apport, quantité à partir de laquelle la culture retrouve un coefficient d'absorption de l'engrais non limitant. Plus le nombre de jours est élevé et plus la plante a pu souffrir, soit d'un délai en termes d'absorption ou bien d'une carence en azote.

De telles conditions peuvent être à l'origine de quantité d'azote absorbé à la floraison limitantes du rendement ainsi que du taux de protéines par une quantité remobilisé qui peut s'avérer trop faible.

Les composantes du rendement sont très sensibles aux variations environnementales et présentent souvent un effet compensatoire, par conséquent, une amélioration de l'une des composantes n'engendre pas nécessairement une augmentation dans le rendement.

Pour mieux répondre à cette question de l'amélioration du rendement du blé dur, les recherches se sont orientées vers d'autres critères portant sur la plante, tels que les critères technologiques et biochimiques, qui sont liés à la production en grains ou bien à ses composantes, en prenant en considération les variations de l'environnement surtout dans les conditions semi-arides, où chaque phase de développement de la plante et sous l'effet des fluctuations environnementales (Mekhlouf *et al.*, 2001 ; Rharrabti *et al.*, 2003b).

Dans les conditions du semi-aride, les cultivars adaptés (cultivés) sont caractérisés par l'irrégularité de leurs niveaux de productions qui sont sous la dépendance des fluctuations de la pluviosité et des températures extrêmes. Cette situation, impose d'élargir l'éventail des variétés à utilisées et de rechercher beaucoup plus l'adaptation spécifique.

Dans ce sens, il est généralement admis que les génotypes ayant une large adaptabilité ont un potentiel de production modeste ; par contre les cultivars caractérisés par une adaptation spécifique ont un potentiel de production supérieure (Djekoun *et al.*, 2002).

---

#### Chapitre 08 : Evaluation de la stabilité de la teneur en protéines

---

Ainsi, pour les régions à climats semi-arides, la stabilité des performances des cultivars doit être recherchée en combinant, les capacités d'adaptation des variétés locales au potentiel élevé de rendement en grain des variétés améliorées.

Les analyses réalisées, ont montré une importante variation de la qualité du grain sous l'effet de l'année et de la région de culture. Les paramètres les plus sensibles à cette variation sont le poids de mille graines et la teneur en protéines totales. L'effet significatif de l'environnement sur ces deux composantes s'explique par l'interdépendance entre eux.

La forte régionalisation de sa production, l'existence d'une filière de taille restreinte très organisée, un cahier des charges des transformateurs extrêmement précis, un questionnement pertinent émanant d'acteurs locaux sont autant d'éléments faisant du blé dur un modèle d'étude particulièrement adapté à l'analyse de la prise en compte des interactions entre qualité et territoire et à l'étude des conséquences de cette prise en compte sur les dispositifs d'expérimentation.

Des travaux complémentaires (Rayburn et Gill, 1985 ; Ait kaki, 2007) faisant intervenir des techniques précises de laboratoire pour l'analyse des enveloppes (PCR) ou des constituants

du grain (chromatographie, spectroscopie en proche infrarouge, analyse d'images..) ont permis d'affiner les connaissances sur les phénomènes étudiés.

Ainsi les avancées au niveau académique ont pu être nombreuses :

- Amélioration des connaissances sur les déterminants environnementaux des critères technologiques afin de préciser les facteurs déclenchant les phénomènes de moucheture ou mitadin (Desclaux, 2005).
- Acquisition de connaissances sur les bases génétiques et physico-chimiques de ces critères technologiques afin de préciser les stratégies à suivre en matière de sélection et intensifier les efforts de création de matériel d'élite (Royo, 2004).
- Développement d'outils de mesure des critères de qualité. L'appréciation des critères mitadin et moucheture est délicate, coûteuse et souvent difficilement reproductible, limitant leur fiabilité et leur intégration en routine dans un programme de sélection (Nachit *et al.*, 1998).
- L'utilisation de l'analyse d'images pour le mitadin et de la spectroscopie en proche infrarouge pour la moucheture ont été envisagées et pourraient être des solutions prometteuses (Wesley, 2001 ; Lu *et al.*, 2005).

## **Conclusion**

Les variétés étudiées présentent une forte variabilité pour le critère teneur en protéines ; celle-ci est imputable, pour une partie, à des effets génétiques ; ainsi à productivité comparable de grandes différences existent entre les variétés. Par ailleurs, l'expression de cette teneur en protéines est également très liée à la fertilisation azotée de la plante.

Néanmoins tous les génotypes ne réagissent pas de la même manière dans les différents environnements : certains d'entre eux se révèlent particulièrement avantagés ou au contraire défavorisés par certaines conditions culturales faisant varier la disponibilité en azote.

D'un point de vue statistique, cette spécificité d'adaptation génotypique à certaines conditions culturales génère une interaction entre les effets 'Génotype' et 'milieu'. Nos observations « préliminaire » confirment bien l'action du milieu de culture au niveau de l'expression de la qualité technologique du produit fini, l'ensemble des résultats des tests, varie d'une variété à l'autre mais également d'un milieu à un autre. Ces observations confirment la complexité du rapport Génotype x Environnement et la transmission de l'héritabilité  $h^2$ .

Et comme nous l'avons souligné auparavant, la valeur d'une composante (technologique) ne dépend pas uniquement des événements qui se sont produits lors de son élaboration mais dépend aussi du niveau de qualité des autres composantes. C'est-à-dire, lorsque on parle d'un taux de protéines acceptable, il ne faut pas négliger l'effet de la moucheture et du mitadinage qui eux sont beaucoup plus liés aux aléas climatiques qu'à la nature du génome.

Et l'étude du déterminisme génétique du mitadin et de la moucheture, pourrait définir l'héritabilité des critères. L'héritabilité se définit par le rapport entre la variance génétique du caractère et la variance totale (variance d'origine génétique + variance d'origine environnementale + interaction entre les composantes génétiques et l'environnementales). Ce rapport varie entre 0 (totalité de la variation imputable à des effets environnementaux) et 01 (variation uniquement d'origine génétique).

Cette donnée est très importante pour la sélection variétale, en effet, des ratios proches de 01 indiquent que ce caractère est facile à améliorer alors que des ratios plus proche de 0, mettent en évidence l'importance des effets cultureux dans l'expression d'un caractère, la sélection ne pouvant alors jouer qu'un rôle mineur.

Le calcul de cette héritabilité est néanmoins très sensible aux dispositifs expérimentaux utilisés. Ainsi, afin de mieux l'interpréter, on doit procéder par comparaison entre sites et entre paramètres.

\* Le changement climatique que nous vivons depuis au moins deux décennies a une origine anthropique et est une conséquence logique de l'effet de serre. Si la tendance du réchauffement persiste, il est prévu que la température moyenne augmente encore ce qui n'est pas sans conséquence pour l'agriculture algérienne en général et la céréaliculture en

particulier. En effet, si le climat tendra à devenir de plus en plus aride, les rendements des zones actuelles de production céréalière seront de plus en plus limitante.

\*Les expérimentations ont été conduites avec des essais réalisés au cours de différentes campagnes agricoles entre 2003/04 et 2004/05. Elles ont pour objectif d'étudier la variabilité des rendements en grain, le taux de protéines, le taux de cendre et de moucheture, le mitadinage et la coloration, des géotypes qui ont été sélectionnés. L'étude des interactions géotype x lieu, nécessite une base de données provenant de plusieurs essais réalisés dans différentes situations agro climatiques, représentées par des localités, des années et des dates de semis. La connaissance de ces interactions orientent vers la définition de zones plus ou moins homogènes où la variabilité des rendements devient relativement moins importante.

\* Bien que les essais aient été installés sur trois sites différents au cours des deux années, les conditions climatiques favorables ont permis de valoriser au mieux le potentiel de production du matériel végétal testé sur les différents sites.

Les différentes observations faites durant l'expérimentation font ressortir les points suivants :

Sur le site :

#### **Facteurs climatiques :**

La faiblesse et l'irrégularité des précipitations participent à une grande variabilité inter annuelle de la production.

#### **Nécessité de caractériser le milieu :**

Pour une meilleure productivité céréalière, il est nécessaire de disposer d'une connaissance fine du milieu agro écologique.

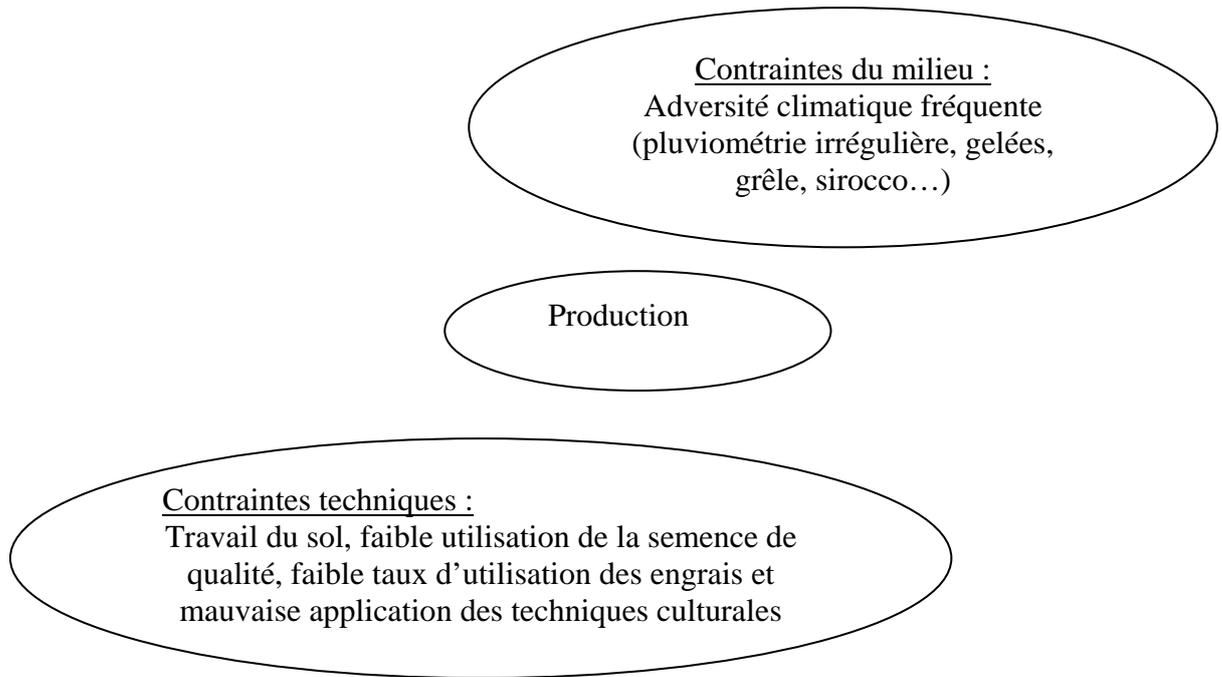
Base de données constituées de :

Données climatiques : les données quotidiennes de la pluviométrie, des températures maximales et minimales de la radiation solaire ou à défaut la durée d'insolation et sur des périodes allant de 10 ans d'environ.

Données édaphiques :

Données agronomiques.

### Principales contraintes au développement des céréales



### Références bibliographiques

ABDELGUERFI A., LAOUAR M. 2000. Les ressources génétiques des blés en Algérie. Passé, présent et avenir. Symposium blé 2000 : enjeux et stratégies. Pp 133-145.

ABECASSIS J., AUTRAN J.C., ADDA J. 1990. La qualité technologique des blés. Le blé à l'INRA : Recherches et innovations. Revue mensuelle INRA. N°4. pp. 6-9.

ABECASSIS J. 1991. Qualité du blé dur, de la semoule et des pâtes alimentaires. Ind. Des céréales. Juillet - août. pp. 7 - 11.

ABECASSIS J. 1993. Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. Ind. Céréales N° 81. pp 35.

AIT KAKI Y. 1993. Contribution à l'étude des mécanismes morpho physiologiques de tolérance au stress hydrique sur 05 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire. Magistère. Univ. Annaba.

AIT KAKI S. 2002. Evaluation de la qualité d'un germoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf) : appréciation de l'aptitude technologique et biochimique. Mémoire. Magistère. Univ. Annaba. 130p.

AIT KAKI Y. 2007. Etude comparative des potentialités technologiques des blés durs Algériens anciens et récents : Revalorisation de la qualité de ces blés par différentes stratégies d'études : Critères technologiques (infra rouge), Biochimiques (électrophorèse bidimensionnelle) et Moléculaire (P.C.R.). Thèse Doctorat. Univ. Annaba. 137 + Annexes.

ALAVA J.M., MILLAR S.J. and SALMON S. E. 2001. The determination of wheat breadmaking performance and bread dough mixing time by NIR spectroscopy for high speed mixers. Journal of Cereal Science 33.pp 71-81.

AL HAKIMI A., MONNEVEUX Ph. 1993. Variation of some morphophysiological traits of drought tolerance in tetraploid wheats. In: A.B. Damania (Ed). Biodiversity and Wheat improvement. John Wiley and sons. pp 199-216.

ALARY R., CHAURAND M., COMBE D., GARCON-MARCHAND O. 1985. Caractéristiques technologiques des variétés de blés durs. Laboratoire de technologie des céréales. I.N.R.A. Montpellier.pp.1-10.

AMIOUR N., JAHIER T., TANGUYT A. M., CHIRONT H. and BRANLARD G. 2002. Effect of 1R(1A), 1R(1B) and 1R(1D) substitution on technological value of bread wheat. Journal of Cereal Science 35. pp 149-160.

ANNICCHIARICO P., BELLAH F. and CHIARI T. 2005. Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. Journal of Cereal Science

AURIAU P.H. 1967. L'amélioration du blé dur. Ann. de l'I.N.A de Tunisie. N° 40. Vol. 5. pp 29 – 36.

AUSTIN R.B. 1989. Maximising crop production in water limited environments. Drought resistance in cereals 1. Crops Breeding for efficient water use. Ed. Baker F.W.G. pp.13 – 25.

AUTRAN J.C. 1981. Recent data on the biochemical basis of durum wheat quality. In: The quality of foods and beverages chemistry and technology. Vol. 1. Academic Press: New York. Pp. 257-273.

AUTRAN J.C. 1984. Identification varietales à partir des constituants protéiques. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Coll. Sc. Tech. Agr. Alim. Lavoisier.

BALDY C. 1993a. Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé (*Triticum* sp). Ann. Agron. (Paris). Pp 241-276.

BALDY C. 1993b. Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale. In: Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier. Ed INRA. Pp. 83-99.

BENBELKACEM A., SADLI F., BRINIS L. 1995. La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. Séminaires Méditerranéens. ICARDA / CIHEAM / CIMMYT. Zaragoza, 17-19 novembre.

BENBELKACEM A. 1996. Adaptation of cereal cultivars to extreme agroecologic environments of North Africa. Field Crops Research 45. pp 49-55.

BENBELKACEM A., KELLOU K. 2000. Evolution du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en Algérie. Symposium blé 2000 enjeux et stratégie. Pp192.

BENBELKACEM A., BOUZERZOUR H., BENMAHAMED A., HAMOU M. et BOURMEL S. 2002. Etude des performances de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivés en Algérie. 3<sup>ème</sup> journées scientifiques sur le blé dur. Constantine. Pp 80-84.

BENMAHAMMED A., DJEKOUNE A., BOUZERZOUR H. 1998. Analyse de l'adaptation générale des variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) Sélectionnées en zone semi aride d'altitude. Cahiers d'agriculture. 7. pp 33-37.

BEN SALEM M., DAALOUL A., AYADI A. 1995. Le blé dur en Tunisie. Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region. C.I.H.E.A.M /ICARDA / CIMMYT. Zaragoza, 17-19 Nov.

BELAID D. 1996. Aspects de la céréaliculture algérienne. INES. D'Agronomie. Batna. 187p.

BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., BENKHARBACHE N., HASSOUS K.L. 2001. Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement d'orge en zone semi-aride d'altitude. Revue de la recherche agronomique de l'INRAA.

- BOUZERZOUR H., DJEKOUN A. 1996. Etude de l'interaction génotype x lieu du rendement de l'orge en zone semi-aride. *Revue Science et Technologies*, n°7. pp 16-28.
- BOZZINI A. 1988. Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. *Durum Wheat: Chemistry technology*. pp 1-16.
- BUSHUK W. 1966. Distribution of water in drought and bread. *The Baker's Digest*. N°40. pp. 38-40.
- BRANLARD G., DARDEVET M. 1993. A Null Gli- D1 Allele with a Positive Effect on Bread Wheat Quality. *Journal of Cereal Science*. N° 20 pp 235-244.
- CAMPION F., CAMPION G. 1995. Introduction : La naissance de la plante. *Biotechnologie Végétales*. AUPELF. UREF. Pp 25.
- CAUDERON Y. 1979. Etude des relations phylogénétiques chez le blé : Cytogénétique et biochimique. *Journées d'études : Biochimie, génétique du blé*. INRA Paris. pp. 30 - 33.
- CARON D. 2000. La fusariose des épis. *Perspectives agricoles* n° 253, 56-62.
- CECCARELLI S., GRANDO S., HAMBLIN J. 1992. Relationships between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica*. 49-58 pp.
- CHABI H., DEROUICHE M., KAFI M. et KHILASSI E. 1992. Estimation du taux d'utilisation du potentiel de production des terres à blé dur dans le Nord de la wilaya de sétif. Thèse. Ing. INA. El Harrach. 317p.
- CHAKER A. 2003. Etude de l'effet des stress thermiques (chaleur et froid) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire. Magistère. Univ. Annaba.
- CHAUMONT D. 1979. Les ressources en eau des zones arides. *Courrier de l'environnement de l'INRA*. 3<sup>ème</sup> trimestre.
- CHERDOUH A. 1999. Caractérisation biochimique et génétique des protéines de réserve des blés durs Algériens (*Triticum durum* Desf.) : relation avec la qualité. Mémoire Magistère. Univ. Constantine.
- CHERET R., MOREL M.H., SAMSON M.F. 2003. Caractérisation physico-chimique du mitadinage chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Ind. Céréales*. 131.
- CHIKHI A. C. 1992. Situation de la céréaliculture et perspectives de l'irrigation de complément du blé au niveau de la Mitidja. Thèse Ing. INA. El Harrach. 317p.
- CHUNGT O.K., OHMT J. B., LOOKHART G.L. and BRUNST R.F. 2003. Quality characteristics of hard winter and spring wheats grown under an over-wintering condition. *Journal of Cereal Science* 37. pp 91-99.
- CIAFFI M., LAFIANDRA D., TURCHETTA T., RAVAGLIA S., BARIANA H., GUPTA R., MAC RITCHIE F. 1995. Breedbaking Potential of Durum Wheat Lines expressing

Both X- and Y- Type Subunits at the Glu-A1 locus. Cereal Chem. Vol. 72 (5). pp. 465-469.

CLEMENT G. et PRATS J. 1970. Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2<sup>ème</sup> Ed. 351 p.

CLEMENT G. 1971. Les céréales, « grand court ». Coll. Agro. Alimentaire. Lavoisier. Pp. 78-91.

COMBE D., GARCON- MARCHAND O. 1988. Caractéristiques technologiques des variétés de blés durs. Laboratoire de technologie des céréales .INRA. Montpellier.

CRETOIS A., 1985. Valeur technologique de quelques variétés de blé. Bull. Industries des céréales N°20, 26, 32.

CUBADDA R. 1988. Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in europe. In Durum Wheat: Chemistry and Technology. Association of cereal chemists, St Paul, MN, U.S.A. pp. 217.

DAGNELIE P. 1982. Analyse statistique à plusieurs variables. Les presses agronomiques de Gembloux. Pp. 103.

DAGNELIE P. 1999. Statistique théorique et appliquée. Tome 02. Inférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles. Université D&L. 659p.

DAMIDAUX R., FEILLET P. 1978. Relation entre les propriétés viscoélastiques du gluten cuit, la teneur en protéines et la qualité culinaire des blés durs. Ann. Technique d'Agriculture N° 27. pp. 799 - 808.

D'EGIDIO M. G., DE STEFANIS E., FORTINI G., GALTERIO S., NARDI S., SGRULLETTA D., BOZZINI A. 1982. Standardization of cooking quality analysis in macaroni and pasta products. Cereal Foods World. 27. pp.367-368.

DEKHILI M., KHALFALLAH N., AGGOUN A., HARKATI B. 1998. Distinction et homogénéité de cinq populations algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf). Cahiers. Agriculture. Volume 7. N° 1. Jan - Fev. pp 67-71.

DELWICHE S.R. 1998. Protein content of single kernels of wheat by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. Journal of Cereal Science 27. pp 241-254.

DEMARLY Y. 1995. De la plante entière à l'ADN. Introduction. Biotechnologies végétales. AUPELF- UREF. pp.15.

DESCLAUX D. 1996. De l'intérêt de génotypes révélateurs de facteurs limitants dans l'analyse des interactions génotype – milieu chez le soja (*Glycine max* L. Merrill). Institut National Polytechnique de Toulouse. Spécialité : Biologie et Technologie végétales. Thèse de Doctorat. 227pp.

DESCLAUX D., POIRIER S. 2004. Moucheture du blé dur : bilan des connaissances. Colloque : Grandes Cultures Semences en Languedoc Roussillon. DADP.

DESCLAUX D., SAMSON MF., CARON D. 2005. Qualité du blé dur en zone traditionnelle : diagnostic en partenariat et avancées multidisciplinaires. Symposium international « Territoires et Enjeux du Développement Régional ». INRA-PSDR. France.

DESCLAUX D. 2005. Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin. Rapport du projet de recherche. INRA. Montpellier. France.

DEXTER J.E., MATSUO R.R. 1977. Changes in semolina proteins during spaghetti processing. Cereal Chem. N° 54. pp.882 - 894.

DJEKOUN A., YKHLEF N., BOUZERZOUR H., HAFSI M., HAMADA Y., KAHALI L. 2002. Production du blé dur en zones semi-arides : identification des paramètres d'amélioration du rendement. Act des 3<sup>ème</sup> Journées Scientifiques sur le blé dur. Constantine.

DOTCHEV D.G et BELAID D. 1990. Elément de phytotechnie générale. Coll. Le cours d'agronomie. Ed OPU. 154p.

D'OVIDIO R., TANZARELLA O.A., PORCEDDU E. 1990. Rapid and efficient detection of genetic polymorphism in wheat through amplification by polymerase chain reaction. Plant Molecular Biology N°15.pp 169- 171.

D'VORAK J., TERLIZZI P., ZHAN H.B., RESTA P. 1992. The evolution of polyploidwheat identification of the A genome donor species. Genome 36: 21-31.

FEILLET P., ABECASSIS J. 1976. Valeur d'utilisation des blés durs C.R. Semaine d'étude céréaliculture Gembloux, 551-560 p.

FEILLET P. 1984. The biochemical basis of pasta cooking quality. Its consequences for durum wheat breeders. Science Alimentaire N° 4. pp. 551 - 566.

FEILLET P. 1986. L'industrie des pâtes alimentaires : Technologies de fabrication, qualité des produits finis et des matières premières. Ind. Agric. Aliment. N°103. pp. 979 - 989.

FEILLET P., DEXTER J.E. 1996. Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In "Monograph on Pasta and Noodle Technology", Matsuo R.R., Minnesota, A.A.C.C. N°95. pp132.

FEILLET 2000. Le grain de blé. Composition et utilisation. Edition INRA. Pp.58-75.

FELDMAN M. 1976. Taxonomic Classification and Names of Wild, Primitive, Cul and Moderne Cultivated Wheats. Evolution of Plants. Longman, London. pp 120-128.

FELIX I. 1996. Etude de la diversité allélique des protéines de réserve (gluténines et gliadines) en relation avec des tests technologiques appréciant la valeur d'utilisation du blé tender (*Triticum aestivum* L.). Thes. Doct. Univ d'Auvergne. France. 146p.

FERRET M. 1996. Blé dur, objectif qualité. Ed. ITCF. 43p.

FISCHER R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. J. Agric. Sci. 108, pp. 447–461.

GATE P. 1995. Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture. Ed Lavoisier. 429p.

GATE P., VIGNIER L., VADON B., SOUICI D., MINKOV D., LAFARGA A., ZAIRI M. 1997. Céréales en milieu méditerranéen. Un modèle pour limiter les risques climatiques. Perspectives agricoles. 217 : 59-70.

GHOUAR W. 2006. Effet du cumul de pluie hivernale sur la réponse du cultivar Waha (*Triticum durum* Desf.) à la fertilisation azotée. Mémoire. Magistère. Institut Agronomique. Univ. Batna.

GIBSON T.S., SOLAH V.A., McCLEARYT B. V. 1997. A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A. Journal of Cereal Science N° 25. pp. 111 - 119.

GODON B., LOISEL W. 1984. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Coll. Scien. Et Tech. Agro-Alimentaires. APRIA. pp. 47 - 50.

GODON B., WILLM CL. 1991. Les industries de première transformation des céréales. Coll. Agro. Alimentaire. Lavoisier. Pp . 78 – 91.

GOUET J.P. 1974. Les comparaisons de moyennes et variances. Application à l'agronomie. Bureau d'études statistiques de l'I.T.C.F.

GRICNAC P. 1981. Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français. Séminaire de Bari. CEE. Univ Bologne. Pp 185 – 195.

HAJI H.M. and HUNT L.A. 1999. Genotype × environment interactions and underlying environmental factors for winter wheat in Ontario. Can. J. Plant Sci. 79. pp. 497–505.

HATCHER D.W., KRUGER J.E. 1993. Distribution of polyphenol oxidase in flour millstreams of canadian common wheat classes milled to three extraction rates. Cereal chem.. 70. pp 51-55.

HERNANDEZ J.A.Z., SANTIVERI F., MICHELENA A. and PENA R.J. 2004. Durum wheat (*Triticum turgidum* L.) carrying the 1BL/1RS chromosomal translocation : agronomic performance and quality characteristics under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy 30.

ICARD C., FEILLET P. 1996. Effets des phénomènes d'oxydoréduction au cours de la fabrication des pâtes alimentaires. Cahier Scientifiques. Vol 114. Ind. Alim. Agr. pp. 5 -17.

KAAN F., BRANLARD G., CHIHAB B., BORRIES C., MONNEVEUX P. 1993. Prebreeding and breeding durum wheat germplasm (*Triticum durum* Desf.) for quality products. pp. 30 - 33.

KHELIFI D., BRANLARD G. 2000. Amélioration de la qualité du blé tendre : étude des relations entre les marqueurs protéiques et certaines caractéristiques technologiques. Symposium blé 2000 : jeux et stratégies. pp. 261

KOVACS M. I. P., POSTE L.M., BUTLER G., WOODS S. M., LEISLE D., NOLL J. S., DAHLKE G. 1995. Durum Wheat Quality: Comparison of Chemical and Rheological Screening Tests With Sensory Analysis. Journal of Cereal Science, N° 25. pp.65 - 75.

KRIBAAA M., HALLAIRE V., CURMINB P. Et LAHMARC R. 2001. Effet de diverses méthodes de culture sur la structure et les propriétés hydrauliques d'un sol dans un climat semi-aride. Unité experte en matière de DES Techniciens d'Internationale d'association de c et Chercheurs. France.

LAIGNELET B. 1983. Lipids in pasta and pasta processing. In "lipids in cereal technology". Barnes P.J. Ed., Academic Press, London. pp. 269 - 286.

LECOQ R. 1965. Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. Tome I. éd Deren et Cie. pp. 241 - 251.

LE CORRE V., BERNARD M. 1995. Assessment o the type and degree of restriction fragment length polymorphism (RFLP) in diploid species genus *Triticum*. Theor. Appl. Genet 90 : 1063 – 10067.

LEMPEREUR I., ROUAU X., ABECASSIS J. 1995. Genetic and Agronomic variation in Arabinoxylan and Ferulic Acid contents of Durum Wheat (*Triticum durum L.*) grain and its milling fractions. Journal of Cereal Science N° 25. pp 103-110.

LINDEN G., LORIENT D. 1994. Biochimie agro-industrielle : Valorisation alimentaire de la production agricole. Ind. Alim. Et Biologiques. éd. Masson. pp. 70 - 80.

LIU C.Y., SHEPHERD K. W. 1995. Inheritance of B subunits of glutenin and  $\omega$ - and  $\gamma$ -gliadins in tetraploid wheats. Theor. Appl. Genet N°90. pp 1149-1157.

LONCHAMP J.P., BARRALIS G. 1988. Caractéristiques et dynamique des mauvaises herbes en région de grande culture : le Noyonnais (Oise). Agronomie 8(9). Pp 757-766.

LU G., HUANG H. and ZHANG D. 2005. Prediction of sweetpotato starch physiochemical quality and pasting properties using near-infrared reflectance spectroscopy. Analytical, Nutritional and Clinical Methods. Pp 85-90.

MALLEK - MAALEJ E., BOULASNEM F., BEN SALEM M. 1998. Effet de la salinité sur la germination de graines de céréales cultivées en Tunisie. Cahiers Agricultures, Volume 7, N°2. pp 153-156.

MASCI S., LEW E. J.-L., LAFIANDRA D., PORCEDDU E., KASARDA D. 1995. Characterization of Low Molecular Weight Glutenin Subunits in Durum Wheat by Reversed- Phase High- Performance Liquid Chromatography and N-Terminal Sequencing. Cereal Chemistry. Vol. 72, No. 1. pp 100-104.

MATSUO R. R., BRADLEY J. W., IRVINE G. N. 1972. Effect of protéin content on the cooking quality of spaghetti. Cereal Chem. N° 49.

MATSUO R. R., DEXTER J.E., KOSMOLAK F.G., LEISLE D. 1982. Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. Cereal Chem. N°59.

MATWEEF M. 1946. Valeur industrielle des blés durs Tunisiens et méthodes utilisées pour appréciation. Annales du Service Botanique et Agronomique de Tunisie. Vol, 19.pp. 4 -23.

MATWEEF M. 1966. Influence du gluten des blés durs sur la valeur des pâtes alimentaires. (In French) Bull. ENSMIC. pp 213.

MEBIROUK L. 2003. Etude comparative des rendements de 24 variétés de blé dur sur deux sites El khroub et Oum El Bouaghi. Mémoire. Magistère. Institut Agronomie. C.U.El Tarf. 65p + annexes.

MELAS V., MOREL M. H., FEILLET P. 1993. Les sous unités gluténines du blé de faible poids moléculaire : des protéines d'avenir ?. Ind. Cereal. N° 84.pp. 3 - 14.

MEKHLOUF A., BOUZERZOUR H., DEHBI F., HANNACHI A. 2001. Rythme de développement et variabilité de réponses du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux basses températures. Tentatives de sélection pour la tolérance au gel. In Proceeding Séminaire sur la valorisation des milieux semi-arides. OEB.

MERIZEK S. 1992. Evolution de la biomasse et des composantes du rendement d'une culture de blé conduite en sec et en irrigué. Thèse Ing. INA El Harrach. P.10.

MOK C. 1997. Mixing properties of durum wheat semolina as influenced by protein quality and quantity. Food and Technology. Vol. 6. NO. 1. pp. 1-4.

MONNEVEUX Ph. 1984. Sélection des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) de valeur technologique élevée : Quantité et qualité des protéines du grain. Ind. Cereal N° 28.

MONNEVEUX Ph. 1989. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. Journées Scientifiques de l'AUPELF : " Amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu aride". Tunis, 4 -9 Décembre.

MONNEVEUX Ph., ZAHARIEVA M., DJEKKOUN A. 1994. Utilisation des ressources génétiques apparentées pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse du blé dur : Résultats préliminaires et essai d'analyse. Deuxièmes journées scientifiques sur le blé, Constantine, Algérie, 24-26 octobre.

MONNEVEUX Ph. 1997. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. Cahier "sécheresse".Vol. 8, N° 1, pp 29-37.

NACHIT M., PICARD E., MONNEVEUX Ph, LABHILILI M., BAUM M., RIVOAL R. 1998. Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin

méditerranéen. Réseaux transnationaux d'amélioration des plantes utilisant les biotechnologies. Revue Cahiers Agricultures, Volume 7, N° 5. pp. 10 -15.

NEMMAR M. 1983. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L.); Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement. Thèse Docteur Ingénieur Sciences Agronomiques. ENSAM, 142 p.

NOTTIN, DAROS, PIGNARRE 1949. Valeur industrielle des blés durs. Chambre d'agriculture de Constantine. Algérie. pp. 260.

OLMEDO-ARCEGA O. B., ELIAS E. M., CANTRELL R. G. 1995. Recurrent Selection for Grain Yield in Durum Wheat. Crop Sci. N°35. pp. 714 - 719.

PICARD E. 1988. Sélection du blé. L'intégration des biotechnologies : 48 – 58.

PORCEDDU E. 1995. Durum Wheat Quality in the Mediterranean countries. Séminaires Méditerranéens N°22. ICARDA / CIHEAM / CIMMYT.

RAYBURN A. L., GILL B. S. 1985. Molecular evidence for the origin and evolution of chromosome 4A in polyploidy wheats. Can. J. Genet. Cytol. 27 : 246-250.

RHARRABTI Y., VILLEGAS D., GARCIA DEL MORAL L.F., APARICIO N., EL HANI S. and ROYO C. 2001. Environmental and genetic determination of protein content and grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. Plant Breeding 120. pp. 381–388.

RHARRABTI Y., ROYO C., VILLEGAS D., APARICIO N. and GARCIA DEL MORAL L.F. 2003a. Durum wheat quality in Mediterranean environments. I. Quality expression under different water regimes across Spain. Field Crops Res. 802. pp. 123–131.

RHARRABTI Y., GARCIA DEL MORAL L.F., VILLEGAS D., and ROYO C. 2003b. Durum wheat quality in Mediterranean environments III. Stability and comparative methods in analysing G x E interaction. Field Crops Research 80. pp 141-146.

ROYO C., APARICIO N., BLANCO R. and VILLEGAS D 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy. Volume 20, Pages 419-430

SADLI F., BOUZANE M., MEBTOUCHE K. 1995. La qualité des blés tendres et durs cultivés en Algérie. VIèmes Journées Nationales sur la Nutrition. Sétif. 28 et 29 Mai.

SAMSON M.F., MOREL M.H. 1995. Heat Denaturation of Durum Wheat Semolina  $\beta$ -Amylase : Effects of Chemical Factors and Pasta Processing Conditions .Journal of Food Science. Volume 60. N° 6. pp. 1313 - 1320.

SCHAFER M. 1971. Standardmethoden für Getreide, Mehl und Brot. R.F.A.

SELMI R. 2000. Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. Revue Afrique Agriculture .N° 280. pp 30-32.

SELSLET – ATOUT G., GUEZLENE L. 1983. Caractéristiques physico-chimiques des principales variétés de blé dur cultivé en Algérie. Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. Vol 56. pp 12-20

SHEWRY P. R., TAHAM A. S., FORDE J., KREIS M., MIFLIN B.J. 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten protéins. A reassessment. Journal of Cereal Science. N°4.pp. 97 - 106.

SIMON H., CODACCIONI P., LEQUEUR X. 1989. Produire des céréales à paille. Coll. Agriculture d'aujourd'hui. Science, Techniques, Applications. pp. 63 - 67; pp. 292 - 296.

SOLTNER D., 1990. Les grandes productions végétales : Céréales, plantes sarclées, prairies. Coll. Sciences et Techniques agricoles. 17<sup>ième</sup> Ed. 464p

TAHAR A. 1990. Comparaison de techniques de calcul des équations de calibrage en analyse par spectrophotométrie de réflexion dans le proche infrarouge. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. Belgique.

TAHA S.A., SAGI F. 1987. Relationships between chemical composition of durum wheat semolina and macaroni quality. II. ASH, carotenoid pigments and oxidative enzymes. Cereal Rzs. Commun. 15. pp 123-129.

TRENTESAUX E. 1995. Evaluation de la qualité du blé dur. Durum wheat quality in the Méditerranéen Region. Séminaires Méditerranéen N° 22.

VERNOOY R. 2003. Les semences du monde. L'amélioration participative des plantes. Un focus du centre de recherches pour le développement international. 109p.

WESLEY I.J., LARROQUE O., OSBORNE B.G., AZUDIN N., ALLEN H. et SKERRI J.H. 2001. Measurement of Gliadin and Glutenin Content of Flour by NIR Spectroscopy. Journal of Cereal Science 34(2001). Pp 125 – 133.

YAKOUBI M., EL-MOURID M., CHBOUKI N., et STOCKE C.O. 1998. Typologie de la sécheresse et recherche d'indicateurs d'alerte en climat semi-aride Marocain. Sécheresse n°9. pp 269-276.

YKHLEF N., DJEKOUN A. 2000. Comportement hydrique, activité photochimique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*T. durum* Desf.) : Symposium blé 2000 : enjeux et stratégies. Pp 156.

ZOUAOUI G. 1993. Etude en F1 et F2 des hybrides issus du croisement de 05 variétés de blé dur : détermination génétique des principaux caractères a intérêt agronomique. Mem. Ing. D'Etat. I.N.R.A El Harrach. Alger. 7p.

