

**INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE EL- HARRACH - ALGER**  
Thèse en vue de l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques  
Département Technologie Alimentaire  
Option : sciences alimentaires

***Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur  
les propriétés techno-fonctionnelles des  
protéines de blé***

Présenté par:

**ABDELLAOUI Zakia**

Directeur de thèse : Mr BELLAL M. Professeur  
22-11-2007

Jury : Président : Mr AMMOUCHE A. Professeur Examineurs : Mr MEKLICHE M. Chargé de cours  
Mr OUNANE S.M. Maître de conférence Invité: Mr HAMMADACHE A.



# Table des matières

Dédicace . . .	6
Remerciements . . .	7
Résumé . . .	8
ص خ لم . . .	9
SUMMURY . . .	10
Liste des abréviations . . .	11
INTRODUCTION . . .	13
Bibliographie . . .	14
I- Importance de la culture du blé en Algérie . . .	14
II-1- Caractéristiques botaniques du blé . . .	14
II-2- Exigences du blé en éléments minéraux essentiels. . .	16
II-3-Effet de l'azote sur la croissance et le développement. . .	17
III- Les Protéines du blé . . .	19
III-1- Les protéines solubles . . .	19
III.2/Les protéines de réserve . . .	20
III-3-Le gluten . . .	23
IV-Protéines et qualité . . .	24
IV.1/ Protéines et qualité des pâtes alimentaires . . .	24
IV-2-Protéines et qualité boulangère. . .	25
IV-3-Rôle des gliadines dans la qualité pastière et la valeur boulangère . . .	26
IV-4-Rôle des gluténines dans la qualité pastière et valeur boulangère . . .	26
V-Elaboration de protéines et effet de la fertilisation azotée . . .	28
V-1- Provenance de l'azote dans le grain . . .	28
V-2-Accumulation et évolution des protéines dans le grain de blé au cours de la maturation. . . .	29
V.3-Biosynthèse des protéines de céréales et formation des agrégats protéiques. . .	30
V-4-Influencede la fertilisation azotée sur la formation des fractions protéiques. . .	31
V-5-Synergie entre l'azote et le soufre dans l'élaboration des protéines. . .	33
VII- La chromatographie en phase liquide SE-HPLC et la quantification des Protéines. . .	34
VII-1-La chromatographie en phase liquide SE-HPLC . . .	34
VII-2-Utilisation de la chromatographie à haute performance dans séparation la quantification et la de protéines céréales. . .	36
MATERIELS ET METHODES . . .	39
I-Effet de la fertilisation azotée sur la croissance et le rendement et ses composantes des blés dur et tendre. . .	39
I-1-Site de déroulement de l'essai. . .	39
I-2-Conditions pédoclimatiques ayant caractérisé l'essai. . .	39
I-3-Caractéristiques physico-chimiques du sol. . .	40
I.-4- Matériel végétal utilisé. . .	41

I-5-Dispositif expérimental. . .	41
I-6-Données culturelles. . .	43
I-7- Mesures effectuées. . .	43
II- Mesure de l'effet de la fertilisation azotée sur l'expression de la qualité technologique du blé dur et du blé tendre. . .	45
II-1 Matériel végétal et niveaux d'azote utilisés . . .	45
II-2-La mouture du blé . . .	45
II-3-Mesure des paramètres physico-chimiques . . .	46
II-4-Paramètres rhéologiques . . .	49
II-5-Essai de pastification . . .	54
II-6-Essai de panification . . .	56
III-Séparation et quantification des différentes fractions protéiques par chromatographie liquide à haute performance d'exclusion SE-HPLC. . .	57
III-1-Extraction des protéines. . .	58
III-2-Séparation et mesure de la distribution des différentes fractions protéiques par SE-HPLC. . .	59
IV-Analyses statistiques des résultats . . .	60
<b>RESULTATS ET DISCUSSIONS . . .</b>	<b>62</b>
<b>I-EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES DES BLES DURS ET BLES TENDRES. . .</b>	<b>62</b>
I-1-Effet de la fertilisation azotée sur la biomasse des cultures de blé dur et de blé tendre . . .	62
I-2- Effet de la fertilisation azotée sur le rendement et ses composantes. . .	62
I-3-Evolution de la teneur en azote total de la plante. . .	63
I-4-Corrélation entre le rendement et ses composantes. . .	67
<b>II- EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LES PARAMETRES TECHNOLOGIQUES DU BLE. . .</b>	<b>68</b>
II-1- Paramètres physico-chimiques . . .	68
II-2- Paramètres rhéologiques . . .	83
II-3-Appréciation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires de blé dur . . .	87
II-4-Essai de panification du blé tendre . . .	89
<b>III-Etude des corrélations des caractéristiques physico-chimiques et des tests technologiques. . .</b>	<b>92</b>
III-1-Etude des corrélations des caractéristiques physico-chimiques et des tests technologiques des variétés de blé tendre. . .	92
III-2-Etude des corrélations des caractères physico-chimiques et tests technologiques des variétés de blé dur. . .	93
<b>VII-1- Effet du génotype et de la fertilisation azotée dans la variation des différentes fractions protéiques. . .</b>	<b>95</b>
<b>VII-2-Etude des corrélations des fractions HPLC avec les caractéristiques technologiques. . .</b>	<b>101</b>
<b>Conclusion . . .</b>	<b>105</b>
<b>Références bibliographiques . . .</b>	<b>106</b>
<b>ANNEXES . . .</b>	<b>117</b>
Annexe 1: . . .	117
Annexe 1 (suite): . . .	118

Annexe 2: . .	119
Annexe 3 . .	120
Annexe 4 . .	121
Annexe 5: Critères d'appréciation de la qualité des pâtes et des pains . .	121
Annexe 6 : . .	123
Annexe 7 . .	129

## Dédicace

*Je dédie cet humble travail à : Mes très chères, mère et père pour leur amour, soutien inestimable et leur encouragement pour l'accomplissement de ce travail. A ma famille A mes amis*

## Remerciements

Au terme de cette étude, je n'oserai pas d'omettre et de mettre en exergue le soutien des uns, les encouragements des autres, des personnes qui ont été pour moi un support durant toute cette période pour l'achèvement de ce travail, et s'est pour moi un plaisir et honneur de les citer nominativement pour tous les efforts, conseils et soutien moral, qui ont été pour moi un réconfort, particulièrement lors des moments difficiles.

C'est ainsi que j'adresse tous mes remerciements et reconnaissance à **Mr BELLAL** d'avoir accepté de m'encadrer, pour ses conseils et orientations, et le suivi de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à monsieur **AMMOUCHE**, professeur à l'INA qui m'a fait l'honneur de présider le jury, qu'il trouve ici ma haute considération

Mes remerciements vont également à Mr **MEKLICHE**, chargé de cours, et à Mr **OUANANE**, maître de conférence à L'INA, d'avoir accepté de juger mon travail et de participer au jury.

Parmi les personnes influentes et qui ont été pour moi pour beaucoup, et ont out le mérite de m'avoir soutenu et m'ont ouvert les portes afin de réaliser l'étape la plus importante de mon travail qui est les analyses biochimiques, qu'elle trouve ici, en la personne de Mr **FELIACHI Kamel**, directeur général de l'INRA toute ma reconnaissance, mes remerciements et ma sympathie, personnalité, qui ne trouve aucun obstacle pour le bien être des autres et démontre de par là son professionnalisme et son humanisme je dirai merci pour tout ça.

A Monsieur **ZEGHIDA Ali**, directeur général de l'ITGC, je ne manquerai pas de lui adresser mes sincères remerciements de m'avoir accordé une journée par semaine afin de me concentrer uniquement à mon travail personnel, ce qui me laisse dire que nul ne peut se vanter d'arriver à un objectif défini si ce n'est la compréhension des uns et le soutien et encouragements des autres.

Je tiens aussi à remercier tous mes collègues et amis qui m'ont soutenu pour la réalisation de ce travail.

A toutes ces personnes et d'autres qui m'ont aidé de pré où de loin je leur dirai merci et que Dieu vous garde.

## **Résumé**

L'étude de l'effet de la fertilisation azotée sur la variation des fractions protéiques et leur expression sur la qualité technologiques du blé a été réalisé sur deux variétés de blé dur et deux autres de blé tendre, cultivées sous 4 différents niveaux croissants de fertilisation azotée. Un suivi végétatif a été réalisé. Après la récolte, des analyses physico-chimiques, technologiques et biochimiques ont été effectuées sur les grains, farine et semoule.

Les résultats ont montré que les doses élevées d'azote diminuent sensiblement le mitadinage et augmentent la coloration brune et jaune chez le blé dur. L'accroissement des doses a également augmenté la teneur en protéines, le gluten sec et sa capacité d'hydratation, et le volume de sédimentation chez les deux espèces, ainsi qu'une amélioration de l'élasticité des pâtes cuites des variétés de blé dur. Le temps de cuisson des pâtes a été prolongé avec une meilleure capacité de fixation d'eau chez la variété WAHA. La force boulangère des variétés de blé tendre est améliorée, et le volume du pain a augmenté chez la variété ANZA.

La force boulangère du blé tendre est étroitement liée à la force du gluten. Ce dernier augmente significativement avec les protéines totales du blé dur, et sa forte hydratation traduit une meilleure fermeté des pâtes cuites.

L'analyse des fractions protéiques par la SE-HPLC a révélé que les HWGS, les LWGS et les fractions insolubles au SDS, varient significativement avec le facteur génétique. La fertilisation a élevé légèrement les fractions LWGS et les gliadines de la variété HD1220 et a diminué les protéines insolubles au SDS de la même variété avec l'accroissement des doses, de 0 unités/ha à 120 unités/ha. Le rapport HWGS / LWGS a également varié avec les différents apports de fertilisation.

Chez le blé dur, les gliadines sont corrélées négativement à la capacité d'hydratation du gluten et à la fermeté des pâtes cuites. Par contre, les protéines insolubles au SDS (Fi) sont positivement corrélées à ces mêmes paramètres.

Les HWGS du blé tendre sont corrélés négativement à la force boulangère, et les proportions des gliadines augmentent significativement avec les teneurs en protéines totales. Le rapport HWGS/LWGS a été négativement corrélé à la force boulangère et au volume de sédimentation.

**Mots clés:** Blés durs, Blés tendres, variétés, fertilisation azotée, protéines, SE-HPLC,



## ص خ لم

أقيمت هذه الدراسة حول تأثير تسميد الأزوني على أنواع التحليل البروتين و قدرته على نوعية التكنولوجيا القمح، حيث أجريت هذه الدراسة على نوعين من أنواع القمح الصلب و القمح اللين وزرعت تحت أربعة كميات مختلفة من تسميد الأزوني .

لقد تمت متابعة مراحل الإنبات، وبعد الحصاد أجريت تحليل فيزيوكيميائية، و تكنولوجيا و بيوكيميائية في الحبوب، البرينة و السميد .

ظهرت نتائج أن الكميات المرتفعة للأزوت أدت إلى انخفاض محسوس في ميثادناج و ارتفاع في اللون البني و الأصفر القمح الصلب و كذلك أدت إلى ارتفاع في كمية البروتين الجلوتين الجاف و قدرة إسحاب الماء و حجم ترسب نسبة تصفيين من القمح (الصلب و البني) و كذا تحسين مرونة عجينة لمطبوخة للإصناف القمح الصلب .

تمدد مدة طهي عجينة أدت إلى تمدد أحسن إلى قدرة تثبيت الماء تحسین قوة الطهي لدى نوع أوحه (القمح الصلب) . تحسین قدرة تنخيز عند أنواع القمح اللين و زيادة حجم عجينة عند نوع عنزة (القمح اللين) . أن قوة الطهي القمح اللين له علاقة مع قوة الجلوتين و هذا الأخير مرتفع إيجابيين مع البروتين لعام القمح الصلب ، مع قوة تحسیر عجينة لمطبوخة .

و مربوط SDS و البروتين الذي لا ينحل مع HWGS/LWGS إلى أن SE-HPLC بين التحليل البروتين مع إيجابيا مع عامل لوراني .

و انخفاض في HD1220. شوع (Gliadines) و غليادين LWGS أدى تسميد إلى ارتفاع طفيف في تحال عند نفس شوع ، مع ارتفاع في كميات الأزوت 0 وحدة في لهكتار و 120 وحدة في SDS البروتين لمحال لي لهكتار .

مع اختلاف كميات تسميد HWGS/LWGS اختلاف

و كذا مع عجينة لمطبوخة، مع لعكس البروتين عند القمح الصلب غليادين مربوط سلبيا مع قدرة رطوبة جلوتين مربوط إيجابيا مع نفس العوامل الأخيرة ( قدرة تحال بروتينات و عجينة لمطبوخة). SDS ( Fi ) غير لمحال في يرتفع إيجابيا مع نسبة البروتين ( Gliadines ) القمح اللين مربوط إيجابيا مع قوة الطهي و ليودك HWGS مربوط سلبيا مع قوة الطهي و حجم ترسب .

HWGS/LWGS لعام و علاقة

الكلمات الأساسية

القمح الصلب القمح اللين تسميد الأزوني البروتين

## SUMMARY

The research of nitrogen fertilization on the variation of the protein fraction and their effect on the technological quality of the WHEAT was realised. Two varieties of durum wheat and two others on (bl ten), cultivated under 4 different raising levels of nitrogen fertilization. A vegetative control was realised. After the harvest , (physical and chemical technological and biochemical analyses were realised on the grain.

The results are as follow :

The raising amount of nitrogen diminished the mitadinage and raised the coloration of durum wheat.

The raising of the level of nitrogen has also increased, the quantity of proteins, the gluten and its hydratation capacity, and the sedimentation volume of both species, as well as a better elasticity of cooking pasta of durum wheat. The cooking time of the pasta has increased with a better capacity of fixing water with WAHA variety. The baking strength of bread wheat variety is better, and the volume of bread has increased with ANZA variety.

The baking strength of the bread wheat is linked to the strength of gluten which increased with the total proteins of the durum wheat, and its high hydratation reflects a better (firmness) of cooked pasta.

The analyses of protein fractions by the SE-HPLC has revealed that the HWGS, the LWGS and the fractions (ins) to the SDS, change with the genetic factor. The LWGS fractions and the gliadins of HD1220 variety, and reduced the proteins insoluble to SDS of the same variety with the increasing of the levels, from 0 (un/ha) to 120 (un/ha). The HWGS/LWGS ratio has changed with the different fertilization.

With the durum wheat the gliadin are negatively correlated to the gluten hydratation capacity and to the firmness of cooked pasta. On the other hand, the proteins insoluble to SDS (Fi) are positively correlated to these same parameters.

The HWGS of bred wheat are negatively (correlated) to the baking strength and the gliadins proportions increase significantly with the amount of total proteins. The HWGS/LWGS ratio has been negatively (correlated) to the baking strength and to the sedimentation volume.

**Keys Words** : durum wheat , bread wheat , variety , nitrogen fertilisation , proteins, SE-HPLC

---

## Liste des abréviations

- **AACC** : American Association of cereal Chemistry.
- **AFNOR**:Association Française de Normalisation.
- **CH**:Capacité d'Hydratation.
- **Ce** :Capacité de fixation d'eau
- **CIE**:Commission Internationale d'Eclairage.
- **CV**:Coefficient de Variation.
- **F1** :Facteur 1
- **F2** :Facteur 2
- **For, haut**Force de la hauteur
- **Ind, vis**Indice de viscoélasticité
- **Ju**Jugement
- **GH**:Gluten Humide.
- **GI**:Gluten Index.
- **GS**:Gluten Sec.
- **Gonf** :Gonflement des pates
- **HMW**:High Molecular Weight Glutenin.
- **HPLC**:High Molecular liquid Chromatography.
- **IB**:Indice de Brun.
- **IJ**:Indice de Jaune.
- **ITGC**:Institut Technique des Grandes Cultures.
- **LMW**:Low Molecular Weight Glutenin.
- **MS**:Matière Sèche
- **Mit**Mitadinage
- **PPG**:Plus Petits Grains.
- **Pr, grain**Protéines des grains
- **Pr, farine**Protéines des farines
- **Pr, sem**Protéines semoule
- **PC** :Perte à la cuisson
- **RP HPLC**:Chromatographie Haute performance en Phase inverse
- **SDS**:Dodecyl Sulfate de Sodium.
- **SE HPLC**:Chromatographie Haute performance d'exclusion.
- **SG FPM**:Sous unité Gluténine Faible Poids Moléculaire.
- **SG HPM**:Sous unité Gluténine Haute Poids Moléculaire.
- **Signi.stat**Signification statistique
- **T.E.**:Taux d'extraction.
- **Ten, eau** :Teneur en eau
- **Ten, Cd, g** : Teneur en cendres des grains

- **Ten, Cd, f** :Teneur en cendres des farines
- **Tps dvpt mixo**:Temps de développement au mixographe.
- **Tps, op, cui**Temps optimum de cuisson
- **Tps, surcui**Temps de sur cuisson
- **W** :Force boulangère
- **Vm** : Volume mort
- **Vsp, pain**Volume spécifique du pain

---

# INTRODUCTION

L'augmentation de la production de céréales était la préoccupation majeure de notre pays. Des activités d'obtention de matériel végétal sont menées pour la mise au point de nouvelles variétés adaptées aux zones agro-climatiques de notre pays et performantes sur le plan agronomique.

La sélection de nouveaux matériels génétiques, s'opère sur du matériel végétal introduit annuellement en pépinières et des essais de rendements par des institutions internationales spécialisées, en l'occurrence l' *ICARDA* et le *CIMMYT* et du matériel végétal crée, par hybridation, à partir des croisements effectués, par l'Institut technique des grandes cultures.

Plusieurs critères de sélection sont utilisés, rendement en grains, tolérance aux maladies et parasites, tolérance aux stress abiotiques, résistances à la verse et qualité technologique.

La qualité technologique des blés est étudiée essentiellement, sur de nouvelles lignées ou variétés pour connaître la valeur d'utilisation du blé sélectionné.

Les tests technologiques effectués sur un même cultivar, ont montré que l'origine de culture de ce dernier modifie l'expression de sa qualité technologique. En effet, plusieurs travaux, KRUGS et MACHYLO (1985), HUEBNER et BIETZ (1988), Cité par SHEROMM, (1992), ont montré que les conditions environnementales ont un effet sur la quantité de protéines de réserve.

Parmi les conditions de culture des blés, la nutrition azotée est largement considérée comme le facteur majeur qui affecte les protéines de réserve. Les paramètres de qualité sont fortement déterminés par la structure et la quantité de protéines du blé. Plusieurs auteurs, TIMMS et al (1981), MARTIN et al (1992), PELTONEN (1995) cités par YONG-QUING (1996), ont montré que la source azotée et les techniques d'application affectent considérablement l'accumulation des protéines de réserve du blé.

SHEROM et al 1992, ont montré également la corrélation entre la fertilisation azotée le taux de polymérisation et le type d'agrégation des protéines.

L'objectif de notre étude est de déterminer l'effet de différentes doses de fertilisation azotée sur l'accumulation de différentes fractions protéiques et leur effet sur l'expression de la qualité technologique de deux variétés de blé dur et de deux variétés de blé tendre cultivés chez nos agriculteurs.

# Bibliographie

## I- Importance de la culture du blé en Algérie

La culture des céréales et plus particulièrement celle du blé, a été, et restera l'élément essentiel de l'agriculture algérienne. Une superficie de 2 448 200 hectares lui est consacrée. Le blé dur et le blé tendre fournissent les aliments de base et occupent une place de choix dans l'alimentation des populations algériennes. Ils représentent 50% des dépenses des ménages. Ces céréales constituent 60% de l'apport calorique et 71% de l'apport protéique de la population algérienne (BENSALEM, 1995). La moyenne annuelle du niveau de consommation du blé dur et du blé tendre, en Algérie, oscille autour de 220 kg/habitant. Elle est inférieure à celle du Maroc qui est de 240 kg/habitant et supérieure à celle de la Tunisie qui est de 205 kg/habitant (Anonyme, 2004). Actuellement l'Algérie occupe la 5ème place dans la consommation des céréales (établi par le conseil international de céréales (CIC).

Les dérivés des céréales notamment les semoules et les farines entrent dans la fabrication du pain, des pâtes, des galettes et des gâteaux traditionnels.

Le tableau 1 regroupe les superficies et les niveaux de production du blé dur et du blé tendre, durant les campagnes 1993/2005. Les rendements moyens obtenus sont faibles. Ils varient de 7 à 15 q/ha pour le blé dur et de 6 à 15 q/ha pour le blé tendre.

Compte tenu de l'importance de l'accroissement démographique de la population, et de l'insuffisance de la production nationale, le ministère de l'agriculture, depuis la campagne agricole 1998/1999, exécute un programme d'intensification céréalière concernant le blé dur et le blé tendre sur une superficie de 1.200.000 hectares, localisés dans les zones à hautes et moyennes potentialités.

La mise en œuvre du plan national du développement agricole, à partir de l'année 2000, avait comme objectif principal l'adaptation des systèmes de culture, ce qui s'est traduit essentiellement par la concentration de la pratique de la céréaliculture dans les zones potentielles.

Les conditions climatiques, l'itinéraire technique, l'encadrement technique et économique ont contribué largement à l'augmentation du niveau de production soit un accroissement de 89,52% du blé dur et 111,07% du blé tendre en 2002/2003. Le plan national de développement agricole a aussi permis d'améliorer l'encadrement technique et économique ce qui a largement contribué à l'augmentation du niveau de production. II- Données agronomiques

## II-1- Caractéristiques botaniques du blé

---

### II-1-1-Origine génétique du blé.

Le blé dur et le blé tendre appartiennent au genre *Triticum*. Ce genre comporte de nombreuses espèces autres que le blé qui se répartissent en trois groupes distincts selon leur nombre de chromosomes.

Le groupe diploïde ( $2n=14$  chromosomes), ou groupe Triticum monococcum

Le groupe tétraploïde ( $2n=28$  chromosomes), ou groupe Triticum dicococcum dans lequel on trouve Triticum durum (blé dur).

Le groupe hexaploïde : ( $2n=42$  chromosomes ou groupe Triticum sativum dans lequel on trouve Triticum aestivum (blé tendre) encore appelé Triticum vulgare possédant 7 paires de chromosomes.

Ces espèces forment une série allopolyploïde ayant pour base les génomes A et B et celles du groupe hexaploïde possèdent les génomes A B et D. Les trois génomes descendent vraisemblablement d'un ancêtre commun.

### II-1-2-Structure du grain de blé.

Comme chez la plupart des graminées, le blé possède un grain botaniquement défini comme étant un caryopse : c'est un fruit indéhiscant ou les téguments du fruit sont soudés à la paroi de l'ovaire (MOULE, 1980).

Le grain de blé est constitué de 3 (trois) parties anatomiques principales qui sont :

- les enveloppes : formées de 3 parties de téguments soudés (le péricarpe, la testa, l'épiderme du nucelle)
- l'albumen : principalement amylicé et vitreux chez le blé dur, possède à sa périphérie la couche à aleurone riche en protéines.
- l'embryon : comporte le cotylédon unique, riche en lipides et protéines et de la plantule constituée de la radicule, la gemmule (composée d'un nombre variable de feuilles enfermées dans le coléoptile) et de la tigelle.

**Tableau 1. Evolution de la superficie, de la production et du rendement du blé tendre et du blé dur durant la période 1993-2005.**

Campagnes	Blé dur			Blé tendre		
	Superficie (ha)	Production (q)	Rendement q/ha	Superficie (ha)	Production (q)	Rendement q/ha
1993/1994	683600	5624300	8,08	208900	1515500	7.25
1994/1995	1175860	11886700	10,1	504860	3112500	6,16
1995/1996	1585500	20345700	12,83	693000	9480340	13,68
1996/1997	590920	4554640	7,7	234320	2060500	8,79
1997/1998	1707240	15000000	8,78	860000	7800000	9,07
1998/1999	889090	9000000	10,12	483310	5700000	11,79
1999/2000	544470	4863340	8,93	282100	2740270	9,71
2000/2001	1112180	12388650	11,1	724230	8003480	11,05
2001/2002	1350740	9509670	7,04	813770	5508360	6,76
2002/2003	1321580	18022930	13,63	812510	11625590	14,03
2003/2004	1307890	20017000	15,3	703010	7290000	10,4
2004/2005	1042894	15687090	15,0	560850	8460185	15,1

Source : statistiques Série B

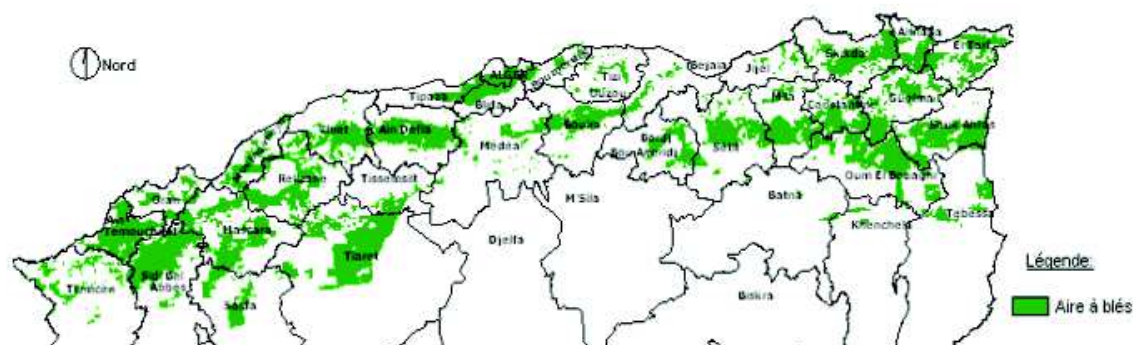


Figure 1. Aires de culture du blé en Algérie. (DELLI et al.2002)

## II-2- Exigences du blé en éléments minéraux essentiels.

Pour croître, le blé a besoin d'éléments essentiels notamment l'azote, le phosphore et le potassium. La fertilisation minérale, essentiellement la fertilisation azotée est l'un des moyens privilégiés d'intervention physique dans une culture. Elle permet l'obtention de rendements élevés et d'une bonne qualité technologique.

Le blé dur a des exigences en azote plus élevées que celles du blé tendre en raison du poids élevé de son appareil végétal et de la richesse en azote de son grain. Les besoins sont variables d'une espèce à une autre et au sein de la même espèce, d'une condition de culture à une autre.

### II-2-1- L'azote

L'azote constitue le principal facteur nutritif dont dépendent la production et la qualité du blé. Il exerce une action essentielle sur la nutrition carbonée et donc sur la croissance.

Les besoins en azote sont particulièrement importants en périodes d'intense activité photosynthétique : pendant la période montaison - floraison, une culture de blé peut synthétiser 200 kg de matière sèche par hectare et par jour, ce qui représente une consommation d'azote de 2 kg par jour et par hectare.

L'azote entre dans la composition des nucléoprotéines des noyaux des cellules, donc se trouve en abondance dans les cellules jeunes

### II-2-2-Phosphore – Potasse.

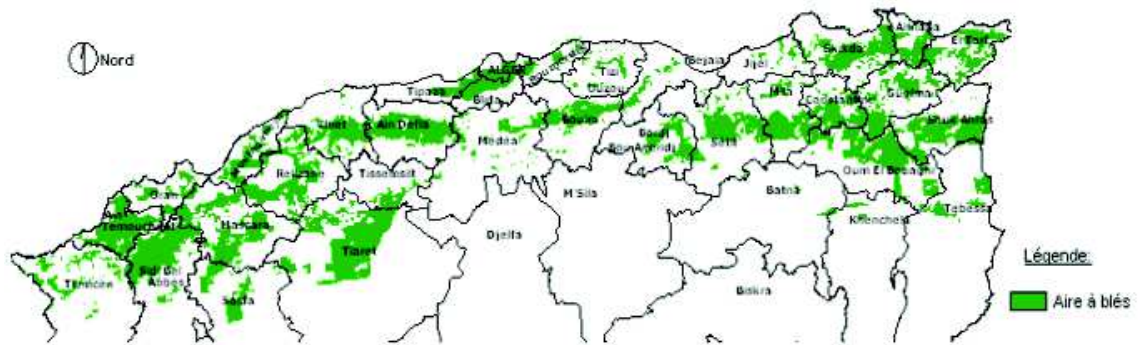
Comme l'azote, le phosphore entre dans la composition des nucléoprotéines. L'absorption du phosphore est liée à celle de l'azote dont elle compense les effets en constituant un squelette (scléroprotéine et phosphoprotéine) résistant à la verse. Le phosphore est d'autre part un facteur de précocité. Il agit en accélérant la maturation après avoir augmenté la fécondité.

En plus de son rôle dans l'acquisition de la résistance au froid des jeunes plantes de blé, le potassium, accroît également le pouvoir assimilateur de la feuille, donc l'élaboration des glucides et favorise l'accumulation des matières de réserve d'amidon dans le grain (PRATS, 1971).

La présence des différents éléments nutritifs (et leur carence) ont des incidences variées sur les réactions bio-chimiques qui déterminent la qualité du produit. Pour un

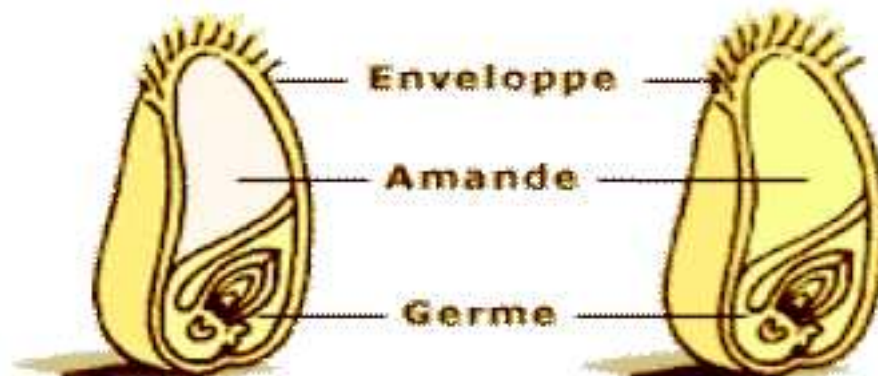


rendement de 15qx/ha la consommation d'engrais et de 36 kg d'azote, 18.7 kg de phosphore et 25.5 kg de potasse (BELAID, 1986)



Cycle de développement du blé

Source: <http://pst.chez.tessali.fr/svtium/blé.htm>



**Coupe de grain de blé tendre:**

L'amande du blé tendre est blanche et friable.

**Coupe de grain de blé dur:**

L'amande du blé dur est jaune et plus dure.

Clément et *al* (1971) estiment les besoins du blé par quintal de matière sèche totale (paille + grain) à:

- 2,1 à 2,7 kg d'azote
- 1 à 1,6 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- 2,2 à 4,8 kg de K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

### II-3-Effet de l'azote sur la croissance et le développement.

L'azote présent dans la solution du sol est absorbé au niveau de la surface active du système racinaire des plantes sous forme d'ions nitriques NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ou ammoniacale NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Les éléments NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se mélangent aux dérivés des glucides pour donner des acides aminés qui sont les éléments constitutifs des protéines. De ce fait, l'azote est un élément nécessaire à la multiplication cellulaire et au développement des organes végétatifs. Il accroît la surface foliaire, la masse protoplasmique, stimule la synthèse de glucides grâce à l'augmentation des chloroplastes .

Selon Male (1982), lorsque l'azote est insuffisant, il se produit une interruption du processus de tallage. Le nombre définitif de talles par pied est fixé, les jeunes talles sont alors affectés, leur croissance s'arrête et commence le début de régression.

NEEYMOD et VEZ (1981) affirment que la fumure appliquée au tallage est moins intéressante qu'un apport réalisé en début montaison et que l'azote est l'un des facteurs qui ont le plus d'incidence sur le rendement;

Un apport de doses croissantes a une influence sur le niveau de tallage par pied qui passe du simple au double ( 2,76 à 5,51) chez le blé tendre (BENTRICIA, 1977).

### **II-3-1- Effet de la fumure azotée sur le rendement et ses composantes.**

Dans ce domaine, de nombreux chercheurs, COIC (1952), VEZ (1962), MEKLCHE (1983), MACHET (1983) et BENDJEMA (1984) ont mis en évidence une relation étroite entre la fumure azotée et le rendement.

#### **II-3-1-1-Epis par m<sup>2</sup>**

Selon MEYNARD (1987), le nombre d'épis par m<sup>2</sup> dépend largement des conditions de nutrition minérale pendant la période tallage montaison. Toute carence au redressement-floraison entraîne une régression des tiges susceptibles de monter en épi et diminue la fertilité de ces derniers(BAHLLOUL, 1989).

D'après KOUADRIA (1987), le gain moyen en tiges par plante passe de 3,21, pour le témoin sans azote, à 5,82 pour une dose de 120 unités; De même DJIAR1988 trouve que le gain moyen en tiges par pied par rapport au témoin est de 0,27 pour une dose de 50 unités/ ha et de 1,48 pour une dose de 100 unités/ ha.

L'azote a un effet majeur sur la montée des épis jusqu'à la montaison. L'élongation des entre nœuds et la croissance des feuilles exigent de fortes quantités d'azote (MEYNARD, 1987).

#### **II-3-1-2-Nombre de grains par épi**

BAHLLOUL (1981) a montré que le nombre de grains par épi augmente avec les doses croissantes d'azote. Plusieurs auteurs COIC et al (1995), DOUSLIMART (1977) et GRANGER (1982) cités par BEN AMRA (1990) affirment que la nutrition azotée au début montaison accroît le nombre de grains par épi.

La nutrition azotée dès le tallage herbacé joue un rôle important à partir du stade épi à 1cm jusqu'à la floraison sur les composantes nombre d'épi /m<sup>2</sup> et la composante nombre de grains par épi. Ce sont les révélateurs privilégiés de la réponse des céréales à l'azote MEYNARD (1987) repris par GATE (1995).

BELAID (1986) confirme que dans le cas d'une carence en azote, le tallage est moins important, la fructification se fait dans de mauvaises conditions et beaucoup de fleurs ne seront fécondées qu'imparfaitement ; par conséquent il y a réduction du nombre de grains par épi.

#### **II-3-1-3- Poids de 1000 grains**

Cités par BELAID (1987), plusieurs auteurs BELLOULA (1981), DEXTER et al (1982), MASE et VIAUX (1983), ROTH et al 1984 ont montré une diminution du poids de 1000 grains avec l'accroissement des doses d'azote.

Plusieurs essais menés à L'ITGC ont montré une corrélation négative entre la fertilisation azotée et le poids du grain (ANONYMES 1995-2003).

#### **II-3-1-4- Rendement en grain**

Les travaux d'expérimentations ont montré que la fertilisation azotée augmente le rendement en grain des céréales d'hiver jusqu'à 20% sous des conditions d'une bonne utilisation de l'engrais c'est-à-dire une bonne efficacité de ce fertilisant (bilan ITGC, 2005).

Par ailleurs, TOUATI (1989) a noté que lorsque les doses augmentent de 0 unité/ha à la dose de 140 unités/ha, le rendement passe de 16,02 q/ha à 11,38 q/ha. Il attribue cette baisse aux conditions défavorables de l'année.

### **III- Les Protéines du blé**

Les protéines du blé sont la base de la qualité technologique des produits de première transformation (semoule de blé dur et farine de blé tendre) et contribuent à l'expression des caractéristiques culinaires de produit de deuxième transformation (pâtes alimentaire, couscous ,pain...). Les pays producteurs et exportateurs de blé utilisent les paramètres quantitatifs et qualitatifs de protéine dans l'échelle de pondération pour la fixation du barème commercial.

La teneur en protéines du blé varie de 9 à 14 % , selon la variété , les conditions de culture et de développement ( climat, sol...) du blé.

Les protéines sont réparties d'une manière non uniforme dans le grain qui est formé de plusieurs parties distinctes de point de vue morphologique et fonctionnel. Ainsi la couche à aleurone est constituée de 30 à 35% de protéines, le germe 35 à 40 % alors que le péricarpe ne contient que 6 à 7% de protéines et le centre de l'albumen amylicé 6 à 9% seulement. Cependant 70 à 80% des protéines se trouvent dans l'albumen.

Suite aux travaux d'OSBORNE (1907) portant sur la classification des protéines de grains de céréales basée sur leurs extractions séquentielles et la solubilité différentielle , les protéines de blé sont classées en quatre groupes sur la base de leur solubilité : les albumines (solubles dans l'eau) , les globulines (soluble solubles dans les solutions salines diluées) et regroupées sous le terme de protéines solubles ou d'albumines –globulines, les gliadines (solubles dans les alcools dilués) et les glutenines , protéines résiduelles (partiellement solubles dans les acides les bases diluées . Ils sont aussi dilués de manière quasi-exhaustive par les détergents ou par l'ajout de réducteur (mercapto-éthanol) aux solvants.

CHENE et BUSHUK (1970) ajoutent une cinquième fraction aux quatre groupes protéiques de la procédure d'OSBONE et qui correspond à la subdivision de glutenines en deux fractions dont l'une est soluble dans l'acide acétique 0.5 M et l'autre est insoluble dans ce solvant.

#### **III-1- Les protéines solubles**

---

Ce sont des protéines cytoplasmiques, elles représentent 15-20 % des protéines totales (POPINEAU,1985). Ce sont des protéines globulaires pauvres en acides glutamiques et

proline par rapport aux protéines de réserve, mais riche en acides aminés basiques (lysine et histidine). Dans ce groupe on distingue :

### **III-1-1-Les albumines**

Elles représentent 5 à 12 % des protéines totales et sont solubles dans l'eau. Elles sont caractérisées par leur relative richesse en tryptophane par rapport aux protéines de réserve et leur pauvreté en azote amidé, de poids moléculaire compris entre 12000 et 60.000 daltons (DACOSTA, 1986).

### **III-1-2-Les globulines**

Elles représentent 6 à 10 % des protéines totales et sont solubles dans les solutions salines. Elles sont pauvres en tryptophane et azote amidé, mais très riches en arginine de poids moléculaire compris entre 20000 et 210.000 daltons (DACOSTA, 1986). Elles peuvent exister sous forme de complexe lipoprotéines remarquablement riche en phosphore.

## **III.2/Les protéines de réserve**

---

Elles représentent 80 à 90% des protéines totales, et sont constituées de gliadines et de gluténines. Les gliadines confèrent à la pâte sa viscosité et son extensibilité ; les gluténines sa ténacité et son élasticité, qui en association avec d'autres constituants (lipides, glucides, matières minérales) forment le gluten.

Ces protéines sont accumulées dans l'albumen amylicé du grain et sont caractérisées par leur richesse en proline, et en glutamine d'où leur appellation prolamine, mot dérivant de la composition de ces deux acides aminés. Outre la classification de ces protéines sur la base de leurs propriétés de solubilité, les gliadines formées de chaînes polypeptidiques monomériques et les gluténines qui sont des agrégats protéiques polymériques peuvent être classés en fonction de leurs propriétés structurales et leur composition en acides aminés.

Les prolamines (protéines de réserve) sont codées par les gènes situés sur le chromosome 1A, 1B (et 1D pour blé tendre) et 6A, 6B (et 6D pour blé tendre). Les gènes sont regroupés en blocs alléliques qui se comportent au cours du croisement comme un seul gène. Car on observe un très faible taux de recombinaison à l'intérieur des blocs alléliques.

### **III-2-1-Les gliadines**

Elles représentent 40 à 45 % des protéines totales et sont solubles dans l'éthanol, le poids moléculaire compris entre 25.000 et 75.000 daltons (MELAS et al. 1993).

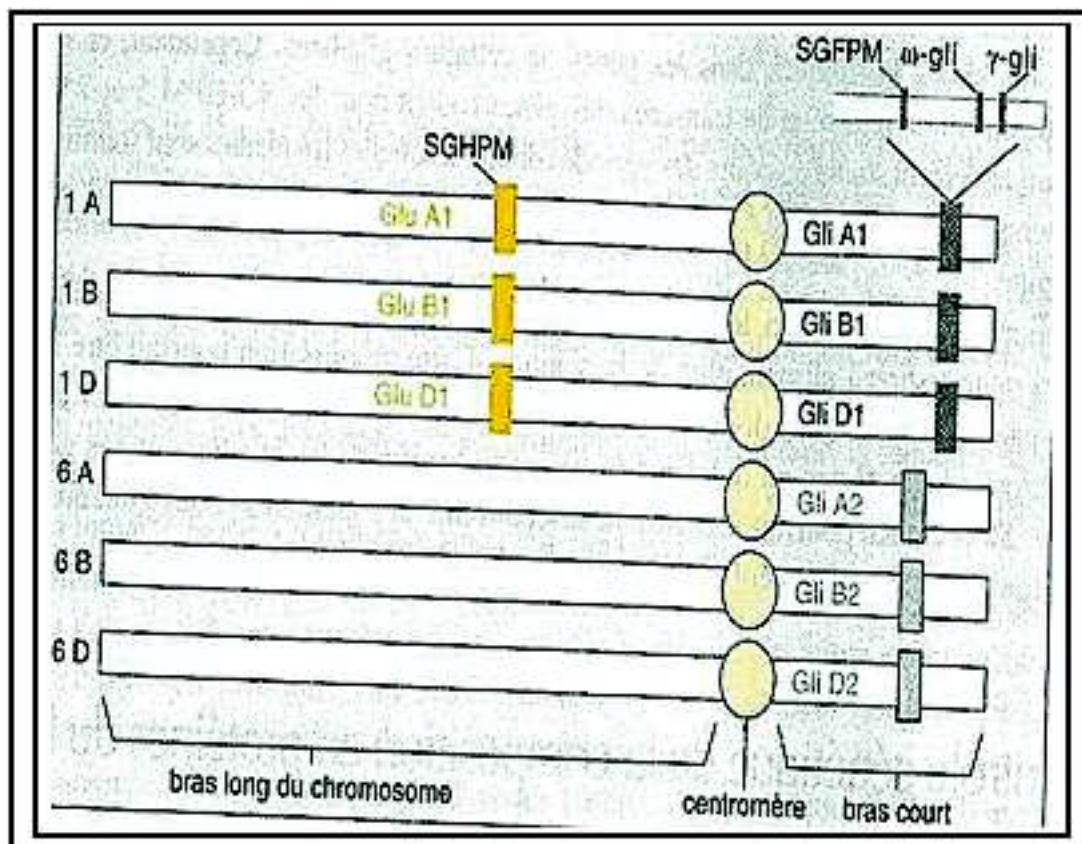
Les gliadines formées d'un mélange hétérogène de protéines monomériques présentent un grand polymorphisme d'origine génétique qui sert de base à l'identification variétale (POPINEAU et al 1996). La séparation des unités polypeptidiques par la technique d'électrophorèse sur gel polyacrilamide en milieu acide a révélé quatre groupes distincts qui sont classés en fonction de leur mobilité décroissante en  $\alpha$ / $\beta$ ,  $\gamma$  et les  $\omega$  gliadines.

Les  $\alpha$ ,  $\beta$ , les  $\gamma$  et les  $\omega$  gliadines représentent respectivement 44 – 60% , 30 – 46 % et 6-20 % des gliadines totales (WEISER, 1994).

Chromosomes	Bras	Blocs alléliques	Groupes protéiques
1A,1B,1D	Long	Glut-A1, Glut-B1, Glut-D1	SG-HPM
	Court	Glut-A3, Glut-B3, Glut-D3 Gli-A1, Gli-B1, Gli-D1	SG-FPM $\omega$ -gliadines $\beta$ -gliadines(quelque-une)
6A,6B, 6D	Court	Gli-A2, Gli-B2, Gli-D2,	$\alpha$ -gliadines $\beta$ - gliadines(majorité) $\gamma$ - gliadines( quelques-unes)

**Tableau 2.** Localisation des gènes codant pour les prolamines du blé.

JACKSON et al (1993), PAYBE et al (1984), SINGH et SHEPHERD, (1988) in Y POPINEAU et al ( 1996).



**Figure 2. Localisation des gènes codant pour les gliadines et les gluténines (FEILLET, 2000)**

Leur masse moléculaire estimée par électrophorèse en présence de SDS et comprise entre 30.000 et 40.000 daltons pour  $\alpha/B$ , et  $\gamma$ gliadines et entre 60.000 et 80.000 daltons pour les gliadines .

Les gliadines se caractérisent généralement par une très grande richesse en glutamine et en proline et une très faible teneur en acides aminés basiques (lysine).

Les gliadines se distinguent des autres gliadines par l'absence d'acide aminé soufré dans la plus part de leurs constituants et dans une moindre mesure par une plus grande richesse en prolines et glutamines (75% au total).

Les  $\gamma$  gliadines sont légèrement plus riches en glutamine et en proline que les  $\alpha$  et  $\beta$  gliadines

### III-2-2-Les gluténines

Les gluténines représentent 40 à 50% de protéines totales, résidus insolubles après extraction des autres types protéiques. Elles sont plus riches en acide glutamique et en proline que les gliadines.

L'électrophorèse en gel de polyacrylamide en milieu dénaturant montre que la fraction gluténine est constituée de 2 types de sous unités gluténines Selon leur poids moléculaire on distingue :

les sous unités de haut poids moléculaire (SGHPM) ( le poids est entre 95 et 130 kDa).

les sous unités de faible poids moléculaire (SGFRM) (le poids varie entre 30 et 50 kDa).

Le polymorphisme génétique des sous –unités gluténines à haut poids moléculaire SGHPM des blés durs a été clairement démontré par (BRANLARD et LEBLANC, 1985). Ils affirment que chaque génotype de blé dur contient 1 à 3 SGHPM alors que chez le blé tendre on dénombre 7 à 16 sous unités SGFRM et 3 à 5 sous unités SGHPM (COLLOT , 1990).

Le polymorphisme génétique des sous unités SGHPM est moins important chez le blé dur , le blé tendre possède un génome supplémentaire qui lui permet de synthétiser plus de gluténines et avoir un polymorphisme plus élevé.

MOREL (1994) , a proposé une nouvelle approche pour étudier la variation de la composition de sous unité gluténines SGFRM basée sur la séparation des sous unités alkylées dans un système A-PAGE.

#### III-2-2-1-Les sous unités gluténines de haut poids moléculaire SGHPM

Elles ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche depuis plusieurs années ( SHEWRY et al 1994). Ce sont les prolamines qui présentent le plus faible polymorphisme. En effet, on leur attribue un rôle déterminant dans les propriétés technologiques des farines ( PAYNE P I , 1979, BURNOUF et BOURIQUET 1980 ).

Les gènes codant pour le SG-HPM sont situés sur le bras long des chromosomes du groupe 1 aux loci *Glu-A1* et *Glu-B1* (et *Glu-D1* chez le blé tendre ). Les variétés de blé contiennent entre 3 et 5 SGHPM.

La composition protéique des SGHPM en acides aminés est très riche en proline et en glycine.

### III.2.2.2/Les sous unités gluténines de faible poids moléculaire SGFPM

Les sous unités de gluténines de faible poids moléculaire représentent environ les 2/3 des glutenines , l'autre 1/3 représente les SGHPM.

Leur composition en acides aminés est proche de celle des gliadines avec une teneur plus élevée en serine (DANNO,1976).

Ces sous unités (SGFPM) possèdent un fort pouvoir agrégatif qui se manifeste au cours de la transformation de la semoule en pâtes.

Les SGFPM sont codés par les chromosomes 1A , 1B (blé tendre 1D) mais sur les bras court ( loci : Glu-3 ) a coté des loci qui codent les gliadines.) .

Leur composition en acide aminé est proche de celle des  $\alpha$ ,  $\beta$ , et  $\gamma$  gliadines bien que plus pauvre en proline.

## III-3-Le gluten

Le gluten est une masse cohésive protéique obtenue par lixiviation de la pâte sous un mince filet d'eau solubilisant l'amidon et les autres composants. A l'état hydraté, il est caractérisé par ses propriétés de cohésion, d'élasticité et d'extensibilité.

Le gluten n'existe ni dans le grain , ni dans la farine , au contraire , il existe des protéines non solubles dans l'eau , qui en contact d'une certaine quantité d'eau , se lient par des liens intermoléculaires et forment cette substance tenace , gommeuse élastique appelée gluten.

Insoluble et viscoélastique , le gluten contient 75 à 80 % de protéines, 10 à 15 % d'amidon résiduel et 5 à 8 % de lipides (tableau 3 ).

Les lipides intrinsèques ne sont pas associés aux protéines du gluten (Marion et al 1987 ) et ne sont pas impliqués dans la visco-élasticité du système protéique (HARRGEAVES et al 1995).

Tableau 3. Composition en moyenne du gluten en % MS (DACOSTA,1986)

Constituants	Valeurs moyennes	Valeurs extrêmes
Protéines	77	75-80
Glucides	16	15-17
Lipides	06	05-08
Cendres	01	0.6-1.2

Le gluten est composé de deux fractions gluténines et gliadines (WALL ,1979 et DACOSTA 1986). Les sous unités glutenines sont maintenus ensembles par de ponts disulfures et par des interactions hydrophobes ioniques et liaisons hydrogènes ( BIETZ et WALL 1980)

et forment de longues chaînes linéaires. Les molécules de gliadines s'y associent d'une manière plus lâche grâce à des liaisons non covalentes.

Ces liaisons non covalentes ( interaction hydrophobe , liaisons hydrogènes) jouent un rôle important dans la stabilité de la structure et dans les propriétés rhéologiques de la pâte (HOSNEY, 1994).

Les molécules de gluténines sont asymétriques et possèdent de larges surfaces qui favorisent les interactions.

La combinaison des caractéristiques physiques du gluten (élasticité et extensibilité), et plus particulièrement leur équilibre sont importants dans la détermination et l'expression de l'efficacité des blés durant les processus de panification et de pastification.

Selon POPINEAU (1985) et DACOSTA (1986), l'élasticité pourrait s'expliquer par la présence de longues chaînes de gluténines, elles mêmes dépendantes du nombre et du degré d'intensité des ponts disulfures et des liaisons entre les radicaux sulfudriles. La viscosité et l'extensibilité quant à elles, elles sont à l'origine du glissement des molécules les unes sur les autres mouvement favorisé par les gliadines.

CORN et al (1994) ont affirmé que la viscosité est due aux gluténines car les gliadines hydratées forment un système de viscosité beaucoup plus faible que celui des gluténines et dépourvu d'élasticité.

Les propriétés rhéologiques du gluten sont influencées d'une part, par la quantité et la qualité de la fraction protéique dans le complexe glutineux et d'autre part par l'interaction entre les différents constituants protéiques du gluten (liaisons disulfures, hydrogènes, liaisons hydrophobes).

En plus des propriétés rhéologiques, le gluten confère également à la pâte l'aptitude à retenir les gaz dégagés lors de la fermentation de la farine de blé tendre d'une part et au maintien de la forme de la pâte durant le processus de panification.

Les deux principales propriétés, l'élasticité et l'extensibilité, semblent être dues aussi bien aux phénomènes d'interaction entre les protéines qu'aux différences d'interactions entre protéines et fractions non protéiques.

## **IV-Protéines et qualité**

### **IV.1/ Protéines et qualité des pâtes alimentaires**

---

Les protéines jouent un rôle prépondérant dans la qualité des pâtes alimentaires par le biais du gluten, sa teneur et ses propriétés viscoélastiques particulières (FEILLET,1980)

GALTERIO et al (1988) suite à une étude sur le rôle des protéines du blé dur sur la qualité pastière ont révélé que la qualité de pâtes est directement corrélée à la teneur en protéines.

Les travaux de MATVEEF (1966) ont montré une étroite relation entre les teneurs en protéines et gluten, et la qualité culinaire des pâtes alimentaires : une teneur en protéines du blé supérieure ou égale à 13% était considérée comme nécessaire pour l'obtention d'un produit de qualité satisfaisante.

Selon DAMIDAUX et FEILLET (1978), la teneur en protéines du blé est responsable à 30-40% de la variabilité de la qualité culinaire des pâtes alimentaires.

D'après D'EGIDIO et al (1979), l'accroissement de la teneur en protéine améliore la fermeté et la tendance à coller des pâtes alimentaires.



---

D'EGIDIO et al (1976) ont montré, qu'il existe chez les blés durs italiens, une corrélation entre la qualité de pâtes alimentaires et la teneur en protéines solubles en isopropanol, et une meilleure corrélation est noté avec un coefficient égal au rapport des fractions extraites par acide lactique , hydroxide de potassium et alcool et le taux de protéines hydrosolubles.

Parallèlement , MATUO et IRVINE (1970) , FEUILLET et ABECASSIS (1976), ont constaté que la teneur en protéique n'est pas nécessairement en corrélation avec la qualité des pâtes et que le type de protéines pouvait déployer un rôle important. En effet, AUTRAN et al (1987) ont montré que la fraction insoluble du gluten possède une influence positive sur la qualité des pâtes. L'aspect qualitatif est basé sur les différences de propriétés des protéines du blé dur .

## **IV-2-Protéines et qualité boulangère.**

---

La valeur boulangère d'un blé telle qu'elle est présentée par CALVEL (1973), représente l'aptitude d'un blé ou d'une farine à donner un beau et du bon pain dans les conditions de travail et de rendement en harmonie avec une fabrication normale. Elle représente l'élément essentiel des aptitudes technologiques du blé tendre et elle est sous l'influence des facteurs, qualité physique (force boulangère, tolérance au pétrissage, aptitude à absorber l'eau sans se dégrader) et qualité fermentative (richesse en sucres et équilibre enzymatique).

La variabilité génétique dans la sélection concerne essentiellement la force boulangère, les protéines constituent donc les facteurs les plus aptes à être utilisés comme marqueurs génotypiques de la qualité.

Les variations protéiques en quantité et qualité déterminent pour une grande part les variations de la qualité boulangère.

En effet, Martin G (1994), montre un accroissement linéaire de la force boulangère et de l'extensibilité de la pâte avec l'augmentation des protéines de 4 variétés françaises de blé tendre.

Par ailleurs , suite à des essais de fertilisation de blé , BEAUX et al (1985) révèlent que l'excès de protéines détériore la valeur boulangère du blé tendre et condamne l'emploi du critère teneur en protéine dans un barème commercial pour apprécier l'aptitude à la panification.

La force boulangère tributaire de la composition protéique est significativement liée aux teneurs en glutenines. HUEBNER et al 1976 ; BIETZ (1984) , DACHKEVITCH et al (1989 ) ont montré que le taux de fractions polymériques influence fortement la variation de la qualité de la farine. Aussi, GUPTA et al (1993), ont suggéré que la force boulangère dépend de la quantité de protéines polymériques insolubles dans le SDS à 2%.

Cité par FEUILLET (1976), note un effet positif de protéines hydrosolubles sur le volume du pain. Par contre les auteurs ORTH et BUSHUK (1972) et HOSSENY et FINNEY (1969) ont montré que le albumines et le globulines n'ont pas d'effet sur la qualité boulangère .

La relation entre teneur en protéines et qualité technologique d'un blé est spécifique pour chaque variété. On observe alors, que la qualité de certaines variétés s'améliore alors que celles d'autres se dégradent lorsque la teneur en protéine augmente (LEBRUN et al 2001). Les différents types de protéines et leurs proportions respectives jouent également un rôle important dans la qualité boulangère. Au plus des conditions de culture , le facteur variétal joue un rôle important dans la répartition des différents types de protéines d'un blé tendre.

### IV-3-Rôle des gliadines dans la qualité pastière et la valeur boulangère

---

L'analyse électrophoretique de 75 variétés de blé dur montre que la nature de certaines  $\gamma$  gliadines présentes dans le grain de blé et dans la semoule sont en relation avec la viscoélasticité du gluten (DAMIDAUX, 1980 , KOSMOLAK et al 1980, DUCROS, 1982 , MATSUO ; 1982 ; DUCROS ; 1987).

FEILLET (1979,1980), suggère que cette relation peut être due, à la liaison entre le gène codant la bande 45-  $\gamma$  (ou 42-  $\gamma$ ) gliadine et la qualité ,ou à une relation fonctionnelle dont la présence ou l'absence de ces gliadines affecte la qualité.

DAMIDAUX (1979) avait démontré que les variétés de blé dur possédant la fraction 45-  $\gamma$  gliadine se caractérisent par une viscoélasticité élevée du gluten et une bonne qualité culinaire des pâtes alors que celles qui possèdent la 42- $\gamma$  gliadine ont une très faible viscoélasticité et une faible qualité culinaire.

En 1984, PAYNE et al, ont suggéré que l'association de la force du gluten aux gliadines  $\gamma$ -45 et  $\gamma$ -42 est la même que celle donnée avec les LMW glutenines liées aux gliadines

45-y (LMW-1) et 42-y (LMW-2).

Par ailleurs, DEXTER et MATSUO (1977) ont confirmé qu'un haut rapport glutenines/gliadines est en relation avec la haute qualité culinaire.

Sur le blé tendre, plusieurs chercheurs considèrent que le type et la quantité des gliadines sont associés avec la propriété de la force de la pâte ( WRIGLEY et al 1982 ; BRANLARD et DARVET, 1985 , MACRITCHIE,1987). Ces protéines peuvent aussi jouer un rôle important dans la détermination de la qualité boulangère (BRANLARD et ROUSSET 1980, HUEBNER et BIETZ,1986) .

Une faible accumulation des gliadines dans le grain dans de mauvaises conditions du remplissage du grain (manque d'eau entraînant une mauvaise accumulation de l'azote) particulièrement après l'anthèse, affecte la qualité boulangère de la pâte (YONG-QUING et al 1996). Une considérable variation du taux de gliadines est le résultat du facteur environnemental (HUEBNER et BIETZ ,1988).

Les travaux de WEISER et al (1993), montrent une grande influence du rapport gliadines/gluténines sur les propriétés rhéologiques et le volume du pain. Contrairement PECHANEK et al (1997) affirme que ce rapport ne reflète aucun effet sur les paramètres de qualité.

VANLONKHIJSEN et al (1992), DOEKES C.J et al (1982) ont trouvé une corrélation entre le volume du pain et la teneur en gliadines et CORNEC et al (1994) ont ajouté que les gliadines ont un rôle de plastifiant.

### IV-4-Rôle des gluténines dans la qualité pastière et valeur boulangère

---

Les gluténines et leurs effets sur la qualité ont fait l'objet de plusieurs études. Il est rapporté souvent qu'ils sont responsables de l'élasticité et la ténacité du gluten (KHAN et BUSSHUK,1979).

Les glutenines sont responsables de l'élasticité, de la cohésion et de la tolérance au pétrissage de la pâte tant que les gliadines facilitent sa fluidité, son extensibilité et son expansion, contribuant ainsi à accroître le volume du pain. Ces propriétés agrégatives

contribuent à la formation du réseau protéique qui confère à la pâte ses propriétés viscoélastiques (AUTRAN et BERRIER; 1994). POMERANZ (1982) a rapporté que les propriétés viscoélastiques d'une pâte qui gouverne la qualité boulangère résulte non seulement de l'interaction de polymères de gluténines mais également de l'interaction de gluténines avec les gliadines monomériques.

Une cohésion excessive (due aux glutenines) inhibe l'expansion des bulles durant la fermentation et limite ainsi la présence d'alvéoles d'air dans la mie de pain. Le volume du pain est ainsi insuffisant. Une extensibilité excessive (due aux gliadines) provoque la formation de films de gluten faible et perméable. On obtient un pain d'alvéolage irrégulier et souvent excessif .

D'après DAMIDAUX et GILLES (1971), il semble qu'une teneur élevée en gluténines confèrait à la pâte une bonne qualité culinaire.

Les SGHPM sont liés aux SGFPM par des ponts disulfures et constituent des agrégats polymériques de très haut poids moléculaires qui jouent un rôle important dans la panification et dans la qualité des pâtes. Les travaux de PAYNE et al (1987), GUPTA et al (1988) et FOUQUES et al (1993) ont montré que le effets de SGFPM et SGHPM sont additifs.

Sur blé dur , dès 1975, WASIK et BUSHUK ont montré que les blés de bonne qualité présentent plus de sous unités 6(PM 53.000) que de sous unités 5(PM 60.000 ). Cependant AUTRAN et al (1981) n'ont pas observé des caractéristique spécifiques des SGHPM. Une faible mais significative relation entre ces gluténines et la qualité (fermeté et état de surface de la pâte après cuisson) est démontrée (AUTRAN et FEUILLET 1987) , SGHPM ( 6 et 8) est positivement associée à la qualité alors que SGHPM (13 et 16 ) est négativement associé.

BAKHELLA et al (1992) , au terme d'une étude sur la qualité boulangère et pastiere de variétés de blé marocains, montrent que les variétés ayant des sous- unités gluténines à très haut poids moléculaire possèdent une meilleure force du gluten.

FEUILLET et al (1989) , ont montré que la teneur en SGFPM ; influe sur le propriétés viscoélastiques de la pâte et les gliadines 42 et 45 sont que des marqueurs génétiques pour la fermeté et l'élasticité. AUTRAN ( 1981) a démontré que certaines sous unités gluténines comme celles qui sont liées à la fraction 45 y-gliadines peuvent être bénéfiques à la qualité de la pâte .

SGRULLETTA et STEFANIS (1989) ont montré que les fractions polymeriques influent sur l'expression de la qualité technologique des semoules.

Le rôle des gluténines sur blé tendre est fortement étudié. Les résultats de nombreux travaux concourent vers l'existence de corrélations positives entre la teneur en protéines insolubles du gluten et la force des blés, en particulier l'importance qualitative de gluténines de masse moléculaire supérieure à un million ( SINGH et al 1991).

YONG-QUING et al (1996) après avoir affirmé que la force boulangère est significativement liée aux teneurs en protéines et particulièrement aux glutenines, ajoutent que la progression de la quantité des glutenines solubles au SDS à 2 % (F1+F2) est limitée avec l'élévation des teneurs en protéines totales, par contre les fractions insolubles suivent une progression linéaire.

KHAN et BUSHUK (1978) ont évoqué la relation entre la force boulangère et les gluténines insolubles. Plus les protéines sont polymérisées et agrégées, plus leur masse augmente et meilleure est la qualité boulangère du blé.

Les chercheurs KERBER et TIPPLES (1969) , KALTSIKES et al (1968) ont conclu que la présence de SGHPM conditionne la bonne qualité boulangère du blé tendre.

Plusieurs auteurs ont confirmé cette hypothèse par la suite. Des recherches plus précises ont été réalisées pour expliquer la différence de qualité boulangère observée en identifiant les glutenines SGHPM ayant une importance dans la détermination de la qualité. En effet PAYNE et al (1981) ont corrélié les sous unité 5-10 du chromosome 1D ainsi que 17-18 du chromosome 1B avec la bonne qualité boulangère. Alors que BURNOUF (1980) après une étude portant sur 47 blés hexaploïdes a montré que les sous unités 3 et 5 de poids moléculaire 122.000 et 108.000 semblent avoir une importance majeure dans la détermination de la qualité boulangère.

Les sous unités glutenines SGHPM 5 et 10 ont été considérées comme ayant une forte corrélation avec la qualité de plusieurs génotype de blé (PAYNE et al (1983), MOONEN et al (1985), LAWRENCE et al (1987) cité par DONG . H et al (1992).

Aussi, DACHKEVITCHAND et al (1989), montrent le rapport glutenines à HPM (F1) sur / glutenines à FPM(F2) et la quantité de protéines insolubles (Fi) sont déjà considérés comme des bons indicateurs de qualité .

PAYNE et al (1987) et BUTTON (1990), ont confirmé que la qualité boulangère dépend non seulement de la composition des glutenines mais aussi du taux d'agrégation de ces fractions.

YONG-QUING et al (1996) a démontré que les conditions au cour de la maturation de grains influent sur la modification de la solubilité des agrégats de glutenines d'une variété de blé tendre (Soisson) et que les sous unités glutenines 5, 10 et 2 contribuent faiblement à la formation d'insolubles agrégats et que les sous glutenines 7 et 8 sont corrélées aux fractions solubles.

## **V-Elaboration de protéines et effet de la fertilisation azotée .**

La présence des différents éléments nutritifs (et leur carence) ont des incidences variées sur la composition protéique qui déterminent la qualité du produit. La fertilisation azotée joue un rôle essentiel dans l'accumulation des protéines dans les grains. En plus de son incidence sur la croissance, la vigueur et le rendement du blé, elle détermine la teneur et la composition en protéines du grain. En effet si l'apport de fertilisant azoté augmente, les concentrations respectives en protéines tendent à augmenter (NORSK, 1990). L'aspect quantitatif des protéines dépend essentiellement des conditions climatiques et des techniques culturales .

GATE (1996) ajoute qu'il existe une relation linéaire négative entre le rendement et la teneur en protéines des grains.

BEAUX (1985), montre, suite à des essais de fertilisation azotée du blé tendre que, les techniques culturales intensives à savoir la fertilisation de couverture et les traitements phytosanitaires ( traitements fongiques), ont des effets favorables sur la qualité. Il ajoute que la limitation de la source azotée limite la force boulangère.

### **V-1- Provenance de l'azote dans le grain**

---

L'azote présent dans le grain à la maturité provient essentiellement de la mobilisation de l'azote de la partie végétative absorbé jusqu'à la floraison. La quantité remobilisée serait égale en moyenne à environ 70% mais susceptible de varier entre 50 et 80% (AUSTIN, 1985 repris par GATE, 1996).

Chaque type d'organe contribuerait à la quantité d'azote transférée vers le grain proportionnellement à sa teneur relative de départ. RICHARD et al (1982) repris par GATE, (1996) montrent que ce sont surtout les plus jeunes feuilles qui le remobilisent : sur un total de 40% pour l'ensemble de feuilles, la contribution de la dernière feuille s'élève à 24% et celle de l'avant dernière feuille à 11% .

**Tableau 4. Evolution de l'azote en % de MS dans les différents organes de la plante ( GATE,1996)**

Organes	Floraison	Maturité
Grain	1.8-2.9	1,8 - 2.5
Epis	4	0,4
1 Feuille	-5.5 3,7	-0.6 1 -
2 Tige	-4,7 0,9 -1.8	2 1.2 1,3
Autres feuilles	- 3	-1.8 0,5 - 0.8 1,5- 2,2

Les valeurs du tableau 4 indiquent l'évolution de la répartition de l'azote des différents organes de la plante entre la floraison et la récolte. La quantité d'azote contenu dans le grain croît avec celles présentes dans les différents organes de la plante. On estime qu'environ 80% de la variation de la quantité d'azote interne dans le grain proviennent de l'azote stocké dans les différentes parties de la plante durant le stade floraison .

Par ailleurs, le fractionnement des apports a un intérêt considérable dans la teneur en protéines des grains. TIMMS et al (1981), MARTIN et al (1992), PELTONEN (1995) ont affirmé que la source d'azote et le mode d'apport d'azote affectent la teneur en protéines des grains.

Le premier apport ne doit pas dépasser 60 Kg/ha au stade début tallage. Le deuxième apport s'effectue au stade « épi à 1cm ». Un troisième apport s'applique entre la fin montaison et le gonflement du grain. C'est le stade le plus efficace pour améliorer la teneur en protéines sans préjudice sur le rendement. La quantité doit être décidée de préférence selon la quantité déjà mobilisée.

L'azote est préférentiellement absorbé et assimilé dans les organes proximaux des futurs grains. Cet enrichissement conduit à une meilleure efficacité de l'azote vers le grain.

Cependant, LOTFOLLAHI et al (1997) ont montré que l'azote disponible dans le sol après l'anthèse peut être utilisé efficacement et peut contribuer à l'élaboration du rendement et la quantité de protéines formées dans le grain. La longueur et la densité des racines de la plante à ce stade constituent un facteur crucial pour l'efficacité de l'azote.

## **V-2-Accumulation et évolution des protéines dans le grain de blé au cours de la maturation. .**

L'accumulation des protéines de réserve du blé se fait en fin de phase de développement de la culture. La quantité accumulée est fonction des conditions de nutrition de la culture. Sous de mauvaises conditions de disponibilité des nutriments , la synthèse des protéines diminue alors que dans la situation contraire, la proportion de protéines de réserve augmente. (SHEWRY and MIFLIN, 1985)

La cinétique de formation des agrégats protéiques était la préoccupation de plusieurs chercheurs. BENETRIX (1989) à travers une étude détaillée utilisant des processus biochimiques a étudié l'évolution de la composition et les propriétés physico-chimiques des protéines de grain de blé afin de contribuer à la caractérisation des agrégats. L'auteur a affirmé que la teneur en protéines solubles est élevée en début de maturation diminue puis se stabilise dès le 35<sup>ème</sup> jour après l'anthèse.

La synthèse des protéines cytoplasmiques a lieu rapidement au cours du premier stade de développement. L'accumulation concerne donc, d'abord les albumines et les globulines. Après que les besoins pour le développement du grain en protéines cytoplasmiques sont satisfaits, l'azote apporté est destiné à la formation de protéines de réserves (RADOMIR LAZTITY,1996).

La variation des conditions de culture durant cette phase importante est sensible (surtout au stade laiteux ).Elle peut perturber l'accumulation et l'agrégation des protéines (KASARDA 1989, RANDOLL et MOSS ,1990).

Cité par BENETRIX (1989) , les chercheurs FEILLET, (1965); DEXTER et MATSUO, (1977); GALTERIO et al (1987), ont révélé que la teneur en gliadines est négligeable les premiers jours , elle croit très vite jusqu'au 35<sup>ème</sup> jours puis régresse tandis que la teneur en glutenines suit une évolution inverse. MECHAM et al (1981); TERCE-LAFORGUE et PERNOLLET, (1982) ont prouvé que les gliadines sont toutes synthétisé en même temps et ceci dès les stades les plus précoces.

D'autre part KACZKOWSKY et al (1987) remarquent que la synthèse des protéines semble terminée tôt alors que les processus d'agrégation (suggérés par l'évolution des fractions glutenines) se poursuivent jusqu'à maturité du grain .

Cette observation va à l'encontre des travaux de BUSHUK et WRIGLEY (1971) qui affirment que la fraction gluténine est présente sous sa forme finale des les premiers stades de développement.

La totalité des protéines de réserves se trouvent sous la forme d'agrégats dispersés dans les cellules de l'albumen.

NORA FATTA et al (2000), suite à une étude sur le chromosome responsable de la mobilisation de l'azote, ont conclu que sur le bras court du chromosome 7B se trouve une information génétique nécessaire à une mobilisation efficace de l'azote quand la disponibilité en cet élément est élevée. Donc, l'absence de ce chromosome inhibe la mobilisation de l'azote et diminue la concentration en protéines dans le grain de blé.

### **V.3-Biosynthèse des protéines de céréales et formation des agrégats protéiques.**

---

En se basant sur des observations faites sous le microscope électronique sur le blé durant les phases de formation de l'endosperme, 3 mécanismes de biosynthèse ont été identifiés:

- mécanisme de synthèse au niveau des ribosomes qui entourent la vacuole centrale de la cellule végétale.
- mécanisme de synthèse au niveau des ribosomes liés ou associés au corps protéiques qui se développent dans les vacuoles entre 12 et 20 jours après l'anthèse.
- mécanisme de synthèse au niveau des ribosomes situés sur le réticulum endoblastique.

---

Les agrégats se forment peu après la synthèse des protéines et seraient accumulés dans les corps protéiques du grain en cours de maturation.

Les gliadines sont composées de monomères stabilisés par des ponts diulfures intramoléculaires.

Les gluténines ont été formés par un assemblage de chaînes polypeptidiques ou sous unités liées entre elles par des ponts disulfures intermoléculaires.

Des liaisons hydrogènes, des interactions hydrophobes et des ponts disulfures sont impliqués dans les associations entre les sous unités gluténines.

KASARDA (1980) émet l'Hypothèse que les pentapeptides constituent les motifs de base des gliadines, dont ils seraient la forme ancestrale.

Les séquences N-terminale des  $\alpha$ ,  $\beta$ , et  $\gamma$  gliadines sont formées de 2 types : les séquences  $\alpha$ -type présentés principalement par les  $\alpha$ -gliadines et  $\beta$ -gliadines , et les séquences  $\gamma$ -type présentés par la plupart des gliadines (AUTRAN et al 1979).

Les séquences N-terminales des SGHPM présentent des degrés d'homologie élevés entre elles et la séquence des SGFPM est quasi-similaire aux séquences des  $\gamma$ -gliadines (OKITA et al 1985). Toutefois , les SGFPM se distinguent des gliadines par la présence de résidus cystéines libres du coté C-terminal, capables de former des liaisons disulfures intermoléculaires.

Pour mieux expliquer la polymérisation des chaînes polypeptidiques de gluténines plusieurs modèles ont été proposés qui se différencient par la nature des liaisons entre des sous unités de poids moléculaires , la forme et la structure ( modèle de BUSHUK, 1979 ; modèle de GRAVELAND ,1985 ; modèle EWARD, 1979 ; modèle KASARDA,1989)

#### **V-4-Influence de la fertilisation azotée sur la formation des fractions protéiques.**

---

La fertilisation azotée est largement considérée comme un facteur important qui affecte la protéine de réserve au même titre que la qualité technologique des blés. Plusieurs études réalisées ont montré que la source d'azote et ses techniques d'application affectent le taux de protéines accumulées et ont montré aussi qu'il existe une relation entre l'azote et le taux des fractions polymériques ainsi que leur type d'agrégation.

La fertilisation azotée intervient donc non seulement comme un paramètre qui peut varier quantitativement les protéines de réserve (KUNGER et MANCHYLO ,1985; HUEBNER et BIETZ,1988; MARCHYLO et al, 1990 ) mais aussi comme un paramètre qualitatif qui s'exprime par un effet sur le rapport des fractions gluténines et sur celles des gliadines..

La mise en évidence de cet effet sur les différentes fractions protéiques du blé tendre notamment révèle toutefois, des résultats comparables dans plusieurs études et non comparables dans d'autres.

KASARDA (1989) suggère que la composition des agrégats des échantillons de blé peuvent changer dans la teneur et le rapport de LMW et HMW sous unités, durant le développement du grain, donc les caractéristiques physico-chimiques des agrégats de protéines sont influencés par les mécanismes qui régulent l'expression de la synthèse des protéines.

SCHEROMM.P (1992) , affirme que la fertilisation azotée contrôle la composition en protéines, les sous unités gluténines et les agrégats protéiques.

HUBNER et BIETZ (1988) notent qu'une considérable variation quantitative sur le taux de gliadines est le résultat du facteur environnemental et que les gluténines solubles sont constantes avec l'augmentation de la source d'azote.

HERBER et WERNER (1998), suite à une étude sur l'influence de la fertilisation azotée sur les fractions protéiques, ont montré que les quantités des albumines et les globulines sont faiblement influencées par des différents apports azotés. Cependant, les gliadines et les gluténines sont fortement influencés. L'effet est plus prononcé sur les gliadines que sur les glutenines , notamment sur la majorité des types de protéines (  $\alpha$  gliadines ,  $\gamma$  gliadines , SGFPM glutenines ) en comparaison avec les types les moins représentés (w gliadines , SGHPM subunits). Selon les mêmes auteurs, sous de fortes doses d'azote, les protéines, w gliadines , et les SGHPM augmentent alors que les  $\gamma$  gliadines et les SGFPM diminuent.

D'après LEBRUM et al (2001), les glutenines sont indépendantes de la fertilisation azotée alors que les gliadines en sont indirectement influencées, avec un effet plus prononcé chez  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  gliadines . Pour un point de protéine supplémentaire, la proportion des gliadines gagne 0.8 point contre 0.2 point pour la part des gliadines type  $\omega$ -gliadine.

Ce ci rejoint les résultats de YONG-QUING et al (1996) , portant sur l'effet de la fertilisation azotée contrôlée sur blé tendre, qui montrent que les variations de la part des gluténines ne sont pas corrélées avec l'évolution des protéines totales, contrairement aux gliadines qui sont fortement corrélées. Ceci est vérifié pour plusieurs génotypes (GUPTA et al 1992).

Par ailleurs, Les travaux de ces auteurs montrent que la proportion des protéines métaboliques diminue avec l'augmentation des protéines.

Selon YONG-QUING et al (1996), DOEKES et WENNES (1982), le niveau de la fertilisation azotée influence considérablement les différentes fractions protéiques de réserve et les protéines métaboliques (globulines et albumines) par une relative modification de la composition en protéine et un faible apport d'azote révèle une faible accumulation de gluténines, gliadines et albumines.

Une autre étude menée par PECHANEK et al (1997) sur des variétés de blé, ont montré que les apports élevés en azote augmentent significativement les protéines du gluten par contre les albumines et les globulines ne sont pas affectées. Aussi quand les teneurs en protéines augmentent après apport de fertilisant azoté, le rapport LMW/HMW diminue considérablement. Le changement dans ce rapport montre une corrélation négative sur la valeur de sédimentation et le volume du pain.

Par ailleurs, ces mêmes auteurs ainsi que PIETO et al (1992), ont montré qu'il n'existe aucun effet sur le rapport gliadines/gluténines sous l'effet de la fertilisation azotée alors que PRUGAR et SAEK, (1970) ont révélé que l'apport de fertilisant azoté augmente considérablement les teneurs en gliadines. DOEKES et WENEKES, (1982) ajoutent que le rapport gliad/glut augmente chez 5 variétés de blé tendre étudié.

GIANIBELLI et al (1991), BRANLARD et al (1983), montrent que la fertilisation azotée foliaire à un stade tardif du blé augmente la teneur en gliadine et modifie leurs proportions , une diminution de  $\alpha$ -gliadine et augmentation de  $\gamma$ -gliadines et un non changement dans  $\beta$ -gliadine.



KOLSTER et al (1991) ont mesuré une augmentation des HMW subunits avec l'augmentation de la teneur en protéines.

La relation entre la teneur en protéines et la qualité technologique d'un blé est spécifique à chaque variété. On observe alors que la qualité de certaines variétés s'améliore alors que celles de certaines autres se dégradent lorsque la teneur en protéine augmente (LEBRUM, et al 2001).

La proportion de chaque type de protéines ne va pas être influencée de la même façon par la fertilisation azotée, selon qu'elle dépend ou non du taux protéique. Le degré de l'effet sur les quantités et les proportions des protéines du gluten est fortement dépendant des variétés.

Les gluténines par leur différents types d'agrégation sont considérés comme des prédicateurs de qualité et sont exposés aux variations qualitatives sévères directement liées à la fertilisation azotée.

Le changement dans, la composition des glutenines, le poids moléculaire de sous unités gluténines et leur agrégation, est contrôlé par la fertilisation azotée.

Aussi, l'augmentation de la teneur en glutenines totale résulte de celle des glutenines à haut poids moléculaire.(KOLSTER, et al 1991). L'accumulation de ces dernières est en relation étroite avec des fractions insolubles des gluténines (Fi) qui les composent.

Les conditions de maturation sont responsables de l'équilibre protéique. En effet la limitation de la source d'eau donc de l'apport d'azote est responsable de la limitation de l'accumulation de protéines en faveur des protéines métaboliques (globulines et albumines).

La contribution relative des différents groupes de protéines dans la proportion totale des protéines possède un comportement qui est en relation avec la nature des protéines et aussi avec les conditions de fertilisation azotée.

Le degré de solubilité des agrégats de glutenines (F1+F2) atteint son maximum sous l'effet de la fertilisation azotée en faveur de l'accumulation de protéines insolubles Fi.

## **V-5-Synergie entre l'azote et le soufre dans l'élaboration des protéines.**

---

Une synthèse de travaux effectués dans la grande paroisse (2004) a montré que des apports de d'azote et de soufre à des stades tardifs modifient l'équilibre entre les différentes familles protéiques du gluten. Les résultats montrent que des fertilisations différenciées par l'équilibre N/S du fertilisant, le stade d'intervention et la variété, peuvent orienter la synthèse de certaines fractions protéiques qui se traduit par une qualité technologique particulière du blé.

Grâce aux techniques de double traçage isotopique du  $^{15}\text{N}$  et du  $^{34}\text{S}$  mises au point par leurs recherches, ils ont montré qu'une synergie s'exprime au niveau de la teneur en protéines correspondant à une augmentation du coefficient réel d'utilisation de l'azote et du soufre. En effet l'apport simultané d'un fertilisant azoté-soufré conduit à une meilleure expression de la qualité technologique.

MICKEL et al (1981), montrent à travers leurs travaux de recherche portant sur l'effet des doses croissantes d'azote sur la qualité boulangère et les caractéristiques de protéines de blé tendre que, de fortes doses d'azote et en absence de fertilisant soufré, conduit à un déséquilibre d'absorption entre le soufre et l'azote et par conséquent des altérations

considérables sont notées dans les caractéristiques biochimiques des protéines et la qualité de panification de gluten est notablement affectée.

Ceci est en accord avec les travaux de WRIGLEY et BIETZ (1988) qui suggèrent que l'extensibilité de la pâte diminue avec la déficience en soufre dans le grain. Le déficit en soufre durant le remplissage du grain provoque la réorientation de la synthèse en faveur de protéine pauvre en soufre. Par conséquent l'importance des sulfhydryles et ponts disulfures dans les propriétés de la pâte.

## **VII- La chromatographie en phase liquide SE-HPLC et la quantification des Protéines.**

### **VII-1-La chromatographie en phase liquide SE-HPLC**

---

La chromatographie est un procédé de séparation, applicable à des mélanges moléculaires ou ioniques, basé sur des différences de distribution des solutés entre une phase stationnaire, généralement dispersée, et une phase mobile continue. Les deux phases étant mises en contact intime et à contre courant.

Parmi les types de chromatographie utilisés, on distingue la chromatographie liquide haute performance d'exclusion-diffusion (SE-HPLC), initialement chromatographie liquide haute pression, et encore appelée chromatographie , tamisage moléculaire, gel-filtration, perméation de gel. La phase mobile est un liquide et la phase stationnaire est un solide poreux.

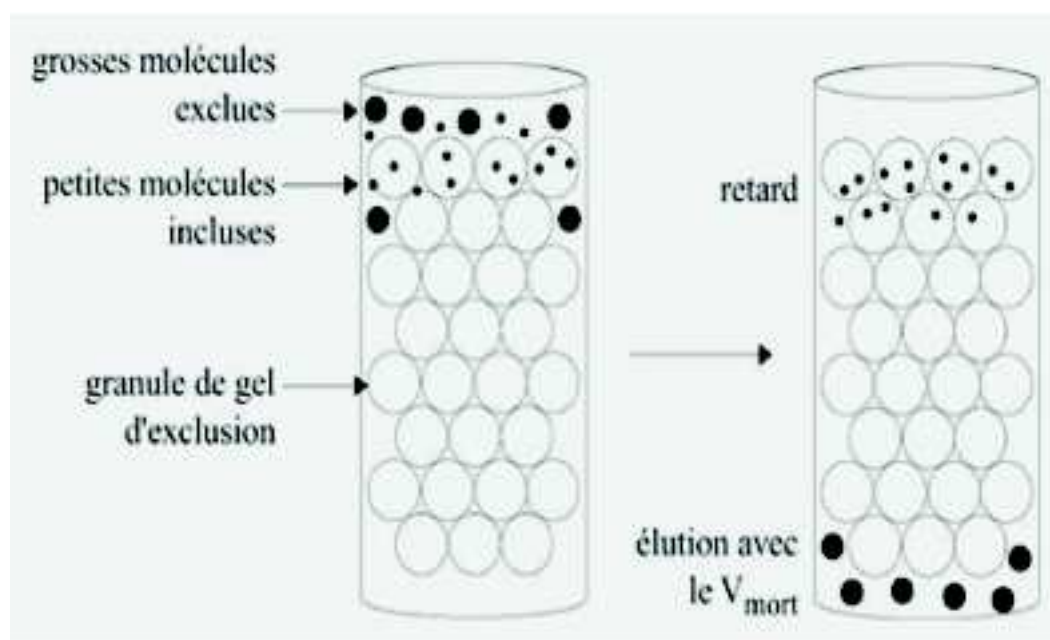
Le principe de cette technique est de séparer les molécules en fonction de leur taille et de leur forme. On utilise pour cela des granules de gel poreux. Les grosses molécules (dont le diamètre est supérieur à celui des pores) sont exclues et sont donc éluées les premières, au niveau du volume mort. Les petites et moyennes molécules sont éluées plus tardivement, car incluses dans le gel, leur migration est freinée.

Les solutés sont donc élués dans l'ordre inverse des masses moléculaires. Il existe une relation linéaire entre le volume d'éluion et le logarithme de la masse moléculaire.

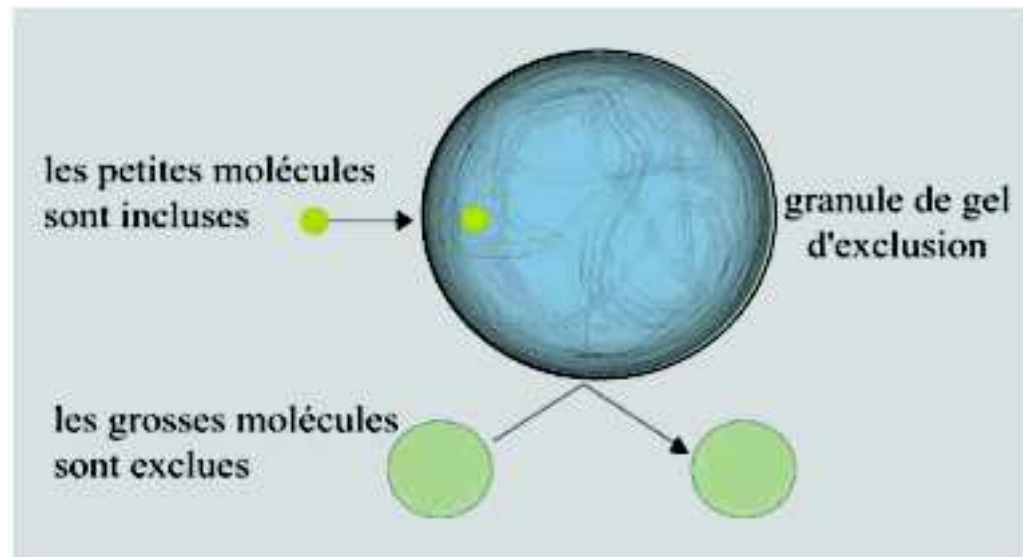
Elle se distingue également de la chromatographie classique par l'emploi de détecteurs dont le message est enregistré puis exploité par un ordinateur relié au système. Il permet d'obtenir soit des spectres (pics de différentes longueurs d'onde à un temps donné ou des chromatogrammes (évolution des pics à une longueur d'onde donnée en fonction du temps.

Chromatographie en phase liquide		
	Type	Phase stationnaire
liquide /solide	adsorption	solide poreux
	échange d'ions	solide à la surface duquel se trouve des sites ioniques qui permettent à l'aide d'un solvant approprié l'échange d'ions présents dans la phase mobile
	d'exclusion (filtration sur gel, perméation de gel)	solide dont la dimension des pores permet la séparation des espèces selon leur taille
liquide /liquide	partage phase normale	solide poreux inerte enrobé de liquide (de moins en moins utilisée)
	partage phase inversée	solide poreux sur lequel sont greffées des chaînes hydrocarbonées non-polaires

Tableau 5. Types de chromatographie en phase liquide.



**Figure 2 . Schéma du tamisage moléculaire.**



**Figure 3: Représentation d'un gel d'exclusion.**

Les grosses molécules (dont le diamètre est supérieur à celui des pores) sont exclues et sont donc éluées les premières, au niveau du volume mort ( $V_m$  ou  $V_0$ ).

Les petites et moyennes molécules sont éluées plus tardivement, car incluses dans le gel, leur migration est freinée.

Une molécule totalement incluse sera éluée avec un volume d'élué  $V^* = V_m + V_i$ , où  $V_i$  est le volume d'eau interne aux granules de gel.

Les solutés sont donc élués dans l'ordre inverse des masses moléculaires. (voir chromatogramme)

L'identification de pics obtenu et la quantification est basée sur l'aire des pics, basée sur la comparaison de leur temps de rétention avec ceux mesurés sur une solution connue et dans de conditions identiques.

Chaque composant donne un pic et l'aire de celui-ci est proportionnel à la concentration du composant.

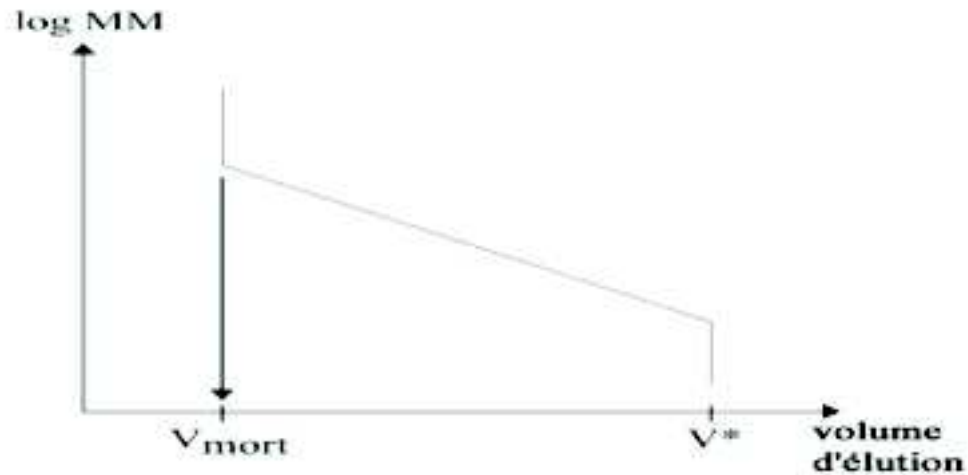
## **VII-2-Utilisation de la chromatographie à haute performance dans la séparation, la quantification et l'analyse des protéines céréales.**

C'est une technique d'analyse et de fractionnement des protéines de céréales qui nous permet de quantifier et d'identifier les fractions de glutenines polymériques et les proportions de  $\omega$ -gliadines. Ces composés nous renseignent sur la qualité des blés et sur leur identification.

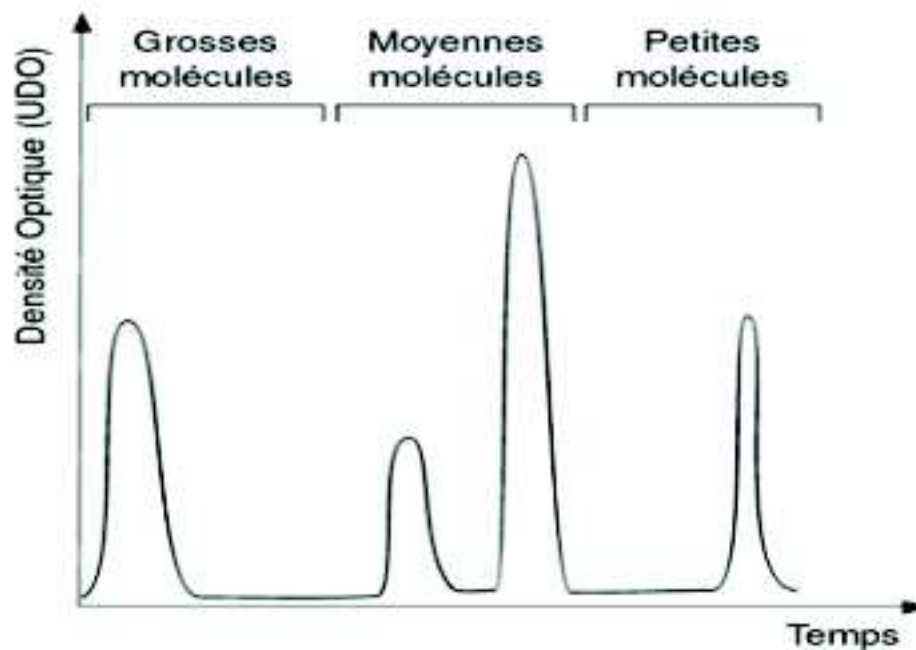
La première pratique de séparation de blé et de maïs par SE-HPLC et RE HPLC (phase inverse) effectuée en 1983-1984 par BIETZ (1983, 1984).

Grâce à sa rapidité, son habilité à quantifier les protéines précisément, spécialement en la comparant à l'électrophorèse, elle devient rapidement l'une des meilleures méthodes utilisées par plusieurs chercheurs pour analyser les protéines de céréales.

La chromatographie d'exclusion diffusion SE-HPLC permet d'étudier et de séparer les complexes protéiques de taille élevée. , utilisée pour toute application relative à la structure ou à la conformation des protéines, à leur profil de taille moléculaire , à leur relation avec les propriétés fonctionnelles en technologie ( AUTRAN,.1994).



**Figure 4 .** Variation du volume d'éluion en fonction de log MM.



**Figure 5 .** Chromatogramme obtenu après séparation des molécules.

DACHKE-VITCH (1989), considère que la SE HPLC est le meilleur outil pour étudier les protéines agrégatives et les bases physico-chimiques de la force boulangère.

En effet, elle peut séparer des complexes protéiques de taille élevée , obtenir le degré d'agrégation et de la contribution de chaque unité protéique aux différents agrégats.

LaRP HPLC permet l'étude de monomères ou des sous unités préalablement réduites. Elle est utilisée dans l'identification des variétés à partir de l'empreinte digitale que constitue le diagramme des protéines en particulier les gliadines(BIETZ, 1983).

La chromatographie à haute performance est donc considérablement utilisée par plusieurs chercheurs dans l'identification variétale et dans la prédiction de qualité de blé. Elle donne une meilleure résolution des glutenines, gliadines et albumines et-globulines des protéines de farine de blé (BATEY et al, 1990).

En effet, dans un travail ultérieur, une extraction suivie d'une analyse par RE-HPLC a été développée. Elle permet de déterminer des différents groupes de protéines (albumines, globuline, gliadines, gluténines) et les protéines de type  $\alpha$ 5,  $\alpha$ 1,2,  $\beta$ ,  $\gamma$ -type gliadins,  $\gamma$ ,  $\chi$  et  $\delta$ -type HMW sous unités gluténines (Wieser et al., 1994).

Plusieurs chercheurs ont utilisé la chromatographie liquide à haute performance pour déterminer l'effet de la fertilisation azotée sur les différentes fractions protéiques,

YONG et al (1996), PECHNEK et al (1997) ont étudié l'effet de la fertilisation azotée et les conditions de maturations sur les agrégats protéiques en utilisant la SE-HPLC et la RE-HPLC et ont montré la variation de la composition et du taux de HMG-GS et le niveau d'agrégation.

SCHEROMM P, et al (1992) ont quantifié fractions protéique par SE-HPLC de deux variétés de blé cultivées sur deux sites différents, en exprimant les résultats soit en quantité absolue de la surface du pic ou en rapport de ce dernier sur l'air total du chromatogramme pour déterminer l'effet de la fertilisation azotée sur la quantité de différentes fractions protéiques.

BENETRIX et al (1994) ont utilisé la SE-HPLC pour séparer les différentes protéines agrégatives monomères de huit variétés d'orge pour étudier l'effet du génotype et de l'azote sur la qualité de ces dernières et ont montré que la fraction F4 (riche en protéines hordeins responsables de la qualité du malt) est fortement influencée par la fertilisation azotée par contre les fractions F3 et F5 sont essentiellement dépendantes de la variété.

Pour l'étude de la relation entre la composition protéique et les différents paramètres de qualité, GUPTA et al, (1992), ont utilisé la SE-HPLC pour des échantillons de 15 variétés de blé hexaploïdes à différents niveaux de fertilisation. Cette étude a permis de montrer la relation entre chaque subunit avec la qualité boulangère des farines de blé, et ouvre des possibilités de modifications de fonctionnalité et/ ou le taux des subunits dans le programme d'amélioration génétique utilisant des conventionnelles ou de nouvelles techniques.

---

# MATERIELS ET METHODES

## I-Effet de la fertilisation azotée sur la croissance et le rendement et ses composantes des blés dur et tendre.

### I-1-Site de déroulement de l'essai.

---

L'essai a été mis en place à la station expérimentale de Oued Smar située à une latitude 36° 43 Nord , longitude de 30° 08 et altitude de 24 m.

### I-2-Conditions pédoclimatiques ayant caractérisé l'essai.

---

#### I-2-1- Etude climatique.

La campagne 97/98 est caractérisée par des précipitations importantes (tableau 6). La réserve en eau du sol était en perpétuel renouvellement. Les cultures de blé dur et de blé tendre n'ont donc pas connu de stress hydrique, pendant la période de croissance et de développement, à l'exception de la période allant du mois de Février au mois de Mars au cours de laquelle des déficits respectifs de 58,3 mm et 26,8 mm ont été enregistrés.

Par ailleurs, les effets de ces précipitations ont rendu la préparation du lit de semence et le passage des outils difficiles.

L'humidité importante a induit un développement des maladies cryptogamiques principalement la rouille brune et à un degré moindre l'oidium et la septoriose.

#### I-2-1-1- La pluviométrie.

Le cumul pluviométrique enregistré durant la campagne agricole septembre 97–juillet 98 s'élève à 725 mm . Il dépasse celui de la moyenne enregistrée entre 1973/1987 de 23.mm .

L'analyse de la répartition de ces pluies a montré qu'un déficit pluviométrique est enregistré pendant les mois de janvier février et mars par rapport à la moyenne. Ceci, n'a pas eu d'effet négatif sur la levée, car la structure argileuse du sol a emmagasiné l'eau des pluies de Novembre et Décembre qui par la suite a participé à l'alimentation hydrique de la plante.

#### I.2.1.2/ Les températures

Les températures minimales de la campagne 97/98 sont plus élevées que celles enregistrées durant la période 75/84 (tableau 7). Une température de 10.2°C est enregistrée en janvier, (elle est supérieure à celle de la décennie de 75/84 qui est de 5.4°C). En ce qui concerne les températures maximales, elles sont dans l'ensemble légèrement inférieures à celles de la moyenne de la décennie 75/84. L'écart est en général de 1 à 2°C en moyenne. Pour ce qui est des températures moyennes, elles sont en général supérieures ou presque voisines à celles des moyennes enregistrées durant la décennie 75/84.

**Tableau 6. Répartition des précipitations durant la campagne 97/98**

Mois	Pluviométrie (mm)			Total mensuel 97/98 (mm)	Moyennes mensuelles 73/87
	décade 1	décade 2	décade 3		
Sept	3.5	41.2	1.5	46.2	37.1
Oct	4.0	15.1	28.3	47.4	73.2
Nov	10	23.2	115.5	148.7	104.0
Dec	58.6	44.4	6.2	109.2	101
Jan	0	6.6	22.7	29.3	80.2
Fev	13.9	0	35.0	48.9	107,2
Mars	0	50.0	4.5	54.5	81,2
Avril	0	17.54	51.0	68.5	54,3
Mai	78.3	40.5	47.5	166.3	44,7
Jun	/	/	1	1	13,8
Jullt	/	/	/	5	6,3
Total	168.3	238.54	313.2	725 mm	702,8

(Source : station météo ITGC)

**Tableau 7: Températures maxima et minima en°C enregistrées pendant la Campagne 97/98 comparées à celles de la période 75/84.**

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin
T min 97/98	19.1	15.7	11.9	10.6	10.2	10.7	13.0	13.8	16.2	20.7
T max 97/98	24.8	23.6	17.9	16.7	16.6	16.9	18.5	20.8	21.8	25.2
T moy 97/98	21.9	19.7	14.9	13.6	13.4	13.8	15.7	17.3	19	22.95
T min 75/84	16.8	13.1	9.2	7.2	5.4	6.4	12.8	8.7	11.4	15.4
Tmax 75/84	28.8	24.8	20.3	17.6	16.5	17.1	20.3	20.0	22.6	26.9
T moy 75/84	22.8	18.9	14.7	12.4	10.9	12.6	16.5	14.3	17	21.3

(Source : station météo ITGC , 1998)

### **I-3- Caractéristiques physico-chimiques du sol.**

Afin de déterminer les caractéristiques de notre champ expérimental, nous avons effectué des analyses physico-chimiques sur trois échantillons moyens prélevés à trois profondeurs 0-20cm, 20-40cm, 40-60cm. Chaque échantillon moyen résulte du mélange de trois prélèvements, effectués à la tarière suivant une diagonale avant la mise en place de la culture. Les méthodes d'analyses utilisées sont regroupées dans le Tableau (8). Les résultats des analyses effectuées sont prescrits dans le Tableau (9).

Par référence au tableau (9) nous pouvons caractériser le sol comme suit:

- il est de texture argileux d'après le triangle textural (USDA 1954 ).
- Il est à un PH neutre
- L'échelle de salinité en fonction de la conductivité électrique (CE) de l'extrait aqueux à 1/5 indique que nous sommes en présence d'un sol non salé.
- il est riche en matière organique
- le rapport C/N se situe entre 6,21 et 7,90, la matière organique est bien à moyennement décomposée.



Tableau 8. Les méthodes d'analyse utilisées.

Analyses	Méthodes
La granulométrie	Méthode internationale "pipette de robinson"
Carbone (C %)	Méthode de ANN
Matière organique(MO %)	MO % = C% x 1.72
pH	Méthode électrométrique : rapport sol/eau est 1/ 2,5
Conductivité électrique CE	Utilisation d'un conductimètre rapport sol 1/5
Azote %	Méthode KJELDHAL
Phosphore P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	Méthode d'OLSEN
Potassium K <sub>2</sub> O ppm	Extraction à L'acétate d'ammonium, filtration, dosage au spectrophotomètre.

Profondeur	Analyses physiques			Analyses chimiques							
	Argile %	Limon %	Sable %	P <sup>eau</sup>	C.E mmhos/ Cm	C %	MO %	N total %	C/N	K <sub>2</sub> O ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm
0-20cm	50.61	30.02	19.08	7.2	0.70	2.45	4.21	0.31	7.90	190	145.66
20-40 cm	52.53	29.18	18.57	7.5	0.70	1.19	2.04	0.22	8.63	175	140.66
40-60cm	52.66	28.35	18.77	7.3	0.70	1.18	2.02	0.19	6.21	162	90.66

Tableau 9. Caractéristiques physico-chimiques du sol.

- la teneur en potasse est faible car selon SOLTNER (1975), la teneur souhaitable en K<sub>2</sub>O est égale à 6 fois le pourcentage d'argile soit 303.6ppm.
- le phosphore est présent une teneur très faible dans notre sol (90 à 145 ppm), Car selon SOLTNER (1975), le taux souhaitable en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pour un sol ayant plus de 35% d'argile est égal à 9 fois le pourcentage d'argile, c'est à dire 9x 50.61 soit 455 ppm
- il est assez riche en azote.

Notre sol est donc pauvre en potassium et particulièrement démuné en phosphore au niveau des trois profondeurs et riche en azote.

#### I.-4- Matériel végétal utilisé.

Le matériel végétal est constitué de deux variétés de blé tendre ANZA et HD 1220 et deux variétés de blé dur VITRON et WAHA. Les caractéristiques des variétés expérimentées sont regroupées dans le tableau 10.

#### I-5-Dispositif expérimental.

Le dispositif expérimental est un dispositif du type split plot pour étudier l'effet de deux facteurs les variétés et les doses d'azote.

**facteur 1** : composé de 4 variétés, deux variétés de blé dur et deux variétés de blé tendre.

- V1: WAHA
- V2: VITRON
- V3: HD 1220
- V4: ANZA

**facteur 2**: Doses d'azote avec 4 niveaux:

- N0: 0 unité /ha (Témoin)
- N1: 40unités/ha ( 190 kg d'engrais / ha soit 228 g/micro parcelle)
- N2: 80unités/ha (380 kg d'engrais / ha soit 456g/micro parcelle)
- N3: 120unités/ha (570kg d'engrais / ha soit 684 g/micro parcelle)

Nous avons utilisé comme engrais azoté le sulfate d'ammonium 21 % d'azote ammoniacal C'est l'engrais le plus anciennement utilisé, il apporte en outre 23%e SO<sub>3</sub>. Il est utilisé par la plante sous la forme (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ammoniacale et surtout après sa transformation en forme nitrique NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

**Tableau 10: Caractéristiques des variétés expérimentées.**

	<b>ANZA</b>	<b>HD1220</b>	<b>WAHA</b>	<b>VITRON</b>
Origine	Etats unies	Mexique	Syrie	Espagne
Précocité	Précoce	Précoce	Précoce	Précoce
Zone de culture	Littoral Hauts plateaux	Littoral Plaine intérieure Hauts plateaux Zones sahariennes	Littoral Hauts plateaux Plaines intérieures	Hauts plateaux Plaines intérieures Zones sahariennes
Grain	Roux, peu allongé et arrondi	Blanc, allongé	Ambré, moyen	Ambré, allongé
Productivité	Très bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Qualité technologique	Faible force boulangère	Bonne force boulangère	Bonne résistance à la moucheture et au mitadinage Qualité semoulière assez bonne	Légèrement sensible au mitadinage et à la moucheture
Faculté germinative	98%	94%	85%	82%
Pois de 1000 grains	41,3 g	45,3 g	44,4 g	41,8 g

Chaque dose a été fractionnée en 3 apports:

- le premier apport (1/3) effectué juste après le semis le 28/12/97.
- un deuxième apport 1/3 effectué au stade début tallage 07/02/98
- un troisième apport (1/3) appliqué au stade début montaison

Le dispositif expérimental choisi de l'essai est un Split plot à 5 répétitions ou la 5ème répétition est réservé pour les prélèvements d'échantillons du végétal. Le bloc est divisé en sous bloc selon les niveaux du facteur variété et le sous bloc est divisé en parcelles élémentaires de 12m<sup>2</sup> (6 lignes de 10m de longueur).

## **I-6-Données culturales.**

---

### **I-6-1- Précédent cultural**

Le précédent cultural est une culture de légumineuses alimentaires.

### **I-6-2-Travail du sol**

Le labour est effectué à la charrue à soc en septembre suivi d'un passage croisé du cultivateur en octobre .Le passage de la herse est effectué juste avant le semis.

### **I-6-3-Apport de l'engrais phosphaté.**

Le super phosphate à 46% de P205 est apporté à raison de deux quintaux /ha après le labour.

### **I-6-4-Le semis**

Le semis est réalisé avec le semoir expérimental le 20/12/04 à des doses de: 158kg/ha (189,6g/micro parcelle) pour la variété VITRON, 154 kg/ha pour la variété WAHA, 144kg/ha (172,8g/micro parcelle) pour la variété HD1220, 126 kg/ha (151,2 g/micro parcelle) pour la variété ANZA.

### **I-6-5- Le désherbage**

Les mauvaises herbes ont été éliminées avec un désherbant à double action Illoxan B.

### **I-6-4-Récolte**

La récolte a été réalisée avec une moissonneuse batteuse expérimentale le 15/06/98.

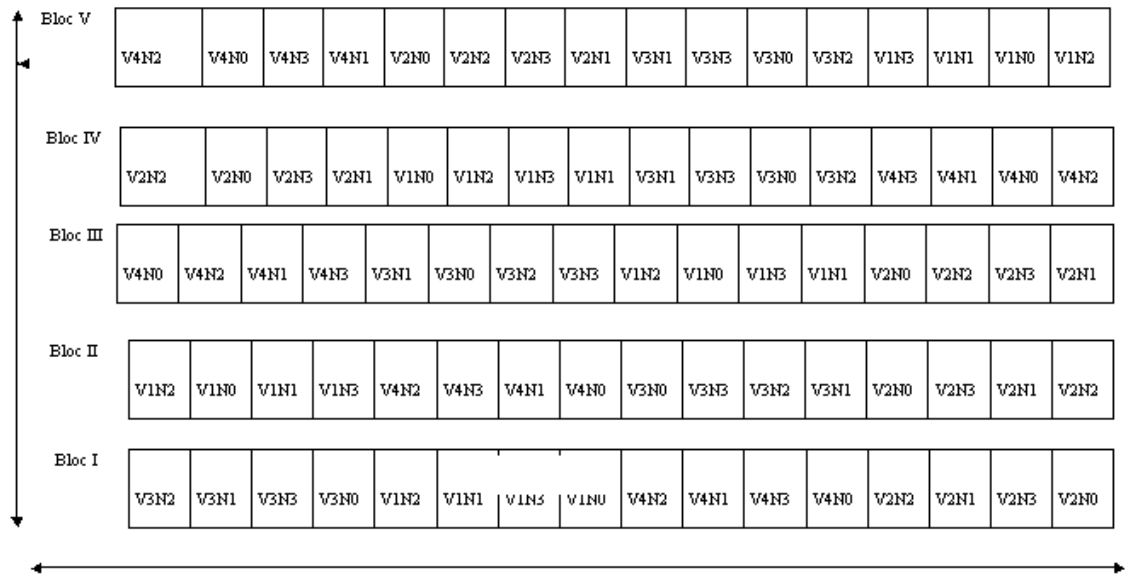
## **I-7- Mesures effectuées.**

---

### **I-7-1- Croissance et développement.**

#### **I-7-1-1- Nombre de plants par m<sup>2</sup>**

Il a été estimé par trois comptages de 1 m<sup>2</sup> sur la parcelle élémentaire à la levée.



*Schéma du dispositif expérimental.*

### **I-7-1-2-La production de matière sèche.**

Le prélèvement des parties aériennes de blé a été effectué aux stades: tallage, montaison, floraison et maturité. Les échantillons ont été mis à l'étuve pendant 24 heures à une température de 105°C pour un séchage total; La matière sèche a été déterminée par pesée. Les échantillons ont été récoltés sur une surface de 0.25 m<sup>2</sup> et les résultats sont rapportés à un m<sup>2</sup>.

### **I-7-1-3-Hauteur à la floraison.**

La longueur de la plante a été déterminée sur une moyenne de 10 plants pris au hasard dans chaque micro parcelle.

### **I-7-2-Les composantes de rendement.**

#### **I-7-2-1-Peuplement épi**

Il est déterminé au stade maturité du grain par le comptage des épis se trouvant dans un cadre de 1 m<sup>2</sup> et cela pour chaque parcelle élémentaire.

#### **I-7-2-2-Nombre de grains par épi**

On a prélevé 20 épis sur chaque parcelle élémentaire pour chaque variété des deux espèces au niveau de chaque bloc au hasard qui ont servi au comptage du nombre de grains par épi.

#### **I-7-2-3-Le poids de 1000 grains**

Après la récolte de chaque parcelle élémentaire (pour chaque variété et pour chaque traitement), nous avons prélevé au hasard un échantillon que nous avons nettoyé; et compté 1000 grains à l'aide d'un compteur à grain puis les peser à l'aide d'une balance de précision.

### **I-7-3-Rendement en grains**

Le rendement réel de chaque parcelle élémentaire a été déterminé après la récolte et le battage des épis ; les grains récupérés sont nettoyés, ils sont ensuite pesés. On a ainsi la quantité récoltée en kilogramme par parcelle élémentaire.

#### I-7-4-Evolution de l'azote total de la plante

Pour déterminer la cinétique d'absorption d'azote durant le cycle végétatif, nous avons effectué le dosage de l'azote total aux stades, tallage, montaison, floraison et maturité des cultures sur les parties aériennes prélevées sur une superficie de 0.25m<sup>2</sup>. Après séchage à l'étuve, les tiges et les feuilles ont été broyées et le dosage de l'azote est réalisé par la méthode de KJEDHAL.

## II- Mesure de l'effet de la fertilisation azotée sur l'expression de la qualité technologique du blé dur et du blé tendre.

### II-1 Matériel végétal et niveaux d'azote utilisés

Nous disposons donc de 16 traitements (4 variétés, 4 doses d'azote), le nombre de répétitions étant de 3 .

### II-2-La mouture du blé

Après nettoyage, les grains de blé dur sont conditionnés. Ils sont ramenés à une humidité de 14% pendant 24 heures puis à 17%, 2 heures avant la mouture. Cette humidification graduelle permet une bonne séparation de l'amande vitreuse des enveloppes. Le conditionnement se fait à une température ambiante dans des bocaux fermés de 5Kg en assurant plusieurs agitations pour permettre une bonne imprégnation de l'eau.

Pour déterminer le volume d'eau à ajouter au blé, on détermine son humidité initiale puis application de la formule suivante:

$$V = \frac{100 (H_f - H_i)}{100 - H_f}$$

- V: est le volume d'eau (ml) à ajouter à 100g d'échantillon
- H<sub>f</sub> : l'humidité finale du blé (17%)
- H<sub>i</sub>: l'humidité initiale du blé (%).

La mouture a été réalisée au niveau de l'Institut Technique des Grandes Cultures (I.I.G.C) d'El Harrach avec un moulin expérimental type QUADRUMAT- JUNIOR à partir du quel nous avons obtenu la semoule et le son.

Le conditionnement du blé tendre se fait de sorte à ramener l'humidité à 16% et est réalisé pendant 24 heures à température ambiante dans des bocaux d'un Kg en assurant au préalable plusieurs agitations. La mouture a été réalisée au niveau de l'institut technique des grandes cultures à l'aide d'un moulin de laboratoire type BRABENDER pour l'obtention de la farine.

## **II-3-Mesure des paramètres physico-chimiques**

---

### **II-3-1-Paramètres physiques.**

#### **II-3-1-1-Le poids de 1000 grains**

La détermination du poids de 1000 grains (PMG) est réalisée selon la norme Algérienne NA 73189. Le poids de 1000 grains est un critère variétal qui dépend aussi des conditions de culture. Cette mesure donne une idée sur le rendement technologique dans les industries de première transformation (rendement semoulier et meunier).

#### **II-3-1-2-Le taux de mitadinage du blé dur**

C'est le pourcentage en nombre de grains de blé dur reconnus non entièrement vitreux. En effet le grain de blé dur étant normalement vitreux, s'il présente des amandes farineuses, il entre dans la catégorie des grains mitadinés.

Le taux de mitadinage pénalise la valeur semoulière. C'est un accident physiologique qui entraîne un changement de la texture de l'albumen. Celui-ci, normalement translucide et vitreux, devient en partie ou en totalité opaque et farineux.

La détermination est faite sur 600 grains au moins en comptant les grains mitadinés après coupe transversale à l'aide d'un coupe grain, le farinotome de POHL (méthode normalisée pratique (NE<sup>\*</sup> 1-1-36/ 1985).

#### **II-3-1-3- Les indices de coloration du blé dur : indice de brun et indice de jaune**

L'intérêt de la mesure est essentiellement commercial, car le consommateur cherche des pâtes claires de belle couleur jaune ambrée: plus l'indice de jaune est élevé, plus les pâtes sont jaunes et par conséquent plus attractives et de qualité commerciale élevée.

Le principe est d'apprécier la couleur de la semoule qui se caractérise par deux composantes, l'indice de brun et l'indice de jaune à l'aide d'un spectrophotomètre HUNTERLAB (géométrie 0/45, illuminant D65, angle d'observation 10°), ces conditions sont celles retenues par la commission internationale de l'éclairage (C.I.E).

Avant chaque série d'essai, il est nécessaire d'étalonner le spectrophotomètre; ensuite mettre environ 50g de semoule dans une boîte de pétri, bien l'homogénéiser, placer l'échantillon sous la source lumineuse, dix mesures successives sont effectuées en tournant l'échantillon d'un quart de tour avant chaque lecture de manière à limiter les effets dus à l'hétérogénéité de la réflexion sur une surface non homogène.

Les résultats sont exprimés dans le système L, dans les conditions retenues par la commission internationale de l'éclairage (C.I.E).

$$I . B = 100 - L$$

**$I . j = b.$**

- L'indice **b** est d'autant plus élevé que la semoule est plus jaune.
- La valeur (100 – **L**) augmente avec le brunissement.

### **II-3-2-Mesure des paramètres chimiques.**

#### **II-3-2-1-Détermination de la teneur en eau.**

Elle est effectuée selon la méthode normalisée en Algérie, NA=1132//990

La mesure de la teneur en eau présente trois intérêts principaux :

Analytique: elle permet de rapporter les résultats d'analyse à une base fixe, la matière sèche, ce qui permet la comparaison des différents échantillons.

Technologique: pour la détermination et la conduite rationnelle des opérations de récolte, de stockage et de conditionnement des céréales lors de leur transformation.

Commercial et réglementaire : les contrats commerciaux et les normes réglementaires fixent des seuils de teneur en eau.

Le principe de la méthode est de sécher 5g de grains broyés à une température comprise entre 130 et 133 °C, à pression atmosphérique normale pour une durée de deux heures.

#### **II-3-2-2- Détermination du taux de cendres**

Le taux de cendre est déterminé selon la norme NE.1.1.29/1985.

Les cendres représentent un résidu obtenu après incinération à 550°C exprimé généralement en pourcentage en masse par rapport à la matière sèche.

La détermination du taux de cendres nous donne une indication sur la quantité de matières minérales contenues dans un blé ou dérivé. C'est un critère pour apprécier la pureté d'une farine ou semoule.

La teneur en cendres est déterminée par la pesée du résidu obtenu par incinération d'une prise d'essai de 5g de grains broyés ou de semoule dans laquelle on peut rajouter quelques gouttes d'éthanol, dans une atmosphère oxydante à une température de 550°C jusqu'à combustion complète de la matière organique pendant une durée de quatre (4) heures.

#### **II- 3-2-3- Dosage des protéines**

L'azote total est dosé selon la méthode KJELDAHL, appliquée aux céréales et normalisée en Algérie sous la référence NA 1185/1990. Elle permet une évaluation de la teneur en protéines par utilisation du facteur de conversion adéquat (5.7 pour protéine d'origine végétale).

#### **II-3-2-4-Test de sédimentation en milieu S.D.S**

La mesure de l'indice de sédimentation permet de classer les blés suivant leur aptitude boulangère. Il donne une indication sur la force du gluten.

La méthode consiste à peser 6g de semoule ou farine , l'introduire dans une éprouvette de 100 ml, ajouter 50 ml d'eau distillée. Agiter vigoureusement pendant 15 secondes, laisser le contenu reposer pendant 2mn ; faire une agitation analogue à t=2mn et t=4mn.

Immédiatement après la dernière agitation, ajouter 50 ml de réactif SDS acide lactique (20g/l de SDS et 20ml /l d'acide lactique) dans les éprouvettes.

Procéder alors à un mélange par quatre inversions lentes des éprouvettes à t=0 mn , t=2mn ,t=4mn et t=6mn. Le contenu des éprouvettes est laissé au repos pendant 20 mn (AXFORD et al ,1978).

La méthode permet de réaliser 2 échantillons en double à la fois. La moyenne arithmétique des résultats des deux essais est prise en considération.

L'indice de sédimentation est représenté par le volume du dépôt exprimé en millilitres après 20 minutes de repos. Il est d'autant plus élevé que la qualité des semoules ou farines est bonne.

### **II-3-2-5-Détermination de la teneur en gluten sec, sa capacité d'hydratation et gluten Index.**

Cette meure permet d'apprécier la quantité et la force du gluten. La détermination de la teneur en gluten est effectuée selon la norme NE. 124/1985.

Le principe est la préparation d'une pâte au moyen d'un échantillon de semoule ou de farine et d'une solution salée (Na cl à 2,5%). Isolement du gluten humide par lixiviation de cette pâte avec une solution du sodium, puis essorage et pesée du produit obtenu suivi d'un séchage du gluten humide (GH) en vue d'obtenir le gluten sec (GS).

Le mode opératoire consiste à peser 10g du produit et les introduire dans un mortier, ajouter 5 ml de la solution de chlorure de sodium et malaxer le mélange à l'aide de la baguette en verre jusqu'à ce que la pâte n'adhère plus au mortier. Après 20 minutes de repos, le pâton est légèrement comprimé entre les doigts sous un mince filet d'eau salée jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire.

La masse plastique obtenue est pesée à l'état humide après essorage : c'est le gluten humide (GH) . Après l'obtention du gluten humide, mettre le pâton dans une centrifugeuse pendant 1 minute. Le pourcentage du gluten humide restant sur la grille de la centrifugeuse constitue le gluten index (GI).

Une fois le gluten index est déterminé, on réunit les deux fractions du gluten humide (refus et extraction de la filière) et le disposer dans le glutork (dessiccateur rapide) pendant 4 mn à 160°C jusqu'à dessiccation complète : c'est le gluten sec GS.

$$\text{Le gluten index (GI)} = \frac{\text{Quantité du gluten qui reste sur la grille} \times 100}{\text{Quantité totale du gluten}}$$

La capacité d'hydratation (CH%), qui correspond au pourcentage d'eau contenue dans le gluten humide est fonction de la quantité et de la qualité du gluten.



$$\text{CH (\%)} = \frac{\text{GH-GS}}{\text{GH}} \times 100$$

- GH: gluten humide (g)
- GS: gluten sec (g).

## II-4-Paramètres rhéologiques

### II-4-1- Essai au mixographe

Ce test permet de tester la force d'une semoule et d'enregistrer la tolérance de la pâte au cours du mixage. Il a été réalisé selon la méthode normalisée AACC 54-40 A.

Le principe de cette méthode est la préparation d'une pâte à partir de 10g de semoule de blé dur et selon sa teneur en protéine, elle est ramenée à une humidité constante (selon les valeurs données en annexe 1). Le malaxage se fait dans le bol du mixographe par le biais de deux tiges; et le stylet (la plume) est posé à la base de la feuille d'enregistreur.

L'enregistrement graphique de la résistance de la pâte au malaxage se fait pendant 8 minutes. Un blé de force met beaucoup de temps pour que le mixographe atteigne son maximum.

L'intensité du pic décroît lorsque la résistance est maximale. La vitesse de chute varie en fonction de la pâte: Les blés de faible qualité atteignent leur intensité maximale très rapidement puis rechutent brusquement.

Les paramètres à étudier sont:

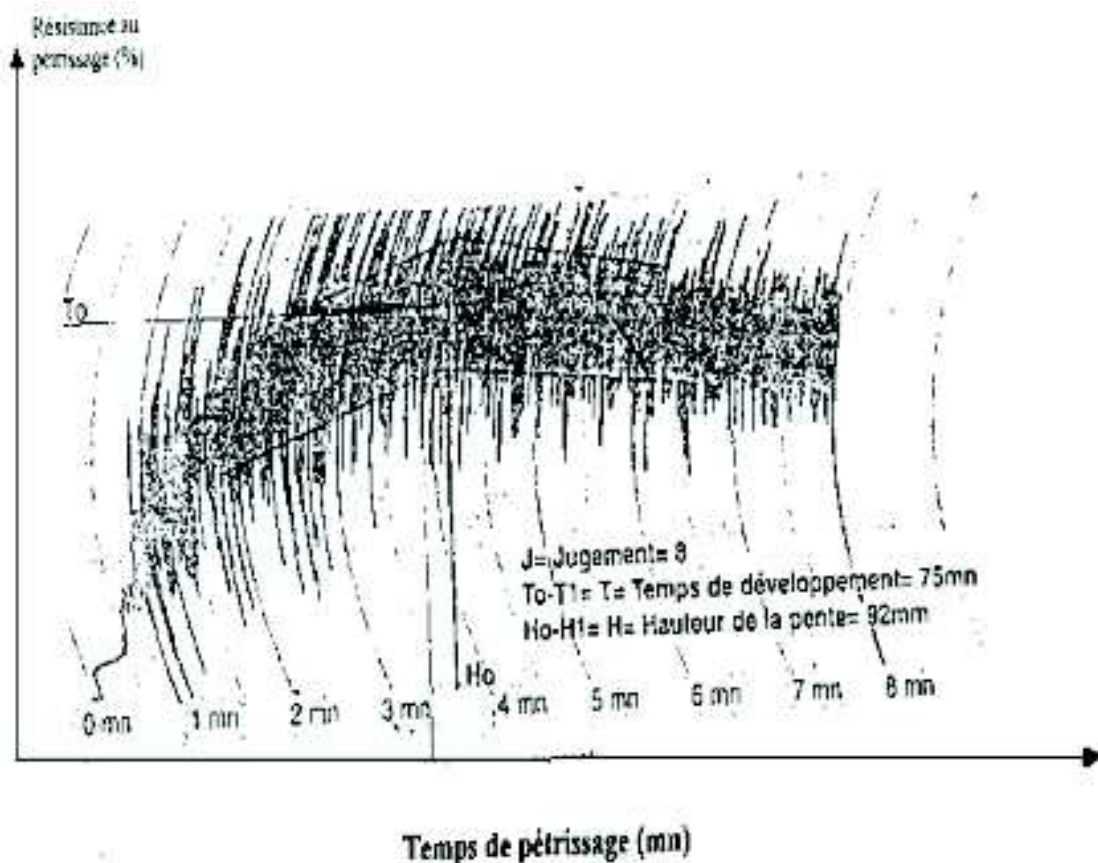
- \*le temps de développement: il caractérise la force de la pâte.
- \*la hauteur de la pente: elle correspond à la tolérance de la pâte au pétrissage.
- \*le jugement se détermine avec les mixogrammes de référence (voir annexe 1) .

Le calcul de ces paramètres se fait de la manière indiquée sur la figure (6).

### II-4-2-Essai au viscoélastographe (blé dur)

Le viscoélastographe permet d'évaluer les caractéristiques viscoélastiques des pâtes. Ce test a été réalisé selon la méthode normalisée: AFNOR , NF V -03 -744.

Il trace des courbes de déformation en fonction du temps sous une force constante (courbe de retard) puis après retrait de la force (recouvrance) (FEILLET et al 1977)



**Figure 6.** Méthode de calcul des paramètres du mixogramme.

Exemple de la variété Siméto (MEBTOUCHE, 1998)

Le mode opératoire consiste à prendre 10g de pâtes découpées et les verser dans 100ml d'eau bouillante. Une fois atteint le temps de cuisson désiré, les pâtes sont égouttées à l'aide d'une passoire. Après refroidissement, placer quelques brins de pâtes dans une boîte de pétri, en prenant soin de bien les séparer .

Un brin de pâte de 2cm est disposé sur le porte échantillon du viscoélastographe préalablement réglé de la manière suite:

- Force: 500g
- Durée de l'application de la force = 40 secondes
- Durée de rebondissement = 20 secondes
- Durée de rebondissement

La même mesure est répétée sur 4 brins différents.

Sur le viscoélastogramme obtenu (Figure 7), on mesure l'épaisseur en «mm» du brin cuit avant l'application de la force E , après écrasement ( $e_1$ ) et après rebondissement ( $e_2$ ).

L'appareil est relié à un ordinateur donc directement les caractéristiques viscoélastiques :

- E: épaisseur initiale de l'échantillon
- $e_1$ : épaisseur d'aplatissement
- F La fermeté:  $F = e_1 / E \times 100$  (selon ISO 6648).

- Ra: La recouvrance absolue :  $Ra = e_2 - e_1$ .
- IV: indice de viscoélasticité

### II-4-3-Essai à l'avéographe (blé tendre)

L'avéographe indique les caractéristiques rhéologiques des pâtes obtenues à partir de farines de blé tendre. Ces caractéristiques constituent un facteur important de la valeur d'utilisation des farines (valeur boulangère, biscottière, biscuitière).

L'essai a été réalisé suivant la méthode normalisée en Algérie NA.11.88/90 en concordance technique avec la norme française V.03.710 (novembre 1974).



*Un Viscoélastograhe*

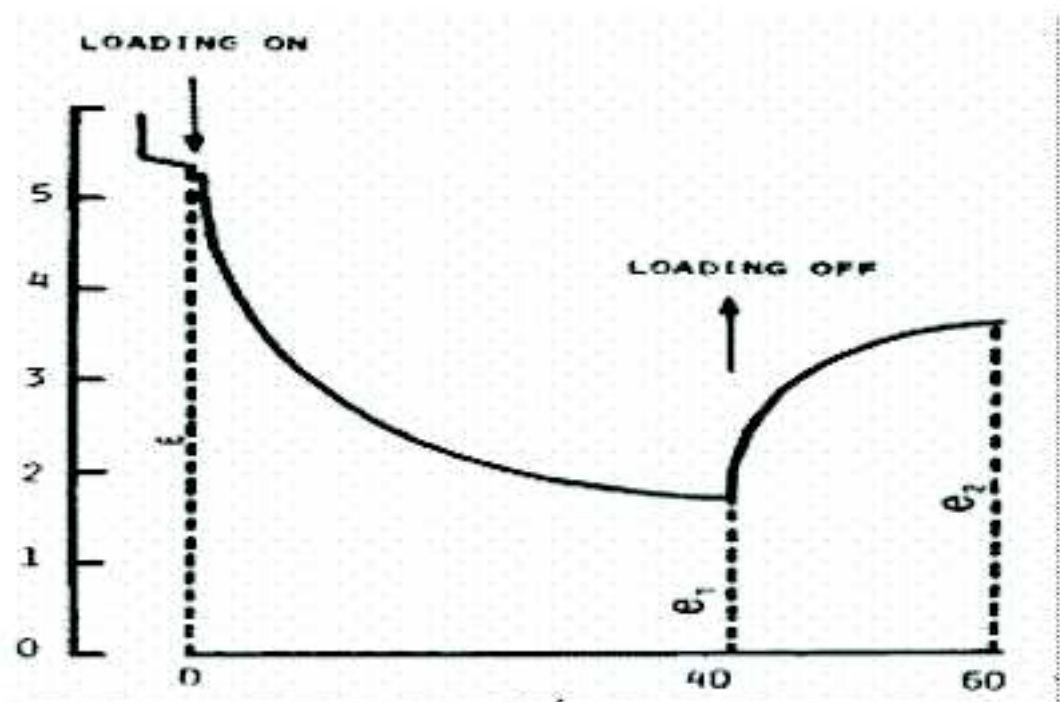
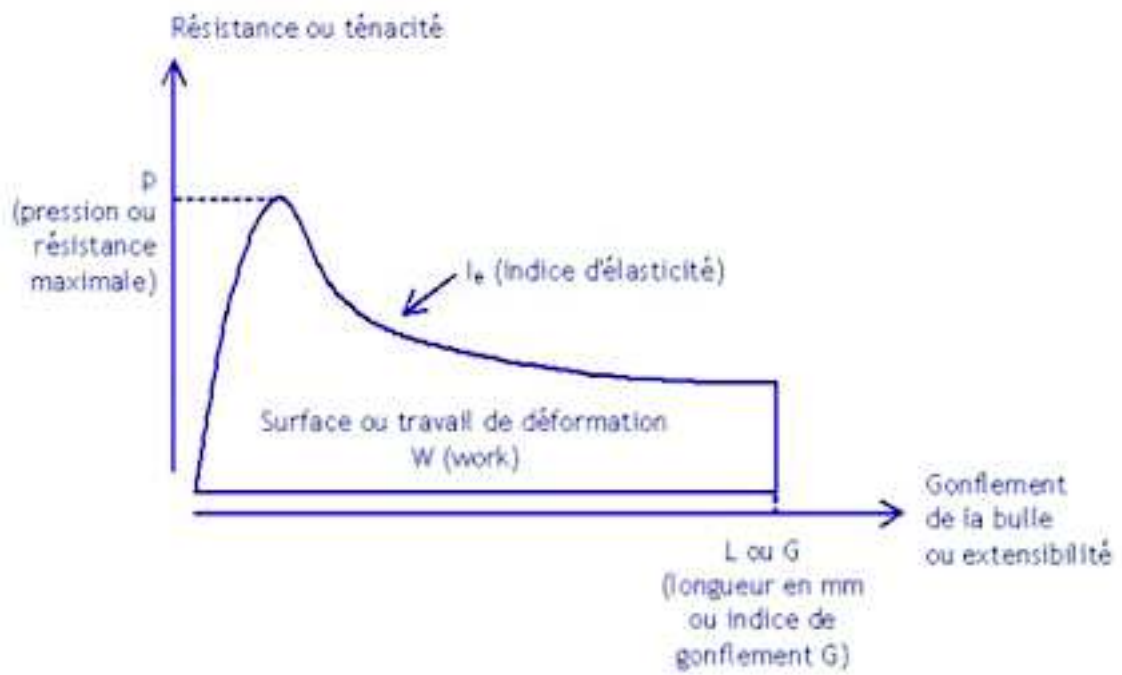


Figure 7. Représentation des paramètres du viscoélastographe

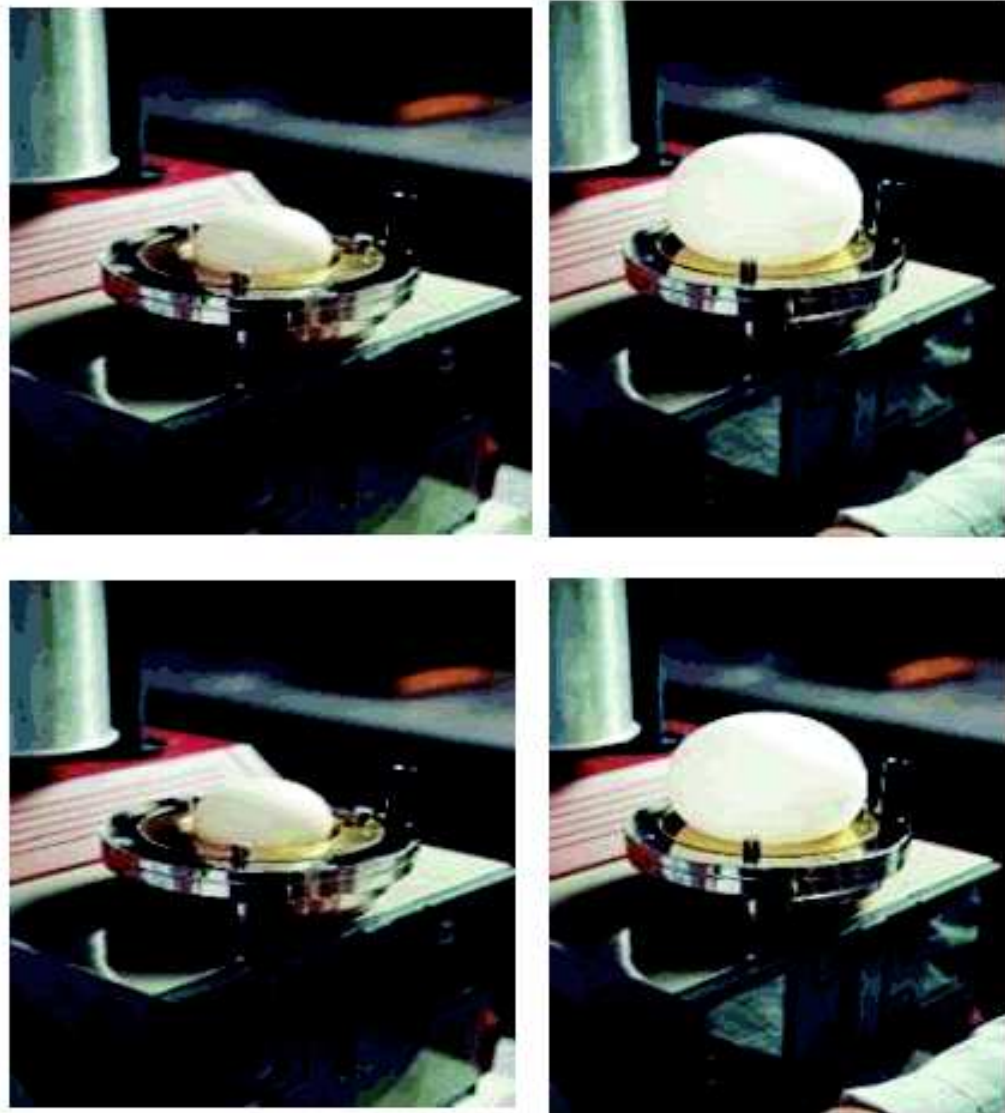
Le principe de cette méthode est la préparation d'une pâte à teneur en eau constante à partir d'une farine de blé tendre et d'eau salée. La quantité d'eau distillée salée à 2.5% en ml à ajouter à la farine pour préparer la pâte est déterminée selon une norme (annexe 2) qui correspond au volume d'eau salée à ajouter à 250g de farine de sorte à obtenir une hydratation constante.

Appréciations des caractéristiques de la pâte d'après la surface et la forme des diagrammes obtenus. Les résultats obtenus sont sous forme de courbes, un diagramme (figure 8) d'où sont mesurés les caractéristiques suivantes:

- La ténacité de la pâte  $P$  en relation avec la capacité d'absorption d'eau de la farine
- Le gonflement  $G$  ou l'extensibilité  $L$ , ces deux paramètres reliés entre eux, expriment le gonflement et l'extensibilité de la pâte.
- Le travail de déformation  $W$ , assimilé à la force boulangère, chiffre la valeur globale des propriétés plastiques de la pâte.
- Le rapport de la ténacité à l'extensibilité  $P/L$  qui exprime l'équilibre de la courbe.



**Figure 8 :** Un alvéogramme



*Figure 9 .Essai à l'alvéographe CHOPPIN des éprouvettes de pâte*

## **II-5-Essai de pastification**

---

Le test de pastification permet d'apprécier la qualité pastière des semoules. Il été réalisé au laboratoire de technologie céréalière de l'I.T.G.C d'El harrach.

Une quantité de 300g de semoule est déposée dans la cuve de malaxage de la presse; on y ajoute la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une hydratation de 34%. Le malaxage est effectué sous vide pour éviter l'oxydation des pigments caroténoïdes et préserver la couleur jaune ambrée. Le mélange est enfin extrudé et placé dans un moule choisi de manière à fabriquer des spaghettis. Les pâtes sont séchées dans un séchoir à 46°C pendant 6 heures en abaissant très progressivement l'humidité relative de l'air pendant le séchage de manière à ce que l'humidité finale des pâtes alimentaires ne dépassera pas 12,5% conformément à la norme d'entreprise appliquée en Algérie.

### **II-5-1- Appréciation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires**

---

La cuisson d'une pâte alimentaire vise à gélatiniser l'amidon pour le rendre digestible. Le comportement des pâtes au cours de la cuisson peut être très différent d'un produit à un autre. Dans son acception la plus large, la notion de qualité culinaire de pâtes regroupe selon FEILLET (1977) l'ensemble des caractéristiques suivantes:

- Temps minimum, optimum et maximum de cuisson
- Gonflement ou absorption de l'eau pendant la cuisson
- Texture des produits cuits (fermeté, viscoélasticité, masticabilité)
- Perte à la cuisson

L'appréciation de la qualité des spaghettis est réalisée selon la norme NF 03-714 (décembre 1981).

### II-5-1-1-Cuisson des pâtes

100g de pâtes sont coupés en brins de 20cm puis versés dans 3 litres d'eau salée bouillante (7g de NaCl/l); maintenir à franche ébullition tout en agitant doucement avec la spatule au début de la cuisson; ne pas couvrir.

- Le temps minimal de cuisson  $T(\text{min})$  est déterminé en prélevant les brins des pâtes en cours de cuisson, en les écrasant entre deux plaques de verre et en suivant la disparition d'une ligne centrale blanche dont la présence témoigne de ce que l'amidon situé au cœur de la pâte est encore cru.
- Cuisson normale

Au temps  $T_1 = T + 1$  (minutes), verser le contenu de la casserole sur une passoire, laisser égoutter 15 secondes à partir du moment où les pâtes sont sur la passoire en agitant doucement celles-ci. Après égouttage, la pâte cuite est pesée. L'eau de cuisson est recueillie dans un bêcher et mélangée de sorte à en prélever 25ml à disposer dans un bêcher taré au préalable. Celui-ci est introduit dans une étuve réglée à 98- 99°C jusqu'à dessiccation complète ; il est pesé après refroidissement. c'est le poids de l'extrait sec .

- La sur cuisson

Refaire toutes les opérations réalisées lors de la cuisson normale en prolongeant de 10 minutes le temps  $T_1$  soit  $T_2 = T + 11 \text{ mn}$  ou  $T_2 = T_1 + 10 \text{ mn}$

De cette façon la résistance des pâtes est éprouvée et le temps de cuisson adéquat déterminé.

### II-5-1-2- Pertes à la cuisson ( PC %)

Les pertes à la cuisson (PC) représentent la quantité de matière sèche perdue par 100g de pâtes crues durant la cuisson. Après homogénéisation de l'eau de cuisson, 25 ml sont prélevées et mis à sécher pendant 24 heures à 120°C.

On calcule les pertes à la cuisson PC à partir de l'équation:

$$PC = \frac{ES (V/25)}{(100-H)} \times 100$$

- **ES:** poids de l'extrait sec (g)
- **V:** volume final de l'eau de cuisson (ml)
- **H:** teneur en eau des pâtes crues en %.

### II-5-1-3- Capacité de fixation d'eau des pâtes

La capacité de fixation d'eau rend compte de l'aptitude de la pâte cuite à retenir plus ou moins l'eau. Elle est calculée grâce à l'équation:

$$C_e (\%) = (100 - P) \frac{100}{100-H-PC}$$

- **P:** poids des pâtes cuites (g)
- **PC :** perte à la cuisson (g )
- **H :** teneur en eau des pâtes crues %.

## II-6-Essai de panification

---

Cet essai de par les appréciations qu'il permet de porter sur la pâte et plus tard sur le produit fini (pain), constitue le test d'appréciation le plus objectif pour juger la qualité boulangère des farines( BOURDET et al ;1976).

L'essai consiste à l'obtention d'une pâte par pétrissage de la farine à tester, d'eau , de levure et de sel, suivi d'un pointage de 45 min , d'un façonnage manuel et de l'apprêt , ensuite incision des patons par plusieurs coups de la lames et enfin mise au four et cuisson à 250°C pendant 25min.

### II -6-1-Critères d'appréciation de la pâte.

D'après MAUZE et al (1972) l'appréciation de la qualité boulangère des farines peut être obtenu par l'intermédiaire d'un certain nombre de critères, il s'agit de:

Son élasticité, sa ténacité et son extensibilité qui sont en relation avec les propriétés viscoélastiques du gluten.

Sa tenue: ferme ou lâche

Sa maniabilité.



**Mesure de consistance****Mesure du collant**

*La formation de la pâte: lisse ou grossière, sèche ou grasse, collante ou non.*

## II -6-1-2- Critères d'appréciation du pain

### L'aspect extérieur

- Section: ronde, normale, ou plate dépendant des propriétés du gluten et de l'activité fermentaire.
- Couleur : pale, normale, rouge, brillante ou terne selon la composition glucidique, et l'activité amylolytique de la farine.
- Finesse de la croûte : fine, normale, épaisse, molle, croustillante ou dorée.
- Coup de lame : bien jetés, peu ou pas jetés, lisse ou déchirée, régulière ou irrégulière.

### Aspect de la mie

- La couleur : blanche, crème, grise.
- Texture: aérée, serrée, régulière, irrégulière, non élastique, dure, parfois fines parois épaisses.
- Odeur –saveur: bonne, désagréable.

Les caractéristiques citées ci-dessous sont inspirés de la norme expérimentale AFNOR: Essai de panification farine de blé tendre V.03.716 (avril 1982).

### **Remarque**

Pour réaliser le test de panification, AFNOR propose la méthode V.03.716. Cette dernière donne de résultats fiables. Cependant elle nécessite un matériel précis. Nous avons réalisé ce test suivant les moyens et la méthode du laboratoire ITGC de sorte à comparer les différents traitements, testés dans les mêmes conditions, et tirer les informations utiles.

## III-Séparation et quantification des différentes fractions protéiques par chormathographie liquide à haute performance d'exclusion SE-HPLC.

Parmi les techniques de fractionnement et de quantification des protéines, les méthodes chromatographiques sont parmi les plus utilisées. La chromatographie d'exclusion et de diffusion permet de séparer et d'estimer les protéines totales, teneur en différentes fractions protéiques.

Avant d'effectuer cette analyse, une extraction de protéines totale doit être effectuée.

L'extraction se fait en deux étapes, la première sans et la seconde avec utilisation des ultrasons permet en outre de quantifier les polymères in extractibles, c'est à dire les protéines de glutenines de très grande taille et les plus agrégatives (GUPTA et al 1993).

#### **Le principe.**

La chromatographie d'exclusion diffusion haute performance, permet de séparer et de quantifier les protéines macromoléculaires basées sur leur encombrement (fonction du poids moléculaire) et utilisant des pressions élevées pour accélérer cette séparation dans un gel de remplissage de la colonne de structure poreuse. Entre ces limites, les poids moléculaires des protéines peuvent être estimés à partir des volumes d'élution ou des temps de rétention.

Après extraction de la totalité des protéines de la farine, la préparation est injectée dans une colonne contenant un gel de silice poreux. En effet, les protéines les plus petites pénètrent à l'intérieur des pores des billes de silice. Elles sont alors retenues plus longtemps. Les protéines sont séparées selon leur taille et leur nature moléculaire. Les molécules les plus grosses (les glutenines) sont éluées au volume mort de la colonne et sortent de la colonne en 1er, tandis que les plus petites (molécules solubles) sont éluées au volume total liquide de la colonne et sortent en dernier (figure 9).

Après passage à travers un détecteur UV, on obtient un chromatogramme spécifique de la farine ou semoule. La proportion de chaque famille de protéines est déduite de la surface située sous le pic correspondant.

### **III-1-Extraction des protéines.**

---

Les farines ou semoules (160 mg dans un tube centrifuge) sont dispersées à 60°C pendant 80 mn avec 20 ml de tampon phosphate de sodium 0.1N ( $\text{NaH}_2\text{P}_04^- \text{Na}_2\text{H}_2 \text{HP}_04$ ) à 1% de SDS à pH6.9.

Les protéines solubles dans SDS 1% sont extraites après centrifugation du mélange pendant 30 min à 37 000g dans une centrifugeuse, type BECKMAN model JA-221. Le surnageant (20 µl) est injecté dans le chromatogramme.

Le culot est repris par 5 mL de tampon phosphate SDS 1% et subit une sonication pendant 3 min à 50% pour le blé dur et à 30% pour le blé tendre, pour l'extraction des protéines insolubles dans SDS-Phosphate tampon. Un volume de 20 µl du culot est injecté dans le chromatogramme.

L'extraction des glutenines est partielle en absence d'agent réducteurs, le recours à un traitement ultrasonore contrôlé peut permettre une extraction exhaustive des polymères de glutenines, avec une dégradation limitée. (SINGH et al. 1990). Elle permet de quantifier les polymères inextractibles, c'est à dire les polymères de glutenines de très grandes tailles et plus agrégatifs (GUPTA et al 1993).

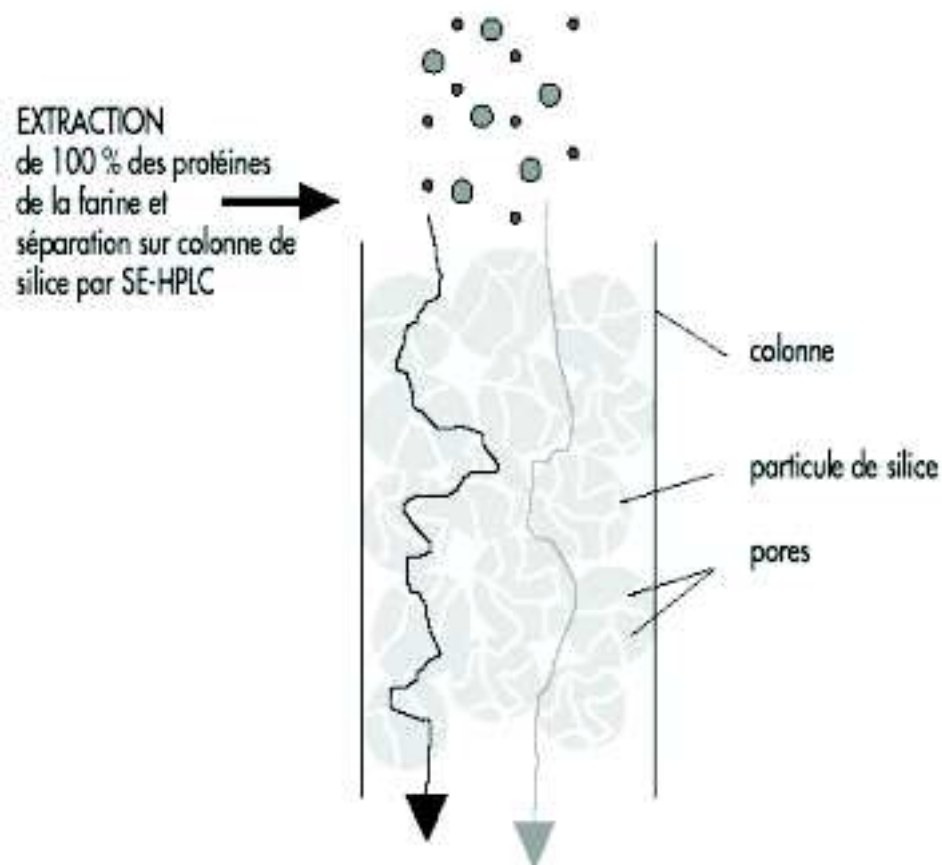
### III-2-Séparation et mesure de la distribution des différentes fractions protéiques par SE-HPLC.

L'injection du surnagent et du culot se fait dans une colonne du chromatogramme d'exclusion –diffusion de type TSP G4000 SW, tosoHaas de 7.5 mm de diamètre et de 300 mm de longueur. La colonne est remplie d'un gel à base de silice rigide avec une granulométrie de 13  $\mu\text{m}$  et une porosité de 450 $\text{\AA}$ . Cette colonne est protégée avec une pré colonne de type TSP G3000 SW , tosohaas avec une porosité inférieure (250  $\text{\AA}$ ) de 7.5 mm de diamètre et de 75 mm de long.

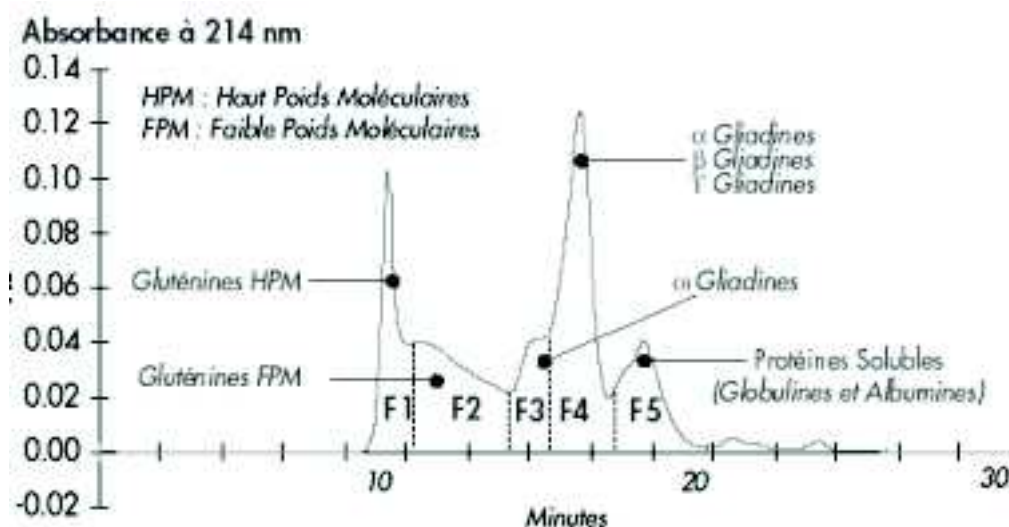
L'élution se fait à température ambiante avec un tampon phosphate 0.1M à ( $\text{pH}=6.9$ ) contenant 0.1% SDS. Le flux d'élution est délivré à 0.7 ml/ min , contrôlé par une pompe (Backman modèle 1/0A). La détection se fait sous une absorbance de 214 nm .

L'intégration des chromatogrammes et réalisée grâce au logiciel Nelson Analytical chromatographie software.

La majorité des pics F1 , F2 , F3 F4 et F5 (figure 10 ) sont élués 9 à 20 mn après injection ,procédé utilisé par DACHKEVITCH et AUTRAN (1989) et cité par MOREL et al (2000).



**Figure 9** : Séparation des protéines en chromatographie d'exclusion à haute performance. (Source: Dominique Lebrun .C et al 2001).



**Figure 10.** Profil d'élution sur chromatographie et Identification des différentes fractions protéiques (SE-HPLC).

(Source: DOMINIQUE LEBRUN .C et al 2001).

La première fraction correspond au plus haut poids moléculaire (les gluténines) qui sont éluées dans le volume mort de la colonne. La fraction 2 (F2) correspond aux gluténines de plus faibles poids moléculaires. Les fractions F3 et F4 correspondent essentiellement aux protéines monomériques (gliadines et les protéines solubles dans SDS-phosphate).

Les poids moléculaires apparents des différentes fractions protéiques sont estimés d'après le calibrage de la colonne avec 4 protéines standards thyroglobuline (Mr: 669 000 Da), sérum albumine bovine (Mr: 66 000 ), chymotrypsinogène (Mr: 25 700) et la cytochrome C ( Mr:11 700).

Les quantités des différentes fractions protéiques sont exprimées en pourcentage de l'air du chromatogramme.

Gamme de PM (dalton):

- F1 > 669 000 Da ( Correspond aux gluténines)
- F2 = 116 000 à 630 000 Da (Correspond aux gluténines)
- F4 = 21000 à 65000 Da (Correspond aux gliadines)
- F5 < 21000 Da

## IV-Analyses statistiques des résultats

Pour l'interprétation des résultats obtenus, les données ont fait l'objet d'analyses statistiques à savoir :

Une analyse de variance, pour déterminer l'effet des facteurs étudiés et leur interaction. La signification des résultats est exprimée en fonction de la probabilité :

- $P < 0,01$  la différence entre les traitements est très hautement significative
- $P < 0,01$  la différence entre les traitements est hautement significative

- $P < 0,05$  la différence entre les traitements est significative
- $P > 0,05$  la différence entre les traitements est non significative.

Si cette analyse révèle des différences significatives entre les traitements, une comparaison des moyennes est faite à l'aide du test de NEWMAN et KEULS ou de BENFERONNI qui permet de faire un classement des valeurs à un seuil de 5%.

Des analyses de corrélations ont été effectuées entre les paramètres de qualité d'une part et entre les paramètres de qualité et les surfaces des fractions protéiques de SE-HPLC.

Le coefficient de Pearson (R) indique l'existence à un seuil de probabilité donné d'une relation entre deux variables. En effet, le coefficient de corrélation est une mesure de l'étroitesse de la relation linéaire entre deux variables.

- Si  $R = 0$  il existe aucune relation entre les variables
- Si  $R$  supérieur à 0 les deux variables varient dans le même sens
- Si  $R$  inférieur à 0 les deux variables varient dans le sens contraire.

Ces analyses statistiques sont effectuées à l'aide des logiciels STATITCF et STATISTICA.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### I-EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES DES BLES DURS ET BLES TENDRES.

#### I-1-Effet de la fertilisation azotée sur la biomasse des cultures de blé dur et de blé tendre

---

Le tableau (10) montre que la production de matière sèche du témoin est en général inférieure à celle produite par les autres traitements. L'azote a amélioré la production de matière sèche.

Le maximum de production est atteint au stade maturité pour toutes les variétés. La plus forte production de matière sèche est donnée avec, l'apport de 120 unités/ha d'azote chez WAHA et ANZA, l'apport de 80 unités chez HD1220 et avec 40 unités/ha chez la variété HD1220.

#### I-2- Effet de la fertilisation azotée sur le rendement et ses composantes.

---

Les résultats du tableau (11) montrent que la fertilisation azotée a affecté certains paramètres de rendement sous les conditions de conduite de l'essai. Les températures minimales, supérieures à celles de la décennie 75/84 et le du cumul pluviométrique enregistré en cours de la campagne ont favorisé la transformation du sulfate d'ammonium en nitrates puis son assimilation par les cultures de blé dur et du blé tendre.

L'effet de la dose d'azote sur la hauteur des plants est THS. Cette dernière augmente avec les doses croissantes d'azote. Le test de *NEWMAN ET KEULS* a fait ressortir 4 groupes homogènes ( $N3 > N2 > N1 > N0$ ). Une augmentation de la hauteur finale de la plante, de 4cm, 2.36 cm et 2.31 cm est constatée respectivement avec les doses N3, N2 et N1. L'apport d'azote agit positivement sur l'allongement des entre nœuds.

GROS (1967) confirme que la hauteur des plants est un caractère variétal. La hauteur des plants a été plus importante chez le blé tendre, avec 108.62cm chez la variété HD1220 et 90.16 cm chez la variété Anza. Quant au blé dur, les variétés WAHA et VITRON ont donné respectivement des hauteurs de 89.36 cm et 88.69cm.

Les composantes du rendement ont eu également une réponse aux différentes doses d'azote utilisées. Le peuplement épis est plus élevé à la dose de 80 unités /ha soit 391épis/m<sup>2</sup>. HAMDJ (1994) a marqué un gain de 29.29 épis/m<sup>2</sup> obtenu avec l'apport 80 unités/ha d'azote. Pour cette même dose et pour les variétés de blé dur, la variété WAHA a mieux valorisé l'apport d'azote ou on a noté une augmentation de 48% du peuplement épis tandis que chez la variété VITRON , l'augmentation du nombre d'épis était de 40%.

Chez le blé tendre, la variété ANZA a mieux valorisé l'azote que la variété HD 1220 avec des augmentations du nombre d'épis respectives de 23% et de 11%.

Tableau 11. Evolution de la production de matière sèche q/ha

Stades phénologiques	Tallage	Montaison	Floraison	Maturité (paille+épis)		
Waha N0 N1 N2 N3	32.77 4.36 5.58	50.67 28.64	33.98 35.42	109.10 8.36	122.6	162.84 199.96
Vitron N0 N1 N2 N3	31.14 3.41 2.82	44.96 30.22	36.32 40.96	103.92 110.83	121	180.8 113.3
HD 1220 N0 N1 N2 N3	4.2 4.12 6.32	27.84 29.94	37.24 38.92	89.06 120.28	128	154.12 134.68
ANZA N0 N1 N2 N3	3.2 3.8 5.4 4.6	1.98 30.42	32.85 35.26	91.66 8.21	130.28	156.28 179.8

Le facteur azote n'a eu aucun effet significatif sur le nombre de grains/épi et sur le poids des grains. D'après MEKLOCHE (1983), le nombre de grains dépend beaucoup plus de la densité de semis que de la dose d'azote.

Toutefois, une différence significative s'est montrée sur le rendement en grain, selon les variétés d'une part et selon les doses d'azote d'autre part. En effet, les variétés de blé tendre ont donné les meilleurs rendements avec un optimum donné HD 1220, 65.98 q/ha contre 57.42qx/ha donné par la variété ANZA, suivi des variétés de blé dur, VITRON et WAHA qui ont produit respectivement 57qx/ha et 42qx/ha. L'apport de la fertilisation azoté a donné un optimum avec l'apport de 80 unités par hectare qui a atteint 58 q/ha (figure 11).

Ces résultats confirment ceux obtenus par BELLOULA (1981) avec des variétés de blé tendre et par ACHOURI (1985) avec des variétés de blé dur. KHETTAL (1995) a affirmé que sur le triticale, l'action des doses croissantes d'azote est positive. Elle se traduit par une augmentation du rendement réel en grain sur l'intervalle de 0 à 67 unités/ha. Au-delà de cette dose, le rendement diminue. Par contre, HAMDY (1994) a montré que l'effet de la dose d'azote n'est pas significatif sur le rendement en grain du blé dur.

### I-3-Evolution de la teneur en azote total de la plante.

D'après DEMOLON (1968), cité par BELLOULA (1981), ce sont les jeunes tissus qui contiennent les taux les plus élevés d'azote, d'où un besoin particulièrement intense des jeunes plantes à cet égard. Pour nos résultats (tableau 13), les taux les plus élevés se situent aux stades tallage et montaison. Ces teneurs mettent en évidence le rôle de l'azote dans la multiplication cellulaire. Une diminution de la teneur en azote est constatée au stade maturité.

Au tallage nous n'avons pas observé de différence entre les traitements fertilisés et le témoin. Ceci peut être expliqué par la richesse du sol en azote minéral. La variété WAHA a marqué la teneur la plus élevée en azote, par rapport aux autres variétés.

Le stade montaison marque la phase d'élongation avec une activité intense de croissance qui se traduit par une forte consommation d'azote.

Ce qui explique la teneur la plus élevée en azote pendant cette phase par rapport aux autres stades. Nous observons dans le tableau (13) et la figure (12) l'action des doses croissantes sur l'augmentation du taux d'azote dans la partie aérienne. Pour la dose 120 unités /ha d'azote , une augmentation nette du taux d'azote a été observée pour toutes les variétés, à l'exception de la variété VITRON qui a connu une teneur élevée en azote avec la dose 80 unités /ha soit 1,58% .

Au stade épisaison, une diminution très nette de la teneur d'azote est constatée. Cette diminution peut être expliquée d'une part par le ralentissement de l'absorption de l'azote du fait de la diminution de l'importance de la photosynthèse et d'autre part par la redistribution de l'azote emmagasiné vers le grain. Cette diminution continue jusqu'à maturité du grain.



**Figure 11.** Evolution des niveaux de rendement en fonction de la fertilisation azotée

Tableau 12. Moyennes de mesures effectuées sur les cultures.



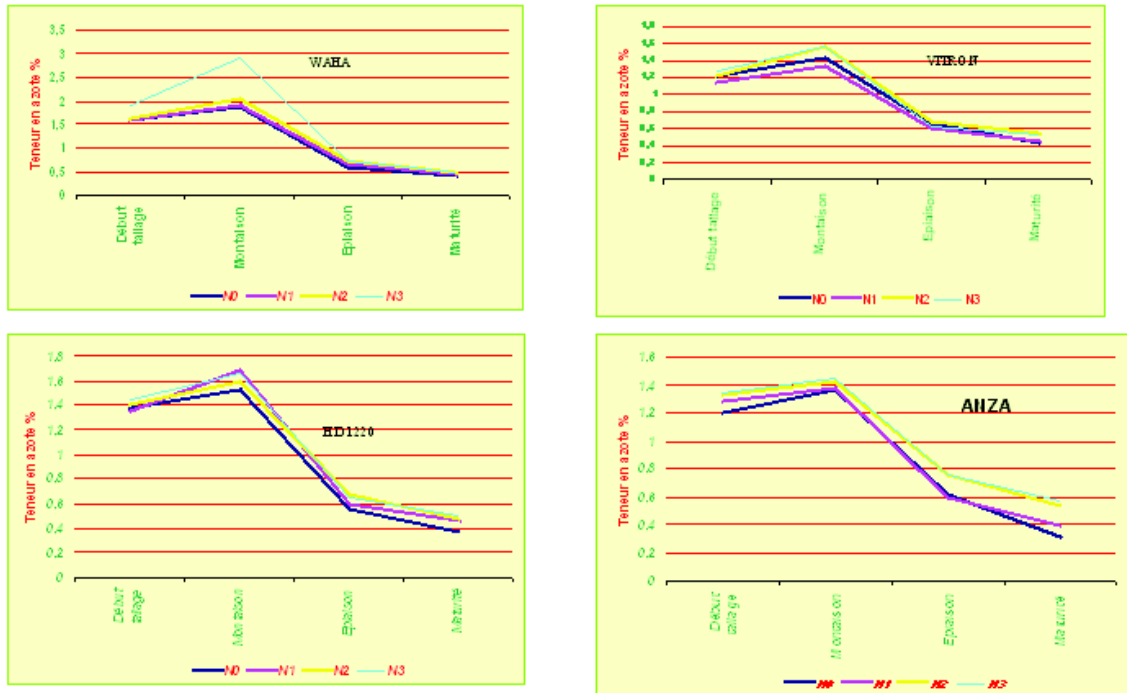
Traitements	Plants/m <sup>2</sup>	Haut(cm)	Epis/m <sup>2</sup>	Grains/épi	Pmg (g)	RDT (q/ha)
V1N0	138	87.35	226.75	38.50	38.50	36.77
V1N1	104.25	89.43	318.25	54.13	36.30	44.69
V1N2	108.75	89.81	335.25	53.60	39.40	33.33
V1N3	130.50	90.88	311.75	53.15	37.17	42.08
V2N0	129.25	86.46	247.50	50.60	45.28	46.97
V2N1	159.00	88.01	289.75	53.47	45.43	56.87
V2N2	170.00	89.96	348.00	51.25	46.22	50.21
V2N3	155.50	90.32	316.75	56.42	44.67	59.06
V3N0	166.25	106.36	353.50	60.43	38.90	63.96
V3N1	126.75	109.69	359.75	57.82	39.33	65.20
V3N2	139.75	107.74	393.75	60.28	37.93	68.75
V3N3	148.50	110.69	369.25	61.35	38.60	68.75
V4N0	188.00	87.99	410.75	62.47	33.35	50.83
V4N1	128.00	90.26	470.75	59.63	33.25	58.75
V4N2	121.75	90.10	488.75	63.38	31.25	60.10
V4N3	135.00	92.30	504.00	61.03	32.25	55.10
F1: variétés V1 V2 V3 V4	120.38 153.49 135.31 129.19	a 88.69 b 108.62 a 90.16 b	c 300.50 c 369.06 b 468.56 a	53.74 b 52.94 b 59.97 a 61.62 a	37.84 b 45.40 b 38.69 a 32.52 a	42.03 b 57.01 a 65.98 a 57.42 a
F2:Dose d'azote N0 N1 N2 N3	155.38 129.50 105.06 142.83	c 94.35 b 94.40 b 96.05 a	d 359.63 c 391.44 a 375.44 b	56.89 56.26 57.01 57.52	37.12 38.52 38.67 38.17	b 55.68 ab 58.04 a 56.66 ab
Moy. générale	140.58	94.21	359.03	57.07	38.61	53.84
Signifi.stat(F1) Ecart. type C V % Ppds	NS 39.55 28.71	NS 3.86 4.14	NS 5.18 4.50	NS 35.02 6.15	NS 2.83 7.15	NS 14.51 27 17.23
Signifi.stat F2) Ecart. type C V % Ppds	NS 30.40 21.71	NS 1.60 1.71	NS 2.88 1.57	NS 28.63 6.81	NS 1.45 3.81	NS 8.02 14.9 /
F1 inter F2 Ppds (5%)	NS /	NS /	S 43.06	NS /	NS /	NS /

Tableau 13. Teneur en azote de la plante en % de MS à différents stades dedéveloppement.

**Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés techno-fonctionnelles des protéines de blé**

---

	Doses d'azote	Tallage	Montaison	Epiaison (feuille + tige)	Maturité (Paille + épis)
WAHA	N0	1.58	1.88	0.6	0.42
	N1	1.6	1.91	0.66	0.46
	N2	1.62	2.03	0.71	0.49
	N3	1.92	2.91	0.73	0.49
VITRON	N0	1.22	1.43	0.66	0.43
	N1	1.14	1.34	0.61	0.45
	N2	1.23	1.58	0.68	0.55
	N3	1.27	1.56	0.63	0.52
HD1220	N0	1.38	1.52	0.55	0.37
	N1	1.35	1.68	0.6	0.46
	N2	1.4	1.6	0.67	0.48
	N3	1.45	1.65	0.65	0.5
ANZA	N0	1.21	1.37	0.61	0.31
	N1	1.28	1.38	0.6	0.39
	N2	1.33	1.43	0.76	0.54
	N3	1.35	1.45	0.75	0.56



**Figure 12 :** Evolution de la teneur en azote en % de matière sèche des variétés à différents stades de développement

#### I-4-Corrélation entre le rendement et ses composantes.

Des corrélations entre le rendement en grains et ses composantes ont été effectuées et ont révélé qu'il existe une étroite liaison entre le rendement et le nombre d'épis par m<sup>2</sup> qui est positive et significative ( $r = 0,6922$ ,  $P > 0.05$ ).

Une corrélation positive et très hautement significative est notée aussi entre le peuplement épis et le nombre de grains par épis ( $r = 0,802$ ,  $P > 0.0001$ ).

## II- EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LES PARAMETRES TECHNOLOGIQUES DU BLE.

### II-1- Paramètres physico-chimiques

---

#### II-1-1-Paramètres physiques

##### II-1-1-1-Le taux de mitadinage chez le blé dur

La structure vitreuse du grain de blé dur est un paramètre déterminant pour sa valeur d'utilisation. L'existence des parties farineuses dans l'albumen des grains mitadinés affecte la valeur semoulière en diminuant le rendement en semoule.

Sachant que le mitadinage est directement lié à la teneur en protéines donc à la nutrition azotée de la culture, si au cours du remplissage du grain la matière protéique se trouve en quantité suffisante, l'albumen prendra un aspect vitreux. En revanche la carence protéique conduit à la formation de nombreuses vacuoles d'air au sein de l'albumen, lui conférant une apparence opaque ou farineuse (MATVEEF, 1963).

La variété est un élément de gestion de risque de mitadinage mais l'influence du climat et de l'azote étant très forte ( GATE, 1996).

En effet les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet très hautement significatif du facteur variété et des doses d'azote sur le mitadinage (tableau 15).

Etant sous la dépendance du facteur génétique, la variété WAHA a été plus sensible au mitadinage (23,73 %) que la variété VITRON qui s'est montrée plus résistante à ce paramètre (18,45%).

L'effet des niveaux d'azote sur le mitadinage est marquant. Il passe de 35,02% chez le témoin sans azote N0 (très préjudiciable pour l'industrie des blés durs) à 14.21 % pour la dose N3. L'apport croissant de doses d'azote durant les 2 stades de développement du blé (tallage, gonflement) occasionne une réduction du pourcentage de mitadinage (Figure 13).

L'interaction entre les deux facteurs étudiés (variétés, azote) montre un effet hautement significatif sur le taux de mitadinage. Les deux variétés acquièrent une vitrosité d'autant plus grande que les apports deviennent importants. Par conséquent, on remarque des diminutions des taux de mitadinage avec les doses croissantes d'azote, 40 unités/ha, 80unités/ha et 120unités/ha respectivement de 48%, 50% et 52% chez WAHA et de 44%, 57% et 68% chez VITRON. Cette dernière valorise mieux les apports d'azote (figure 14).

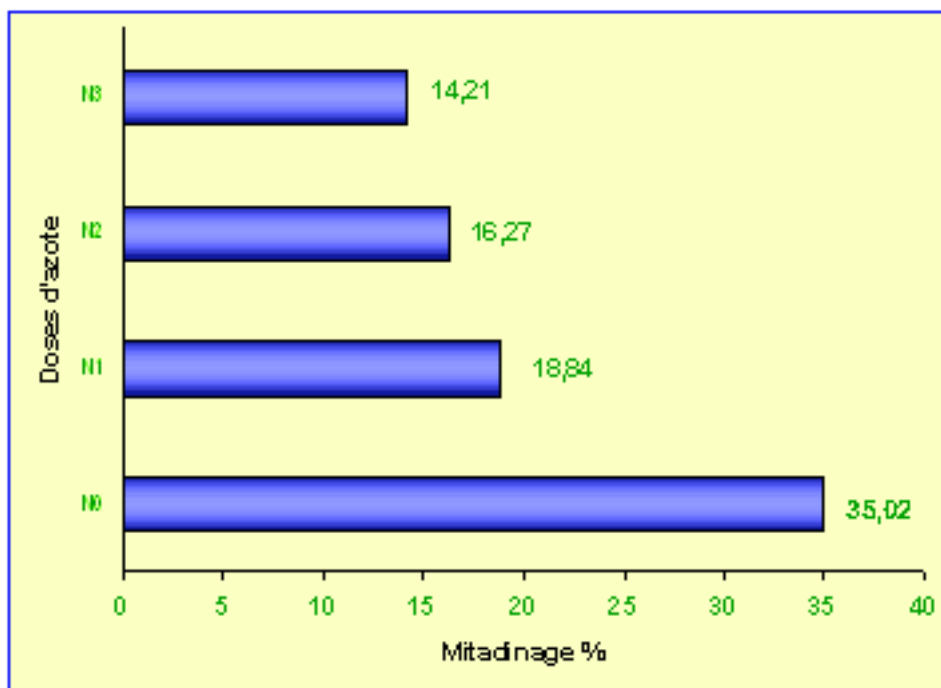


Figure 13. Evolution du taux de mitadage avec les apports azotés.

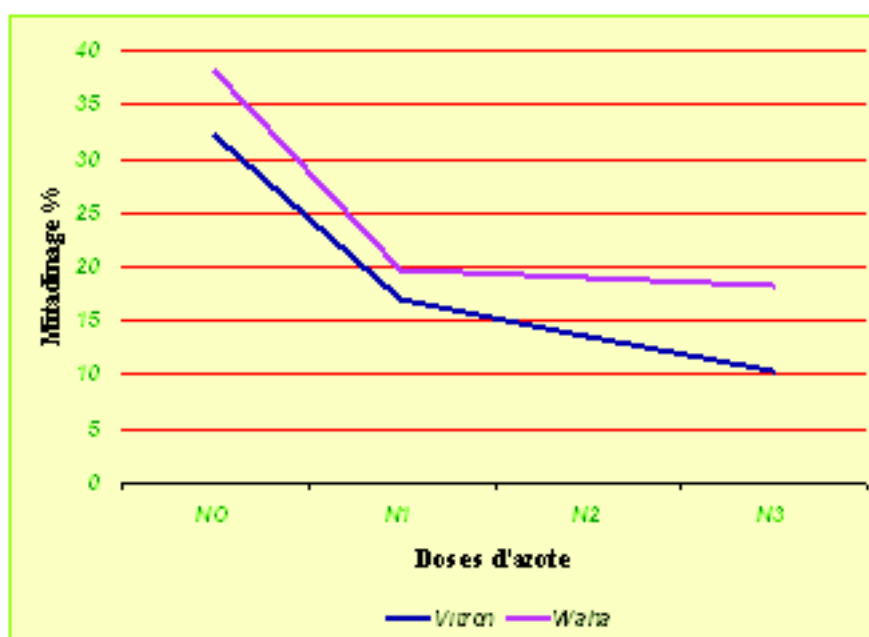


Figure 14. Effet de la variété et des doses d'azote sur le mitadage des variétés de blé dur

Tableau 15: Le taux mitadage sous l'effet des doses d'azote chez les différentes variétés des deux espèces..

Variétés et doses d'azote	Mitadinage %
V1N0	38,03 A
V1N1	19,75 C
V1N2	18,99 C
V1N3	18,14 C
V2N0	32,01 B
V2N1	17,94 C
V2N2	13,55 D
V2N3	10,28 E
F1: variétés V1 V2	23,73 B 18,45 A
F2:Dose d'azote N0 N1 N2 N3	35,02 A 18,84 B 16,27 C 14,21 D
Signifi.stat (F1) Ecart. type C V %	<b>THS</b> 1,24 5.4
Signifistati (F2) Ecart. type C V %	THS 1.11 5.4
F1 inter F2	<b>THS</b>

\* A, B, C, D ,: classement des groupes homogènes.

Dans une étude similaire, MASSE et DARBING (1993) indiquent que l'apport de 80 unités/ha d'azote supplémentaires pour les variétés *OUED ZENATI* et *BIDI 17* font apparaître une baisse significative de mitadinage par rapport à d'autres variétés étudiées qui ne réagissent qu'à la dose de 120 unités/ha d'azote.

Selon BRAUN (1994), un apport au stade gonflement de la culture est bien meilleur que les apports plus tardifs. Ceci est lié au coefficient apparent d'utilisation de l'azote qui est plus élevé à ce stade. Le report de 40 unités au gonflement permet un gain de 10 à 35 points de mitadinage sur la variété *Primadur*. Le mitadinage est fortement limité par le fractionnement des apports d'azote.

KLING et al (2000), à travers une étude sur 5 variétés de blé dur allemand , ont montré que la vitrosité est fortement influencée par le site de culture et l'interaction site x année de culture que par le facteur génétique.

## **II-1-1-2-Les indices de coloration du blé dur : indice de brun et indice de jaune**

### **II-1-1-2-1-Indice de jaune**

Le consommateur recherche à priori des pâtes claires de belle couleur jaune ambrée. La législation interdit toute adjonction de colorant dans les pâtes. La couleur ne peut provenir que de la semoule et par conséquent du blé dur qui résulte d'une composante jaune principalement génétique qui doit être la plus élevée possible.

L'analyse de la variance révèle (tableau 15) une différence très hautement significative du facteur variété sur la valeur de l'indice de jaune, la variété WAHA présente une valeur d'indice de jaune plus élevée (20,60) que la variété VITRON dont l'indice est faible (17,27). En effet d'après l'échelle de classement donné par HOULIAROPOULOS et al (1981) pour les semoules: Indice de jaune : élevé > 35, moyen : 28-35 et faible < 28.

On peut donc dire que, les variétés WAHA et VITRON présentent une coloration jaune assez faible. On peut lier cette observation au fait que les teneurs en pigments caroténoïdes

peuvent diminuer avec leur destruction au cours du stockage et après la transformation du blé en semoule.

Nos résultats montrent également que les conditions de milieu ont eu un effet sur la variation de l'indice de jaune. En effet, l'analyse de la variance du facteur azote montre une interaction hautement significative des deux facteurs (variété et azote) sur ce paramètre. L'effet de la variation de l'indice de jaune est plus remarqué avec la variété WAHA qui marque  $IJ=21,27$  à la dose N3 contre  $IJ= 19,71$  donné avec le témoin.

KIING et al (2000), à travers une étude sur 5 variétés de blés dur allemands, ont montré que la variation de l'indice de jaune est attribuée au facteur génétique (25%), mais aussi il est fortement influencé par le site de culture (36%) , et par l'interaction sites x année de culture(23%). Toutefois, EGIDIO (1996) a révélé que l'indice de jaune est un facteur variétal et dépend assez peu du milieu de culture.

### II-1-1-2-2-Indice de brun

L'indice de brun est une caractéristique variétale, influencé par le milieu de culture. Les réactions de peroxydation des acides gras insaturés contenus dans la semoule contribuent à augmenter le phénomène de brunissement (LAGNELET, 1979). La diminution de l'activité

de cet enzyme se fait , par sélection de variétés qui n'en possède que de faibles quantités, ou la mise en œuvre de technologies appropriées (purification des semoules durant la mouture, application de températures élevées en début de séchage) qui ont des effets intéressants sur la coloration.

L'analyse de variance de nos résultats (tableau 16), montre un effet très hautement significatif de l'apport d'azote sur les valeurs de l'IB. On constate que la dose N3 (120 U/ha) marque la valeur la plus élevée (9,21) et la dose N0 indique la valeur la plus basse (8,24). **On peut donc conclure, que la fertilisation azotée augmente la coloration brune (I.B).** D'après LAGNELET et al (1972), certaines protéines basiques riches en cuivre seraient à l'origine d'une élévation de l'indice de brun.

Nos résultats sont en accord avec ceux, de FEILLET (1974), qui a observé lui aussi une augmentation de l'indice de brun en fonction de la teneur en protéines, et ceux de HOULIAROPOULOS (1981) qui a montré que l'indice de brun est beaucoup plus influencé par des facteurs agro-climatiques et le taux d'extraction.

D'après l'échelle de classement des semoules de HOULIAROPOULOS (1981), l'indice de brun est élevé lorsqu'il est  $>21$ , est moyen lorsqu'il est compris entre 18 et 21 et, est faible lorsqu'il est  $< 18$ . Ce qui va nous conduire à conclure que nos variétés, sous les différents apports d'azote, ont un indice de brun assez faible ce qui est appréciable.

Tableau 16. Indice de brun et indice de jaune chez les variétés des deux espèces.

**Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés techno-fonctionnelles des protéines de blé**

	Indice de jaune (IJ)	Indice de brun (IB)
V1N0	19,71 C	8.00
V1N1	20,80 B	8.5
V1N2	20,63 B	8.4
V1N3	21,27 A	8.9
V2N0	17,10 E	8.48
V2N1	17,15 ED	9.16
V2N2	17,36 ED	9.36
V2N3	17,48 D	9.5
F1: variétés V1 V2	12,60 B 17,27 A	8.45 9.12
F2:Dose d'azote N0 N1 N2 N3	18,41 C 18,98 B 19,00 B 19,37 A	8.24 C 8.83 B 8.88 B 9.21 A
Signifi.stat (F1) Ecart. type C V %	THS 0.33 1.6	NS 0.4 3.8
Signifi.stat(F2) Ecart. type C V %	THS 0.28 1.6	THS 0.26 3.8
F1 inter F2	THS	NS

\* A, B, C : classement des groupes homogènes.



	Variétés	Dose d'azote	Taux d'extraction %	Teneur en eau Semoule %	Teneur en eau Grain %
<b>Blé dur</b>	WAHA	N0	63.72	14.35	12.65
		N1	63.01	14.50	12.45
		N2	53.38	14.60	12.50
		N3	58.07	14.80	12.40
	VITRON	N0	65.15	14.80	12.80
		N1	65.08	15.85	12.70
		N2	64.33	15.40	12.9
		N3	62.20	15.50	12.85
<b>Blé tendre</b>	HD1220	N0	63.79	13.8	13.0
		N1	65.98	13.9	13.1
		N2	64.85	13.8	13.3
		N3	66.72	13.6	13.0
	ANZA	N0	67.46	13.5	13.3
		N1	67.57	13.5	13.1
		N2	69.35	13.6	13.2
		N3	71.96	13.8	13.3

*Tableau 17. Taux d'extraction et teneur en eau des semoules et farines*

### **II-1-1-3-Taux d'extraction**

Le taux d'extraction est fonction des caractéristiques physiques des grains et des conditions de mouture. Sous les mêmes conditions de mouture, il ressort une différence entre les taux d'extraction selon les variétés. La variété VITRON a présenté des taux d'extraction plus importants que ceux de la variété WAHA. La variété ANZA a eu un meilleur rendement farine que la variété HD1220 (tableau 17).

### **II-1-2- Paramètres chimiques.**

#### **II-1-2-1- Détermination de la teneur en eau.**

La teneur en eau est fonction des conditions de stockage pour le grain et du conditionnement pour la semoule et les farines de blé.

En effet, les différentes teneurs en eau des grains des variétés de blé dur (12.45 à 12.9%) et semoules sont relativement identiques. Celles des variétés de blé tendre (13% à 13.3%) sont également comparables suite aux mêmes conditions de stockage et de conditionnement. Nos farines renferment une humidité variable entre 13.5% et 13.8 % et celle des semoules entre 14.35% à 15.5%.

### **II-1-2-2- Détermination du taux de cendres des grains, semoules et des farines**

Les résultats des tableaux 18 et 19 ressortent que le taux de cendres est d'abord une caractéristique variétale. La variété ANZA présente une teneur plus élevée dans le grain et farine (1.82%, 0.58%) que la variété HD1220 (1.78%, 0.57%). Chez le blé dur, la variété WAHA est plus riche en matières minérales soit 2.05%, contre 1.97% obtenu avec la variété VITRON.

De même, les résultats montrent aussi une interaction hautement significative du facteur variété x fertilisation azotée sur le taux de cendres des grains chez les deux espèces.

Le taux de cendre chez la variété WAHA, est d'autant plus faible que l'apport d'azote est important, il diminue de 2.11% à 1.98% avec la dose supérieure, alors que chez la variété VITRON on observe une augmentation proportionnelle et positive qui passe de 1.89% avec N0 à 2.02% avec N2.

Chez le blé tendre, la teneur en cendres des grains de la variété HD1220 passe de 1.74 % à 1.85% de la dose N1 à la dose N3. Contrairement, la variété ANZA a révélé une variation proportionnelle négative avec les plus hautes doses d'azote, soit 1.85% avec la dose N0 à 1.75% avec la dose N3.

NAMOUNE (1981) énonce que la teneur en cendres dépend essentiellement du lieu de culture et des conditions de maturation, mais très peu de la variété.

L'effet de la fertilisation azotée est aussi significatif sur le taux de cendre des semoules. Le taux de matières minérales diminue dans l'amande avec les doses croissantes d'azote (de 0.9% à 0.82% de la dose N0 à la dose N3).

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par KLING et al (2000), à travers une étude sur cinq variétés de blé dur allemand dans différents sites. Ils indiquent que la variation du taux de cendres déterminé par, le site de culture est de 39%, par l'interaction sites x année culture est de 31% et par le facteur génétique est de 16%.

De même, ABECASSIS et FEUILLET (1985) affirment que le taux de cendres des semoules apparaît influencé par l'origine génétique et les conditions de culture.

La teneur en cendres n'a aucune influence sur la valeur boulangère et pastière. Elle présente cependant un intérêt dans l'appréciation du degré de pureté. R qui est le rapport entre le taux de cendres des semoules ou farines et celui du blé de départ. Ce rapport doit être selon BURE (1978) compris entre 0.3-0.4% pour les farines et inférieur à 0,5% pour les semoules selon FEILLET (1970). Nos farines et semoules sont donc pures.

### **II-1-2-3- Teneur en protéines**

Les résultats, des teneurs en protéines issues des traitements étudiés, sont rassemblés dans les tableaux 18 et 19. La teneur en protéines totales des grains, semoule et des farines des deux espèces étudiées varie significativement selon le facteur génétique et les apports croissants de la fertilisation azotée.

Les variétés de blé tendre présentent des teneurs en protéines des grains de 11.76% et 11.26%, et des farines, de 10.47% et 10.11% respectivement pour les variétés HD1220 et ANZA. Chez les variétés de blé dur, les teneurs en protéines sont plus élevées aussi bien dans les grains (12.86% et 12.29%) que dans les semoules (11.57% et 11.03 %) respectivement pour les variétés WAHA et VITRON.

Sous des doses croissantes (de N0 à N3) d'azote, une augmentation linéaire des teneurs en protéines est notée selon la variété de chaque espèce. La plus forte dose N3 a donné les meilleurs taux de protéines, atteignant chez le blé tendre des teneurs de 12% et 12.15% dans les grains et de 11.34% et 11% dans les farines respectivement pour les variétés HD1220 et ANZA. Chez le blé dur, les teneurs optimales obtenus avec 120unités/ha sont de 13.88% et 13.57 % dans les grains et de 12.16% et 11.65% dans la semoule respectivement chez les variétés WAHA et VITRON. (Figure 15).

Traitements	Teneur en cendres		Rapport R	Teneur en protéines	
	Grains	Farine		Grains	Farine
V3N0	1.74 B	0.55 CD	0.31	11.28 E	9.45 E
V3N1	1.74 B	0.57 BC	0.32	11.50 D	10.38 D
V3N2	1.80 AB	0.55 D	0.30	11.90 C	10.69 C
V3N3	1.85 A	0.59 AB	0.31	12.29 A	11.34 A
V4N0	1.84 A	0.58 AB	0.31	10.71 F	9.21 F
V4N1	1.85 A	0.60 A	0.32	10.88 F	9.50 E
V4N2	1.82 AB	0.58 AB	0.31	11.46 D	10.72 C
V4N3	1.75 B	0.57 BC	0.32	12.00 B	11.00 B
<b>F1: variétés</b>					
V3	1.78 B	0.57 B	0.32	11.76 A	10.47 A
V4	1.82 A	0.58 A	0.31	11.26 B	10.11 B
<b>F2:Dose d'azote</b>					
N0	1.79	0.57 B	0.32	11.00 D	9.33 D
N1	1.79	0.58 A	0.32	11.19 C	9.94 C
N2	1.81	0.56 B	0.30	11.71 B	10.71 B
N3	1.82	0.58 A	0.31	12.15 A	11.17 A
Signifi.stat (F1)	S	THS	NS	THS	THS
Ecart. type	0.03	0.01	0.02	0.06	0.15
C V %	1.9	1.5	1.3	0.9	1.3
Signifi.stat(F2)	NS	HS	NS	THS	THS
Ecart. type	0.03	0.01	0.02	0.10	0.04
C V %	1.9	1.5	1.3	0.9	1.3
F1 inter F2	THS	THS	NS	S	HS

**Tableau 18.** Taux de cendres des grains et teneur en protéines sous des variétés sous l'effet des doses d'azote (% matière sèche) chez le blé tendre.

\* A, B, BC,AB,BC, D : classement des groupes homogènes.

Traitements	Teneur en cendres		R	Teneur en protéine %	
	Grains	Semoule		Grains	Semoule
V1N0	2,11 AB	0,91	11,63 F	11,63 F	10,98 E
V1N1	2,15 A	0,92	12,73 E	12,73 E	11,32 D
V1N2	1,97 BC	0,74	13,22 c	13,22 c	11,81 B
V1N3	1,98 BC	0,74	13,88 A	13,88 A	12,16 A
V2N0	1,89 C	0,90	11,03 G	11,03 G	10,23 F
V2N1	1,96 BC	0,84	11,66 F	11,66 F	10,95 E
V2N2	2,02 ABC	0,89	12,90 D	12,90 D	11,30 D
V2N3	2,00 BC	0,94	13,57 B	13,57 B	11,65 C
<b>F1: variétés</b>					
V1	2,05 B	0,84 B	12,86 B	12,86 B	11,57
V2	1,97 A	0,89 A	12,29 A	12,29 A	11,03
<b>F2:Dose d'azote</b>					
N0	2	0,90 A	11,33 D	11,33 D	10,61 D
N1	2,055	0,88 B	12,19 C	12,19 C	11,13 C
N2	2,027	0,84 C	13,06 B	13,06 B	11,56 B
N3	1,99	0,82 D	13,72 A	13,72 A	11,91 A
Signifi.stat (F1)	HS	THS	THS	THS	THS
Ecart. type	0,07	0,01	0,05	0,05	0,04
C V %	3,2	1,4	0,4	0,4	0,4
Signif.stat(F2)	NS	THS	Ths	Ths	Ths
Ecart. type	0,07	0,01	0,07	0,07	0,03
C V %	3,2	1,4	0,4	0,4	0,4
F1 inter F2	HS	NS	THS	THS	THS

**Tableau 19.** Taux de cendres des grains sous l'effet des variétés et doses d'azote (% Matière sèche) chez le blé dur.

\* A, B, BC, AB, BC, D : classement des groupes homogènes.

La variété WAHA valorise mieux l'accroissement des apports azotés que la variété VITRON. ANDERSON et al (1999), affirment que certaines variétés de blé possèdent une meilleure efficacité à l'utilisation de l'azote par rapport à d'autres et que la fertilisation azotée se traduit par une augmentation de rendement qualitatif et quantitatif à la fois. D'EGIDIO et al (2000) trouvent une diminution du rendement en grain et une amélioration des paramètres de qualité avec une teneur élevée de fumure azoté (144unités/ha par rapport à la dose de 88unité/ha).

*On conclue donc que la teneur en protéines des grains, des farines et des semoules est une caractéristique variétale influencée très significativement par les apports d'azote. Les apports tardifs ont un effet sur l'augmentation des protéines du grain lui-même favorisé par les conditions climatiques coïncidant avec le stade de remplissage du grain.*

On note par ailleurs, que les différentes teneurs en protéines obtenus avec les différents apports étudiés dans nos essais concordent avec celles données par GATE (1996), qui conclue que chez le blé tendre, à l'optimum de fumure azotée la teneur en protéines est voisine de 12% pour la majorité de variétés. Il ajoute que certaines variétés ont des teneurs plus faibles de l'ordre de 11% ou plus élevés 13%, voir jusqu'à 15 % pour le blé de force. Chez le blé dur une teneur supérieure à 14% est souhaitable pour obtenir un taux de mitadinage inférieur à 20%. A l'optimum de fumure azotée les variété résistantes au mitadinage accumulent suffisamment de protéines alors que les plus sensibles ont des teneurs inférieurs à 14%.

PIERRE LACHANCE (2004), chercheur au CRDA, considère acceptable sur une base technique un blé à 12% pour la panification.

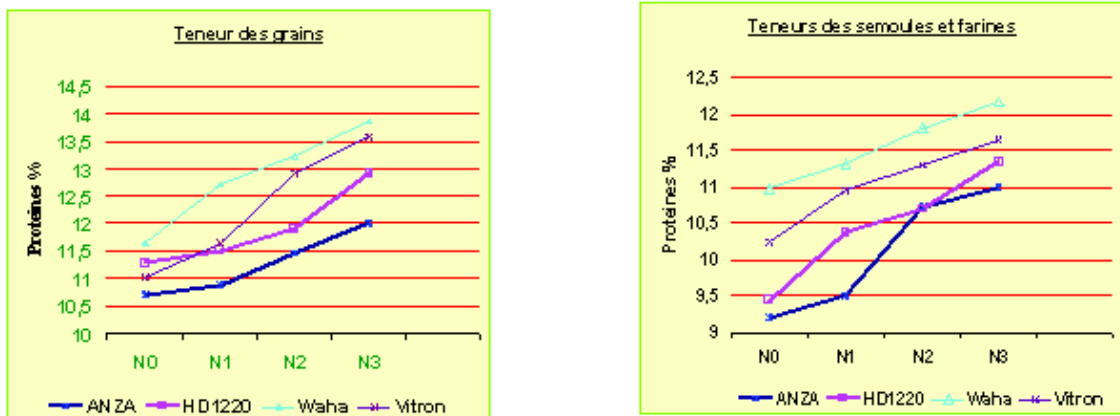
**II-1-2-4-Relation entre la teneur en protéines et mitadinage.**

L'étude de la corrélation entre la teneur en protéine et le mitadinage a permis de dégager une forte relation négative significative entre ces deux paramètres( $r=-0.72$ ,  $p<0.05$ ) (figure 16 ).

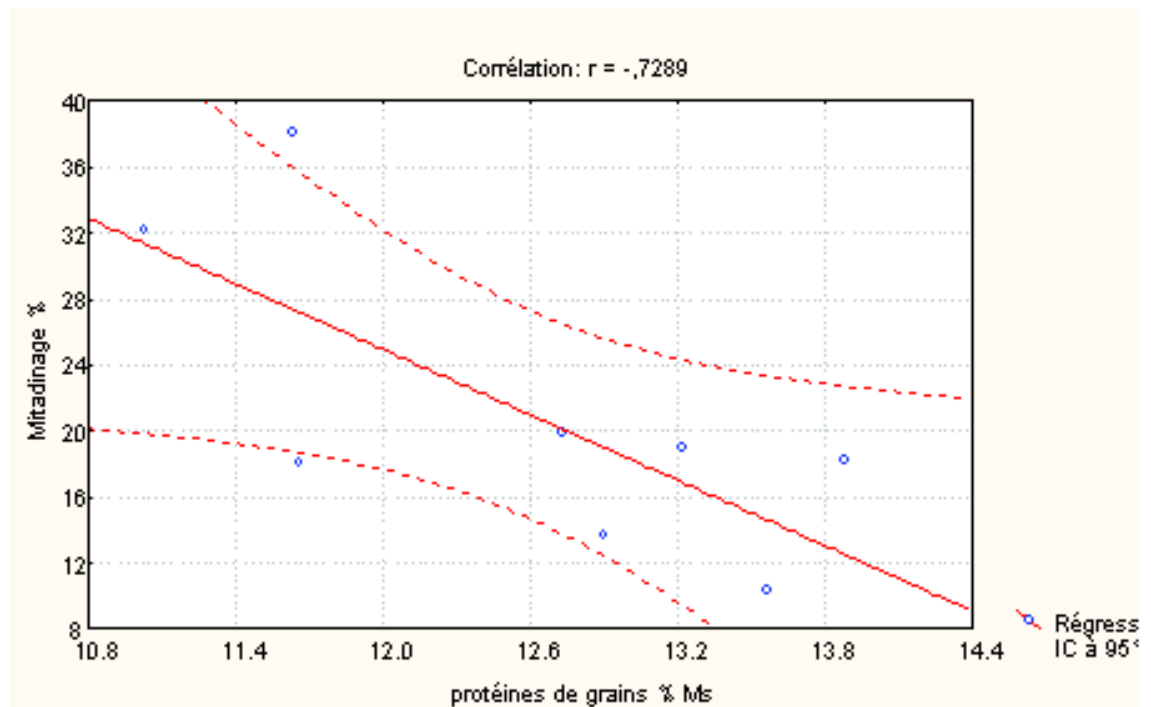
Cependant, les taux de mitadinage élevés, (38% et 32%) ont concerné les traitements n'ayant subi aucun apport de fertilisants azoté et ayant les plus faibles teneurs en protéines(11.63% et 11.03%). Les taux de protéines les plus élevés sont obtenus avec l'apport N3=120unités /ha correspondant à 13.88% Chez WAHA et 13.57% Chez VITRON donnant respectivement les plus faibles aux de mitadinage (18.14% et 10.28%).

Par ailleurs, à l'issue d'une étude sur l'influence de l'apport d'azote sur la qualité du grain réalisée (ITGC,1974 ) dans le même site avec 12 variétés de blé dur et 3 niveaux d'azote (0,60

et 120u/ha), une relation étroite est établie, plus la teneur en protéines est élevée, moins le taux de mitadinage est important.



**Figure 15.** Evolution des teneurs en protéines chez les variétés des deux espèces deux espèces.



**Figure16.** Relation entre teneur en protéines des grains de blé dur avec le taux de mitadinage.

#### II-1-2-5-Evolution de l'accumulation des protéines et le rendement en grain avec l'accroissement des doses d'azote.

Les graphes de la figure (17) montre que malgré l'arrêt d'augmentation de rendement à la dose N2, le taux de protéines continue de croître linéairement. Il ya la une consommation de luxe et cela pour toutes les variétés et des deux espèces blé dur et blé tendre.

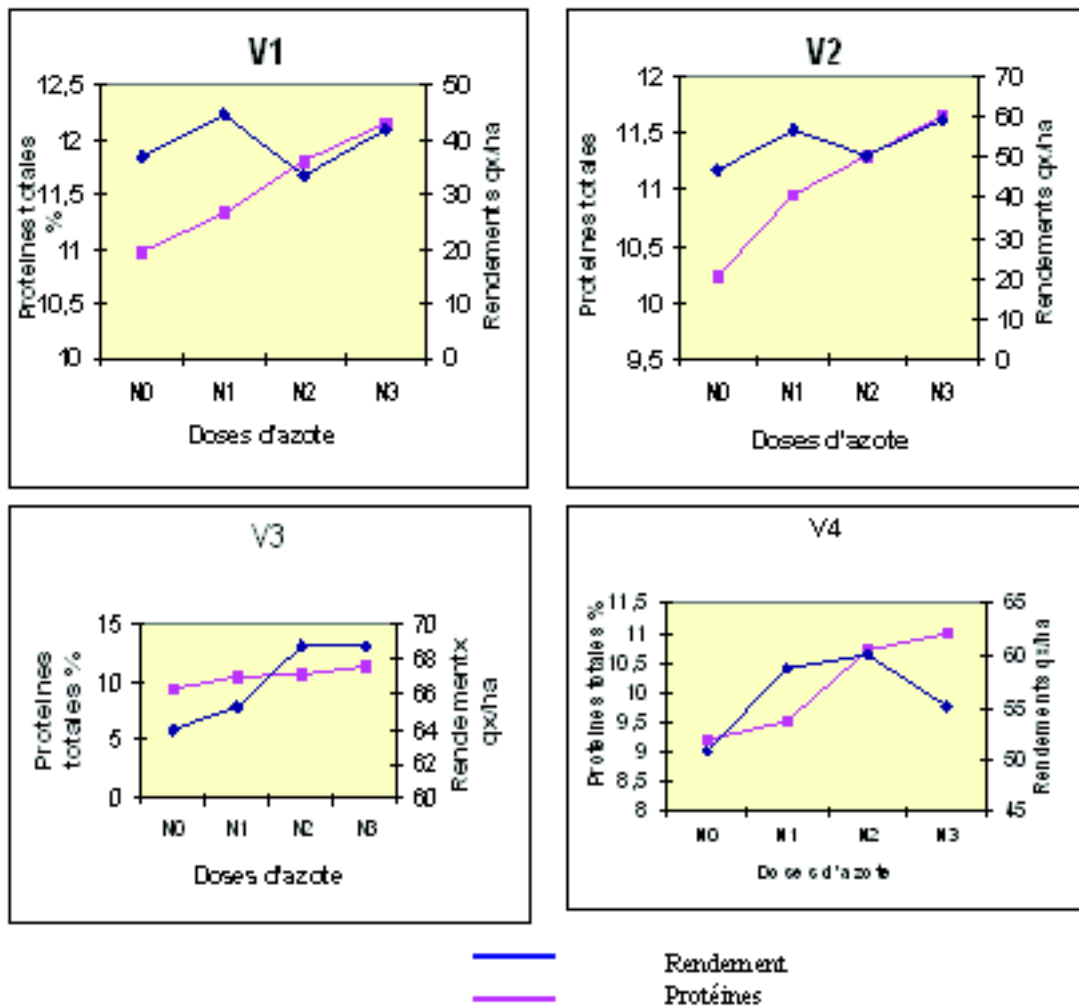


Figure 17. Evolution de l'accumulation des protéines et du rendement en grains selon les variétés et les doses d'azote.

### II-1-2-6-Indice sédimentation en milieu S.D.S

Les valeurs des volumes de sédimentation des farines et des semoules sont regroupées dans les tableaux (20) et (21). Ils révèlent qu'ils sont fortement influencés par les deux facteurs étudiés à savoir le facteur génétique et la fertilisation azotée.

Les volumes de sédimentation marqués sont de 37.83ml et 31.67 ml respectivement pour les variétés Vitron et Waha et des valeurs plus élevées sont donnés par les blé tendre, soit 67.08ml chez HD1220 et 55.33 ml chez Anza. Se basant sur les propriétés de gonflement des protéines en milieu acide, et selon WILLIAMS (1988) (Annexe 3), les volumes de sédimentation inférieurs à 40 ml concernent les blés de qualité médiocre et ceux compris entre 50 et 59ml concernent les blés de qualité moyenne et ceux ayant des volumes de sédimentation supérieurs à 60ml ont eu une bonne qualité technologique.

De nos résultats nous pouvons conclure, que les variétés de blé tendre présentent, une bonne force du gluten avec HD1220, et moyenne force du gluten avec la variété Anza. Pour le blé dur les deux variétés ont eu une faible force du gluten .

## Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés techno-fonctionnelles des protéines de blé

L'effet de l'apport de la fertilisation était très hautement significatif sur le volume de sédimentation. Ce dernier est proportionnel aux doses croissantes d'azote (N0 à N3) pour les différentes espèces. Il augmente de 58,67ml à 65,67ml chez le blé tendre et de 32.67ml à 36.17ml chez le blé dur. Une nette augmentation est notée chez le blé tendre (12 %).

La fertilisation azotée influe positivement sur le volume de sédimentation donc sur la force du gluten.

L'effet de l'interaction des deux facteurs est significative et révèle que le volume de sédimentations chez le blé dur passe de 29ml à 35ml chez WAHA avec la dose N0 à la dose N2 ,et de 36.33 ml à 40ml de N0 à N3 chez la variété VITRON.

Chez le blé tendre ce volume passe de 64 ml à 69.33ml avec la dose N3 chez la variété HD1220 ,et pour la variété ANZA , on enregistre une augmentation du volume de dépôt avec des valeurs qui varient de 49ml pour le témoin sans azote (N0) à 62 ml pour la dose N3.

Tableau 20. Volume de sédimentation, gluten sec, gluten Index, capacité d'hydratation du blé tendre .

Variété * azote	Volume de sédimentation (ml)	Gluten Sec %	Gluten Index	Capacité d'hydratation
V3N0	64.00 A	9.93 E	87.66 A	65.84 BC
V3N1	66.67 B	10.45 C	83.25 A	66.81 AB
V3N2	68.33 AB	12.18 A	74.46 B	66.81 ABC
V3N3	69.33 A	12.25 A	81.84 A	65.36 C
V4N0	49.00 G	9.31 F	55.05 C	66.89 AB
V4N1	53.33 F	9.12G	47.06 D	66.96 AB
V4N2	57.00 E	10.42 D	49.13 CD	67.06 AB
V4N3	62.00 D	11.30 B	42.11 D	67.41 A
<b>F1: variétés V3 V4</b>	67.08 A 55.33 B	11.20 A 10.04 B	81.80 A 48.34 B	66.05 B 67.08 A
<b>F2:Dose d'azote N0 N1 N2 N3</b>	58.67 C 57.83 B 62.67 B 65.67 A	9.62 B 9.78 B 11.30 A 11.78 A	71.36 A 65.16 B 61.79 B 61.97 B	66.36 66.88 66.93 66.38
<b>Signifi.stat (F1) Ecart type C V %</b>	THS 0.85 1.7	THS 0.28 4.1	THS 2.67 5.4	THS 0.48 0.7
<b>Signifi.stat (F2) Ecart type C V %</b>	THS 1.15 1.7	THS 0.37 4.1	THS 2.57 5.4	NS
<b>F1 inter F2</b>	THS	THS	S	S

\* A, B, BC, AB, BC, D : classement des groupes homogènes.

Tableau 21. Volume de sédimentation, gluten sec, gluten Index, capacité d'hydratation du blé dur.



Variété * azote	Volume de sédimentation SDS (ml)	Gluten sec %	Gluten Index	Capacité d'hydratation
V1N0	29.00 C	11.83 D	75.03 A	64.84 C
V1N1	31.00 C	14.95 B	69.27 AB	65.37 C
V1N2	31.67 C	15.17 B	63.15 BC	66.70 B
V1N3	35.00 B	17.03 A	68.95 AB	67.12 AB
V2N0	36.33 AB	12.99 CD	46.86 D	68.25 A
V2N1	37.67 AB	13.27 C	49.92 D	68.01 AB
V2N2	40.00 A	14.14 BC	60.88 BC	67.91 AB
V2N3	37.33 AB	14.76 B	58.00 C	68.01 AB
<b>F1: variétés V1 V2</b>	31.67 37.83	14.74 A 13.79 B	69.1 A 53.91 B	66.01 B 68.05 A
<b>F2:Dose d'azote N0 N1 N2 N3</b>	32.67 34.33 35.82 36.17	C 14.22 B 14.54 B 15.90 A	60.94 59.59 62.01 55.63	67.69 B 67.31 AB 67.56 A
Signifi.stat (F1) Ecart type C V %	THS 0.65 5	HS 0.63 4.7	THS 3.36 7.3	THS 0.48 0.8
Signifi.stat (F2) Ecart type C V % Ppds	S 0.15 5	THS 0.46 4.7	NS	S 0.35 0.8
F1 inter F2	S	HS	THS	HS

\* A, B, BC, AB, BC, D : classement des groupes homogènes.

D'après Williams (1988), pour éviter l'influence de la quantité et de la qualité et des protéines sur le test de sédimentation, on calcul le SDS index qui n'est que le rapport du volume SDS et la teneur en protéine (Tableau 22). Les valeurs pour les blés durs sont inférieures ou égales à 3.5 et celles des blés tendres sont comprises entre 5,3 et 6,7. Le volume de gonflement semblerait être directement lié à la quantité et à la qualité de protéines (WEEGELES et al ,1996). En effet le polymorphisme génétique de SGHPM est moins important chez le blé dur (1 à 3 unités SGHPM) que chez le blé tendre ou on dénombre 3 à 5 SGHPM.

Le SDS et le gluten index sont deux méthodes largement admises pour la mesure de la force du gluten , permettant une bonne indication des propriétés rhéologiques de la pâte (DEXTER 1997).

### II-1-2-7- Détermination de la teneur en gluten sec et gluten index

L'analyse statistique des différentes valeurs obtenues du gluten sec des deux espèces (tableau 20 et 21) révèle un effet hautement significatif du facteur variété. La variété WAHA présente une teneur plus élevée (14.74 %) que la variété VITRON, à priori une qualité pastière supérieure.

Chez le blé tendre, la variété HD1220 possède une teneur de 11,20% contre celle de la variété ANZA (10.04%) donc une force boulangère supérieure.

La fertilisation azotée indique un effet significatif sur ce paramètre chez les deux espèces. Ce dernier augmente positivement de **9,62 à 11,78%** chez le blé tendre et de **12.41% à 15.90%** chez le blé dur, avec l'accroissement des doses d'azote (N0 à N3). Se basant sur l'échelle de classement proposée par MATVEEF (1966) (Si le gluten sec est

inférieur à 11% c'est un blé insuffisant et si le gluten sec est compris entre 11% et 15% c'est un blé de bonne valeur pastiere et s'il est supérieur à 15%, il est considéré comme un blé de force). Nous constatons donc que la fertilisation peut faire passer un blé dur de bonne valeur pastiere à un blé de force chez le blé dur.

CORBELLIN et al (1998) et LUO et al (2000) ont noté que les propriétés rhéologiques du gluten sont affectées de même que la quantité et la qualité des protéines, par le niveau de fertilité du sol notamment les disponibilités de l'azote et du soufre.

L'interaction des deux facteurs variété et dose d'azote concernant ce paramètre indique une différence hautement significative. Pour le blé tendre, la variété HD 1220 présente une teneur élevée en gluten sec à la dose N3 (12.25%), par rapport à la variété Anza qui note une teneur de 11.30 % avec la même dose d'azote (120unités/ha) alors que pour le blé dur les valeurs enregistrées sont plus importantes. Elles sont de 14.76 % chez Vitron et avec un effet plus marquant (de 11.83 % à 17.03 %) chez Waha.

On peut conclure que, les apports d'azote exercent une action croissante sur les teneurs en gluten sec et donc sur la qualité technologique des semoules et des farines.

La capacité d'hydratation des différentes farines et semoules est influencée fortement par le critère génétique. Elle est de 66% chez WAHA, 68% chez VITRON , 66.05% chez HD1220 et 67.08 % chez Anza. Sous l'effet de l'apport azoté les capacités d'hydratation des différentes variétés de blé dur augmentent significativement avec les doses d'azote pour passer de 64.84% avec la dose N0, à 67.12% avec la dose N3. Le même effet de la fertilisation azotée n'est pas observé chez le blé tendre.

En effet, il est probable que la formation d'un réseau glutineux cohérent avec l'agrégation des sous unités gluténines et gliadines réside essentiellement dans la nature des réseaux protéiques formés avec l'augmentation de la source azotée.

GODON (1991) dans la description des protéines des céréales, rapporte que les structures ,tertiaire et quaternaire des protéines sont responsables de la forme globulaire des macromolécules protéiques. qui peut être modifiée lorsque les conditions d'environnement produisent des variations des liaisons ou des interactions secondaires.

Les résultats montrent également la variation significative du gluten index selon la variété, avec des valeurs qui sont de 69.1% chez la variété WAHA contre 53.91% chez VITRON et chez le blé tendre 81.80 % chez HD1220 contre 48.34 % chez la variété ANZA. Les variétés HD1220 et WAHA possèdent un gluten de force, selon CUBADDA et al (1992) , un gluten de force doit avoir un gluten index compris entre 66% et 85%.

La méthode gluten index donne une idée sur la qualité du gluten, sur une échelle de 0 à 100%; si la force du gluten est très basse, la totalité du gluten traverse la filière et le gluten index est nul; à l'inverse, si le gluten index est élevé de 100%, la force du gluten est très élevée.

L'apport de la fertilisation azotée a diminué significativement le gluten index du blé tendre.

Ceci est probablement lié à la forme agrégative des protéines qui est fortement influencée par l'augmentation de la source azotée. On peut dire que ceci n'améliore pas la qualité du gluten chez le blé tendre. Le même effet n'est pas observé pour le blé dur. Cette différence de l'effet de la fertilisation azoté sur la qualité du gluten des deux espèces est probablement dû aux types d'agrégats protéiques formés chez les deux espèces.

---

## II-2- Paramètres rhéologiques

---

### II-2-1- Essai au mixographe

Ce test permet de déterminer quelques propriétés importantes de la pastification chez les cultivars de blé dur en mettant en évidence la force du gluten. Il détermine les conditions et la tolérance de la pâte au pétrissage.

La figure (18) montre l'allure des différents mixogrammes obtenus et le tableau (22) regroupe les résultats obtenus de ce test.

Les paramètres qui régissent l'expression des résultats du mixogramme sont principalement le temps de pétrissage ou temps de développement, exprimé en minutes qui caractérise la résistance de la pâte au mixage donc la force de la pâte. La hauteur de la pente qui exprime la viscosité, exprimée en millimètres ou en pourcentage, et le jugement correspondant aux mixogrammes de référence (annexe 1). Un blé de force met beaucoup de temps pour que l'intensité maximale soit atteinte, alors que le blé faible atteint son intensité maximale très rapidement. MEBTOUCHE (1998) a montré que certaines lignées de blé de bonne force du gluten ont présenté un temps de développement important (7.5 mn) avec une hauteur de pic élevée (92mm).

Ces derniers sont influencés par le facteur variété. La variétés VITRON et WAHA possèdent respectivement des forces moyennes de la hauteur de 64.75% et 60%.

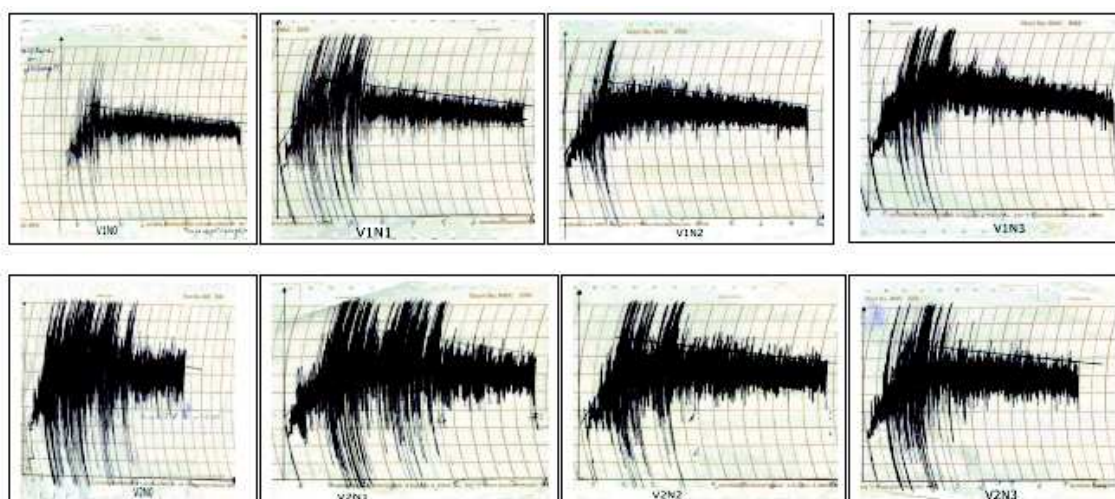
Le temps de développement moyen est plus élevé chez la variété VITRON. Elle possède donc une meilleure force de la pâte mais qui est considérée comme force moyenne d'après la classification de WILLIAMS et al (1988) (annexe 3).

L'effet de la fertilisation sur les deux variétés diffère selon la variété voir figure (18). Ainsi chez la variété WAHA, à faibles doses d'azote les semoules ont donné de large épaisseur du pic du mixogramme au temps minimum du mixage, qui diminue en fin du temps de mixage. L'apport de la fertilisation azotée améliore les propriétés de la semoule au mixage avec les doses N2 et N3 de la variété WAHA. En effet, les valeurs de la hauteur des pics augmentent de 64 mm à 74 mm avec les doses N0 à N3 (tableau 24).

Toutefois, la variété VITRON se comporte différemment avec l'apport de l'azote. Elle présente des propriétés au pétrissage meilleures que celles de la variété WAHA avec les faibles doses. En effet les meilleurs temps de développement sont donnés avec N0 (3 min) et N1(2.5mm).

Par ailleurs, UHLEN et al, (1998) trouvent que pour une variété de blé, les propriétés du mixage, s'améliorent avec les températures élevées enregistrées au cours du stade de remplissage du grain.

Nos résultats ont révélé une corrélation non significative de la teneur en protéines de la semoule avec le temps de développement et la hauteur du pic. Contrairement, UHLEN A.K et al (1998), OKANZA (2000), ont montré qu'il existe une corrélation significative entre la teneur en protéines et la résistance de la pâte au pétrissage de plusieurs variétés de blé dur.



**Figure 18.** Mixographes des deux variétés de blé dur WAHA et VITRON avec les différentes doses d'azote

**Tableau 23** Les paramètres des mixogrammes.

Paramètres des mixogrammes	Hauteur du pic (mm)	Force de la hauteur (%)	Temps de développement (min)	Jugement
WAHA N0 WAHA N1 WAHA N2 WAHA N3	64 72 72 74	55 62,6 62 64	1.2 1.9 1.4 1.6	6 6 7 7
VITRON N0 VITRON N1 VITRON N2 VITRON N3	74 82 66 78	64 71 57 67	3 2.5 2 2	8 8 8 8

### II-2-2-Essai au visco-élastographe.

Le tableau 24 regroupe les résultats des propriétés viscoélastiques des pâtes cuites. La recouvrance absolue, qui traduit l'aptitude du gluten à retrouver sa forme initiale donc on élasticité, est influencée significativement par le facteur variétal. La variété Vitron présente la valeur la plus élevée (0.93mm) présentant donc une meilleure élasticité que la variété waha. Par ailleurs, l'effet de la fertilisation azotée est significatif sur la variation de la recouvrance absolue. On constate que la dose N3 a marqué la meilleure élasticité pour les deux variétés Waha et VITRON ayant des valeurs respectives de 0,94mm et 1,03mm.

Quant à la fermeté des pâtes, l'analyse de variance indique un effet significatif du facteur variété sur cette propriété. La variété Waha présente une fermeté supérieure à celle de la variété Vitron ayant respectivement des valeurs de 61.69% et 60.39%.

Pour le facteur doses d'azote, l'analyse de la variance ne nous a pas révélé une différence significative entre les traitements. La fermeté des pâtes est influencée uniquement par le facteur génétique.

Aucune interaction significative des deux facteurs n'est notée sur ce paramètre.

### II-2-3- Essai à l'alvéographe

Ce test permet de déterminer les qualités plastiques des pâtes obtenues à partir de farines de blé tendre (pâtes non fermentées et taux d'hydratation constant).

Les caractéristiques obtenues à partir des alvéogrammes (annexe 4), la force d'une farine, la ténacité et l'extensibilité de la pâte sont représentées dans le tableau 25.

Les résultats montrent que l'accroissement des doses d'azote augmente les valeurs de la force boulangère des deux variétés. Les valeurs augmentent chez la variété HD1220 de 140,63 à 163; 164 et 167 respectivement avec les doses N1, N2 et N3. La variété Anza est de faible force boulangère ( $W=78.56$ ). L'action des doses d'azote a augmenté la valeur des  $W$  de la valeur 78.56 à 102.6 ; 112 et 112,38 respectivement avec les doses N1, N2 et N3, mais pas suffisamment pour améliorer la qualité boulangère ( $W > 250$  blé de force,  $160 < W < 250$  blé améliorants,  $130 < W < 160$  blé de bonne force boulangère).

Des apports supplémentaires d'azote au stade floraison de la culture pourraient satisfaire la qualité boulangère de cette variété.

Les résultats montrent aussi que toutes les farines des deux variétés présentent des gonflements «G» très faibles par rapport au minimum requis par la panification qui est de 18 ; et des rapport ténacité sur extensibilité (P/L) non équilibrés.

**Martin G (1994)** , suite à une étude sur l'effet de la fertilisation azotée de six variétés de blé tendre a noté qu'une augmentation de la teneur en protéines se traduit par un allongement des alvéogrammes (accroissement des valeurs de G) indépendamment des caractéristiques du G propres à chaque variété, et qu' à faible taux de protéines les valeurs de ténacité extensibilité (P/L) augmentent puis diminuent et se stabilisent aux teneurs élevées de protéines.

La figure 19 représente pour chaque variété étudiée, l'évolution du paramètre  $W$  en fonction de la teneur en protéine des grains. On observe un accroissement de la valeur de  $W$  avec l'augmentation du taux de protéines sous l'effet des doses croissantes d'azote.

La modélisation des relations observées fait apparaître (régression linéaire) des comportements différents de deux variétés. L'accroissement d'un point de protéine se traduit par une élévation moyenne de 14 points de  $W$  pour HD1220 et de 15.5 points pour ANZA.

Mais pour les valeurs voisines de teneurs en protéines, les  $W$  sont plus élevés chez la variété HD1220 ceci peut être expliqué par l'origine génétique des variétés. Il ressort donc que les apports azotés sont bénéfiques pour la valeur boulangère.

**Tableau 24: Paramètres viscoélastiques.**

## Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés techno-fonctionnelles des protéines de blé

	Fermeté e1/E1 %	Recouvrance absolue Ra (mm)	Indice de viscoélasticité IV
V1N0	62.33	0.87 C	14.73
V1N1	62.62	0.85 C	14.58
V1N2	61.87	0.85 C	14.15
V1N3	59.93	0.93 BC	14.12
V2N0	61.82	0.96 B	16.42
V2N1	61.67	0.86 C	13.95
V2N2	60.83	0.91 BC	13.63
V2N3	57.03	1.07 A	13.90
F1: variétés V1 V2	61.69 A 60.39 B	0.88 B 0.95 A	14.40 14.48
F2:Dose d'azote N0 N1 N2 N3	61.9 62.14 61.35 58.48	0.86 C 0.88 BC 1.00 A	15.57 14.27 13.89 14.01
Signifi.stat (F1) Ecart. type C V %	<b>S</b> 0.24 5.5	<b>THS</b> 0.05 5.3	NS 3.01 20.8
Signifi.stat(F2) Ecart. type C V %	NS 0.24 5.5	<b>THS</b> 0.05 5.3	NS 3.01 20.8
F1 inter F2	NS	<b>S</b>	NS

A, B, BC, AB, BC, D : classement des groupes homogènes.

Tableau 25 Caractéristiques alvéographiques des deux variétés de blé tendre.

	W (erg)		G (cm <sup>3</sup> )		P(mm)		P/L	
	HD1220	ANZA	HD1220	ANZA	HD1220	ANZA	HD1220	ANZA
N0	140.63	78.56	12.20	10.30	106.40	88.64	3.45	3.41
N1	163.00	102.60	13.05	11.50	117.29	90.75	3.5	3.55
N2	164.00	112.00	13.23	12.10	109.89	84.97	3.48	3.53
N3	167.00	112.38	12.85	12.80	112.31	90.75	3.54	3.46

a

b

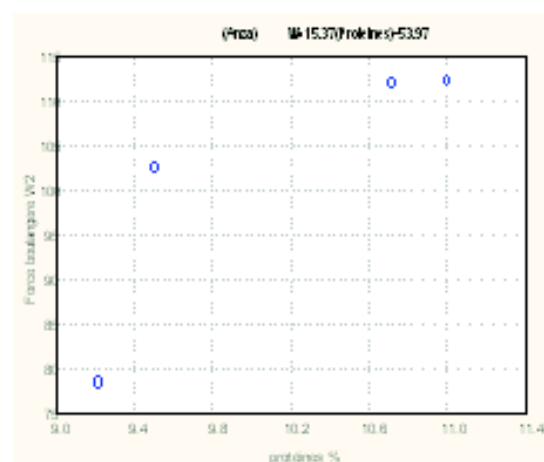
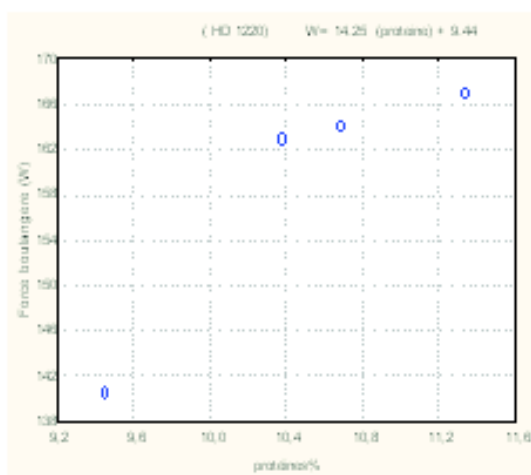


Figure 19 . Relation entre les différents W (force boulangère) et les taux de protéines.

---

### II-3-Appréciation de la qualité culinaire des pâtes alimentaires de blé dur

---

D'après ABECASSIS et al (1996), les propriétés rhéologiques (viscoélasticité et fermeté) des pâtes cuites sont des caractéristiques au moins partiellement indépendantes, sous le contrôle des facteurs physiques et chimiques différents en particulier:

- la texture des pâtes cuites est principalement sous la dépendance de la teneur en protéines et de la viscoélasticité du gluten,
- l'aptitude des pâtes à conserver leur intégrité après cuisson (état de surface) est
- fonction de la capacité de protéines constitutives à former un réseau insoluble et résistant, capable d'enserrer dans ses mailles les grains d'amidon en cours de la gélatinisation.

Les résultats des tests de cuisson effectués sur les deux variétés de blé dur étudiées avec différents traitements azotés sont rassemblés dans le tableau 26.

L'analyse de variance des différents temps de cuisson révèle que ces derniers sont influencés par l'origine génétique des blés et les apports d'azote. Un effet significatif de la variété sur le temps de la gélatinisation de l'amidon (temps minimum). Ce dernier est de 8mn chez la variété Waha par contre chez VITRON il n'est que de 6mn.

Le temps de désintégration de la pâte (surcuisson) de la variété WAHA commence 2 min après celui de la variété Vitron qui est de 17 min. Les pâtes de la variété WAHA mettent plus de temps à cuire que celles de la variété VITRON du fait qu'elles contiennent des teneurs en gluten plus élevées.

L'interaction du facteur variété et fertilisation azotée est significative, la variété WAHA réagit mieux à l'apport d'azote, ou l'on note un temps plus long de sur cuisson avec la dose N3.

Chez la variété VITRON, la vitesse de désintégration de la pâte au cours de la cuisson est diminuée aux doses élevées d'azote. Cette différence de comportement est liée à la structure du réseau qui est une caractéristique variétale.

**Tableau 26. Appréciation de la qualité culinaire de pâtes fabriquées à partir du blé dur.**

## Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés techno-fonctionnelles des protéines de blé

	Temps minimal	Temps optimal	Sur cuisson	Perte à la cuisson %	Capacité de fixation d'eau %
V1N0	6	7	17	23.60 A	377.82 AB
V1N1	7	8	18	25.6 A	323.8 BC
V1N2	7	8	18	20.26 A	340.72 BC
V1N3	10	11	21	21.32 A	324.8 BC
V2N0	7	8	18	9.18 B	268.21 C
V2N1	7	8	18	22.00 A	397.7 AB
V2N2	5	6	16	21.96 A	442.62 A
V2N3	5	6	16	21.2 A	348.6 BC
F1: variétés V1 V2	8 6	9 7	19 17	22.71 A 18.69 B	341.70 364.25
F2:Dose d'azote N0 N1 N2 N3	7 7 6 8	7 8 7 9	18 18 17 19	16.39 23.83 A 23.02 B	233.02 47 B 360.75 AB 391.67 A 336.47 AB
Signifi.stat (F1) Ecart type C V %	THS 0.71 9.8	THS 0.71 8.6	THS 0.71 3.9	S 0.5 12.5	NS 0.01 11.3
Signifi.stat (F2) Ecart type C V %	THS 0.71 8.6	HS 0.71 8.6	HS 0.71 3.9	NS 4.87 3.5	S 0.01 11.3
F1 inter F2	THS	THS	THS	S	HS

\*A, AB, BC, AB, : classement des groupes homogènes.



*Pâtes ayant une bonne tolérance à la cuisson*



*Pâtes collantes qui se délitent (mauvaise tolérance à la cuisson)*

**Figure 20.** Aspects de la tolérance des pâtes à la cuisson.

L'interaction de deux facteurs variété et azote indique que la fertilisation azotée a eu un effet positif sur la diminution de la perte à la cuisson pour les deux variétés étudiées.

Pour la capacité de fixation d'eau, elle est influencée significativement par la fertilisation azotée qui l'augmente de 323 % à 391.67% respectivement de la dose N0 à la dose N2.

L'interaction des deux facteurs sur la fixation d'eau est significative. Le taux le plus élevé est noté avec la variété VITRON à la dose N2 (442,6%) par contre avec la variété WAHA l'accroissement de la dose de fertilisation azotée diminue la capacité de fixation d'eau des pâtes au cours de la cuisson. ADAMS (1987) et DUSKIEWIEZ et al (1988) indiquent que



la diminution de la capacité de fixation de l'eau peut s'expliquer par le renforcement de la trame protéique qui contrôle la vitesse de gélatinisation et le degré de gonflement des granules d'amidon qui dépend du milieu de culture. KLING et al (2000), a travers une étude sur des variétés de blé dur allemands, ont montré que la variation de la qualité culinaire des pâtes due au facteur génétique est faible (5%) par contre une forte interaction de la variété et du site et de l'année de culture sur ce paramètre est notée (28% due au site et 28% due à l'interaction : site \*année \*variété). On conclue que la qualité culinaire est optimisée par sélection de variétés dans leurs milieux d'adaptation.

## II-4-Essai de panification du blé tendre

En vue de caractériser l'aptitude de nos farines à la panification, nous avons effectué des essais de panification en établissement une fiche technique pour chaque essai portant les indications relatives à chaque étape de fabrication (annexe 5).

Toutes les caractéristiques de la pâte sont également mentionnées.

L'ensemble des résultats sont compris dans les tableaux 27, 28, 29 et 30

### II-4-1-Appréciation des pâtes.

Selon CALVEL (1984), un bon gluten doit donner une pâte sèche qui ne colle pas, il doit aussi, après pétrissage, donner une pâte souple, élastique et suffisamment imperméable afin d'assurer une bonne rétention de gaz dégagés lors de la fermentation.

Cette rétention gazeuse est la base de la levée de la pâte et son développement au four.

Le gluten doit être également élastique et extensible.

Les résultats montrent que :

Les pâtes issues des farines HD1220(N0), HD 1220 (N1) ANZA (N0) ANZA (N1) sont peu extensibles, peu élastiques et relâches et ANZA (N0) et ANZA (N1) présentent des pâtes collantes. Ces résultats ne correspondent pas aux normes données par CALVEL (1984), ils donnent des pains de mauvaise qualité.

Les pâtes issues des farines, HD1220 (N2) HD1220 (N3) ANZA (N3) sont extensibles élastiques, sèches et ne relâchent pas. Ces résultats sont conformes aux normes de CALVEL (1984) nous devons obtenir des pains de qualité acceptable.

Les pâtes issues des farines ANZA (N2) sont sèches peu extensibles peu élastiques et relâchent. Ces résultats sont donc non conformes aux normes et le pain issu de ces farines est de mauvaise qualité.

Il semblerait que d'une façon générale, la fertilisation azotée a une influence positive sur les caractéristiques plastiques de la pâte et donc sur la valeur boulangère des farines. Le facteur variétal joue un rôle important dans l'expression de l'effet des doses d'azote sur la qualité.

**Tableau 27. Appréciation des pâtes issues des farines des deux variétés de blé tendre (HD1220 et ANZA).**

Sèche	Pâte de la variété HD 1220				Pâte de la variété Anza			
	N0	N1	N2	N3	N0	N1	N2	N3
Grasse			+	+			+	+
Extensible	+	+			+	+		
Peu extensible			+	+				+
Tenace	+	+			+	+	+	
Elastique			+	+				+
Peu élastique	+	+			+	+	+	
Ne relâche pas			+	+				+
Relâche	+	+			+	+		
Collante					+	+		

#### **II-4-2-Appréciation des pains**

Un bon pain doit et toujours être bien développé et léger. Il doit avoir une croûte lisse, dorée et bien adhérente à la mie, posséder un bel aspect extérieur avec des coups de lame réguliers et bien jetés et présenter une odeur et une saveur agréables (CALVEL, 1984).

Le model théorique d'un pain tel que défini par KIGER (1968) , doit avoir les caractéristiques suivantes:

- Bien doré et bien croustillant
- A la coupe on assiste à un dégagement d'une odeur de froment sans aucune composante amère.
- A la couleur, la mie est blanche ou crème suivant le taux d'extraction.
- La mie bien alvéolée avec des alvéoles non uniformes.
- Un goût savoureux.
- La variété HD 1220

Les pains obtenus à partir des farines HD1220 (N0) et HD1220 (N1) donnent des pains , dont la mie manque d'élasticité, la texture des alvéoles est aérée et irrégulière et les coups de lame peu jetés.

Les pains obtenus à partir des farines HD1220 (N2) et HD1220 (N3) sont de bonne qualité. Cet essai confirme les résultats du test gluten et de l'alvéographe.

- La variété ANZA

Les pains issus des farines ANZA (N0) et ANZA (N1) sont des pains dont la mie est de couleur crème (en relation avec le taux d'extraction), non élastique et présente des alvéoles serrées et irrégulières. Les coups de lame ne sont pas jetés et sont irréguliers. D'après ces résultats, on peut dire que les pains obtenus sont de qualité non acceptables en relation avec la valeur boulangère des farines médiocres. Avec la dose supérieure d'azote, pains issus de ANZA (N2) sont à coup de lame peu jetées régulière, la mie est peu élastique de couleur crème dont la texture des alvéoles est serrée et irrégulière , la couleur de la croûte est rouge mais la section est plate. Les pains obtenus sont de mauvaise qualité et ceux issus de la farine ANZA N3 , ils présentent une section normale , des coups de lame peu jetés, dont la mie est élastique et la texture des alvéoles aérée et irrégulière. Il est donc jugé acceptable.

#### **II-4-3-Caractéristiques de volumes des pains**

Le volume spécifique est une valeur qui nous permet de juger sur le plan physique les différents pains.

Le volume spécifique d'un bon pain est entre 2.95 cm<sup>3</sup>/g et 3.68 cm<sup>3</sup>/g. D'après les résultats obtenus ( tableau 30) on peut dire que les pains issus des farines HD1220 (N0) , HD 1220 (N1) , ont des volumes spécifiques conformes à la norme par contre les farines HD1220 (N2) et HD1220 (N3) présentent des pains de volumes légèrement inférieurs à la norme. Avec cette variété le volume du pain est inversement proportionnel aux doses croissantes d'azote.

Contrairement avec la variété ANZA, la fertilisation azotée a augmenté le volume du pain avec l'apport d'azote pour le rendre conforme à la norme.

Les résultats relatifs, à la force boulangère, au gluten ainsi que les autres caractéristiques d'appréciation du pain, laissent dire que le volume du pain ne constitue pas à lui seul le critère le plus déterminant de la qualité du pain.

**Tableau 28. Appréciation des pains de la variété HD 1220.**

Echantillon Critères	N0	N1	N2	N3
Section Couleur Coup de lame Finesse de la croûte	Normal Brillante Peu régulière lissées.	Normal Normal jetés Régulière Lissée.	Normal Normal Régulière Lissée. Normal	Normal Normal Jetés Normal Normal
Couleur Elasticité Texture des alvéoles	Blanche Peu élastique Aérée et irrégulière	Blanche Peu élastique Paroi épaisse Aérée Régulière	Blanche Elasticité épaisse Aérée Régulière	Blanche Elasticité épaisse Aérée Régulière

**Tableau 29. Appréciation des pains de la variété ANZA**

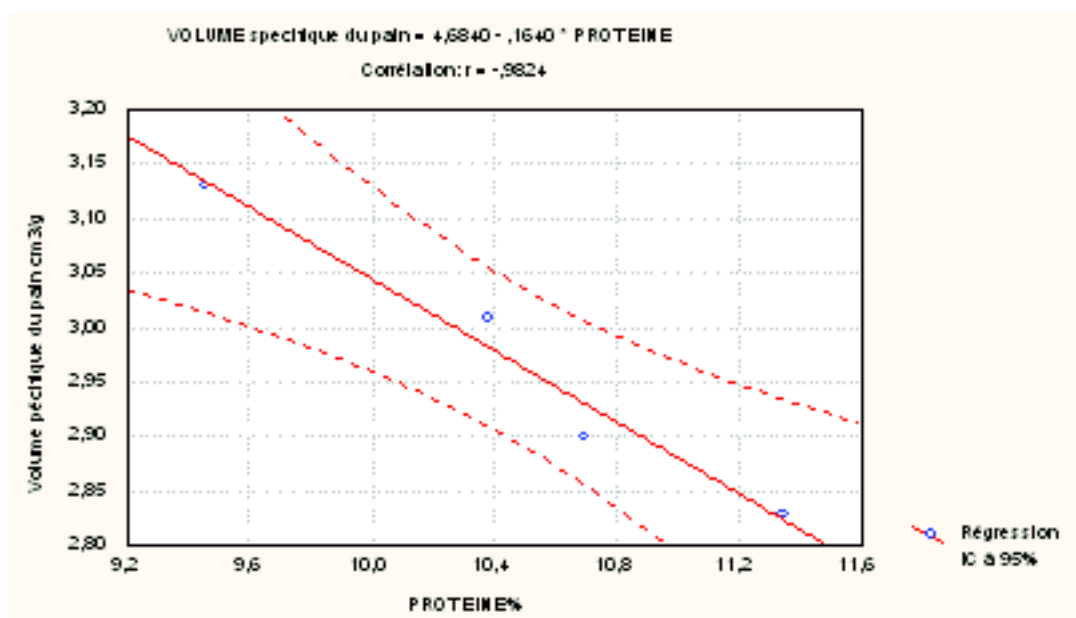
Echantillon Critères	N0	N1	N2	N3
- Section -Couleur - Coups de lame - Finsse de la croûte	Normal Pâle Pas jetés irrégulière Epaisse , dure	Normal Pâle Pas jetés irrégulière Epaisse , dure	Plat Rouge Peu jetés Régulière Epaisse	Normal Brillante Peu jetés Normal
- Couleur - Elasticité -Texture des alvéoles	Crème Non élastique Serrée irrégulière	Crème Non élastique Serrée irrégulière	Crème Peu élastique Serrée irrégulière	Crème Elasticité Aérée irrégulière

**Tableau 30. Caractéristiques des volumes spécifiques des pains issus des farines de la variété HD 1220 et de la variété, ANZA**

Echantillons	Poids d'un pain ( g )	Volume d'un pain ( cm <sup>3</sup> )	Volume spécifique ( cm <sup>3</sup> /g )
Pain HD 1220 (N0)	283	886,00	3,13
Pain HD 1220 (N1)	283,5	853,52	3,01
Pain HD 1220 (N2)	283,9	826,06	2,90
Pain HD 1220 (N3)	280,0	794,84	2,83
Pain ANZA (N0)	290	774,95	2,67
Pain ANZA (N1)	271	856,27	3,15
Pain ANZA (N2)	280,51	902,32	3,21
Pain ANZA (N3)	285,28	894,13	3,13

Martin G (1994), affirme que les notes de panification se dégradent pour les teneurs en protéines les plus faibles 8% et 10% et les plus fortes 13% et 14%. Nos variétés n'ont pas atteint un taux supérieur à 12% de protéines pour déterminer le taux optimum. Ce même auteur ajoute que la notion d'optimum est nuancée.

L'étude des relation entre les volumes des pains, et la teneur en protéines a montré qu'il existe une corrélation négative significative avec la variété HD1220 (figure 21 )



**Figure 21.** Relation entre le volume spécifique du pain et les teneurs en protéines de la variété HD1220.

### **III-Etude des corrélations des caractéristiques physico-chimiques et des tests technologiques.**

#### **III-1-Etude des corrélations des caractéristiques physico-chimiques et des tests technologiques des variétés de blé tendre.**

Le tableau (31) révèle des corrélations significatives et positives entre certains paramètres technologiques et les tests physico-chimiques.

La force boulangère est significativement corrélée à la quantité de gluten sec ( $r=0.71$ ,  $P \leq 0.05$ ), au volume de sédimentation SDS ( $r=0.96$ ,  $p \leq 0.001$ ) et au gluten index ( $r=0.804$ ,  $P \leq 0.05$ ). Ces résultats confirment ceux de SADOUKI (1982) qui a trouvé les mêmes corrélations en étudiant la qualité de plusieurs lignées de blé tendre. La force boulangère est étroitement liée à la quantité, qualité et la force du gluten.

Les protéines totales des farines sont positivement corrélées aux volumes de sédimentation SDS

( $r=0.88$ ,  $P \leq 0.01$ ).

On peut dire que, la qualité et la quantité du gluten augmentent sous l'effet de l'accroissement des apports azotés et améliorent la force boulangère.

PRESTON et al (1996) cité par BAGHOUS (1998), trouvent que les protéines salino-solubles sont corrélées positivement et significativement à l'index de tolérance au pétrissage du farinographe et négativement et significativement au temps de développement et à la stabilité de la pâte au pétrissage. La fraction protéique extractible dans les solutions salines est la seule fraction protéique qui montre une corrélation significative avec les paramètres de force de la pâte au farinographe.

### III-2-Etude des corrélations des caractères physico-chimiques et tests technologiques des variétés de blé dur.

Le tableau (32) montre les différentes corrélations entre les paramètres physico-chimiques et technologiques des variétés de blé dur.

Une corrélation positive et significative entre le taux des protéines des grains ( $r=0.86$ ;  $p < 0.05$ ) et de la semoule ( $r=0.82$ ;  $p < 0.05$ ) avec le taux de gluten sec. La fertilisation azotée en agissant sur l'augmentation des protéines des grains et de la semoule, augmente significativement le gluten sec du blé dur.

\* valeurs significatives ( $P < 0,05$ )

\*\* valeurs hautement significatives ( $P < 0,01$ ) Le paramètre jugement qui traduit le comportement de la pâte au cours du mixage, est très significativement corrélé à la capacité d'hydratation du gluten ( $r=0.98$ ,  $p < 0.001$ ), et à la fermeté des pâtes cuites ( $r=0.92$ ,  $p < 0.001$ ) et il est inversement proportionnel au gluten index. Donc on en déduit que, quant le comportement de la pâte au mixage est appréciable (J), il traduit une meilleure capacité d'hydratation du gluten, une meilleure fermeté des pâtes cuites et un taux de gluten index qui diminue.

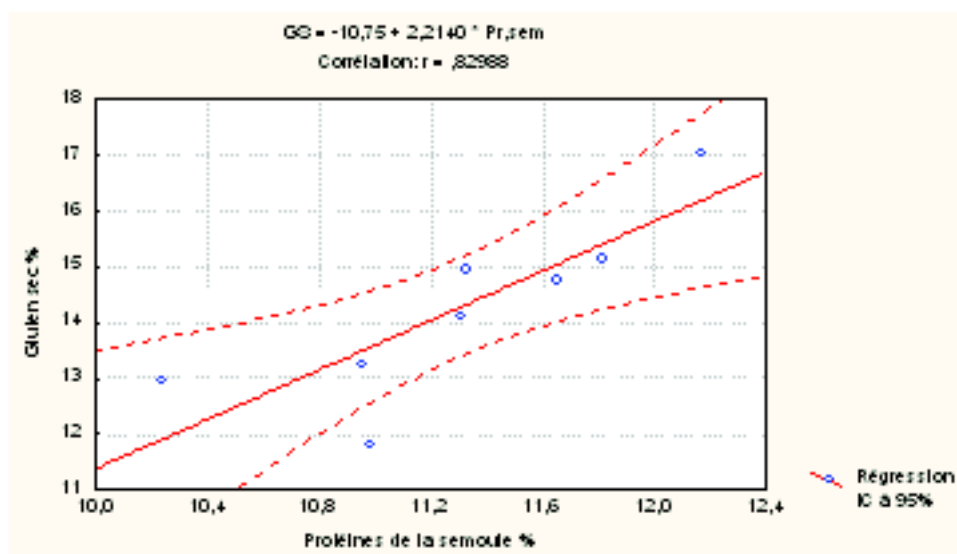


Figure 22. Corrélation entre les protéines et le gluten sec

L'indice de viscoélasticité des pâtes cuites est significativement corrélé à l'appréciation de la pâte au cours du pétrissage ( $r=0.90, p<0.001$ ) et à la capacité d'hydratation du gluten ( $r=0.90, p<0.05$ ), ce qui laisse dire qu'une meilleure hydratation de la pâte et/ou une meilleure appréciation du comportement de la pâte au mixage donne un meilleur indice de viscoélasticité.

Tableau 32: Matrice de corrélation des caractères physico-chimiques avec les tests technologiques du blé dur.

	Pr,grain	Mit	Pr,sem	Haut	For,haut	Tps dvl	Juj	SDS	CH,glu	Glu,ln	Glu,sec	Tps,min,cui
Pr,grain	1,00											
Mit	0,73*	1,00										
Pr,sem	0,95**	-0,60	1,00									
Haut	0,05	-0,45	0,03	1,00								
For,haut	0,04	-0,45	0,02	0,99**	1,00							
Tps dvl	-0,49	-0,10	-0,43	0,62	0,62	1,00						
Juj	-0,06	-0,45	-0,21	0,51	0,50	0,57	1,00					
SDS	-0,12	0,19	-0,03	0,65	0,65	0,16	-0,11	1,00				
CH,glu	0,04	-0,51	-0,11	0,58	0,57	0,52	0,98**	-0,04	1,00			
Glu,ln	0,41	0,18	0,53	-0,64	-0,64	-0,69	-0,85**	-0,18	-0,84	1,00		
Glu,sec	0,86**	-0,65	0,83*	0,25	0,26	-0,37	-0,02	0,07	0,15	0,21	1,00	
Tps,min,cui	0,20	0,11	0,33	0,24	0,26	-0,07	-0,25	0,44	-0,09	0,16	0,57	1,00
Tps,op,cui	0,20	0,11	0,33	0,24	0,26	-0,07	-0,25	0,44	-0,09	0,16	0,57	1,00
Tps,surcui	0,20	0,11	0,33	0,24	0,26	-0,07	-0,25	0,44	-0,09	0,16	0,57	1,00
Pert,cui	0,47	-0,34	0,57	-0,17	-0,17	-0,14	-0,52	-0,21	-0,53	0,69	0,21	-0,10
Gonf	0,11	-0,33	0,15	-0,25	-0,26	0,32	0,15	-0,68	0,04	0,16	-0,20	-0,48
Ferm	0,20	-0,67	0,00	0,49	0,47	0,42	0,92**	-0,18	0,29	-0,67	0,12	-0,37
Elas	0,27	-0,32	0,06	0,29	0,27	-0,13	0,55	0,17	0,55	-0,33	0,15	-0,26
Ind Visc	0,20	-0,67	0,00	0,49	0,47	0,42	0,92**	-0,18	0,90**	-0,67	0,12	-0,37

## VII-Analyse chromatographique par SE-HPLC

---

Les différents profils obtenus sont constitués de 5 fractions ou pics d'élution (F1 à F5) pour les protéines solubles en SDS 1% et le culot qui représente les fractions insolubles en SDS 1% (Fi).

## **VII-1- Effet du génotype et de la fertilisation azotée dans la variation des différentes fractions protéiques.**

---

Le tableau (33) rassemble les résultats obtenus des différents chromatogrammes. Ils sont exprimés en % des protéines totales.

Les résultats des analyses statistiques ont déterminé la contribution de chaque facteur dans la variation des fractions protéiques.

### **VII-1-1-Les glutenines HWG et LWG.**

Un effet très hautement significatif du facteur génotype est marqué sur la variation de la fraction F1. Le test des classements des moyennes a donné 2 groupes homogènes à savoir le groupe (A) regroupant les variétés WAHA, VITRON et ANZA et le deuxième représenté par la variété HD 1220. Cette dernière possède un taux de glutenines à haut poids moléculaire >980 000 *da*, le moins important (5.55%). Une variation significative du taux des glutenines HMW entre les variétés durant le stade de maturation du grain est rapportée dans les travaux de HUBNER et al (1990). Contrairement YVE (2000), a souligné que cette fraction n'est pas influencée par le facteur génétique suite à ses travaux portant sur plusieurs variétés de blé dur.

L'analyse statistique a montré un effet non significatif de la fertilisation azotée sur l'évolution de ces fractions. Elles sont de 7.48% à 7.67 % de la dose N0 à la dose N3.

LEBRUN et al (2001) ont par contre révélé que les glutenines F1 et F2 sont essentiellement d'origine variétale et sont légèrement influencées par le lieu et l'année de culture et pour une variété donnée, ces fractions restent globalement constantes.

SCHEROMM et al (1992) rapportent que la fertilisation azotée n'a pas d'effet sur la composition des glutenines subunits, et l'augmentation de la fertilisation azotée influence le niveau d'agrégation des protéines.

**Tableau 33. Variation des aires des pics des différentes variétés avec différentes doses d'azote données par la SE-HPLC.**

**Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés techno-fonctionnelles des protéines de blé**

Echantillons	%culot	%F1	%F2	%F3	%F4	%F5	% polymères (F1+F2+culot)
V1N0	5,79	8,42	19,64	10,45	38,35	17,35	33,86
V1N1	5,57	8,81	19,59	10,33	39,05	16,65	33,97
V1N2	3,92	8,43	21,08	10,07	39,58	16,93	33,42
V1N3	6,88	8,36	19,46	10,48	38,99	15,83	34,70
V2N0	9,99	8,18	20,50	8,70	36,08	16,55	38,68
V2N1	8,49	8,80	20,89	8,59	36,76	16,46	38,18
V2N2	9,89	8,19	20,61	9,00	36,07	16,25	38,69
V2N3	9,89	8,22	20,58	8,94	36,21	16,17	38,68
V3N0	17,73	5,21	17,49	7,83	35,59	16,15	40,43
V3N1	16,30	5,63	17,99	7,99	36,49	15,61	39,92
V3N2	17,56	5,38	17,67	7,90	36,18	15,30	40,61
V3N3	7,82	5,99	19,85	8,76	40,61	16,97	33,66
V4N0	10,82	8,14	20,18	8,83	34,90	17,13	39,14
V4N1	9,36	8,63	21,04	8,86	34,48	17,63	39,02
V4N2	11,28	7,83	20,17	8,94	35,68	16,10	39,29
V4N3	10,87	8,13	20,26	9,01	36,09	15,65	39,25

**Tableau 34. Résultats des analyses statistiques des différentes fractions protéiques.**

	F1	F2	F3	F4	F5	Air total	Fi	F1/F2	F2/F4
Waha Vitron	8,50 A 8,35 A 5,55 B 8,18 A	10,21 A 20,64 A 18,2 B 20,41 A	10,33 A 8,80 B 8,12 C 8,91 B	38,99 A 36,27 BC 37,21 AB 35,28 C	16,68 16,58 16,58 16,58	16,25 24552640 23898456 22036102 C	5,54 C 9,56 BC 14,85 A 10,58 B	0,42 A 0,40 AB 0,30 B 0,40 AB	0,51 0,57
N0 N1 N2 N3	7,48 7,96	19,4 7,45	19,8 7,67	18,9 19,5 19,5 19,5	36,9 36,9 36,8 37,3	22794974 24230948 25505950 25523938 A	11,08 9,93 10,66 8,86	0,86 0,64 0,54	0,54
Signi; statistique Variété	THS P<0.05	HS P<0.01	THS P<0.01	HS P<0.01	NS P>0.05	HS P<0.05	HS P<0.05	THS P<0.05	THS P<0.05
Signi:Fact Azote	NS	NS	NS	NS	NS P>0.05	HS P<0.05	NS. P>0.05	HS P<0.05	NS P>0.05
Interaction	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

\* A, B,BC, C D : classement des groupes homogènes.

Selon chaque variété, les proportions des fractions F1 (annexe 6) évoluent et atteignent un maximum avec l'apport N1 (80unités /ha) pour les variétés WAHA , VITRON et ANZA. Ceci rejoint les résultats des travaux de YONG *et al* (1996), qui soulignent que la fertilisation azotée augmente l'accumulation des glutenines solubles au SDS et le degré d'agrégation de ces protéines, et atteint un maximum avec l'accroissement du niveau de la fertilisation azotée.

L'augmentation de la fraction F1 est plus importante chez la variété VITRON. Les valeurs passent de 8.18% à 8.80 % de la dose N0 à N1 contre la proportion la plus faible donné par la variété HD1220 ne dépassant pas 5.99%.



Les fractions F2 représentant les glutenines à faibles poids moléculaire, ont été influencées de manière hautement significative par le facteur variété. La variété HD 1220 a présenté les plus faibles taux de fractions F2. SHEROMM et *al* (1992) signalent également que ces fractions varient significativement selon les variétés.

L'analyse statistique révèle que le facteur azote n'a eu aucun effet significatif sur la variation des fractions F2. Néanmoins les courbes de variation de ces différentes fractions par variété (annexe 6) font ressortir que, l'apport azoté a augmenté légèrement le taux des F2 de 17.49% à 19.85% chez la variété HD 1220 avec les apports croissants d'azote de la dose N0 à la dose N3.

### VII-1-3-Les gliadines et les (b, a ,y) gliadines

L'analyse statistique a montré que les fraction F3 (gliadines □) et les fractions F4 ((□, □ , □) gliadines) sont très hautement influencées par le facteur génétique. En effet, le test de comparaison des moyennes a révélé deux groupes homogènes des fractions F3, le premier incluant la variété WAHA qui a représenté le plus haut taux de F3 (10.33%) et le deuxième groupe représenté par les variétés VITRON ,HD 1220 et ANZA ayant respectivement les taux de 8.80%, 8.11%, 8.91% , et 4 groupes homogènes des fractions F4 représentés par WAHA (38.99%), VITRON (36.27 %), HD1220 ( 37.27%) et ANZA (35.28%).

L'effet de la fertilisation azotée sur la variation des F3 et des F4 est non significatif. Les apports azotés n'ont pas produit des variations importantes dans ces fractions, sauf pour la variété HD 1220 où les F3 ont augmenté de 7.98% à 8.75 % et les F4, de 35.69% à 40.61 et cela avec les doses croissantes de N0 à N3. Pour les autres variétés, des variations légères suite aux différentes doses sont notées.

Ceci rejoint les travaux de WIESER et *al* (1998) qui ont montré que les fractions □ gliadines profitent moins des élévations des niveaux d'azote dans le sol. Par contre ceux de LEBRUN et *al* (2001), WEISER et *al* (1998) ont révélé que les fractions (□,□,□) gliadines augmentent significativement avec l'accroissement des niveaux d'azote.

### VII-1-4-Protéines métaboliques (fraction F5)

Les résultats obtenus ont montré qu'aucune variation significative des deux facteurs variété et azote n'est notée sur ces protéines. PECHANEK et *al* (1997), WEISER et *al* (1994) ont montré que l'augmentation des protéines engendre une négligeable variation du taux des albumines et globulines. Nos résultats ont montré une légère diminution de ces fractions pour chaque variété avec l'accroissement des doses d'azote. YONG KING (1996), FULLING et *al* (1986), révèlent que ces fractions diminuent avec l'augmentation des protéines. DOMINIQUE LEBRUN et *al*(2001) ont mis en évidence que la proportion des protéines solubles diminue lorsque la teneur en protéines s'élève. Par contre TANAKA et BUSHUK (1972), ont observé que les proportions des fractions solubles restent constantes avec l'augmentation du taux de protéines.

### VII-1-5- Protéines insolubles en SDS 1% Fi

La fraction Fi (protéines plus agrégatives) est considérée comme un bon indicateur de qualité (DACHKEVITCH et AUTRAN, 1989). En effet, pour étudier le niveau d'agrégation des protéines en fonction des variétés et des doses d'azote , le culot ( contenant les protéines insolubles au SDS) récupéré à la première extraction des protéines ( soluble en SDS ) a subi un traitement aux ultrasons pour rompre les liaisons agrégatives. Il est ensuite passé à l'extraction en milieu SDS 1% et analysé à la SE-HPLC.

L'analyse statistique a montré une variation significative du niveau d'agrégation des protéines dû au facteur variété. Le test de comparaison des moyennes a identifié 4 groupes homogènes (A, B, BC, C). La variété HD 1220 a présenté le plus haut taux de fractions insolubles (14.85%) et la variété WAHAen possède le moins important (5.54%). Les variétés VITRON et ANZA ont des niveaux intermédiaires respectifs de 9.58 % et 10.56%.

L'accroissement des doses d'azote n'a pas eu d'effet significatif sur la variation des fractions (Fi). Les figures (annexe 6) représentant l'évolution de ces fractions en fonction des doses d'azote pour chaque variété et espèce étudiée, montrent que chez la variété HD1220 la variation du taux des Fi est plus marquée ou on note une diminution de 17.73 % à 7.82 % avec les apports croissants d'azote.

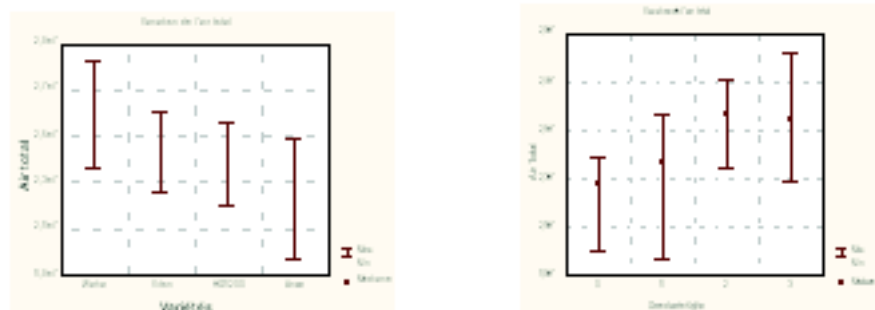
On note également que les variations des fractions Fi sont contraires à celles des F2.

SCHEROMM et al (1992), ont révélé que l'augmentation de la fertilisation n'a pas d'effet sur la composition des glutenines, mais elle influence le niveau d'agrégation des protéines.

### VII-1-6 - Protéines totales

L'analyse statistiques de l'air total regroupant les gliadines (□, □,□,□) et les gluténines (LWG, HWG et le culot), a montré un effet significatif des facteurs, génétique et la fertilisation azotée, sur la variation de l'air total des chromatogrammes.

L'effet de la fertilisation azoté s'est montré significatif sur l'évolution des fractions totales de protéines. Elles augmentent avec l'accroissement des doses d'azote. La comparaison des moyennes forme deux groupes homogènes. Le premier regroupe les doses N2 et N3 avec les plus hautes valeurs et le second les doses N0 et N1. La figures 20 représente les différentes variations de ces protéines.



**Figure 23.** Variation des protéines totales selon les variétés et les doses d'azote

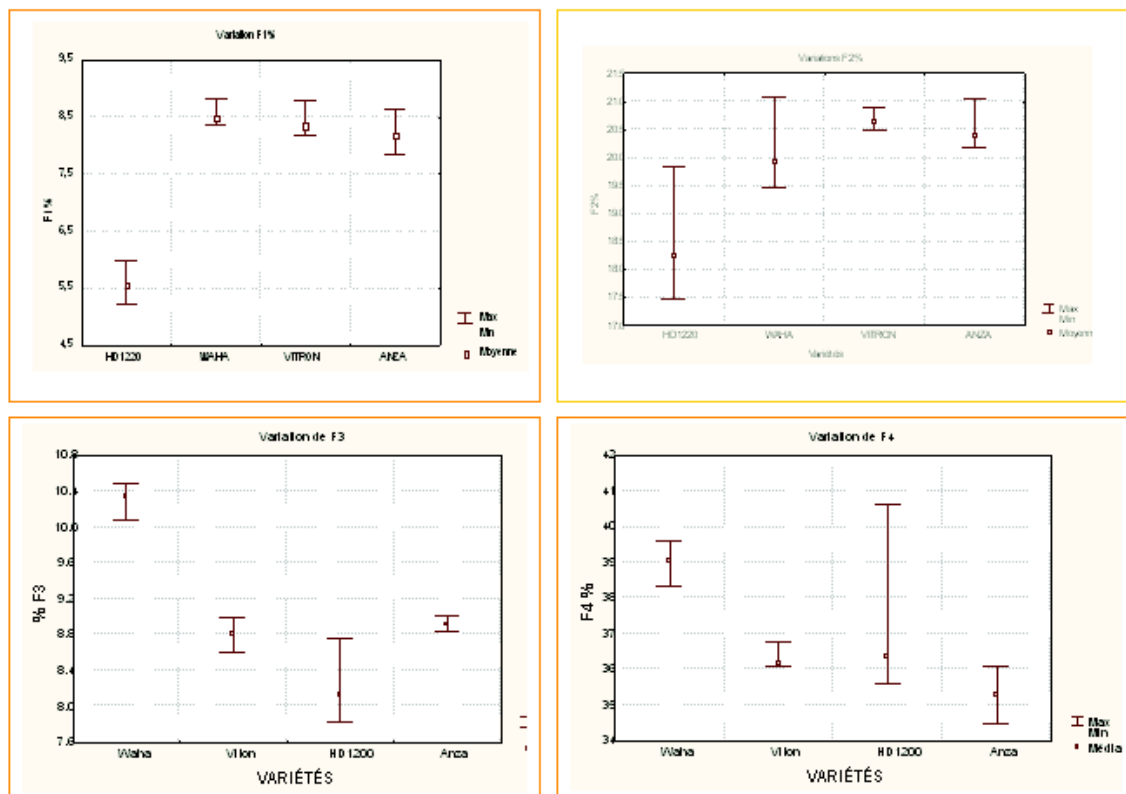


Figure 24 : Variation des fractions protéiques des différentes variétés .

### VII-1-7-Le rapport F1/F2

D'après DACHKEVITCH et AUTRAN (1989), le rapport F1/F2 est un bon indicateur de qualité. Nos résultats statistiques montrent que ce rapport est influencé fortement par le facteur variété. IL varie de 0.30 chez la variété HD 1220 à 0.42 chez la variété WAHA.

Le rapport F1/ F2 Chez la variété HD1220 est le moins important car les proportions des HWG sont les plus faibles.

La fertilisation azotée a également un effet hautement significatif sur ce rapport. La valeur la plus importante de ce rapport est obtenu avec la dose N1 puis diminue avec la dose N2 pour toutes les variétés étudiées. Il existe donc un optimum de quantité de fertilisants azoté sur l'augmentation du rapport HWG/LWG (Figure22). SEILMEIR (1994), PECHENEK et al (1997) affirment que ce rapport augmente avec l'augmentation des protéines sous l'accroissement des doses d'azote. Cependant, HERBERT WEISER et al (1998) notent que le rapport HWG/LWG augmente avec les niveaux élevés d'azote.

KASARDA (1989) suggère que la composition des agrégats de protéines des échantillons de blé peut être liée au changement du taux du rapport LMW/HMW sous unités de glutenines durant le développement du grain, donc les caractéristiques physico-chimiques des agrégats de protéines sont influencés par le mécanisme qui régule l'expression de la synthèse des protéines.

#### VII-1-8- Le rapport F2/F4.

L'étude du rapport F2/F4 revient à étudier l'évolution des protéines monomériques (F4), composées principalement de ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) gliadines, par rapport à la fraction la moins agrégée des glutenines (F2). AUTRAN et al (1987), recommandent de prendre en compte le rapport Glutenines FPM/ Gliadines monomériques pour prédire de manière efficace la qualité du gluten en cours de sélection variétale.

L'analyse statistique ne révèle aucun effet significatif de la fertilisation azotée sur l'évolution de ce rapport bien que Herbert WEISER et al (1998) ont montré que les  $\alpha$ ,  $\gamma$  gliadines et les glutenines FPM sont plus affectées par les niveaux élevés d'azote par rapport aux  $\omega$  gliadines et aux glutenines HPM.

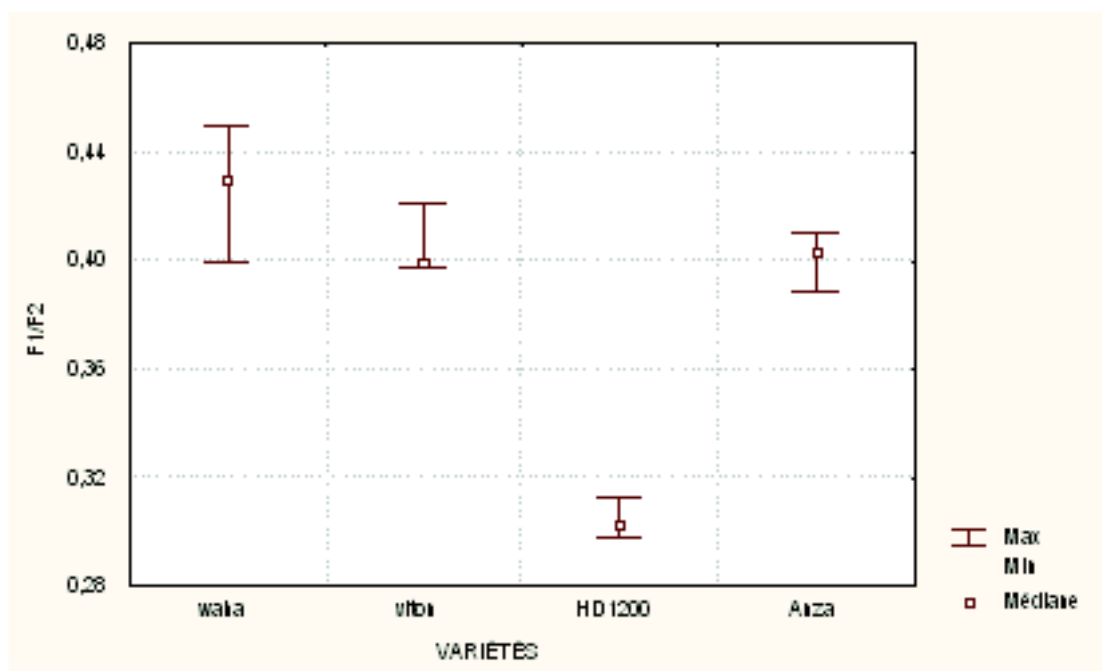


Figure 25. Variation du rapport F1/F2 selon le variétés.

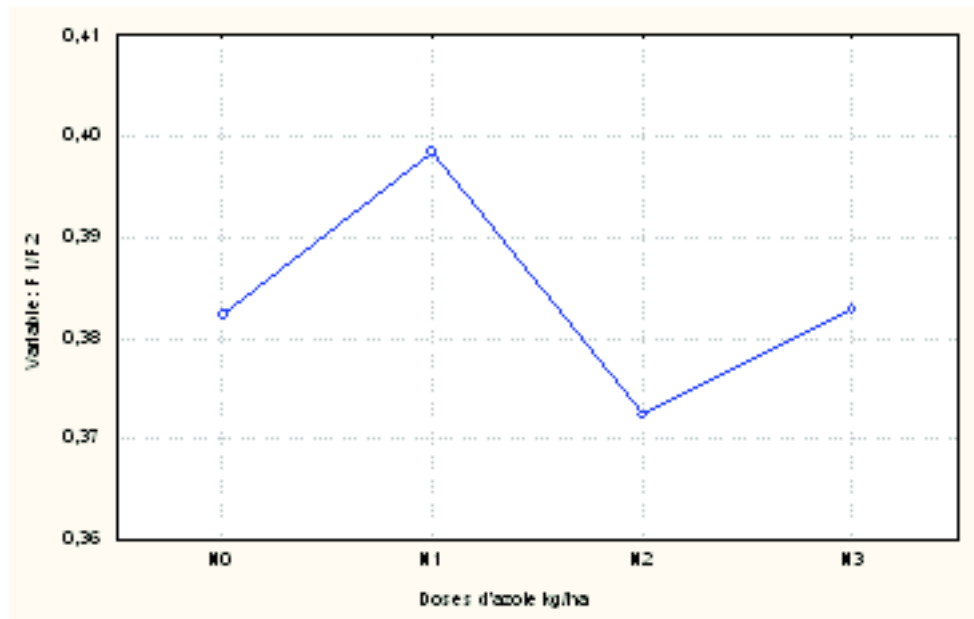


Figure 26. Evolution du rapport F1/F2 en fonction des doses d'azote.

## VII-2-Etude des corrélations des fractions HPLC avec les caractéristiques technologiques.

Les résultats de corrélations des fractions HPLC avec les caractéristiques technologiques sont regroupés dans les tableaux 35 et 36.

### VII-2-1-Blé dur.

Nos résultats n'ont révélé aucune corrélation significative entre les HMWG et les LMWG avec les paramètres de qualité mesurés chez le blé dur.

Par contre, des corrélations hautement significatives négatives des fractions  $\omega$  (-0,8405,  $p=,009$ ) et ( $\square, \square, \square$ ) ( $r=-0,7209$ ,  $p=,044$ ) gliadines) avec la capacité d'hydratation du gluten. Par contre, le gluten index est corrélé positivement à ces fractions gliadines,  $\square$  ( $r=0,9161$ ,  $p=,001$ ) et ( $\square, \square, \square$ ) ( $r= 0,7113$ ,  $p=,048$ ).

Des corrélations négatives fractions de gliadines ont été également notées, avec la fermeté des pâtes,  $\square$  ( $r= -0,80$ ,  $p<0.5$ ) et ( $\square, \square, \square,$ ) ( $r= -0,80$ ,  $p<0.5$ ). et avec l'indice de viscosité,  $\square$  ( $r= -0,7113$ ,  $p<0.5$ ) et ( $\square, \square, \square,$ ) ( $r= -0,72$ ,  $p<0.5$ ). On peut dire que l'augmentation des gliadines peut agir négativement sur la qualité de pâtes cuites.

Nos résultats ont montré que les protéines solubles (F5) n'ont pas été corrélé significativement avec les paramètres de qualité mesurés.

Par ailleurs, les protéines insolubles au SDS (Fi) ont été fortement corrélées positivement avec la capacité d'hydratation du gluten et à la fermeté des pâtes cuites. Elles sont donc améliorées avec l'agrégation des protéines.

De même, les fractions Fi sont positivement corrélées à la fermeté ( $r= 0,83$ ,  $p<0.5$ ), à la capacité d'hydratation du gluten ( $r=0.76$ ,  $p<0.5$ ) et à l'indice de viscosité de pâtes cuites ( $r= 0,80$ ,  $p<0.5$ ). Les gluténines de forts poids moléculaires améliorent la qualité des pâtes.

Ceci rejoint l'hypothèse de KHAN et BUSHUK (1978) qui évoquent la corrélation entre la qualité de la force boulangère du blé et les gluténines insolubles au SDS.

Les polymères regroupant les fractions (F1+ F2 + Fi) sont aussi positivement corrélés à la capacité d'hydratation du gluten ( $r = 0,84, p < 0.5$ ) à la fermeté ( $r = -0,89, p < 0.01$ ) et à l'indice de viscosité de pâtes ( $r = -0,89, p < 0.01$ ) et négativement corrélé au gluten index ( $r = -0,79, p < 0.05$ ). Toutefois, les gliadines ont par contre eu une corrélation négative significative avec la capacité d'hydratation du gluten. Un pourcentage élevé de liaisons dis sulfure améliore l'extensibilité de la pâte (présence élevée de cystéine). Ce qui laisse dire que les protéines hautement polymérisées améliorent la qualité.

Ceci est confirmé avec le rapport F2/F4 qui est positivement corrélé à la capacité d'hydratation du gluten ( $r = 0,81, p < 0.5$ ), la fermeté ( $r = 0,82, p < 0.5$ ) et à l'indice de viscosité de pâtes ( $r = 0,8253, p < 0.5$ ).

### **VII-2-2-Blé tendre**

Les relations des différentes fractions de protéines avec les paramètres de qualité ont montré que les glutenines de hauts poids moléculaires sont corrélées négativement ( $r = -0,87, p < 0.05$ ) à la force boulangère W des variétés de blé tendre. PECHENAK et al (1997) ont par contre montré une forte corrélation positive entre les gluténines de hauts poids moléculaire et le développement de la pâte ainsi que le volume du pain. Cependant, les travaux de PELTONEN et al (1994) n'ont pas révélé de corrélation significative entre les glutenines et les propriétés boulangères de trois variétés de blé tendre.

Le rapport des fractions F1/F2 est négativement corrélé à la force boulangère ( $r = -0,91, p < 0.01$ ) et au volume de sédimentation SDS ( $r = -0,85, p < 0.01$ ). Ces résultats sont en accord avec ceux de PECHENAK et al (1997) qui ont une corrélation significative et négative de ce paramètre avec le développement de la pâte ainsi que l'indice de sédimentation et le volume du pain.

Le rapport F2/F4 est aussi négativement corrélé à la force boulangère ( $r = -0,90, p < 0.01$ ) et au volume de sédimentation ( $r = -0,89, p < 0.01$ ). Nos résultats rejoignent ceux de WEISER et al (1993) notant une forte corrélation positive entre le rapport des fractions gliadines/glutenines et les propriétés boulangères.

Selon PECHENEK et al (1997), le rapport F2/F4 ne reflète aucun changement des paramètres de qualité suite à une augmentation de la teneur en protéines.

Le gluten index est négativement corrélé, aux glutenines à hauts poids moléculaires solubles au SDS 1% F1 ( $r = -0,94, p < 0.001$ ), aux glutenines faibles poids moléculaire F2 ( $r = -0,8155, p < 0.05$ ), au  $\square$  gliadines ( $r = -0,82, p < 0.05$ ), F1/F2 ( $r = -0,95, p < 0.001$ ) et au rapport F2/F4 ( $r = -0,90, p < 0.01$ ).

Une corrélation significative positive de la teneur en protéines des farines avec les teneurs en ( $\square\square\square$ ) gliadines ( $r = 0,7244, p < 0.05$ ) et avec les gliadines totales ( $0,73, p < 0.05$ ). En effet, dans notre étude sous les mêmes conditions, pour un point de protéines supplémentaire la proportion de gliadines totales gagne 1.8 point contre 1.7 pour la part des ( $\square, \square, \square$ ) gliadines (figure 23.). Ces résultats rejoignent ceux de Dominique LEBRUN et al (2001) qui ont révélé que la proportion de gliadines augmente avec la teneur en protéines et que cet effet est bien prononcé avec les ( $\square, \square, \square$ ) gliadines (fraction F4).

**Tableau 35. Corrélation des caractères technologiques avec les différentes fractions protéiques.**

	F1	F2	F3	F4	F5	Fi	Polymères	F1/F2	F2/F4	C
Pr Gr	-0,4415	-0,2161	-0,0677	0,7858	-0,5145	-0,0213	-0,461	-0,504	-0,604	0
Pr, far	-0,211	0,0082	0,1615	0,7244*	-0,4593	-0,1986	-0,4824	-0,2784	-0,3934	0
Glut sec	-0,5009	-0,2966	-0,157	0,7487*	-0,5343	0,0634	-0,4012	-0,5514	-0,6463	0
Glut Ind	-0,9476***	-0,8155*	-0,8172*	0,4905	-0,2612	0,567	-0,131	-0,9579***	-0,9086**	0
SDS	-0,8258	-0,6504	-0,5708	0,6867	-0,6069	0,4096	-0,2251	-0,8562*	-0,8919*	0
W	-0,8792**	-0,691	-0,6591	0,6626	-0,5044	0,4452	-0,2227	-0,9146**	-0,9063**	0
Vol, pain	0,1486	0,0531	0,0412	-0,3144	-0,2217	0,1205	0,3425	0,1707	0,2035	-

\*valeur significative à P < 0.05

\*\* valeur hautement significative à P < 0.01

\*\*\* valeur très hautement significatif

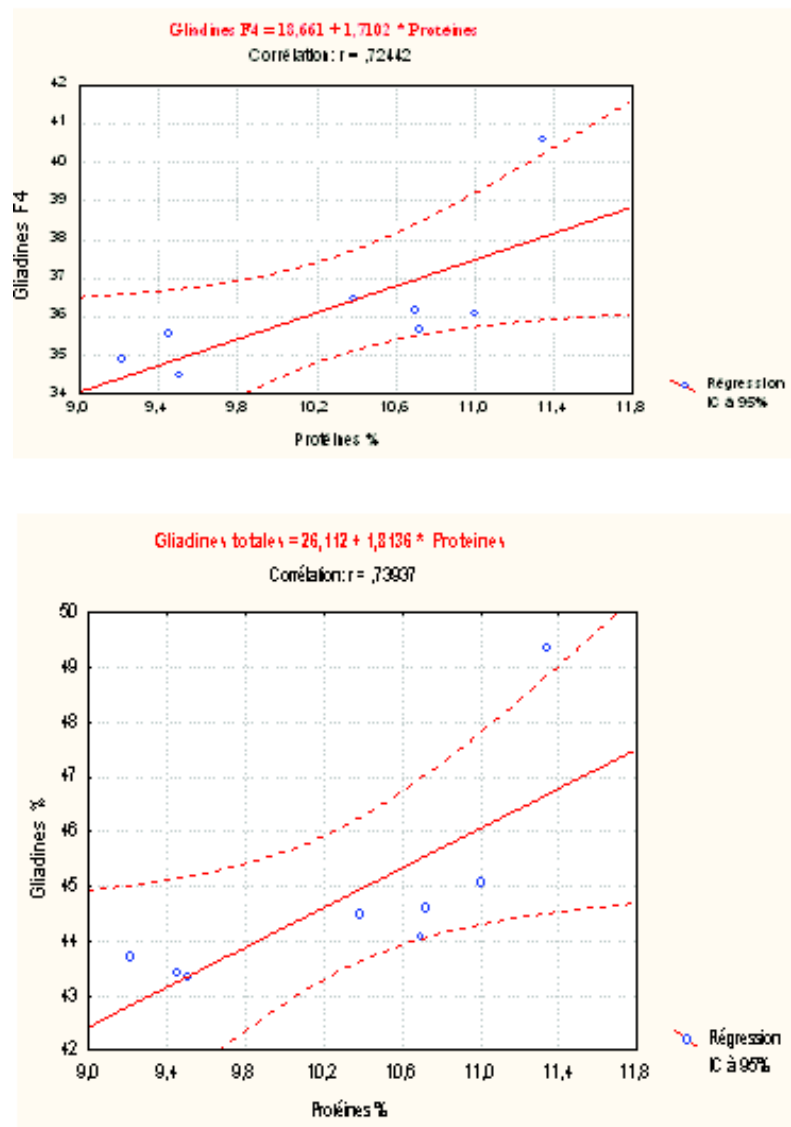
Tableau 36: Corrélation des caractères technologiques avec les différentes fractions protéiques

	F1	F2	F3	F4	F5	Fi	Polymères	F1/F2	F2/F4	F2/F5
Pr grain	-0,147	-0,123	0,37	0,358	-0,543	-0,203	-0,239	-0,004	-0,004	-0,004
Mit	-0,016	-0,347	0,275	0,154	0,699	-0,241	-0,319	0,22	0,22	-0,004
Pr sem	0,011	-0,172	0,522	0,547	-0,399	-0,412	-0,433	0,129	0,129	-0,004
Haut	0,318	0,376	-0,5	-0,227	-0,468	0,281	0,396	-0,054	-0,054	0,318
Force pate	0,345	0,358	-0,493	-0,217	-0,473	0,276	0,388	-0,025	-0,025	0,345
Tps devl	0,363	0,524	-0,701	-0,491	-0,097	0,403	0,553	-0,131	-0,131	0,363
Juj	-0,44	0,703	-0,907	-0,810*	-0,555	0,811*	0,903**	-0,762	-0,762	0,363
SDS	0,309	-0,078	0,066	0,236	0,046	-0,196	-0,174	0,248	0,248	-0,078
CH_Glut	-0,413	0,638	-0,841**	-0,721*	-0,672	0,769*	0,849**	-0,7	-0,7	0,638
Glut ind	0,148	-0,704	0,916**	0,711*	0,293	-0,667	-0,797*	0,575	0,575	-0,704
Glut sec	-0,013	-0,177	0,342	0,424	-0,684	-0,207	-0,243	0,118	0,118	-0,177
Tpsmin cui	0,246	-0,434	0,461	0,562	-0,316	-0,371	-0,437	0,449	0,449	-0,434
Tps opt cui	0,246	-0,434	0,461	0,562	-0,316	-0,371	-0,437	0,449	0,449	-0,434
Surc	0,246	-0,434	0,461	0,562	-0,316	-0,371	-0,437	0,449	0,449	-0,434
Per,Cui	0,532	-0,33	0,49	0,434	0,083	-0,438	-0,445	0,566	0,566	-0,33
Gonf pate	0,086	0,231	-0,164	-0,228	0,019	0,129	0,19	-0,104	-0,104	0,231
Fermeté	-0,411	0,559	-0,821*	-0,800*	-0,68	0,835*	0,892**	-0,645	-0,645	0,559
Elasticité	-0,663	0,093	-0,429	-0,586	-0,53	0,682	0,602	-0,491	-0,491	0,093
Ind Vis	-0,411	0,559	-0,821*	-0,800*	-0,68	0,835*	0,892*	-0,645	-0,645	0,559

\*valeur significative à P < 0.05

\*\* valeur hautement significative à P < 0.01

\*\*\* valeur très hautement significatif à P<0.000



**Figure 27 :** Evolution des fractions de gliadines F4 et des gliadines totales en fonction de la teneur en protéines du blé.





## Références bibliographiques

- A becassis J., et feuillet P. , 1985** : Pureté de semoules de blé dur taux de cendre et réglementations. Ind. céréales, N°36, pp : 13-18.
- A becassis. J., AUTRAN J.C., et feuillet P , 1985**: Durum wheat , semolina and pasta quality. Edition INRA . Paris. p201
- ACHOURI I., 1985** : Fertilisation azotée et densité de peuplement d'une variété de blé dur dans la Mitidja. Thèse ingénieur . INA 100 p.
- ADAMS K. , 1987** : Factor affecting the quality of cooked and the interaction of glutenins and gliadins with 7S and 11 soy protein. Dissertation abstract international B47 (12) p180.
- AMRI. A., BOUDJNAH.M., NSARELLAH. N., TAGHOUTI.M et NACHIT .M M., 2000**: In Royo C. (ed.), Nachit M.M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.) . *L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne : Nouveaux défis* . Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 2000.: in Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 40. pp. 543-547
- Anderson W. K. et Hoyle F .C. . , 1999** : Nitrogen efficiency in wheat cultivars in a Mediterranean environment. Aut. J. Exp. Agri., N°39, pp : 957- ....
- ANONYME, 1982** : Céréales et produit céréaliers. Recueil de norme française AFNOR. 1<sup>ère</sup> édition.
- ANONYME, 2003** : **Synthèse des bilans s annuels d'activités.**  
Rapport d'activité élaboré par l'ITGC.
- anonyme , 2004** : **Produire des blés de qualité; Grande Paroisse partenaire du marché des céréales.** Site web [www.grande-paroisse.fr](http://www.grande-paroisse.fr)
- AUTRAN J.C., 1981** : Récent data on the biochemical basis of durum wheat quality. Ouvrage vol 1, Chemistry and technology, G.Gharalambous and G. INGLETT, eds, Academic Press, New York.
- AUTRAN J.C., 1994** : Size – exclusion high – performance liquid chromatography for rapid examination of size differences of wheat and cereal protein. In : HPLC of cereal proteins and legumes (J.E. kruger and J.C. Bietz, eds) American association of cereal chem., ST Paul MN (USA) : 326-372.
- AUTRAN J.C. et FEILLET P., 1987** : Genetic and technological basis of protein quality for durum wheat in pasta. In : EEC symp on protein evaluation in cereals and legumes vpatlakou ,ed. Cereal institute : Thessaloniki, Greece.
- AXFORD D.W.E., DERMOTT et REDMAN .D.G., 1978** : Note on the sodium dodecyl sulfate test of bread making quality, comparison with pelshenke and zeleny tests .In Cereal Chem. N°56, pp : 582-584.
- BAHLOUL A., 1989** : Contribution à l'étude de la fertilisation azotée en méditerranée, méthode des bilans. Thèse D.E.A. INRA et ITCF Montpellier – France, 65 p + annexes.

- Bakhella M., Akil M., BABA M. et ouassou A ., 1992** : Etude de la qualité boulangère et pastière des neufs principales variétés marocaines de blé dur. Actes Inst.Agron.Vet., Vol. 12, N°3, pp : 23-37.
- BATEY I.L., Gupta R.B. et Macritchie F., 1990** : Use of size exclusion high performance liquid–chromatography in the study of wheat flour protein. An improved chromatographic procedure. Cereal chemistry. N°68; pp : 207-209.
- BEAUX.Y., 1985** : Techniques culturale du blé et qualité. Industries de céréales N°34; pp : 9 – 15
- BELAID D., 1987** : Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur en condition de déficit hydrique. Thèse de magister, INA 108 P.
- BELLOULA B., 1981** : Contribution à l'étude de l'action de la fertilisation azotée fractionnée sur une culture de blé tendre. Thèse Ing. INA – El-Harrach (Alger); 108 p.
- BEN SAMRA, 1990** : Effet de la fertilisation et de la densité de semis sur le rendement de la variété de blé dur waha.Thèse Ing. INA – El-Harrach (Alger);77 p.
- BENETRIX F., AHMAD S. et AUTRAN C., 1994** : Effect of genotype and Nitrogen Nutrition on protein Aggregates in barley. IN American association of cereal chemists, Inc. Vol. 70, N°1; pp : 75-82.
- BENTRICIA, 1981** : Contribution à l'étude de l'action de la fertilisation azotée fractionnée sur une culture de blé tendre. Thèse Ing. INA – El-Harrach (Alger) 120 p.
- BIETZ et WALL, 1980** : Identity of high molecular weight gliadin and ethanol soluble glutenin sub units of wheat. Relation to gluten structure. Cereal chem. N°57, pp : 415-421.
- BIETZ J.A., 1983** : Separation of cereal proteins by revered –phase high-performance liquid chromatography. J. Chromatogr. N° 255, pp : 219-238.
- BIETZ J.A., 1984** : Analysis of wheat gluten protein by heigh-performance liquid chromatography. Baker's Dig., Vol. 58, N°1, pp :15-17,20-21,32.
- B ranlard et LE Blanc , 1985** : Les sous-unités gluténines de hauts poids moléculaire des blés tendres et des blés durs cultivés en France.
- BRANLARD G. et LEBLANC A., 1985** : Les sous unités glutenines de hauts poids moléculaire de blé tendre et de blé dur cultivés en France. Agronomie N° 5, pp : 467-477.
- BRANLARD G. et ROUSSET M., 1980** : Les caractéristiques des gliadines et la valeur en panification du blé tendre. Ann. Amelio plante, N°30, pp : 133-149.
- B ranlard G. et Triboi E., 1983** : Influence du milieu de culture sur les concentrations relative des bandes de gliadines chez le blé tendre. C.R. Acad. Sc. Paris, T. 297, Serie III 229.
- BRAUN P.H., 1994** : Bons résultats pour l'apport tardif d'azote. Perspective agricole, n °188, pp : 30-34
- BURE, 1978** : Actes du colloque du C.N.E.R.N.A PARIS nov. 1977, C.N.R.S Ed. Paris.
- BURNOUF T. et BOURIQUET R., 1980** : Glutenin subunits of genetically related European hexaaploid wheat cultivars : their relation to bread making quality...Theor App. Genet, N°58, pp : 107-111.

- Calvel R., 1973** : L'évolution de la qualité du pain français. In Bull. Anc. Eleves, EFM, p254,
- CLEMENT T., GRANCOURT M.M. et PRATS J., 1971** : Les céréales. 2<sup>ème</sup> édition, Ed. J.B.BAILLIERE et fils, France ; 351 P.
- COLLOT V., 1990** : Wheat storage proteins in " Génétics engineering, Plenum Press", Setlow J.K. Ed New.York, 12, pp : 225-242.
- Corbellini M., Mazza L., Ciaffi M., Lafiandra D. et Borghi B., 1998** : Effect of heat shock during grain filling on protein composition and technological quality of wheats. In wheat, prospects for global improvement, Proc. of the international wheat conference Ankara, Turkey, 10-14 June 1996. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands, pp : 213-220.
- CORN M., ROGER P. et POPINEAUX Y., 1994** : Determination of prolamine size by dynamic light scattering. In : Gluten protein 1993, Association of Cereal Research. Detmold. pp : 483-488.
- CORNEC M., ROGER P. et POPINEAUX , 1994** : Determination of prolamins sizes by dynamic light scattering. In : Gluten protein 1993, association of cereal research, Detmold, pp : 483-488.
- D'Egidio M.G., Desiderio E., Cecchini C., Cantone M.T., Dottori A., Brogna G. et Formara M., 2000** : Fertilizzazione azotata e qualità del frumento duro. Molini d'Italia, Anno LI, N°8, pp : 39-44.
- D'Egidio M.G., Firtini S., GALTERIO G., Sgrulletta D. et Volpi M., 1976** : Caratteristiche di sfarinati e emole di grano e proprietà tecnologiche delle paste alimentari. Genetica Agraria. N°30, pp : 117-141.
- D'Egidio S., Fortini G., Galterio B. M., Mariani, Sgrulletta D. et Volpi M. , 1979** : Proteines totales et composition protéique de semoules de blés durs Italiens, corrélations avec la qualité des pâtes alimentaires. Qual.Plant. Pl. Fds.hum.Nutr.XIV; pp333-348
- Dachkevitch et Autran , 1989** : Prediction of baking quality of bread wheat in breeding programs by size-exclusion high performance liquid chromatography. Cereal Chem. N°66; pp : 488-456.
- Dachkevitch T., 1989** : Etude des complexes protéiques de blé tendre par chromatographie liquide à haute performance de tamisage moléculaire (SE-HPLC) : Relation avec la qualité technologique. Thèse de doctorat. Université de Science et techniques : Languedoc, France.
- Dachkevitchand T. et Autran J.C., 1989** : Prediction of baking quality of bread wheats in breeding program by size-exclusion high-performance liquid chromatography. Cereal. Chem., N° 66, pp : 448-456.
- DACOSTA Y., 1986** : Le gluten de blé et ses applications. APRIA. ASSOCIATION POUR LA PROMOTION Industrielle AGRICULTURE. Paris édition, pp : 29-56.
- DACOSTA, 1986** : Le gluten de blé et ses applications. APRIA. pp : 23-55.
- DAMIDAUX R et FEILLET P, 1978** : Relation entre les propriétés viscoélastiques du gluten cuit, la teneur en protéines et la qualité culinaire du blé dur. Ann. Technol. Agric 28 p779

- DAMIDAUX R et GILLES, 1971** : Guide pratique de control de la qualité des blés durs. I.T.C.F. PARIS pp 176.
- DAMIDAUX R., 1979** : Nouveaux critères de sélection pour l'amélioration de la qualité culinaire du blé dur. Thèse de doctorat sciences alimentaires. Académie de Montpellier, France.
- DAMIDAUX R., AUTRAN J.C. et FEUILLET P., 1980** : Gliadin electrophoregrams and measurements of gluten viscoélasticity in durum wheat. *Cereal Foods World*, N°25, pp : 754-756.
- DEXTER J.E. et MATSUO R.R., 1977** : Influence of protein content on some durum wheats. *Can. J. Plant Sci.*, N°57, p 717.
- DEXTER J.F., 1977** : The spaghetti making quality of developing durum wheats. *Can. J. Plants Sci.*, Vol. 57, p 7.
- DI Fanzo N., DE Vita P., Gallo A., Fares C., Padalino O. et Troccoli, A., 2000** : Crop management efficiency as a tool improve durum wheat quality in mediteranean areas. In, *Durum wheat, semolina and pasta quality*. Inra Editions. pp : 67-82.
- Doekes C.J. et WENNEKES M.J . , 1982** : Effect of nitrogen fertilization on quantity and composition of wheat flour protein. *Céréal chem.* N°59 (4), pp : 276-278.
- Doekes G.J. et wennekes L.M.J., 1982** : Effect of nitrogen fertilisation on quantity and composition of wheat flour protein. *Cereal.Chem.*, N°59, pp : 276.
- DOEKES G.J. et Wennekes L.M.J., 1982** : Effect of nitrogen fertilisationon quantity and composition of wheat flour protein. *Cereal Chem.*, N°59, pp : 276-278.
- DONGS H., SEARS R.G., COX T.S. et HOSENEY R.C., 1992** : Relationships between protein composition and mixograph and loaf characteristics in wheat. *Cereal Chem.*, Vol. 69, N°2, pp : 132-136.
- DELL.G. SARFATTI.P, BAZZANI F., CADI.A.,2002** :Application of GIS for agro-climatological characterisation of northern Algéria to define durum wheat production areas. In *Journal of agriculture and environnement for international development*. Ed: istituto agronomico per l'oltremare. Volume 96 , n° 3/4. pp121-140.
- EGIDIO M., BOGGINI G., CECCHINI C., PAGANI M., DENONI I. et REMINI P., 1996** : Effeto della raccolta anticipata sulla qualta pastificatoria del fumento duro. *TECNICA Molitoria*, Vol. 47, N°12, pp : 1205-1206.
- Fatta N., CAPUTO C. et BARNEIXI A.J., 2000** : The absence of the short arm of chromosome 7B produces inhibition of N MOBILISATION and decrease grain protein concentration in wheat (*Triticum aestivum L.*) cv. Chinese Spring. *AGRONOMIE*, N °20, pp : 423-430.
- FEILLET P., AIT MOUCH O., KOBREHEL K. et AUTRAN J.C., 1989**: The role of low molecular weight glutenins in determination of cooking quality of pasta products. An overview *cereal chem.*, Vol. 66, N°1, pp : 26-30.
- F eillet P. et A becassis J., 1976** : Valeurs d'utilisation de blés durs. Journées Internationales Céréaliculture-Gembieux.
- F eillet P. , 1974** : Détermination of common wheat contend in pasta products *céréal chem.* in pasta products . \_ *Cereal chem.* Vol 51: 203.

- FEILLET P., 1976** : Les albumines et les globulines du blé. ANN. Technol. Aric 25,pp : 203-216.
- FEILLET P., ABECASSIS J. et ALARY R., 1977** : Description d'un nouvel appareil pour mesurer les propriétés viscoélastiques des produits céréaliers - Bull. ENSIMC, N°278, pp : 97-101.
- FEILLET P., 2000.** : Le grain de blé. Composition et utilisation. Edition INRA. Paris. P 308.
- FOUQUES D., LAURIERE M. et LANDRY J., 1993** : Characterization and quantification of high SUBUNIT of wheat glutenin by amino acid analysis after electroblotting. J. Cereal sci, N°17, pp : 63-70.
- F ourar R., 2000** : Qualité technologique des céréales, cours polycopiés. I.N.E.S d'Agronomie Blida.
- FULLINGTON J.G. et NITYAGOYAL A., 1986** : Effect of rust infection on the protéin coponent of wheat . Phytochemistry N°25; pp : 1289-1292.
- G alterio G. et Grita L . , 1988** : Experiments on the role of durum wheat proteins in pasta quality. The future of cereal for humain feeding and developpement of bio technological reseach. Chamber of commerce of Foggia, Italy. Edited by G.Wittmec.
- GATE P., 1995** : Ecophysiologie du blé. Edition ITCF.TEC et DOC LAVOISIER. p 429
- Gate P., Jezequel S., Castillon P. et Laconde J.P., 1996** : Bien remplir le grain et limiter le mitadinage. Institut technique de céréale et des fourrages, Brochure 1993-1996, Blé dur, pp : 36-43.
- G ianibelli M.C. et Sarando C., 1990** : Influence of nitrogen praying on grain protein content and gliadins composition in bread wheat. In GLUTEN PROTEIN Ouvrage, pp : 765-772
- Godon B., 1991** : Les constituants des céréales : nature propriétés et teneurs. In « bio transformation des produits céréaliers ». Protéines végétales, P, Lavoisier, collection APRIA. p 240
- GUEZLANE .L., et SELSELET-ATTOU. G., 1985:** Qualité des semoules et des pâtes alimentaires issues des principales variétés de blé dur cultivés en Algerie. Ann. INRA .Tunisie. Vol 57 p 22 .
- Gupta R.B, Batey I.L. et MacRITCHIE F., 1992** : Relationships Between Protein Composition and Functional Properties of Wheat Flours In American association of Cereal Chemists, Cereal Chemistry 69, pp125–131.
- G upta R.B., KHAN K. et M acritchie F., 1993** : Biochemical basi of flour properties in bread wheats. Effects of variation in the quantity and ize distribution of polymeric protein. J.Cereal Sci. N°18, pp : 23-41.
- HABBOCHE S. , 2000** : Effet de la fertilisation azotée sur la qualité technologique des variétés de blé tendre. Thèse. ing . INES. Blida p 75
- HAMDI F., 1994** : Etude de la fertilisation azotée du blé (*Triticum durum* et *Triticum aestivum*) en Mitidja. ThèseIng. INA – El-Harrach (Alger); 118 p.
- HARRGEAVESETAL J.L., POPINAUX Y. et MARION D., 1995** : Gluten viscoelasticity is not lipid mediated. A réological and molécular flexibility study on lipid and non prolamin dépleted glutens. J. Agri. Food Chem. N°43, pp : 1170-1176.

- Herber W. et Werner Seilmeier, 1998** : The influence of nitrogen fertilization on quantities and proportion of different protein types in wheat flour. *Journal of Science Food Agriculture*, N°76, pp : 49-55.
- HOSSENY R.C., FINNEY K.F., POMERANZ Y. et SHOGREN M.D., 1969** : Functional (bread making) and biochemical properties of wheat flour components. IY Gluten protein fractionation by solubilizing in 70% ethyl alcohol and dilute lactic acid. *Cereal chem.*, N°46, pp : 495-502.
- Houliaropoulos S., Abecassis J. et Autran J.C., 1981** : Produits de mouture de blé dur : coloration et caractéristiques culinaires. *Ind. Céréales*, N°2-3, pp : 333-342.
- HUBNER F.R., KACZKOWSKI J. et BIETZ J.A., 1990** : Quantitative variation of wheat proteins from grain at different stage of maturity and from different spike locations. *Cereal Chem.* N°67; pp : 464-470.
- HUEBNER F.R. et BIETZ J.A., 1986** : Detection of quality differences among wheat by high performance liquid chromatography. *J.Chromatogr.*, N°327, pp : 333-342.
- HUEBNER F.R. et Bietz J.A., 1988** : Quantitative variation among gliadins of wheat grown in different environment. *Céréales Chem.*, N°65, pp : 362-366.
- H uebner F.R. et Wall J .S., 1976** : Fractionation and quantitative difference of glutenin from wheat grown in different environnement. *Cereal.chem.* 36: P 321.
- Huebner F R et B ietz J.A., 1988** : Quantitative variation among gliadins of wheat grown in different environments. *Cereal Chem.*, N°65 pp : 362-366.
- Jahn-Deesbach W. et J urgens , 1973** : Der Einflub variierter Stickstoffgaben auf die Ertragsmorphologie und die sitik. *Z Acker u Pflanzenbau*, N°138, pp : 276-286.
- K asarda D.D. , 1989** : Glutenin structure in relation to wheat quality.. In : *Wheat Is Unique*. Y. Pomranz, ed . Am. Assoc. Cereal Chem : St. Paul, MN pp : 277-302.
- KASARDA D.D., OKITA T.W. et BERNADIN J.E., 1983** : Nucleic acid and amino acid equences of alpha -type gliadins from wheat (*Triticum aestivum*), *PROC. Natl. Acad. Sc. USA*, N°81, pp : 4712.
- KASARDA, D.D., 1989** : Glutenin structure in relation to wheat quality. in : *Wheat IS Unique*. Y.Pomeranz, ed. Am. Assoc. pp : 277-302
- KERBER E.R. et TIPPLES K.H., 1969** : Effect of the D-genome on milling and baking properties of wheat. *Can. J. Plant. Sci.*, N°49, pp : 255-263.
- K han et B ushuk , 1979** : Studies of glutenin XIII. Gel filtration isoelectric focusing, and amino acid composition studies. *cereal chem.* N°56, pp : 505-512.
- Khan K. et B ushuk W., 1978** : Structure and fonctionality in breadmaking. *Baker's Dig.* Vol. 52, N°4, pp : 14-20.
- Khan K. et B ushuk W., 1978** : Structure and functionality in bread making. *Baker's Dig.* Vol. 52 N°4 ; pp : 14-20.
- KHETTAL M., 1995** : Fertilisation azotée du triticales en zone Sub-humide. Thèse Ing. Dept. Agronomie Univ. BLIDA; p130.
- Kling C.I., Utz H.F. et Munzing k. 2000** : Variation of quality traits in durum wheat in relation to variety and environment. In , *Durum wheat , semolina and pasta quality*. Inra Editions. pp : 61-65.

- Kolster P., KRECHTING C.F. et VAN GELDER W.M., 1991** : Quantitative variation of total and individual high molecular weight subunits of wheat in relation to variation in environmental conditions. *J. Sci. Food Agri.* N°75, pp : 405-415.
- Kolster P., Krechting K.F. et van Gelder W.M.J. , 1991** : Quantitative variation of total and individual high molecular weight glutenins subunits of wheat in relation to environment conditions. *J. Sci. Food. Agric.*, N°57, pp : 405-415.
- KOSMOLAK F.G., DEXTER J.E., MATSUO R.R., LEISLE D. et MACHYLO B.A., 1980** : A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophoregrams. *Can. J. Plant. Sci.* Vol. 60, pp : 527-532.
- KOUADRIA, 1987** : Influence de la dose de semis et la fertilisation azotée sur l'élaboration du rendement de blé tendre variété Anza dans la région de TIARET. These Ing. INA – El-Harrach (Alger) 105 p.
- Kruger J.E. et Marchylo B.A. , 1985**: Selection column and operating conditions for reversed-phase high-performance liquid chromatography of proteins in Canadian wheat. *Can. J. Plant Sci.* N°64, pp : 285-298.
- LADJAMA, 1983** : Contribution à l'étude de la fertilisation azotée fractionnée sur une culture de blé tendre en zone sub-humide. Thèse Ing. INA – El-Harrach (Alger) p 130.
- L ebrum D. et L'helgouac'h C. , 2001** : Fertilisation azotée. Quelles conséquences sur la qualité des protéines du blé tendre. Perspectives agricoles N° 266 Mars 2001.
- LERNER . S.E.,COGLIATTI. M.,PONZIO.N.R., SEGHEZZO. M.L., MOLFESE E.R., ROGERS W.J., 20004**: Genetic variation for grain protein components and industrial quality of durum wheat cultivars sown in Argentina. In *Journal of cereal science* 40 pp 161-166.
- L oftolahi M., Alston A.M. et McDonald G.K., 1997** : Effect of nitrogen fertilizer placement on grain protein concentration of wheat under different regimes. *Aust. J. Agri. Rest* N°48, pp : 241-250.
- Luo C., Branlard W.B, Griffin W.B. et Mc Neil D.L. , 2000** : The effect of nitrogen and sulfur fertilization and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. *J. Cereal Sci.* N°31, pp : 185-194.
- M acritchie J. , 1992** : Physiological properties of wheat protein in relation to functionality. *Adv. Food. Nutr. RES.* Vol. 36, pp : 1-87.
- Marchylo B.A., KRUGER J.E. et Hatcher D.W. , 1990** : Effect of environment on wheat storage proteins as determined by quantitative reversed-phase high-performance liquid chromatography. In *Cereal chem* vol. 67, n°4, pp. 372-376
- MARION D. , NICOLAS Y., ROWC L.E. et AKOKA S., 1987** : Lipids-protein interactions in wheat gluten: a phosphorus magnetic resonance spectroscopy and Freeze-fracture, fracture electron microscopy study.. *J .CEREAL Sc.*, N°5, pp : 101-115.
- Martin G., 1994** : Comment mieux appréhender la qualité des variétés. *Industries des céréales.* (89) pp15-18.
- Martin R.J., Sutton K.H., Moyle T.H., Hay R.L. et Gillespie R.N., 1992** : Effect of nitrogen fertilizer on the yield and quality of six cultivars of autumn-sown wheat. *Crop Horti.Sci.* N°20, pp : 273-282.



- Martinant J.P., Nicolas. Y, Bouguennec A, Popinau Y, Saulnier L , 1998:** Relationships between mixogramme parameters and indices of wheat grain quality. In . Journal of cereal sciences. 27 pp179-189
- MASLE J., 1982 :** Comment se fait le rendement. Service de l'agriculture n° 142, extrait de presse SCPQ, 4 p.
- M asse et DARBING, 1993 :** Influence de l'apport d'azote sur la qualité du grain-mitadinage et protéines. Perspectives agricoles n°3.
- Matsuo R.R. et Irvine G.N., 1970 :** Effect of gluten on the cooking quality of spaghetti. Cereal. Chem. N°47, pp : 1733-1800.
- M atveef M., 1963 :** Le mitadinage des blés durs, son évaluation et son influence sur le rendement et la valeur semoulière. Bull de l'EFM, N°213, pp : 133-138.
- M atveef M., 1966 :** Influence du gluten des blés dur sur la valeur des pâtes alimentaires. Bull. anc. Elèves Ed. Fr meunerie. 213, pp : 133-138.
- MAUZE, 1972 :** Contrôle de la qualité des blés : guide pratique de l'industrie technique des céréales et des fourrages. Paris 176 p.
- MEBTOUCHE, K , 1998:** Caractérisation technologique de quelques lignées de blé dur In céréaliculture : revue technique et scientifique de l'ITGC 32 pp 27-23
- MELAS, VITERON, MOREL M.H. et FEUILLET P., 1993 :** Les sous unité gluténines de blé de faible poids moléculaire : de protéine d'avenir. Industrie de céréale, N°6, pp : 3-14.
- MEYNARD J.M., 1987 :** L'analyse de l'élaboration de rendement sur le essais de fertilisation azotée. perspectives agricoles N°155; pp : 76 – 83.
- MEYNARD, 1987 :** L'analyse de l'élaboration du rendement sur les essais de fertilisation azotée du blé, perspective agricole N°115; pp : 76 – 83.
- MICHAEL, 1981 :** The baking quality and protein characteristics of a winter wheat grown at different levels of nitrogen fertilisation. J.S. food AGR., N°32, pp : 684-698.
- M orel H., Dehlon P., Autran J.C., Leygue J.P. et Bar-L'Helgouac'h C., 2000 :** Effect of temperature, sonication time, and power setting on size distribution and extractability of total wheat flour proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. Cereal. chemistry. Vol. 77, N°5, pp : 685-691
- MOREL M.H.,1994 :** Acid-polyacrylamide gel electrophoresis of wheat glutenin : a new tool tool for the separation of high and low molecular weight subunit. Cereal. Chem., N°71, pp : 238-242.
- MOULE, 1980 :** Le céréales. Ed. maison rustique, Paris, 318p.
- NEYMOND J.A. et VEZ, 1981 :** La fumure azotée de blé. Essai de précision des doses. Revue suisse d'agriculture V.13, N° 1; pp : 7 – 13.
- OUFCHR B.,KAARSTAD O , 1990 :** Agriculture et fertilisation. Edition Norsk hydro a.s, oslo, Norvège 258 p.
- ORTH R.A. et BUSHUKK W.W.W., 1973 :** Studies of glutenin. relation of variety, location of growth, and baking uality to molecular weight distribution of subunits. Cereal. Chem., N°50, pp : 191-202.

- OSBORNE T.B., 1907** : the protein of wheat kernel carnégic. Institute Wahington DC. Publ. 84
- P ayne P., JACKSON E.A, et HOLT L.M. , 1984** :The association between  $\gamma$ -gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: A direct causal effect or the result genetics linkage. J. Cereal Sci. N°2, pp : 733.
- PAYNE P.I. et CORIFIELDS K.G., 1979** : Subunits composition of wheat glutenin protein isolated by gel filtration in dissociating medium. Planta N° 145, pp : 83-88.
- PAYNE P.I., CORFIELD K.G., HOLT L.M. et BLACKMAN J.A., 1980** : The high molecular weight of gluténin whose presence correlated with bread making quality , in wheat of related pedigree. Theo. App. Genet, N°55, pp : 153-159.
- P ayne P.I., NIGHTINGALE M.A., KRATTINGER A.F. et HOLT L.M. , 1987** : The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread making quality of british-grown wheat varieties. J. Sci. Food Agri. N°40, pp :51-65.
- PAYNE P.I., SEEKINGS A.J. et JARVIS M.J., 1987** : Allelic variation of glutenin subunits and gliadin and its effect on bread making quality : analysis of F5 progeny from Chinese spring (HOPE. 1A). J .cereal .SCI. N°6, pp : 103-118.
- Pechanek U., Karger A., GROGER S.B. , Charvat B., SCHOGGL G. et Lelley T. , 1997** : Effect of nitrogen fertilization on quantity of flour protein components, dough properties, and bread making quality of wheat. Cereal chem., Vol. 74, N°6, pp : 800-805.
- PELTONEN, J.,1995** : Grain yield and qualityof wheat a affected by nitrogen fertilizer application timed according to apical development. Acta. agri. Scand. Sect. B. Soil and plant science ,N°45, pp : 2-14.
- Pieto J.A., Kelfrens M., Weegels P.L. et H amer R. , 1992** : Variations in the gliadin pattern of flour and isolated gluten on nitrogen application. Z. Lebensm. Unters. Forsch. N°194, pp : 337-343.
- POMERANZ Y., 1982** : Mehlbasstandteile und backverhalten (flour compoment and baking behavior). Getreide Mehlbrot, N°36, pp : 26-272.
- POPINAUX Y. et DENERY-PAPINI S., 1996** : Les protéines de réserve de grain de blé ..In protéines végétales, ouvrage collection science et techniques agro alimentaires, pp : 120-159.
- POPINEAU Y., 1985** : Propriétés biochimiques et physico-chimiques des protéines de céréale. IN protéines végétale, LAVOIIER–Apria, pp : 161-210.
- PORCEDDU, E., T. TURCHETTA, S. MASCI, R. D'OVIDIO, D. LAFIANDRA, D.D. KASARDA, A. IMPIGLIA and M.M. NACHIT., 1998**: Variation in endosperm protein composition and technologicalquality properties in durum wheat. Euphytica 100 :pp 197-205.a
- P rugar J. et Sasek A., 1970** : Einflub der organischen und Minéral dungung auf die vertreuung der Eiweibfraktionen im weizenkorn. Getreide Mehl, N°20, pp : 27-29.
- P rugar J. et S asek A., 1970** : Einfluss der organischen und Mineraldungung auf die Verteretung er Eiweissfraktionen im Weizenkorn. Getreide Mehl Brot, Vol. 20, N°4, pp : 27.

- Radomir Iaztity , 1996** : The importance and general characterization of cereal proteins. In *The chemistry of cereal proteins*. 2<sup>ed</sup> edition, pp : 03-14.
- RHARRABTI Y ., ROYO C ., VILLEGAS D ., MARTOS-NUNEZ V ., DEL MORAL L.F.G ., 2003**: Durum wheat quality in Mediterranean environments II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. In *journal Crop research* 80 pp133-140.
- RHARRABTI Y ., ROYO C ., VILLEGAS D ., APARICIO.N.,, DEL MORAL L.F.G ., 2003**: Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. In *journal Crop research* 80 pp123-131.
- SCHEROMM P., Martin G., BERGOIN A. et AUTRAN J.C. , 1992** : Influence of nitrogen fertilization on the potential bread –making quality of two wheat cultivars differing in their response to increasing nitrogen supplies. *Cereal .chem*, Vol. 69, N°6, pp : 664-670.
- SELSELET-ATTOU. G., et GUEZLANE .L., 1985**: Caractéristiques physicochimiques des principales variétés de blé dur cultivés en Algérie. *Ann. INRA .Tunisie*. Vol 57 p 22 .
- Sgrulletta D. et De Stefanis E., 1989** : Relationship between pasta cooking quality and acetic-insoluble protein of semolina. *J.Cereal Sci*, N°9, pp : 217-220.
- SHEWRY P.R. et Miflin B.J. , 1985** : Seed storage protein of economically important cereals, in *advances in cereal science and technology*, Vol.7, pomaranz Y ed American Associationn of cereal chemists, ST Paul , MN,
- SHEWRY P.R., NAPIER J.A. et TATHAM A.S., 1994** : The prolamine storage protein of wheat and related cereals. *Cereals.Prog. Biophy. Molec. Biol.*, N°61, pp : 37-59.
- SINGH N.K. et Shepherd K.W. , 1991** : Linkage mapping of the genes controlling endosperm protein in wheat . I genes on the short arms of groups 1 chromosome. *Theorie App. Genet.*, N°75, pp : 628-641.
- Singh, Donovan G., Batey I. et Macritchie F., 1990** : Use of sonication and SE-HPLC in the study of wheat flour proteins. Dissolution of total proteins in the absence of reducing agents. *Cereal chem.* N°67; pp : 150-161.
- TANAKA et BUSHUK W., 1972** : Effect of protéin content and wheat variety on solubility and electrophretic propertirs of flour proteins. *Cereal Chem.* N°49 ; pp : 247-257.
- Timms M. , Albertini, Bottomly R.C., Ellis J.R.S. et Schofield J.D., 1981** : The baking quality and protein characteristics of a winter wheat grown at different levels of nitrogen fertilization. *J. Sci. Food Agric.*, N°32, pp : 684-698.
- TOUATI S.A., 1989** : Influence de la dose d'azote et de la densité de semis sur le rendement du blé dans la région de Tiaret ; ThèseIng. INA – El-Harrach (Alger); 64 p.
- Uhlen A.K., Haffskkjold R., Kalhovd A.H., Sahlstrom S., Longva A .I. et Magnus E .M. , 1998** : Effects cultivars and temperature during grain filling on wheat protein content, composition and dough mixing properties. *Cereals chem.*, Vol. 75, N°4, pp : 460-465.

- VANLONKHIJSEN H.J., HAMER R.J. et SCHREUDER C., 1992** : Influence of specific gliadins on the bread making quality of wheat. Cereal chem., N°69, pp : 174-180.
- WALL, 1979** : The role of wheat protein in determining baking quality. Bioc. of cereal, pp : 275-311.
- WASIK D.E. et BUSHUK W., 1975** : Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis of reduced glutenin of durum wheats of different spaghetti-making quality. Cereal chem. 52: p 328.
- WEISER H., SEILMEIER W. et BELITZ H.D., 1994a** : Quantitative determination of gliadins subgroup from different wheat cultivars. J. Cereal sci., Vol. 19, N°2, pp : 149-155.
- Wieser H., Seilmeier W. et Kieffer R., 1994 b** : Relationship between the amount of gluten protein type and the rheological properties of different wheat cultivars. In : Gluten Proteins 1993. Association of cereal Research, Detmold, pp : 141-150.
- Williams p., HARMEIN, F., NAKKOUL, H., et RIHAWI, S., 1988** : Crop quality evaluation : methods and guidelines. PO. box 5466, alippo, Syria second edition
- W rigley C.W. et BIETZ J., 1988** : Proteins and amino acids. IN ouvrage wheat chemistry and technology. 3<sup>rd</sup> edition, pp159-252.

# ANNEXES

## Annexe 1:

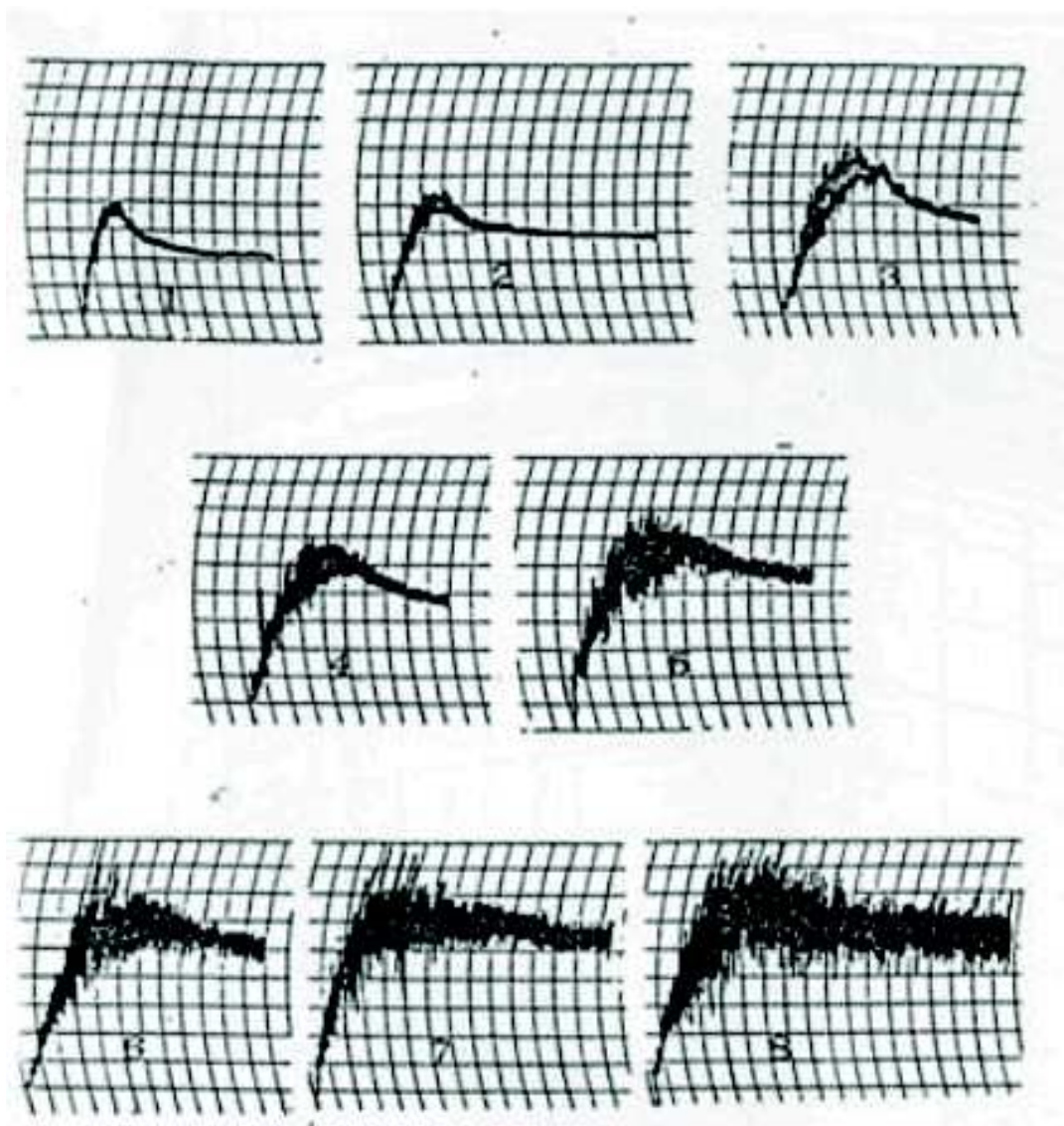
Table de correspondance de quantité d'eau à ajouter en fonction du taux de protéines pour le mixoprogramme .Université américaine du Nord DACOSTA Station expérimentale d'agriculture (Département de technologie des céréales, 1987 ) .

Teneur en protéine ( % ) de la semoule	Quantité d'eau à ajouter ( ml )
16	6,6
15,5	6,55
15	6,5
14,5	6,45
14	6,4
13,5	6,35
13	6,3
12,9	6,29
12,8	6,26
12,7	6,27
12,6	6,26
12,5	6,25
12,4	6,24
12,3	6,23
12,2	6,22
12,1	6,21
12	6,2
11,9	6,29
11,6	6,18
11,7	6,17
11,6	6,16
11,5	6,15
11,4	6,14
11,3	6,13
11,2	6,12
11,1	6,11
11	6,1
10,9	6,09
10,8	6,08
10,7	6,07
10,6	6,06
10,5	6,05
10,4	6,04
10,3	6,03
10,2	6,02
10,1	6,01
10	6,0

## **Annexe 1 (suite):**

### **Les mixogrammes de références pour les blés durs.**

Université américaine du Nord DACOSTA: Station expérimentale d'agriculture (Département de technologie des céréales, 1987 ) .



1-3 (faible) ; 4-5 (moyen); 6-8 (fort)

## Annexe 2:

Quantité d'eau à ajouter en fonction de l'humidité de la farine pour la préparation de la pâte pour la détermination de ces caractéristiques rhéologiques au moyen de l'alvéographe.( AFNOR, 1982)

Teneur en eau de la farine %	Volume e solution ml à ajouter à 250 g de farine
5.0	169.6
5.5	167.4
6.0	165.1
6.5	162.9
7.0	160.9
7.5	158.4
8.0	156.1
8.5	153.9
9.0	151.7
9.5	149.5
10.0	147.2
10.5	145.1
11.0	142.8
11.5	140.6
12.0	138.3
12.5	136.2
13.0	133.9
13.5	131.7
14.0	129.4
14.5	127.3
15.0	125.0
15.5	122.8
16.0	120.6
16.5	118.4
17.0	116.1
17.5	113.9
18.0	111.7
18.5	109.5
19.0	107.2
19.5	105.0

## Annexe 3

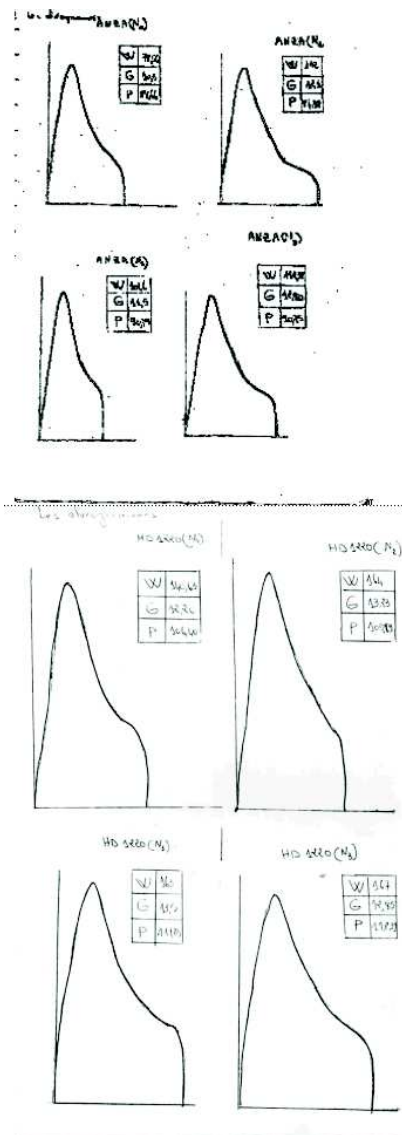
### Normes SDS ( WILLIAMS et al ..., 1988 )

SDS	Potentiel boulanger
>80 70-79 60-69 50-59 40-49 30-39 20-29 <20	Exceptionnel fort Très fort Fort Force moyenne Proche faible faible Très faible Exceptionnel faible

### Normes SDS ( WILLIAMS et al ..., 1988 )



## Annexe 4



## Annexe 5: Critères d'appréciation de la qualité des pâtes et des pains

PÂTE

**Etude de l'effet de la fertilisation azotée sur les propriétés techno-fonctionnelles des protéines de blé**

---

Sèche	Grasse	Collante		
Très extensible	Extensible	Peu extensible	Tenace	Cassante
Très élastique	Elastique	Peu élastique	Terreuse	
Ne relachant pas	relâchant			
Bon lissage	Mauvais lissage			

**POINTAGE ( 1ere fermentation)**

Paton

Très rond	rond	Plat non poreux	Plat poreux
-----------	------	-----------------	-------------

**FACONNAGE**

Pâte

Raidit	Reste ferme	relâche
--------	-------------	---------

Très extensible	extensible	Peu extensible	tenace	cassante
-----------------	------------	----------------	--------	----------

Très élastique	élastique	Peu élastique	terreuse
----------------	-----------	---------------	----------

**APPRET :**

Paton :

Très Rond	Rond	Plat non poreux	Plat poreux
-----------	------	-----------------	-------------

Pâte

Non déchirée	Déchirée
--------------	----------

**MISE AU FOUR ( COUPE ET CUISSON )**

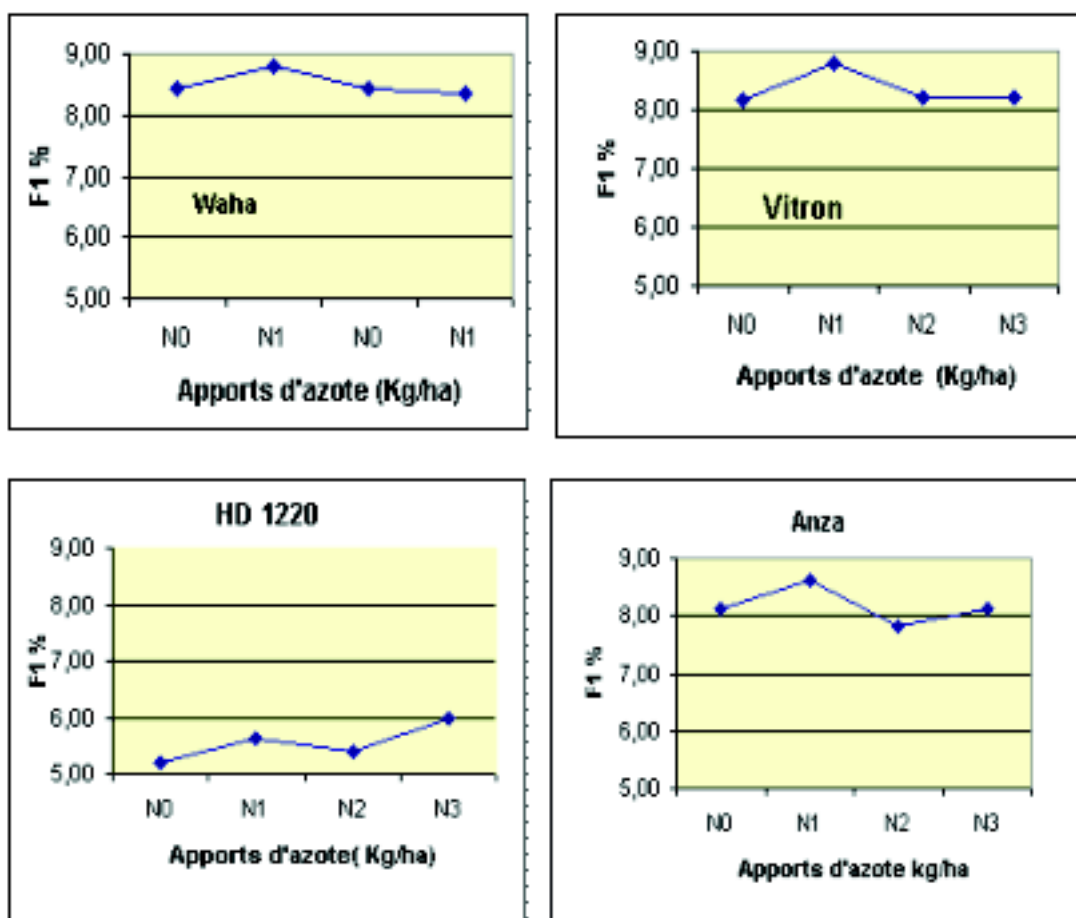
Pâte

Normale	Collante	Croûtés
---------	----------	---------

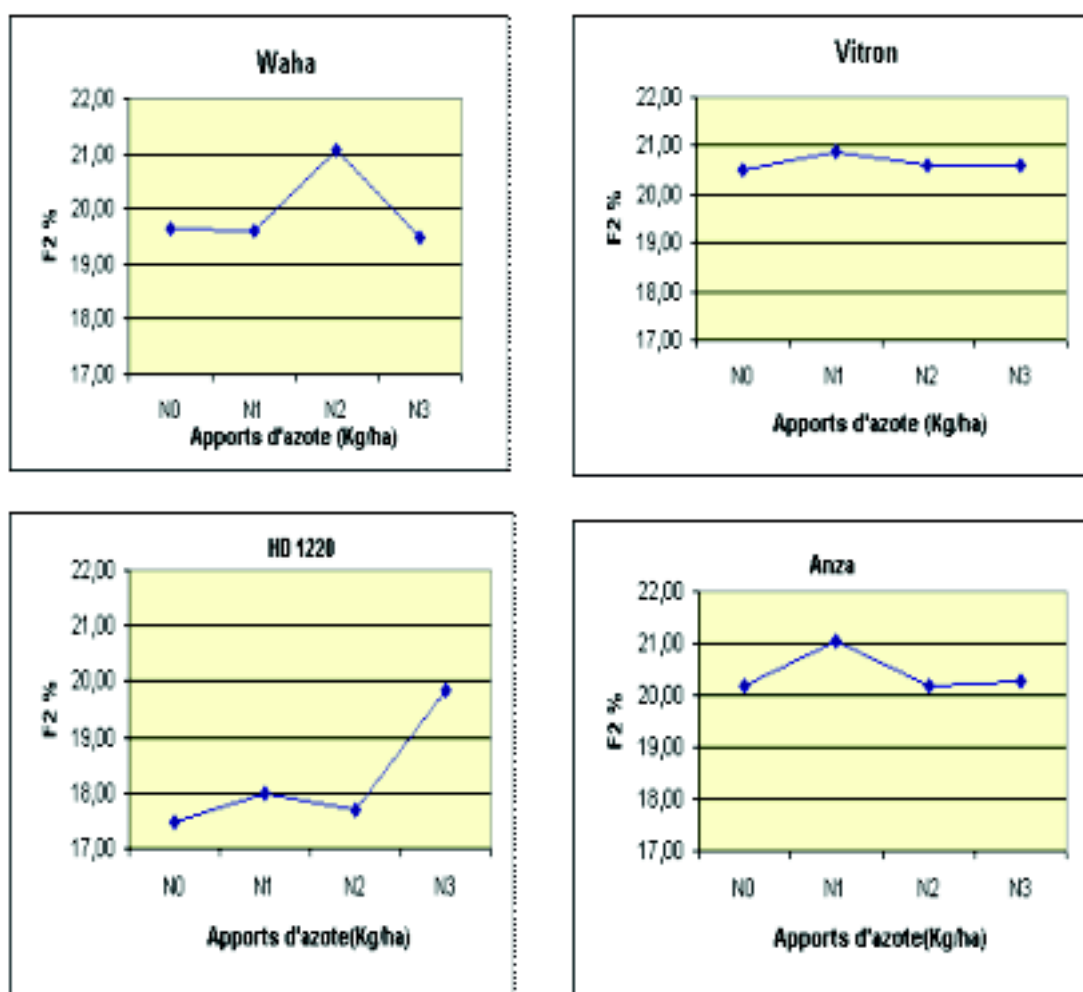
Pâton

Très rond	Rond	Plat
-----------	------	------

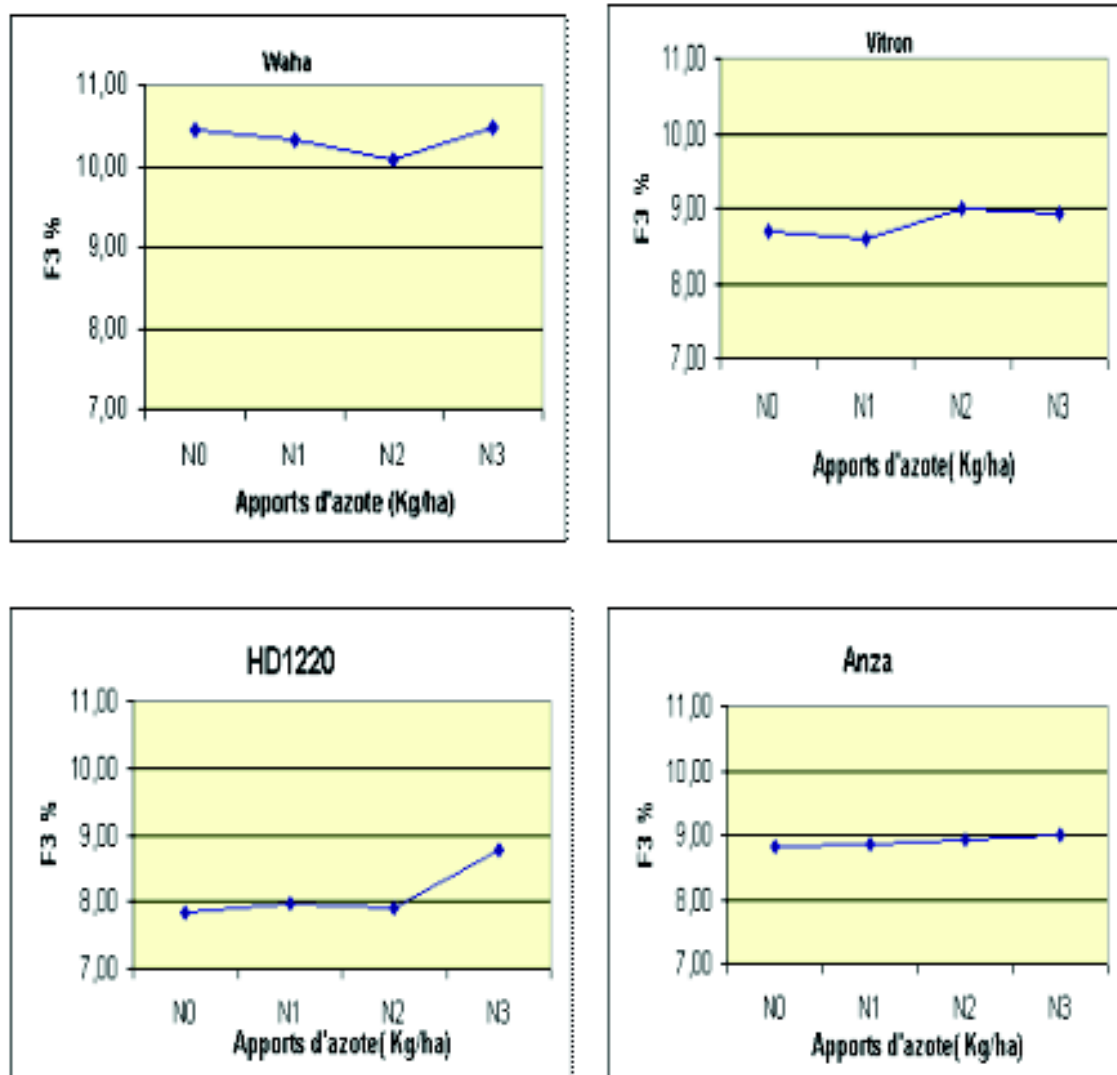
## Annexe 6 :



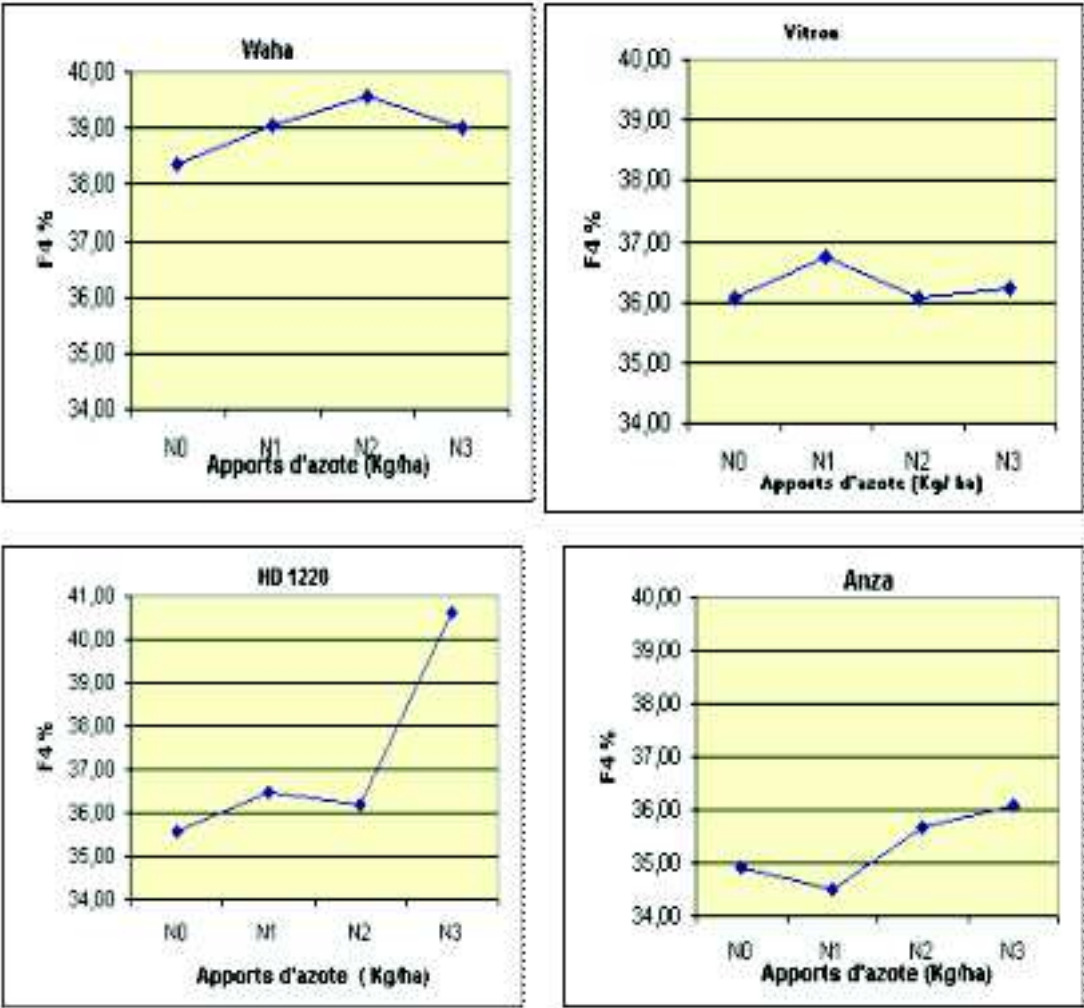
Evolution des fractions F1



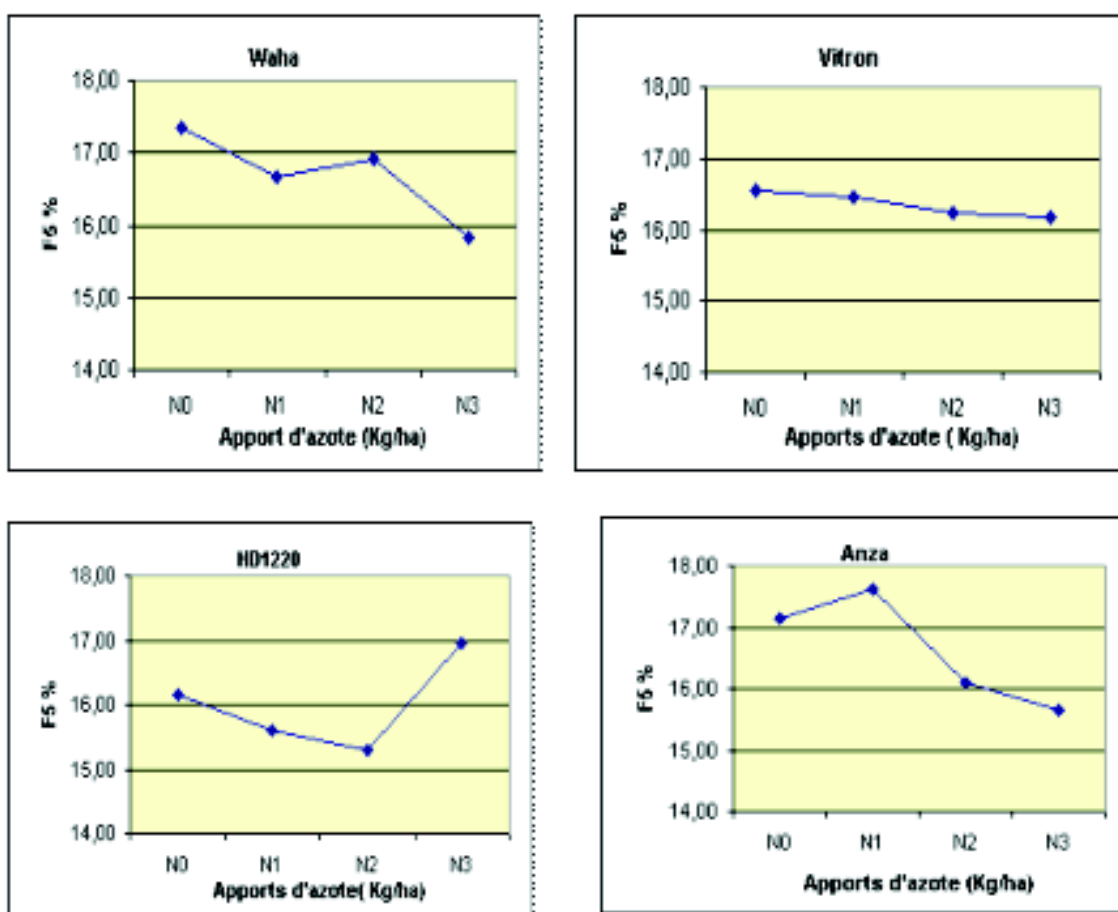
Evolution des fractions F2



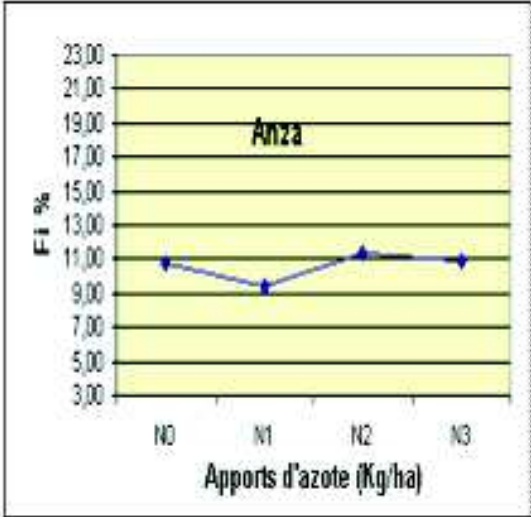
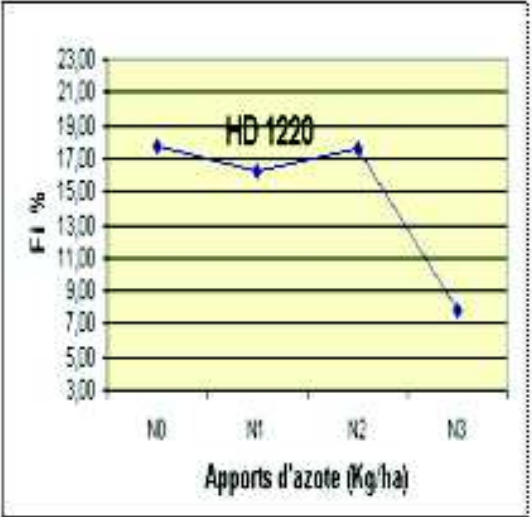
Evolution des fractions F3



Evolution des fractions F4

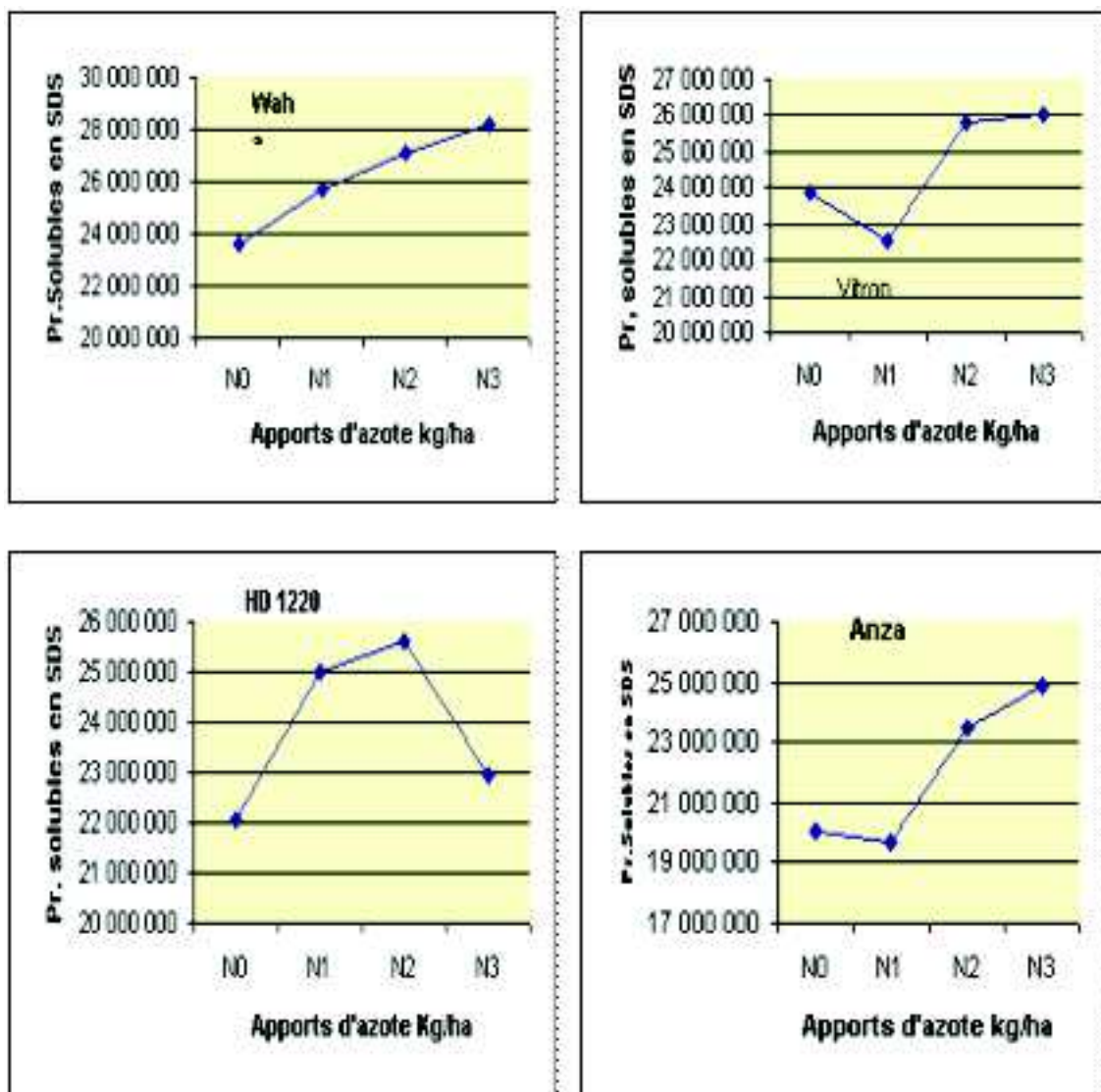


Evolution des fractions F5



Evolution des fractions Fi





Evolution des fractions Fi

## Annexe 7



Mesure de consistance



Mesure du collant

*Essai à l'alvéographe CHOPPIN des éprouvettes de pâte*



*Essai à l'alvéographe CHOPPIN des éprouvettes de pâte*



*Un Viscoélastograhe*



*Pâtes ayant une bonne  
tolérance à la cuisson*



*Pâtes collantes qui se délitent  
(mauvaise tolérance à la cuisson)*

*Aspects de la tolérance des pâtes à la cuisson.*