

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique**

**BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA**



عناية-جامعة باجي مختار

**Faculté des Sciences  
Département de Biologie**

**Thèse**

**Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat es- Sciences**

**Option**

**Biologie végétale et Amélioration des plantes**

**Adaptation du blé dur (*triticum durum desf*) dans les  
conditions des hautes plaines constantinoises**

**Présentée par :**

**Mr MORSLI Lakhdar**

**Devant le Jury**

BOUGHEDIRI Larbi	Président	Pr. Univ. Annaba
BRINIS Louhichi	Directeur de thèse	Pr. Univ. Annaba
AIDAOUI Abdallah	Examineur	Pr. INA-El Harrach
SOLTANE Mahmoud	Examineur	Pr. C.U.E. Tarf
BOUDELAA Mokhtar	Examineur	M.C. Univ. Annaba

**Année Universitaire 2009-2010**

## Remerciements

---

Voilà venu le moment le plus agréable pour exprimer ma reconnaissance et ma gratitude à toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

De prime abord, je voudrais remercier mon directeur de thèse, Mr Brinis, L qui n'a ménagé aucun effort pour m'apporter aide et assistance tout au long de ces années. Sa disponibilité de tous les instants et surtout son entière confiance, m'a donné plus de liberté d'action dans l'accomplissement de ma tâche. Pour cela, je lui dis tout simplement : Merci, Louhichi.

De même, je voudrais remercier Mr Benbelkacem, K Directeur de l'INRA de Constantine d'avoir non seulement bien voulu m'accepter au sein de la station mais aussi de m'avoir apporté une précieuse contribution lors des travaux au champ. Son expérience du terrain ainsi que celle de ses techniciens m'ont été bénéfiques.

Je tiens à adresser mes vifs remerciements à Mr Boughediri, L d'avoir bien voulu accepter de présider mon jury de soutenance.

Mes remerciements vont à MR Aidaoui, A, Mr Soltane, M et Mr Boudelaa, M qui me font l'honneur d'examiner et de juger mon travail .Leur expérience professionnelle respective me sera j'en suis sûr, bénéfique lors des débats.

Je voudrais également exprimer ma gratitude à Mr Soltani, N pour ses encouragements qu'il m'a toujours prodigués ainsi que son aide.

Mes remerciements s'adressent à Mr Tahar-Ali pour ses encouragements.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à Mr Sellam, F de L'INA d'El Harrach ainsi que Mrs Allayat, H et Samar, F du centre universitaire d'el Tarf pour leur contribution respective dans le traitement statistique de mes données.

Je ne terminerais mes remerciements sans évoquer Melle Hacini, F ainsi que la jeune équipe de chercheurs à leur tête Mlle Fellah, I du laboratoire de biologie végétale pour leur précieux concours qui ne s'est jamais démenti.

Enfin, un hommage particulier est à rendre à mon épouse et à mes enfants en particulier Youssef d'avoir été patients, de m'avoir encouragé et soutenu lors des moments difficiles et surtout d'avoir crû en moi.

---

La production du blé dur dans le constantinois à l'instar des autres régions céréalières est pénalisée par la sécheresse et notamment celle sévissant en fin de cycle végétatif.

Partant de ce constat, nous nous sommes attelés dans le cadre d'un essai agronomique mené sur deux campagnes agricoles et deux sites expérimentaux à évaluer les performances et la stabilité des rendements en grains de huit géotypes issus d'une sélection réalisée par l'ITGC d'El Khroub.

Conjointement à ce travail de terrain, des analyses au laboratoire ont été réalisées en vue d'identifier chez ces variétés les mécanismes morpho-physiologiques mis en œuvre face au déficit hydrique à même d'expliquer et de conforter en grande partie les résultats agronomiques.

C'est ainsi que l'examen de ces derniers montre l'existence de trois groupes de géotypes :

Un premier groupe, constitué des variétés Deraa, MBB/Lans et Waha doivent leurs bonnes performances agronomiques quelque soit l'année ou le site à un statut hydrique à travers une TRE plus ou moins élevée et d'une accumulation de proline ou d'une accommodation morphologique et de proline.

Le second groupe représenté par les variétés Ada/Dui/Simeto, Ada/Pri/Ofanto ne semblent productives qu'en conditions climatiques favorables et chez lesquelles il existe un ajustement osmotique maintenant des TRE élevées. En revanche chez Hebda//Aw12/Bit et M1084 quant – à- elles, semblent tirer profit d'un surcoût énergétique.

Le troisième groupe, représenté par la variété Hoggar maintiendrait des rendements acceptables en raison à la fois de sa relative tardivité et de sa tendance à accumuler et de la proline et des pigments chlorophylliens.

A l'issue de ce travail et au vu du rôle joué par l'ajustement osmotique dans la réalisation des bonnes performances agronomiques, il serait judicieux d'accorder plus de « poids » à ce paramètre dans le criblage des géotypes adaptés à la sécheresse. Il demeure entendu que de nouvelles recherches doivent être consacrées à cet aspect et chez les variétés les plus en vue afin de valider les résultats de cette étude.

### **Mots clés**

- Blé, rendement, sécheresse, tolérance, stress hydrique.

<b>Introduction.....</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre 1 : La céréaliculture en Algérie et dans le monde.....</b>	<b>03</b>
1.1 Intérêt alimentaire des céréales.....	03
1.2 Importance des céréales et du blé dur en Algérie.....	03
1.3 Les pays producteurs du blé dur dans le monde.....	04
1.4 Evolution des importations algérienne totales des céréales et de blé.....	05
1.5 Production et rendement durant la période 1990-1999.....	05
<b>Chapitre 2 : Etude de la plante.....</b>	<b>07</b>
2.1 Historique.....	07
2.2 Botanique.....	07
2.3 Origine du blé.....	07
2.4 Composition globale du grain.....	08
2.5 Présentation de la culture.....	08
2.5.1 Rappels sur les caractéristiques morphologiques et le cycle végétatif de la céréale.....	08
2.5.1.1 Caractéristiques morphologiques.....	08
2.5.1.2 Le cycle végétatif de la céréale.....	09
<b>Chapitre 3 : La sécheresse et la plante.....</b>	<b>12</b>
3.1 Sécheresse et adaptation au stress hydrique – Synthèse de la question dans la littérature.....	12
3.2 Stratégies d’adaptation.....	13
3.2.1 L’esquive.....	13
3.2.2 L’évitement.....	13
3.2.3 La tolérance.....	13
3.3 Rôles des paramètres d’adaptation.....	14
3.3.1 Paramètres phénologiques.....	14
3.3.2 Paramètres morphologiques.....	15
3.3.2.1 Hauteur de la plante.....	15
3.3.2.2 Présence des barbes.....	15
3.3.2.3 Longueur du col de l’épi.....	15
3.3.2.4 Densité racinaire.....	15
3.3.3 Paramètres physiologiques.....	16
3.3.3.1 Régulation stomatique.....	16

---

3.3.3.2	La fluorescence chlorophyllienne.....	17
3.3.3.3	Paramètres biochimiques : accumulation d'osmoticums.....	18
3.4	Stratégies de l'amélioration génétique pour la tolérance à la sécheresse.....	19
3.4.1	Sélection directe du rendement et de sa stabilité.....	19
3.4.2	Sélection indirecte du rendement dite analytique explicative.....	20
<b>Chapitre 4 : Matériel et méthodes.....</b>		<b>22</b>
4.1	Localisation des sites expérimentaux.....	22
4.2	Mise en place de l'essai.....	22
4.3	Matériel végétal évalué au cours des deux campagnes agricoles.....	23
4.4	Essai en conditions semi-contrôlées.....	24
4.4.1	Mesures et analyses effectuées.....	25
4.4.2	Analyses statistiques.....	27
4.4.3	Caractérisation climatique des deux campagnes agricoles.....	28
<b>Chapitre 5 : Résultats et discussions.....</b>		<b>32</b>
5.1	Analyse de la stabilité des rendements.....	32
5.1.1	Campagne agricole 2002-2003.....	32
5.1.2	Campagnes 2003-2004.....	33
5.1.3	Interaction génotype x environnement et génotype x année.....	35
5.1.4	Etude de la stabilité du rendement grain.....	36
5.1.5	Analyse des composantes du rendement.....	41
5.1.6	Corrélations entre rendement et ses composantes.....	42
5.1.7	Relations entre phénologie, morphologie et rendement.....	45

---

**Chapitre 6 : Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique.....47**

6.1 Paramètres morphologiques.....47

6.1.1 Biomasse matière fraîche.....47

6.1.2 Biomasse matière sèche.....51

6.2 Paramètres physiologiques.....56

6.2.1 Statut hydrique = teneur relative en eau (RWC).....56

6.3 Paramètres biochimiques.....58

6.3.1 Statut énergétique = teneur en chlorophylle.....58

6.3.2 Teneur en proline.....63

6.4 Synthèse de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques d'adaptation au stress Hydrique.....66

**Conclusion générale et perspectives.....68**

---

N°	Tableau	Page
Tab.01	Les pays producteurs du blé dur dans le monde	04
Tab.02	Evolution des importations algériennes de céréales et de blé tendre	05
Tab.03	Evolution de la superficie, de la production et du rendement des céréales durant la période 1990-1999	06
Tab.04	Caractéristiques des variétés	23
Tab.05	Liste des caractères mesurés et leurs observations	27
Tab.06	Données climatiques mensuelles et moyennes sur une période de 25 ans pour les deux campagnes agricoles sur le site d'El khroub.	28
Tab.07	Données climatiques mensuelles pour les campagnes : site d'O.El Bouaghi.	30
Tab.09	Résultats de l'analyse de variance pour le facteur rendement et ses composantes des deux campagnes agricoles	34
Tab.10	Localisation des sites, années d'étude et hauteurs pluviométriques	35

N°	Tableau	Page
Tab.11a	Corrélation entre RDT et ses composantes : site d'El khroub	42
Tab.11b	Corrélation entre RDT et ses composantes : site d'O.El Bouaghi	42
Tab.12	Analyse de variance des facteurs morpho-phénologiques des deux campagnes agricoles	46
Tab.13	Résultat de la biomasse (matière fraîche) en fonction du stress hydrique exprimés en grammes (gr)	48
Tab.14	Résultats de la biomasse (matière sèche) en fonction du stress hydrique exprimés en grammes (gr)	52
Tab.15	résultats de la turgescence relative en eau en fonction des niveaux de stress hydrique (exprimés en %)	56
Tab.16	Résultats de la teneur en chlorophylle en fonction des niveaux de stress hydrique	59
Tab.17	Teneur en proline en fonction des niveaux de stress hydrique exprimés en $\mu\text{g}/100\text{gr}$ MF des huit variétés.	63

N°	Figure	Page
Fig.01	Le cycle de développement du blé	11
Fig.02	Régression entre le rendement moyen en grain des variétés Ada/Dui//Simeto et MBB/Lan's et le rendement moyen grain des variétés étudiées dans les mêmes environnements.	37
Fig.03	Régression entre le rendement moyen en grain des variétés Hedba//Awl2/Bit et Waha et le rendement moyen grain des variétés étudiées dans les mêmes environnements	38
Fig.04	Régression entre le rendement moyen des variétés M1084 et Deraa et le rendement moyen grain des variétés étudiées dans les mêmes environnements.	39
Fig.05	Régression entre le rendement moyen des variétés Ada/Pri//Offanto et Hoggar et le rendement moyen grain des variétés étudiées dans les mêmes environnements.	40
Fig.06	Biomasse (matière fraîche) en fonction du stress hydrique exprimé en gramme(g) des différentes variétés	50

<b>N°</b>	<b>Figure</b>	<b>Page</b>
Fig.07	Biomasse (matière sèche) en fonction du stress hydrique exprimé en gramme(g) des différentes variétés.	54
Fig.08	Teneur relative en eau en fonction du stress hydrique des différentes variétés	57
Fig.09	Teneur en CHL a/CHL b en fonction du stress hydrique des différentes variétés	61
Fig.10	Teneur en proline en fonction du stress hydrique des différentes variétés	64

---

---

La production agricole dans le monde est fortement limitée par les conditions de milieu au premier rang desquelles figure la sécheresse .Cette dernière provoque une instabilité de la production suite aux fluctuations qui touchent surtout les cultures pluviales et plus particulièrement les céréales.

En Algérie, les céréales constituent l'alimentation de base de la population. Elles couvrent environ 60% des terres cultivées. Malheureusement, la production reste faible et les rendements oscillent aux grés des aléas climatiques .Cette situation a pour origine des variations climatiques défavorables marquées surtout par un déficit hydrique sévère et régulier, accompagné de fortes chaleurs de fin de cycle.

D'après Kramer (1980) le déficit hydrique est le facteur limitant majeur des rendements des céréales.

Or, la presque totalité de la superficie emblavée en céréales en Algérie est localisée dans les zones à faibles potentialités agro-climatiques .Ces zones sont caractérisées par une insuffisance et mauvaise répartition interannuelles et saisonnières des pluies, se traduisant souvent par un déficit hydrique important coïncidant avec les phases critiques de développement des céréales à l'origine de l'obtention de faibles niveaux de rendement.

Face à cette situation, diverses stratégies d'améliorations des rendements et d'adaptation peuvent être appliquées. Parmi ces stratégies la sélection de génotypes aux potentiels productifs acceptables et qui se caractérisent par une adaptation au milieu pour minimiser les baisses de productions lors des années difficiles.

Cependant, Si cette approche de sélection directe aux champs du rendement en grains et de sa stabilité est indispensable, elle reste néanmoins insuffisante en ce sens qu'elle ne rend pas compte des mécanismes mis en jeu dans la réalisation de ces performances. Aussi, le recours aux caractères morpho-physiologiques de tolérance au stress hydrique permettent dans le cadre d'une approche intégrative d'identifier les plus pertinents d'entre eux pour la recherche de génotypes stables.

A ce titre, l'étude et l'identification des caractères morpho-physiologiques liées à la tolérance au déficit hydrique réalisé au stade juvénile de la plante s'avère très efficace pour l'obtention de génotypes adaptés et stables.

Ainsi, donc l'approche directe par l'étude de la stabilité des rendements et celle dite analytique par incorporation de caractères morpho-physiologiques permettent le repérage de l'idiotype pour une meilleure productivité dans des conditions environnementales spécifiques.

Aussi, la présente étude s'assigne pour objectifs :

- d'évaluer les performances et le comportement global de 08 génotypes issus d'une sélection faite par la station de recherche agronomique -ITGC-du Khroub sur deux sites et deux années consécutives
- De déterminer les mécanismes d'adaptation des génotypes mis à l'étude et d'en identifier les plus pertinents d'entre eux, qui seraient en grande partie à l'origine du choix du ou des génotypes adaptés aux conditions environnementales de la zone d'étude.

# Bibliographie

### **1.1 Intérêt alimentaire des céréales :**

Le blé dur est exclusivement destiné à l'alimentation humaine. C'est la céréale de base de l'Afrique du Nord et du proche et moyen orient. Les céréales présentent l'avantage important de constituer des provisions pouvant se conserver sous forme de grains de grande valeur nutritionnelle et constituées par des substances amylacées et d'environ 10% de protéines. Elles sont de transformation aisée et variée par cuisson. (OUSSINAULT, 1993)

Aujourd'hui les céréales constituent une part importante des ressources alimentaires et des échanges économiques. La facilité de la culture permet d'atteindre une sécurité alimentaire qui est renforcée par les possibilités de stockage.

### **1.2 Importance des céréales et du blé dur en Algérie**

Depuis l'indépendance, les différentes politiques et interventions de l'état dans le secteur agricole avaient pour but d'améliorer le niveau de production des céréales en Algérie, et du blé dur en particulier. Les céréales sont les cultures annuelles les plus importantes pour l'agriculture algérienne (Bourras, 2001).

D'après les statistiques du Ministère de l'agriculture (1992), les céréales occupent annuellement presque 50% en moyenne de la superficie agricole utile (SAU), et représentent près de 60% des apports énergétiques (calories) de la ration algérienne moyenne ; 70% des protéines totales et 88% de protéines végétales. La production nationale des céréales demeure insuffisante et couvre moins de 25 à 30% des besoins nationaux.

Parmi toutes les espèces céréalières, le blé représente la production alimentaire la plus importante pour une grande partie de la population algérienne, pour cela, l'état est toujours intervenu dans le marché pour assurer à tous les citoyens un accès équitable à cet aliment.

Des importations massives de graines de céréales principalement le blé dur sont annuellement opérées par le gouvernement. En ce sens il a eu à mobiliser annuellement près de 2.5 milliards de \$ pour assurer les importations alimentaires, dont un tiers sert à couvrir les importations céréalières. Il est utile de rappeler que cette enveloppe représente plus de 25% des importations totales.

L'Algérie est devenue le premier importateur dans le monde, puisque ses importations annuelles représentent 50% des disponibilités totales du marché mondial (OAIC, 2000 in BOURRAS. 2001)

### 1.3 Les pays producteurs du blé dur dans le monde

Au début des années 1990, la production mondiale de blé était de 590 millions de tonnes, soit une augmentation de près de 30% par rapport aux années 1980.

A cette époque, l'union soviétique était le premier producteur mondial avec 235 millions de tonne. Mais depuis 1991 sa production a chuté, la Chine occupait la deuxième place en 1990 et les Etats-Unis, la troisième.

En 1995, la production mondiale était de 537.7 millions de tonnes et le classement des pays s'est modifié, la Chine occupe la première place avec 103 million de tonnes, viennent ensuite la CEE, l'Inde, l'ex URSS et les Etats-Unis. Le blé dur est principalement cultivé par les pays situés autour du bassin méditerranéen et sur le continent Américain (Amérique du sud et Etats-Unis) (encyclopédie ENCARTA 1998)

**Tableau n°1** : les pays producteurs du blé dur dans le monde

Pays producteurs	Production en 1995 (million de tonnes)
Production mondiale	538
Chine	103
Ensemble de pays de l'UE	88
Inde	65
Ensemble de pays de l'URSS	60
Etats-Unis	59
France	31
Russie	29
Canada	24
Allemagne	18
Espagne	3 (1996)
Italie	0.8 (1996)

Source : Encyclopédie ENCARTA 1998

### 1.4 Evolution des importations algériennes totales des céréales et de blé

Au cours des 20 dernières années, les importations toutes céréales confondues de l'Algérie, ont été conditionnées par l'évolution de la population, de la production nationale de céréales et de l'évolution du pouvoir d'achat.

Il ya 20 ans, la population algérienne était de 18 millions d'habitants, elle est aujourd'hui estimée à 30 millions, toute la production de céréale était 1.8 millions de tonnes (moyenne de 1979/79/80) dont 1.2 millions de tonnes de blés (tendre et dur). Actuellement, elle de 3 millions de tonnes (moyenne de 1996/97/98) dont 2 millions de tonnes de blés (tendre et dur). Dans le même temps, les importations sont passées de 1.5 millions de tonnes (moyennes des campagnes 1978/79/80) à 4.9 millions de tonnes (moyennes des campagnes 1996/97/98) dont 3.7 millions de tonnes concernant le blé (tendre et dur) (COTTON, 2000) (Tableau n°2).

**Tableau n°2** : Evolution des importations algériennes de céréales et de blé tendre

	Importations céréales et produits dérivés (x1000 tonnes)	Importations blé tendre toutes origines (x1000 tonnes)	Importations de blé tendre origine France (x1000 tonnes)
Moyenne 78/80	1300	130	130
Moyenne 80/83	2030	600	260
Moyenne 83/86	2500	1100	430
Moyenne 86/89	6900	1400	690
Moyenne 89/92	5600	1500	830
Moyenne 92/95	6500	1500	800
Moyenne 95/98	4900	1200	430

Source : Cotton, 2000.

### 1.5 Production et rendement durant la période 1990-1999

Malgré les efforts techniques apportés, la production céréalière en Algérie stagne et les rendements n'ont guère évolué. La contrainte majeure qui semble être à l'origine de cette situation s'identifie dans la variation interannuelle des précipitations et dans l'utilisation insignifiante des engrais et herbicides (BOURRAS, 2001). En outres, les itinéraires techniques préconisés ne sont pas respectés, notamment :

- Des semis effectués le plus souvent à la volée.
- Un non respect de la période requise des semis.
- Des taux de pertes à la récolte élevées.
- Une indisponibilité en quantité suffisante des variétés nouvellement sélectionnées (BOURRAS, 2001)

En conséquence de tout cela, la situation de la céréaliculture se caractérise par une stagnation des rendements, une faiblesse de la production et une grande variabilité interannuelle de celle-ci. En effet, l'analyse de l'évolution de la superficie, de la production et du rendement du blé dur et du blé tendre durant la période 1991-1999 (tableau n°3) montre que :

- Les céréales occupent une superficie moyenne annuelle de 2.448.200 ha.
- Le blé dur occupe 44% de cette superficie et que le blé tendre n'en présente que 19%.
- Sur le plan de la production céréalière, la part du blé dur représente environ 10.375.000 q (soit 50% de la production) avec un rendement moyen de 9.14 q/h, alors que celui de blé tendre est de 8.49 q/h (BOURRAS, 2001).

**Tableau n°3 : Evolution de la superficie, de la production et du rendement des céréales durant la période 1990-1999**

Campagne Agricole	Céréales			Blé dur			Blé tendre		
	Superficie (1000ha)	Production (1000Q)	Rendement (Q/ha)	Superficie (1000ha)	Production (1000Q)	Rendement (Q/ha)	Production (1000Q)	Production (1000Q)	Rendement (Q/ha)
90-91	2.365.0	16.247.2	6.87	867.9	5.549.5	6.39	314.9	1.951.3	6.70
91-92	3.529.5	33.279.3	9.43	1.332.7	13.445.3	10.10	515.3	4.912.2	9.53
92-93	1.958.7	14.517.7	7.41	972.7	7.960.7	8.18	282.8	2.204.4	7.80
93-94	1.286.3	9.632.4	7.49	683.6	5.624.3	8.08	208.9	1.515.5	7.25
94-95	2.578.6	21.380.0	8.29	1.175.9	11.886.7	10.11	504.8	3.112.5	6.16
95-96	3.752.6	49.000.0	13.06	1.585.5	20.345.7	12.83	963.0	9.480.3	9.84
96-97	1.115.0	8.693.0	7.79	591.0	4.554.0	7.70	234.0	2.060.0	8.80
97-98	3.575.0	30.250.0	8.46	1.707.0	15.000.0	8.78	870.0	7.800.0	8.96
98-99	1.877.0	20.260.0	10.79	884.0	9.000.0	10.10	477.0	5.700.0	11.94
Moyenne	2.448.2	22.584.4	8.84	1.088.9	10.375.1	9.14	486.2	4.304.0	8.49

Source : ONS et MAP pour les campagnes 1990-1991 et 1995-1996 . MAP pour les campagnes 1996-1997 et 1998-1999

## **2.1 Historique**

Le blé fait partie des trois céréales, plante la plupart du temps graminée (le Sarrazin ou blé noir, est une polygonacée) dont les grains sont utilisés pour la nourriture humaine ou animale ; du grec Cérès (la déesse des moissons) monocotylédones qui constituent la base alimentaire des populations du globe : blé, riz, maïs. L'origine du blé (Triticum), du maïs (Zea) et du riz (Oryza) semble être commune ; le terme de blé vient probablement du gaulois blato (à l'origine du vieux français *blaie*, *blee*, *blaier*, *blaver*, d'où le verbe *emblaver*, qui signifie *ensemencer en blé*) et désigne les grains qui, broyés, fournissent de la farine, pour des bouillies (polenta), des crêpes ou du pain. On retrouve donc sous le nom de blé des espèces variées : le genre Triticum (du latin tritus, us = broiement, frottement) : le blé moderne (froment), mais aussi l'orge (Hordeum) et le seigle (secale cereale), le blé noir (sarrasin : *fagopyrum esculentum*, polygonacée), le blé des canaries (alpiste, *phalaris canariensis*), cultivée comme nourriture pour les serins, le nom dérivant probablement des oiseaux (canaris) et non de l'île, du moins primitivement), le blé de Turquie (maïs). (Henry et Jacques, 2000).

## **2.2 Botanique**

Le blé appartient à

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiosperme
- Classe : Monocotylédones
- Ordre : Poales
- Sous ordre : Comméliniflorale
- Famille : Graminacées ou Poacées

## **2.3 Origine du blé**

Le blé constitue le genre Triticum qui comporte de nombreuses espèces, se répartissant en trois groupes selon leur nombre de chromosomes : ALLIOUI (1997)

- Le groupe Diploïde : ( $2n = 14$  chromosomes) ou triticum monococcum
- Le groupe Tétraploïde : ( $2n = 28$  chromosomes) ou triticum dicoccum (Amidonnier), ici on trouve Triticum durum (blé dur).
- Le groupe Héxaploïde ( $2n = 42$  chromosomes) ou triticum sativum.

Ces trois groupes d'espèces auraient trois centres d'origine :

- Le foyer Syrien et Nord palestinien : blé diploïde
- Le foyer Abyssin : blé tétraploïde
- Le foyer Afghano-Indien : blé hexaploïde

### **2.4 Composition globale du grain :**

Amidon glucide	Protéine	Lipide	Cellulose (hémicellulose)	Sels minéraux
75,6 (+5)	14,5 (+4)	2,0 (+1)	5,7 (+1)	2,2 (+0.3)

### **2.5 Présentation de la culture**

La connaissance de l'impact de chaque phase de développement du blé sur la formation du rendement, et les clés d'identification précises de chaque stade sont indispensables à l'agriculteur pour raisonner ses interventions culturales et valoriser au mieux chacune d'elles (Gate et al, 1993)

#### **2.5.1 Rappels sur les caractéristiques morphologiques et le cycle végétatif de la céréale**

##### **2.5.1.1 Caractéristiques morphologiques**

- a. Le grain :** Le fruit des graminées est un caryopse sec indéhiscant à maturité.
- b. Appareil végétatif :** Le système aérien de la plante se développe en produisant un certain nombre de talles, qui se développent en tiges cylindriques formées par des nœuds séparés par des entre-nœuds. Chaque tige porte à son extrémité une inflorescence.

Deux systèmes radiculaires se forment au cours de développement :

- Un système primaire : se sont des racines séminales qui fonctionnent de la germination au tallage.
- Un système secondaire : de type fasciculé, les racines partent des nœuds les plus bas et sont presque toutes au même niveau (plateau de tallage)

- c. **Appareil reproducteur** : Les fleurs sont groupées en inflorescence. Chacune est composée d'unités morphologiques de base : les épillets. Le blé dur, le blé tendre et l'orge sont des plantes autogames ou à autofécondation.

**2.5.1.2 Le cycle végétatif de la céréale** : (fig.1). Selon Robert (1993), le cycle de la céréale comporte les stades suivants :

**a. Semis-levée**

- Cette période correspond à la mise en place du nombre de pieds/m<sup>2</sup>. La plante forme des ébauches des futures feuilles.
- Levée : apparition de la première feuille qui traversent le coléoptile (qui est une gaine enveloppant la première feuille)
- 2-3 feuilles : ce stade est caractérisé par le nombre de feuilles de la plantule.

**b. Le tallage**

- **Stade début tallage** : lorsque la plante possède quatre feuilles, une nouvelle tige (la talle primaire) apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée. C'est le stade appelé également <<double ride>> dans lequel le bourgeon végétatif évolue en bourgeon floral. Aussi les ébauches des futurs épillets apparaissent à l'aisselle des ébauches de feuilles constituant une succession verticale en double ride.
- **Stade plein tallage** : les talles apparaissent successivement ; talles primaires des deuxièmes et troisièmes feuilles et puis talles secondaires à l'aisselle des feuilles des talles primaires. Des ébauches d'épillets se forment pendant le tallage, alors que les ébauches de feuilles régressent.

**c. La montaison**

- **Stade épi 1 cm** : c'est la fin du tallage herbacé, marqué par l'élongation des entrenœuds de la tige principale. Au niveau des futurs épillets, on peut observer la formation des ébauches de glumes.
- **Stade 1 à 2 nœuds** : le premier, puis le second entre- nœud de la tige principale s'allonge. Au cours de cette période, se succèdent deux stades au niveau de l'épi.

Le premier stade, correspondant à la formation des glumelles et le deuxième correspondant à la différenciation de l'épillet terminal. Ce dernier indique que le nombre d'épillets est définitif, et alors s'initie la phase de formation des fleurs.

- **Stade méiose mâle** : à ce stade, l'épi gonfle et la gaine de la dernière feuille ainsi que les grains de pollen se différencient dans les anthères. C'est une période particulièrement importante dans l'élaboration du nombre de grains.

#### **d. L'épiaison**

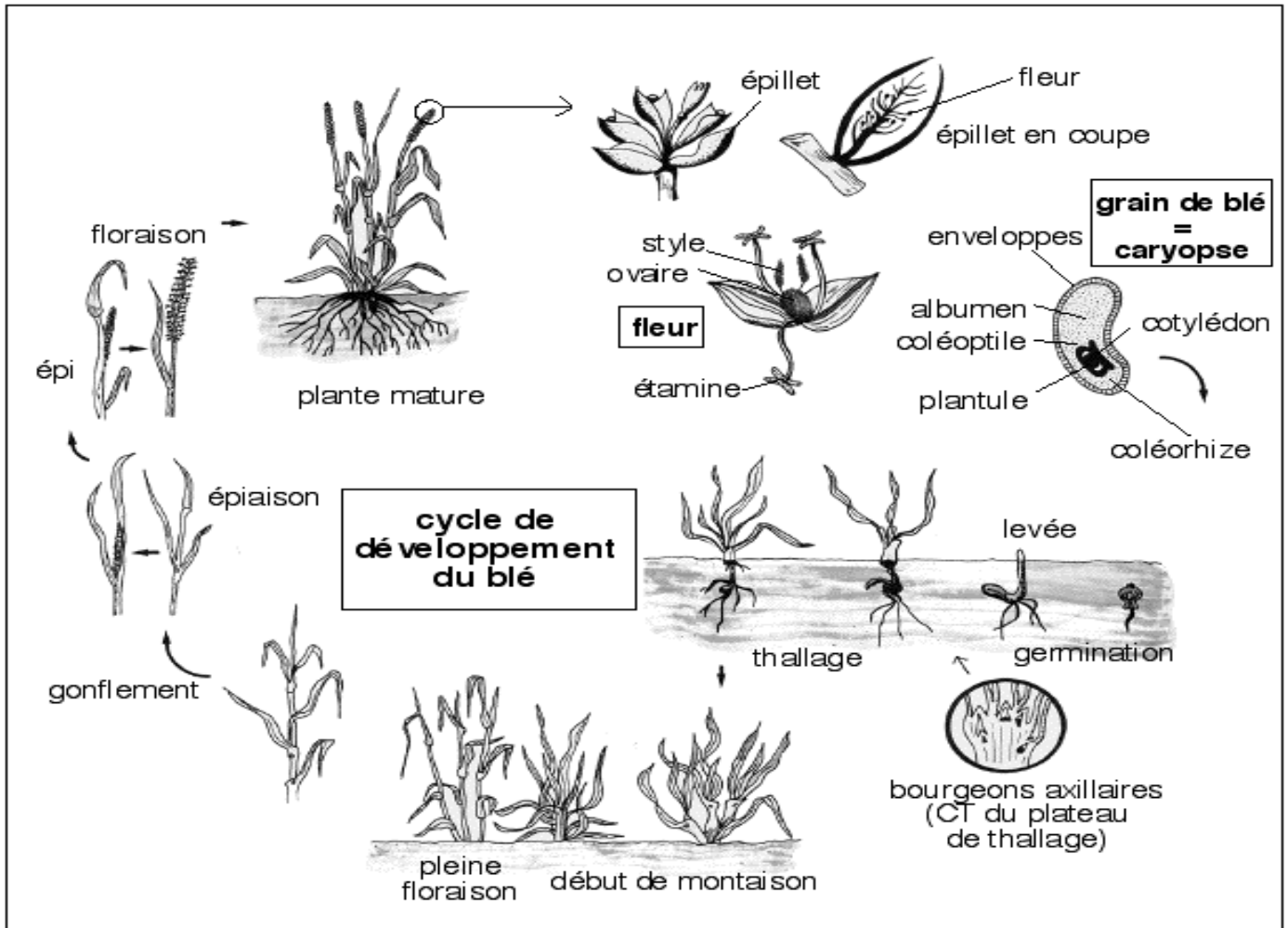
Ce stade recouvre la période des épis, depuis l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille.

#### **e. La floraison**

C'est l'apparition des étamines hors des épillets. A ce stade, la croissance des tiges est terminée, la fécondation a déjà eu lieu et le nombre de grains maximum est donc fixé.

#### **f. Le remplissage du grain**

- **Stade grain laiteux** : les enveloppes du grain sont formées. La taille potentielle du grain est déterminée.
- **Stade grain pâteux** : le poids de 1000 grains est acquis par suite du remplissage des enveloppes.
- **Grain mûr** : Obtenu après la dessiccation du grain entre stade laiteux et pâteux. La quantité d'eau contenue dans le grain est stable (BOURRAS. 2001).



Le cycle de développement du blé.

### **3.1 Sécheresse et adaptation au stress hydrique – Synthèse de la question dans la littérature**

L'eau est l'élément vital du développement et de la survie de la plante. Elle est l'essence même de la vie par le fait qu'elle est l'élément constitutif principal des plantes et des animaux.

D'après Diehl(1975), l'eau constitue par l'intermédiaire des solutions du sol, la base essentielle de l'alimentation de la plante. Elle est le précurseur du fonctionnement normal de la cellule végétale (Deysson 1970).

La sécheresse ou tout déficit hydrique dans le sol entraîne chez les plantes un stress hydrique qui est l'expression d'une incapacité des végétaux à satisfaire une demande d'évapotranspiration (Kramer 1969).

D'après Levitt (1980), ce stress hydrique peut provenir soit d'une activité d'eau insuffisante soit excessive dans l'environnement de la plante. De même qu'il peut être temporaire (durant les heures les plus chaudes de la journée) ou permanent (durant une période plus ou moins longue de sécheresse). Ce dernier type de sécheresse s'il venait à persister finit en général par tuer la plante.

Selon Azzi (1954) la période critique par rapport à l'eau c'est-à-dire sa disponibilité dans le sol est chez le blé, quinze jours précédent l'épiaison. Si au cours de cette période, l'humidité du sol reste inférieure à la limite compatible avec le développement normal de la plante, la récolte sera compromise même si durant la période végétative les conditions ont été favorables.

Pour Pecyrmonte (1972) cette période se situe entre la montaison et le gonflement. Face au déficit hydrique, la réaction de la plante dépend d'un certain nombre de facteurs liés notamment au génotype, à ce stade de développement et à l'intensité et durée du stress (Turner 1997)

### **3.2 Stratégies d'adaptation**

Selon Levitt (1982) l'adaptation des végétaux au déficit hydrique obéit à 3 formes distinctes ; l'esquive (drought scapers), l'évitement et la tolérance.

**3.2.1 L'esquive** est basée sur la plasticité de la phénologie de la variété. Elle consiste à réaliser le cycle pendant la période favorable en réduisant voire en annulant les effets du stress hydrique qui se produit au cours d'une phase sensible ou critique.

La précocité chez les céréales en zones méditerranéennes est un mécanisme largement exploité par les agriculteurs. Mais il n'est pas sans présenter des inconvénients (Blum 1988).

De nombreux travaux ont montrés l'existence d'une corrélation positive entre la longueur du cycle et le rendement potentiel. L'adoption d'une telle stratégie par l'utilisation de variétés précoces entraîne le sacrifice d'une part de productivité.

**3.2.2 L'évitement** permet de maintenir par divers mécanismes un statut hydrique ou thermique élevé dans la plante lui permettant de maintenir un statut hydrique interne nécessaire à un fonctionnement plus ou moins normal des fonctions physiologiques sans trop grande perturbation. Il est peut être obtenu par la limitation de la transpiration par la fermeture des stomates ou par le phénomène d'enroulement foliaire. Ces derniers ont des incidences plus ou moins grandes sur la perte de turgescence (Hsiao et Bradford 1984).

El Hakimi (1992) mentionne la stratégie d'adaptation par le développement d'un système racinaire extensif et profond pour résister à la sécheresse de l'air.

**3.2.3 La tolérance**, permet à la plante de contenir les effets du stress qui s'installe en assurant des fonctions physiologiques à un rythme plus réduit que la normale grâce à l'abaissement du potentiel osmotique.

Cette stratégie permet le maintien de la turgescence cellulaire grâce à une diminution du potentiel osmotique qui permet de compenser la baisse du potentiel hydrique foliaire. C'est le phénomène de l'ajustement osmotique (Morgan, 1983-Blum, 1989).

L'ajustement osmotique permet une protection membranaire au niveau des organes jeunes surtout.

Monneveux (1991) affirme que la tolérance à la déshydratation est l'aptitude plus ou moins grande du génotype à maintenir l'intégrité des structures membranaires et des fonctions physiologiques.

L'adaptation peut avoir plusieurs origines (esquive, évitement, tolérance). Quelle que soit l'origine de son adaptation une variété arrive à produire sous stress hydrique (Levitt, 1982).

L'adaptation générale et spécifique renvoie aux notions de niveau et de régularité de rendement en grains (Finlay et Wilkinson, 1963).

En effet une large adaptation de génotypes est associée à des rendements plutôt modestes, comparativement à ceux réalisés par des variétés dont l'adaptation est spécifique (Boragevique et Williams, 1982).

### **3.3 Rôles des paramètres d'adaptation**

#### **3.3.1 Paramètres phénologiques**

Il s'agit d'éviter les périodes critiques du cycle de développement (hautes températures, déficit hydrique) en les situant en dehors des moments de risque de survenue d'accidents climatiques. Ces paramètres renvoient à la notion d'esquive ou d'évitement grâce à l'utilisation de génotypes précoces.

D'après Papadakis (1983), la précocité d'un génotype par rapport à un autre se matérialise par le nombre de jours à réaliser jusqu'à l'épiaison lorsqu'ils sont semés et à la même date.

De ce fait l'utilité de la sélection se basant sur la précocité dans la date d'épiaison est plus à même de répondre aux soucis d'éviter à la plante des contraintes liées aux froids tardifs et surtout la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle (Van oosteram et al .1993).

### 3.3.2 Paramètres morphologiques

#### 3.3.2.1 Hauteur de la plante

Il a été admis que les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont celles qui se caractérisent par une paille haute. Cette tolérance résulterait de l'aptitude à remplir correctement le grain en phase terminale du cycle grâce aux quantités d'assimilats stockées dans la tige et particulièrement au niveau du col de l'épi (Blum 1988).

Elle s'expliquerait aussi et souvent par le fait qu'une paille élevée est associée à un système racinaire profond capable d'une meilleure aptitude d'extraction de l'eau du sol (Bagga et al.1970).

#### 3.3.2.2 Présence des barbes

Les barbes augmentent chez les céréales la possibilité d'utiliser les assimilats lors de la phase de maturation des graines. Elles arrivent à contribuer pour environ 15% au remplissage du grain du fait qu'à ce moment, elles sont les seuls organes qui restent photo synthétisant (Grignac 1965).

Selon Blum (1988), l'activité photosynthétique est moins affectée par les hautes températures de fin de cycle que la feuille étendard.

Grignac (1965) indique que les blés barbus sont plus résistants que les blés faiblement aristés lors d'un déficit hydrique.

#### 3.3.2.3 Longueur du col de l'épi

Ce paramètre constitue un bon indicateur de tolérance au déficit hydrique (Fisher et al.1978).

Le rôle de ce paramètre s'expliquerait par la quantité d'assimilats stockée par ces organes susceptibles d'un transfert vers le grain en cas de déficit terminal (Gate et al.1990).

#### 3.3.2.4 Densité racinaire

La densité racinaire vue sous l'angle du nombre et de la profondeur est un indicateur de l'aptitude de la céréale à extraire de l'eau du sol surtout en zones sèches où elle manifeste un dynamisme dans la croissance (Richards et Passiora 1981).

Hurd (1968), cité par Némmar (1983) mentionne qu'un système racinaire bien développé contribue à l'obtention d'un bon rendement en grains en cas de déficit hydrique.

Ces mêmes auteurs et suite à une étude réalisée sur quelques variétés algériennes et étrangères de blé dur, ont constaté une réduction de la masse racinaire sèche reflétant l'inhibition de la croissance due au déficit hydrique avec diminution du diamètre liée à une contraction et une perte de turgescence des racines.

D'après Cruiziat (1974), ce phénomène aurait alors pour effets induits :

- Une contribution importante des racines aux pertes en eau de la plante,
- Une réduction de la perméabilité à l'eau des tissus racinaires entraînant une réduction de l'absorption,
- Une réduction des surfaces de contact sol-racines et une augmentation concomitante des résistances sol-plantes au transfert de l'eau.

### **3.3.3 Paramètres physiologiques**

#### **3.3.3.1 Régulation stomatique**

Face à un déficit hydrique, la fermeture des stomates représente le premier phénomène majeur conduisant à des pertes d'eau (Lake et al 1963 cité par Nemmar 1983).

Il est le premier mécanisme détectable avant toute modification des autres paramètres hydriques tels que le potentiel hydrique foliaire, le potentiel osmotique et la teneur relative en eau (Djekkoun et Ikhlef, 1996).

D'après Lawlor (1976) cité par Larbi (1992) la réduction de la transpiration liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire est attribuée initialement à la fermeture des stomates.

En cas de stress hydrique, la transpiration épidermique joue un rôle important. Elle est définie selon Belhassen et al, (1995) comme la somme des transpirations s'effectuant par la cuticule et par les stomates incomplètement fermés. Ce type de transpiration semble plus efficace que celui effectué par les grands stomates en moins grand nombre (Percevaux, 1963).

Parmi les nombreux caractères d'adaptation, il y a l'efficacité de l'eau qui est définie comme étant le rapport de la quantité de matières sèches produites par unité de volume d'eau évapo-transpirée. Elle équivaut au rapport entre le CO<sub>2</sub> assimilé et l'eau transpiré (Hafsi, 2001).

La teneur relative en eau ou turgescence cellulaire figure parmi les nombreux critères d'évaluation de la tolérance au stress hydrique. C'est une caractéristique liée en premier au génotype. Elle permet à la plante de maintenir un statut hydrique foliaire capable de garantir la continuité de l'activité métabolique dont entre autres la photosynthèse.

Cette teneur dépend de 3 facteurs à savoir :

La capacité d'extraction de l'eau du sol, le contrôle des pertes de l'eau par les surfaces foliaires et les possibilités d'ajustements osmotiques (Araus et al, 1991).

Rascio (1985) mentionne que les génotypes qui maintiennent une teneur relative en eau élevée sont les plus résistantes à la sécheresse.

### **3.3.3.2 La fluorescence chlorophyllienne**

Kautsky et al (1960) et Kautsky et Kirsh (1971) cités par Benlaribi (1990) indiquent que la soumission d'une feuille à l'éclairement après une période d'obscurité provoque un changement rapide dans l'intensité de la fluorescence au contact de la lumière. Ce phénomène s'appelle « effet Kautsky ».

Todd et Webster (1965) ont montré que chez le blé ce n'est pas la chlorophylle qui est inhibée mais plutôt la chlorophylle précurseur de la chlorophylle (a).

D'autres auteurs comme Planchon (1976) ont indiqué la corrélation très étroite qui existe entre la couleur de l'épi et de la teneur en chlorophylle (a). De même qu'il note que l'assimilation nette mesurée par un éclairement saturant est liée à la chlorophylle totale et la chlorophylle (a).

De la sorte, il a été souvent suggéré l'utilisation de courbes de fluorescence pour détecter les conditions de stress de la plante et mesurer ainsi rapidement leur degré de tolérance à la contrainte (Smille et Hetherington, 1983).

A cet effet, Guettouche 1990 indique que les variétés tolérantes sont celles qui ont un rapport Ch(a)/Ch(b) élevé avec une coloration pâle du feuillage.

### **3.3.3.3 Paramètres biochimiques : accumulation d'osmotocums**

#### **a. La proline**

C'est un acide aminé qui peut s'accumuler sous l'action d'un stress hydrique, salin ou thermique (Paquin, 1977 ; Hubac, 1978 ; Tal et al, 1979). Elle intervient comme une réaction de la plante. L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus en vue du stress hydrique. Elle résulterait d'une activité intense du métabolisme de la plante suite à un stress, lequel pourrait avoir lieu à n'importe quel stade. Elle donne lieu à l'accumulation d'autres acides aminés comme l'Asparagine, la Glutamine, la Serine, la Glycine (Levitt, 1972).

La concentration en proline suite à une sécheresse peut atteindre jusqu'à 100 fois celle que l'on trouve dans les tissus en turgescence (Polfi et al, 1972).

Dib et al (1990) indiquent que l'accumulation de proline chez différentes variétés de blé au stade juvénile est corrélée positivement avec le degré de tolérance au déficit hydrique évalué en plein champ.

Rajagopal et al (1977), en réponse à un stress hydrique ont trouvé une accumulation de proline au bout de 12 à 15 heures.

#### **b. Sucres solubles**

Lors d'une sécheresse prolongée, on assiste à la disparition de l'amidon et une accumulation de sucres solubles dans les feuilles. Cette accumulation varie en fonction du degré de tolérance du génotype. C'est le saccharose qui s'accumule le plus tandis que le glucose et le fructose sont à des teneurs réduites.

Selon Binet (1989) l'enrichissement en sucre, outre l'incidence sur l'ajustement osmotique, a un effet protecteur des membranes de la dessiccation.

Korichi(1993), montre que les variétés de blé qui accumulent plus de sucres solubles ont une meilleure aptitude à conserver leur teneur relative en eau.

### **3.4 Stratégies de l'amélioration génétique pour la tolérance à la sécheresse**

La sécheresse cause chaque année des pertes importantes de rendements chez les céréales (ou l'on peut noter jusqu'à 50% du rendement normal). Aussi, pour palier à cet inconvénient majeur récurrent, une stratégie globale est proposée par Monneveux et Depigny-This (1995).

Elle consiste à associer des études conduites à différents niveaux d'intégration (Génome, plante, peuplement) en se basant sur l'amélioration directe du rendement en conditions défavorables et la sélection indirecte sur des critères morphologiques, physiologiques, génétiques et moléculaires.

#### **3.4.1 Sélection directe du rendement et de sa stabilité**

Il s'agit d'une approche empirique utilisée jusqu'ici par les sélectionneurs. Elle consiste à tester au moyen d'essais multi- locaux et sur plusieurs années les matériels génétiques et d'en identifier ceux qui y sont adaptés. Le rendement en grains qui en résulte est la meilleure approche pour étudier la réponse des cultivars à la variation environnementale (Pfeiffer, 1993).

La stabilité du rendement résultant de telles expérimentations est l'expression de la variation entre le potentiel génétique et celui permis par le milieu pour une variété donnée.

Les faibles rendements sont synonymes d'une mauvaise adaptation ou tolérance du milieu aux divers stress. En revanche, des rendements stables et élevés rendent plutôt compte soit d'une certaine hétérogénéité génotypique de la tolérance au stress hydrique soit d'une grande capacité de compensation des composantes de rendements voire même la combinaison de ces deux caractéristiques (Bansal et Sinha, 1991).

Toutes ces études ont un dénominateur commun à savoir l'étude du rendement et sa stabilité corrélée à l'interaction des géotypes\*milieu.

Dés 1974, Reitz regroupe les variétés en 3 catégories :

- Les variétés maintenant des rendements élevés dans une large gamme d'environnement ou « adaptation large ».
- Des variétés assurant des rendements élevés dans des environnements à fortes contrainte ou variétés rustiques.

- Des variétés ne donnant de bons rendements qu'en condition favorables, variétés à haute productivité.

Depuis, des modèles mathématiques ont vu le jour. Dans leur ensemble, ces modèles sont purement descriptifs du comportement. Ils ne cherchent ni à expliquer le rôle des facteurs du milieu ni le fonctionnement biologique de la plante. La plupart de ces modèles sont linéaires.

Cependant, l'expérience acquise dans la sélection génétique montre que la prise en compte du seul critère du rendement et de sa stabilité demeure quelque peu insuffisante. L'utilisation d'autres critères pour la sélection simultanée pour l'adaptation et l'amélioration du rendement s'avère nécessaire. Daddy et al (1973) suggèrent la prise en compte de paramètres morpho-physiologiques.

### **3.4.2 Sélection indirecte du rendement dite analytique explicative**

- Cette sélection se base dans un premier temps sur l'étude des mécanismes d'adaptation des paramètres morpho-physiologiques et qui, plus concrètement consiste à isoler le mécanisme à l'étude de façon individuelle et en comprendre et en expliquer les phénomènes biochimiques et physiologiques qui sous-tendent la tolérance ou la résistance.

L'objectif visé par cette approche est de ne retenir en sélection que les caractères inductibles, ayant sur l'ensemble du cycle de la plante une certaine pertinence face à une large gamme d'intensités de stress. Une telle démarche (qui se doit de prendre aussi en compte l'héritabilité du caractère, si celle-ci a été déjà évaluée), conduira à accorder de l'importance à tel mécanisme ou à tel autre, par exemple l'ajustement osmotique ou la perte graduelle en eau -RWL-.

- Dans un second temps, sur une approche expérimentale (corrélative). Elle permet dans le cadre d'essais effectués au champ de rechercher des relations qui existent entre le rendement et/ou certains indices exprimant la tolérance du génotype et l'expression de certains caractères morpho-physiologiques associés à différents types de sécheresse. L'identification de critères issus du raisonnement inductif de ces deux démarches (de manière simultanée) permet de cerner de façon pertinente les caractères d'adaptation génotypique qu'il conviendrait de valider dans le cadre d'un programme de sélection pour l'amélioration génétique.

# Materiel et méthodes

#### **4.1 Localisation des sites expérimentaux**

L'étude a été conduite à la station expérimentale (ITGC) d'El khroub et à la ferme pilote Aghezlen de la wilaya d'O.El bouaghi durant deux campagnes agricoles consécutives (2002-2003 et 2003-2004) et dont les coordonnées géographiques sont respectivement : 36,38° Nord et 4,17° Est à une altitude de 640m et 36,1° Nord et 6,5° Est à une altitude de 869m.

De par ces situations géographiques, il est tout naturel d'avoir des contrastes pédoclimatiques assez prononcés.

La zone se caractérise par un hiver froid et un été chaud et sec propres aux plaines intérieures Telliennes. La pluviométrie y est de l'ordre de 300 à 500 mm/an.

#### **4.2 Mise en place de l'essai**

L'essai a été mis en place au cours de la campagne agricole 2002-2003. Il a été reconduit dans les mêmes conditions durant la campagne suivante.

Il est constitué de huit géotypes de blé dur issus d'une sélection multi locales représentant dans l'ensemble des lignées interspécifiques améliorées ; le but étant de tester le comportement et les performances de ces géotypes eu égard aux variations climatiques enregistrées durant ces deux années d'expérimentations dans les deux sites.

Le matériel végétal est semé sur des parcelles élémentaires de 6m<sup>2</sup> chacune selon le dispositif en randomisation totale à 4 répétitions soit un total de 32 micro parcelles sur chaque site d'essai.

Les précédents culturaux des parcelles sont : une jachère travaillée au niveau de la ferme pilote et un légume sec (pois-chiche) à la station d'El- khroub.

Les travaux effectués ont consisté en un labour profond au mois de mars pour la ferme et en septembre à El khroub suivi de deux passages de cover-croop avec épandage d'engrais de fond : T.S.P (triple superphosphate 46%) à raison de 1 quintal/ha.

Au mois de mars-avril, il a été effectué un épandage d'engrais azotés sous forme d'urée 46% à raison de 1 quintal/ha.

De plus, un désherbage chimique au stade tallage a été réalisé au moyen d'Illoxan B et Topik-Grand star.

Le semis quant à lui, il a été réalisé pour la campagne 2002-2003 de fin novembre à la mi-décembre.

La seconde année, le semis a accusé un léger retard dans l'ensemble et en particulier à el - khroub en raison des fortes précipitations ayant sévi en début de campagne agricole et qui ont perturbées le déroulement normal des travaux de champ.

C'est ainsi que l'essai a été installé sur la période allant de fin décembre à la mi-janvier.

### **4.3 Matériel végétal évalué au cours des deux campagnes agricoles**

Le tableau n°4 indique les variétés et leurs caractéristiques

**Tableau n°4 : caractéristiques des variétés**

Pédigree	Origine et caractéristiques
1- ADA/DUI//simeto	Variété italienne, semi-naine, tardive
2- M.BB//Lahn's'	Croisement entre une variété algérienne Med Benbachir avec une variété syrienne.
3- Hebda//Awl2/Bit	Croisement avec une algérienne, syrienne et mexicaine ; paille moyenne, résistante aux maladies
4- Waha	Sélection de l'Icarda (Syrie) ; très bonne productivité ; paille courte
5- M.1084	Lignée sélectionné à l'Icarda, d'origine marocaine ; paille courte, bonne productivité
6- Deraa	Variété de l'Icra 50 ; paille courte, précoce, bonne productivité
7- ADA/PRI//Offanto	Variété italienne ; paille haute, productivité moyenne
8- Hoggar	Sélection algérienne, semi-naine, haute productivité

**Notations et mesures**

- Durée de la phase végétative comptée en jours du 1<sup>er</sup> janvier à la date de sortie de plus de 50% des épis par parcelle élémentaire.
- La hauteur du chaume a été mesurée juste avant la récolte au champ, de la surface du sol jusqu'au sommet de la strate moyenne des épis, barbes non incluses.
- Le nombre d'épis par comptage des épis de l'échantillon de végétation dont le nombre est ramené à l'unité de surface ( $m^2$ ).
- Le nombre de grains au  $m^2$  est déduit par comptage au moyen d'un compteur électronique des grains formant le rendement en grains de l'échantillon de végétation. Ce nombre est ramené à l'unité de surface.
- Le nombre de grains par épi est estimé par calcul du nombre de grains par  $m^2$  sur le nombre d'épis par  $m^2$
- Le poids de mille grains (PMG) est estimé par calcul du rendement en grains (RDT,  $gr/m^2$ ) ramené au nombre de grains au  $m^2$ , le tout multiplié par mille.
- Le rendement en grains (RDT au  $m^2$ ) est déterminé à la récolte de l'essai à la moissonneuse batteuse.

**4.4 Essai en conditions semi-contrôlées**

Il s'agit de connaître et d'approfondir la connaissance des mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués dans l'adaptation au stress hydrique des huit génotypes. A cet effet une serre a été réservée au niveau du département de biologie de l'Université de Annaba. Dans cet essai les génotypes ont été compartimentés en trois lots représentant des stress hydriques différenciés :

- 1<sup>er</sup> lot de 8 variétés ne subissant aucun stress hydrique :  $T_0$
- 2<sup>ème</sup> lot de 8 variétés subissant un stress faible :  $T_1$
- 3<sup>ème</sup> lot de 8 variétés subissant un stress prononcé :  $T_2$

Au début de l'expérimentation les trois lots de plantes ont été arrosés à la capacité de rétention soit 500 ml/pot. Puis ensuite après la levée, le deuxième lot de plants faiblement stressé reçoit une dose d'arrosage de 300 ml/pot. Quant au troisième lot, la dose d'arrosage a été de 150 ml/pot et cela jusqu'à la fin de l'expérimentation soit au stade « 5 feuilles ». Le lot des plants non stressés est quant à lui, maintenu constamment à la capacité de rétention.

#### 4.4.1 Mesures et analyses effectuées

- **Analyses morphologiques : biomasse végétale**

Au stade « 5 feuilles », deux échantillons ont été prélevés pour chaque variété et chaque traitement (témoin et stressé) et ont été pesés puis passés à l'étuve à 85°C pour en déterminer le poids frais et sec des différentes parties constitutives de la plante (racines et partie aérienne).

- **Analyses physiologiques : teneur relative en eau TRE (RWC)**

La turgescence relative des feuilles a été déterminée selon la méthode décrite par Barrs (1968), et Rascio (1988), et Rich et al (1990). Cette méthode consiste à couper la feuille à la base du limbe et à la peser immédiatement (poids frais) puis à la placer dans l'eau distillée à l'obscurité pendant 24 heures (poids à la turgescence). Cet échantillon est mis ensuite à sécher à l'étuve à 80°C pendant 24 heures et pesé juste après (poids sec)

$$RWC = \frac{(pf-ps)}{RW-DW} \times 100$$

Pf = Poids frais

Ps = Poids sec

RW = Poids à turgescence

DW = poids sec de la feuille à turgescence

- **Analyses biochimiques**
  - **Dosage de la chlorophylle**

Il a été effectué de la façon suivante : pour chaque génotype nous avons prélevé 100mg de matière végétale fraîche pesée juste après leur prélèvement (dans le 1/3 médian de la feuille).

L'extraction est effectuée par broyage en présence d'acétone à 80%, auquel on ajoute CaCl<sub>2</sub> pour faciliter le broyage. L'extrait est filtré à l'aide d'un papier filtre, ensuite mis dans des boîtes noires pour éviter tout contact avec la lumière.

La lecture au spectrophotomètre se fait aux longueurs d'ondes de 663 et 645 nm ; le zéro du spectrophotomètre est réglé au blanc de gamme composé d'acétone et de CaCl<sub>2</sub>.

Les concentrations en chlorophylle sont données par la formule relative au solvant établi par Mc.Kinney-Arnon (1949)

$$\text{Ch (a)} = 12(\text{Do } 663) - 2.67 (\text{Do } 645)$$

$$\text{Ch (b)} = 22.5 (\text{Do } 645) - 4.68 (\text{Do } 663)$$

$$\text{Ch (a)} + \text{Ch (b)} = 0.52 (\text{Do } 663) + 20.2 (\text{Do } 645).$$

#### - Dosage de la proline

Il a été déterminé selon la méthode Troll et Lindsley (1955), modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). 100mg de matière fraîche (prélevé au 1/3 médian de la feuille) ont été utilisés. Le fragment végétal pesé est coupé en petits morceaux et introduit dans un tube à essai. On ajoute 2 ml de méthanol à 40% aux tubes à essai. L'ensemble des tubes est chauffé au bain marie à 85°C pendant 60 minutes.

Les tubes sont fermés hermétiquement pour éviter la volatation de l'alcool. Après refroidissement, on prélève 1 ml de la solution de chaque tube à essai, qu'on met dans un autre jeu de tubes et auquel on ajoute 1 ml d'une solution préparée par un mélange fait de 120 ml d'eau distillée puis 300 ml d'acide acétique plus 80 ml d'acide ortho phosphorique ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) plus 25 mg de ninhydrine. On porte à ébullition à 100°C pendant 30 mn.

Résultat 1 : la solution vire au rouge. Après refroidissement, ajouter 5 ml de toluène.

Résultat 2 : deux phases se séparent, une supérieure qui contient la proline et l'autre inférieure sans proline reste transparente.

Après avoir récupéré la phase supérieure on ajoute du sulfate de sodium ( $\text{NaSO}_4$ ) pour éliminer l'eau qu'elle contient.

La lecture au spectrophotomètre se fait à une longueur d'onde de 528 nm.

Le zéro du spectrophotomètre est réglé grâce au blanc de gamme composé (de 1 ml d'éthanol à 40% + 1 ml d'acide acétique + 1 ml du mélange + 25 mg de ninhydrine).

La quantification se fait d'après l'équation de la courbe d'étalonnage.

#### 4.4.2 Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel « STAT ITCF » (de l'institut technique des céréales et des fourrages) pour la partie agronomique.

Pour ce qui concerne la partie inhérente à la physiologie, l'analyse statistique a été réalisée au moyen du logiciel « MINI-TAB ».

**Tableau n°5 : liste des caractères mesurés et leur observation**

Caractère	abréviation
<b>1- <u>Phénologie</u></b>	
• Durée de la phase végétale (NJ)	NJEP
<b>2- <u>Morphologie</u></b>	
• Hauteur du chaume (Cm)	HT
<b>3- <u>Productivité</u></b>	
• Nombre d'épis/m <sup>2</sup>	EPM2
• Nombre graines/épis	GREP
• Poids de mille grains (g)	PMG
• Rendement en grains (g/ m <sup>2</sup> )	RDT
<b>4- <u>Physiologie</u></b>	
Turgescence cellulaire (%)	TRE
<b>5- <u>Biochimie</u></b>	
• Proline (mg/100g de MF)	PRO
• Chlorophylle	CHL
<b>6- <u>Productivité au laboratoire</u></b>	
• Biomasse fraîche (gr)	Bio F
• Biomasse sèche (gr)	Bio S

### 4.4.3 Caractérisation climatique des deux campagnes agricoles

La pluie est un facteur déterminant de la production céréalière en Algérie. Elle représente un réservoir à partir duquel la plante s'alimente. La quantité d'eau nécessaire à l'élaboration de 1gr de matière sèche est variable. Elle représente l'efficience de l'eau qui est le rapport de la quantité de matière sèche élaborée par unité de volume d'eau évapo -transpirée. De façon générale, pour un climat méditerranéen, ce rapport est voisin de 300. En d'autres termes, il faut environ 300 ml d'eau effectivement utilisée par la plante pour produire 1 gr de matière sèche. Pour un rendement de 20 quintaux de grains et un indice de récolte de 40%, il faudrait 150 mm de pluie efficace pour un rendement de matière sèche de 50 quintaux/ha.

#### 4.4.3.1 Données climatiques des deux sites d'étude

**Tableau n°6 : Données climatiques mensuelles et moyennes sur une période de 25 ans pour les deux campagnes agricoles sur le site d'El khroub.**

Mois	Pluviométrie		Moyenne/25 ans	Ecart/2002-2003	Ecart/2003-2004	T° moyenne (°c)
	2002-2003	2003-2004				
9	22.3	61.5	37.5	-15.2	+24	21.3°
10	26.5	46.0	38.6	-11.8	+7.5	17.9°
11	134.7	19.8	44.6	+90.1	-24.8	12.3°
12	109.7	148	73.2	+36.5	+74.8	9.2°
01	231.2	87.2	62.8	+168.4	+24.4	10.0°
02	50.2	11.5	53.8	+3.6	-42.3	6.3°
03	31.7	66.4	52.6	-20.9	+13.8	10.5°
04	120.1	47.5	59	+61.1	-11.5	14°
05	44.4	66.2	42.3	+2.1	+23.9	17.7°
06	04.8	29.7	19.3	-14.5	+10.4	25°
Total	775.9	583.8	483.7	+292.2	+99.4	

**Source :** Station ITGC d'El Khroub et ONM.

L'examen du tableau montre que l'année 2003-2004 se rapproche de la normale (moyenne sur 25 ans) où l'on note un écart pluviométrique de +99 mm soit 17% du total annuel.

Alors que l'année 2002-2003 s'est caractérisée par un excédent pluviométrique de +292 mm représentant 37% du total annuel par rapport à la normale.

L'analyse de la répartition de la pluie selon les saisons et notamment hivernale et printanière pourrait nous renseigner sur le comportement des génotypes et expliquerait en grande partie leur productivité respective.

L'automne 2002-2003 s'est caractérisé par un cumul pluviométrique d'environ 183 mm de pluie représentant 23% du total. Cette quantité d'eau a permis la mise en place de la culture. L'hiver a été marqué par un total pluviométrique de 391 mm représentant 50% du total annuel et un écart de 202 mm par rapport à la normale. Cet excédent a vraisemblablement gêné la croissance des plantes. Le printemps quant à lui ressemble au total enregistré sur 25 ans (196 mm contre 159 mm) et semble avoir permis un développement des plantes avec en phase de maturation, un assez bon remplissage et grossissement du grain et ce, compte non tenu des sévices des hautes températures de fin de cycle.

L'année 2003-2004 a dans son ensemble, de par la bonne répartition hivernale et printanière des pluies, été plus bénéfique en ce sens qu'à un mois pluvieux a succédé un mois relativement sec (écarts pluviométrique mensuelle de l'année à ceux enregistrés sur 25 ans). Cette relative alternance d'épisodes pluvieux et sec a permis un bon ressuyage du sol tout en lui faisant maintenir une bonne humidité.

A l'instar du site d'El khroub, nous enregistrons à O.El Bouaghi pour l'année 2002-2003 un excédent pluviométrique annuel.

La répartition mensuelle des pluies indique que la saison automnale a été marquée par un cumul de 170 mm représentant environ 42% du total. Alors que les saisons hivernale et printanière ont totalisées respectivement 120 mm soit environ 30% et 68 mm. Cette répartition montre qu'en dépit de l'excédent annuel, il ya eu vraisemblablement bénéfices qui en a été tirés pour les plantes.

Les hauteurs pluviométriques à O.El Bouaghi se caractérisent pour la campagne 2003-2004 par un cumul automnal d'environ 33% du total, alors que pour les saisons hivernale et printanière ce dernier avoisine respectivement 41% et 25%.

**Tableau n°7 : Données climatiques mensuelles pour les campagnes site d'O.El Bouaghi.**

Mois	Pluviométrie		T° moyenne (°C)
	2002-2003	2003-2004	
09	50.7	73.2	30
10	38.8	13.4	21
11	81.1	09.7	8.5
12	52.4	95.1	10
01	42.2	12.2	4.5
02	25.3	13.0	12.5
03	43.9	22.8	14
04	37.1	23	16.5
05	8.4	24.4	25
06	23	2.5	31
Total	402.9	289.0	

**Source :** Ferme pilote Aghezlen ( O.El Bouaghi)

### Conclusion

La répartition pluviométrique saisonnière de la campagne 2002-2003 semble avoir été plus bénéfique sur le site d'O.El Bouaghi que sur celui d'El khroub en ce sens que l'excédent pluviométrique hivernal a probablement gêné le développement normal des cultures. Alors que pour la campagne 2003-2004 cette répartition se rapproche de la normalité (moyenne/25 ans) au niveau du site d'El khroub et semble avoir joué favorablement en ce sens qu'à un mois pluvieux succède un mois relativement sec permettant ainsi au sol de se ressuyer tout en permettant un stockage d'une certaine quantité d'eau.

# Résultats et discussions

## **5.1 Analyse de la stabilité des rendements**

L'analyse des données dans cette partie concerne les rendements exprimés en quintaux/ha des 8 géotypes d'origines diverses et aux comportements agronomique contrastés d'un site expérimental à l'autre. Ces comportements sont l'expression de la présence de pédoclimats très différents.

### **5.1.1 Campagne agricole 2002-2003**

Cette campagne a été marquée par un excédent pluviométrique notamment pendant la saison hivernale nettement supérieur à la normale (moyenne sur 25 ans). Cette situation, a plus contrarié les performances des géotypes du site d'El khroub réputé favorable que ceux d'O.El Bouaghi.

L'analyse de variance (tableau n°9) révèle un effet hautement significatif entre les géotypes et très hautement significatif entre les années. Le site le plus favorable est celui de la ferme pilote (O.El Bouaghi) toutes variétés confondues. Vient ensuite celui d'El khroub.

La moyenne des rendements passe de 52.37 Qx.ha<sup>-1</sup> à O.El Bouaghi à 42.45 Qx.ha<sup>-1</sup> à El khroub.

La supériorité des rendements s'est manifestée à O.El Bouaghi pour toutes les variétés à l'exception de M1084 où la moyenne a été de 39.89 Qx.ha<sup>-1</sup>.

Les meilleurs rendements moyens sont détenus par la variété Hoggar (52.37 Qx.ha<sup>-1</sup>) suivies par Deraa (51.16 Qx.ha<sup>-1</sup>), Waha (50.9 Qx.ha<sup>-1</sup>), MBB/Lan's (49.57 Qx.ha<sup>-1</sup>), ADA/Pri//Ofanto (47.24 Qx.ha<sup>-1</sup>), ADA/Dui//Simeto (46.88 Qx.ha<sup>-1</sup>). En dernière position nous avons Hedba//Awl/Bit (41.31 Qx.ha<sup>-1</sup>).

### **Conclusion**

En dépit de la relative faiblesse des hauteurs pluviométriques cumulées durant la campagne mais néanmoins meilleure répartition saisonnière, le site d'O.El Bouaghi a permis à la quasi-totalité des géotypes d'exprimer leurs performances en les plaçant dans des conditions pluviométriques plus adéquats.

### 5.1.2 Campagnes 2003-2004

Pour cette seconde campagne, les sites se classent de la façon suivante : Le site d'El khroub présente une moyenne de rendements toutes variétés confondues de 55 Qx. ha<sup>-1</sup> ; celui de la ferme pilote d'O. El bouaghi enregistre quant à lui, une moyenne de 50,9 Qx. ha<sup>-1</sup>.

Il faut souligner que bien que durant la campagne agricole précédente, ce site ait enregistré un écart de +292mm par rapport à la normale sur 25ans, ce gain substantiel de pluie n'a eu aucun impact positif sur le rendement en raison de leur mauvaise répartition.

En revanche et sur ce même site (El Khroub) avec un gain pluviométrique de moindre importance (+99mm), nous y enregistrons une supériorité de rendements des variétés à l'exception de Waha et Hoggar.

Ceci nous amène à l'idée que pour des cultures pluviales telles que le blé, le souci premier doit être la répartition mensuelle de pluie et notamment celles coïncidant avec les périodes reproductrice et de maturation.

Les meilleurs rendements moyens des sites sont obtenus par Deraa (60.46 Qx. ha<sup>-1</sup>) ; Ada/Pri//Ofanto (57.14 Qx. ha<sup>-1</sup>) ; Ada/Dui//simeto (54.95 Qx. ha<sup>-1</sup>) ; Hedba//Awl/Bit(53.26 Qx. ha<sup>-1</sup>) ; Waha (51.8 Qx. ha<sup>-1</sup>) ; M.BB/Lahns (51.37 Qx. ha<sup>-1</sup>) ; M1084 (48.94 Qx. ha<sup>-1</sup>) ; Hoggar (46.58 Qx. ha<sup>-1</sup>).

### Synthèse des résultats des performances agronomiques des géotypes

A la lumière des résultats sur les rendements des deux campagnes agricoles et des caractéristiques climatiques particulières de celles de 2002-2003 où le site d'O.El Bouaghi a été plus proche d'une année normale, il nous semble possible de tirer quelques traits caractéristiques du comportement des variétés en situation globalement défavorable (année 2002-2003) et globalement favorable (année 2003-2004).

C'est ainsi qu'on peut identifier un premier groupe constitué des variétés Deraa, Waha, MBB/Lan s' qui semblent maintenir un niveau appréciable de productivité quelle soit l'année ou le site, ce qui semble augurer d'une certaine flexibilité environnementale. Le second groupe représenté par les variétés Ada/Dui//Simeto, Ada/Pri//Offanto, Hedba//Awl2/Bit, M1084 ne semble vouloir exprimer son potentiel productif que sous des conditions climatiques favorables.

Le troisième groupe est représenté par Hoggar qui lui, semble exprimer de manière claire son aptitude à produire en condition climatique défavorable à l'exemple de la campagne 2002-2003.

**Tableau n°9** : Résultats de l'analyse de variance pour le facteur rendement et sescomposantes

Variable	Effet génotype		Effet site		Effet année		Inter géno x site		Inter géno x année		Inter site x année		Inter géno x site x année	
	F	Prob.	F	Prob.	F	Prob.	F	Prob.	F	Prob.	F	Prob.	F	Prob.
RDT	3.4	0.0028 **	2.9	0.0879 NS	15.06	0.0 ***	1.04	0.407 NS	4.03	0.000 ***	27.34	0.000 ***	2.88	0.0089 **
EPM2	123.19	0.000 ***	32.95	0.000 ***	32.95	0.0 ***	0.3	0.94 NS	0.3	0.94 NS	32.25	0.000 ***	0.32	0.94 NS
GREP	684.17	0.000 ***	433.2	0.000 ***	145.2	0.0 ***	28.63	0.000 ***	21.77	0.000 ***	634.8	0.000 ***	8.06	0.000 ***
PMG	213.56	0.000 ***	504.3	0.000 ***	7.5	0.0073 **	73.67	0.000 ***	3.39	0.0029 **	554.7	0.000 ***	10.24	0.000 ***

NS : non significatif

\*\*\* : très hautement significatif (seuil signification 1%°)

\*\* : hautement significatif (au seuil de 1%)

\* : significatif (au seuil de 5%)

### 5.1.3 Interaction génotype x environnement et génotype x année

L'analyse globale de la variance montre un effet non significatif entre les génotypes et les sites et un effet très hautement significatif entre les génotypes et les années (cf tableau n°9).

Il est à noter que les interactions génotypes X années entraînent très souvent des modifications importantes du comportement variétal qui dans le contexte assez limité de 2 campagnes agricoles et de 2 sites ne nous permet pas de les déterminer et les caractériser avec une bonne approximation.

Néanmoins, nous pouvons au moyen de l'étude de la droite de régression linéaire simple élaborée par Finlay et Wilkinson (1963) nous représenter quelque peu leur comportement vu les contrastes environnementaux des deux sites d'étude, comme l'indique le tableau n°10.

**Tableau n°10** : Localisation des sites, années d'étude et hauteurs pluviométriques

Environnement	Site d'essai	Année	Hauteur pluviométrique
E <sub>1</sub>	Zone centre	2002/2003	775 mm
E <sub>2</sub>	Zone centre	2003/2004	583 mm
E <sub>3</sub>	Zone sud	2002/2003	402 mm
E <sub>4</sub>	Zone sud	2003/2004	289 mm

Cette analyse permet au moyen des rendements de chaque variété et des moyennes des rendements de ceux obtenus dans ces milieux de juger de l'adaptation de chacune d'elle.

C'est ainsi que lorsque :

- $a > 1$  nous avons des génotypes très productifs
- $a = 1$  correspond à des génotypes stables capables de s'adapter à des environnements différents.
- $0 < a < 1$  correspond à des génotypes tamponnant les variations du milieu.

#### 5.1.4 Etude de la stabilité du rendement grain

Comme indiqué précédemment l'analyse globale de la variance montre un effet non significatif entre les génotypes et les sites. A présent la question qui se pose est de savoir quelle serait la réaction des génotypes si nous étions dans le contexte d'une couverture environnementale plus large et plus diversifiée. En somme, il s'agirait de cerner les comportements d'adaptabilité potentielle et les performances des génotypes et ce, au moyen de la régression linéaire. Il est entendu que cette dernière n'est qu'un modèle descriptif du comportement variétal qui ne cherche ni à expliquer ni à définir le rôle des facteurs environnementaux ni celui du fonctionnement biologique de la plante.

L'analyse des figures 2, 3, 4, 5 représentant les droites de régression des variétés étudiées mises en rapport avec leurs performances moyennes et celles obtenues dans les mêmes environnements montre l'existence de deux types de variétés :

- Un premier type constitué des variétés dont le comportement est de valoriser les milieux favorables mais mal adapté aux milieux défavorables. Il s'agit des variétés suivantes : Ada/Dui//Simeto, Hedba//Awl/Bit, Deraa et M1084 avec respectivement des pentes(a) et des coefficients de régression (r) de : (1,1) et 0,67 ; (1,45) et 0,74 ;(1,28) et 0,76 ;(1,47) et 0,85.
- Un second type représenté par Ada/Pri//Offanto qui, avec un coefficient (a) de 0,99 se rapprocherait des génotypes relativement stables sur un ensemble d'environnements. Il reste que la preuve de ce comportement n'a pas été fournie ici. D'autres génotypes plus caractéristiques de leur tendance à tamponner les variations des milieux sont représentés par MBB//Lan's , Waha et peut être Hoggar. Leur pente (a) et leur coefficient de régression (r) sont respectivement de (0,45) et r = 0,46 ; (0,75) et r = 0,44 ; (- 0,34) et r= 0,43.

L'étude des paramètres de pente et de coefficient de régression à l'origine de ces droites semble contrarier quelque peu les conclusions sur les rendements des variétés et leur classements des deux campagnes agricoles (cf. page 2).

A notre sens, ceci n'est pas surprenant dans la mesure où les variétés étudiées ont eu une réaction vis-à-vis des années (Inter. var x an, très hautement significatif) et non pas à l'égard des sites (Inter. Var x site non significatif) ce qui montre par conséquent leur capacité d'adaptation potentielle dans des contextes plus larges et plus diversifiés.

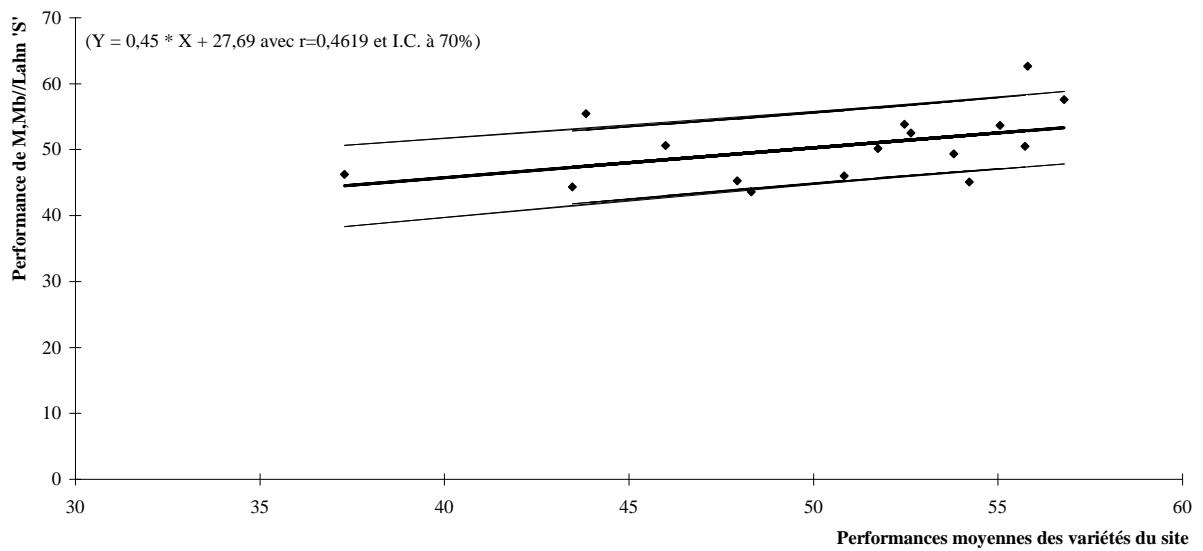
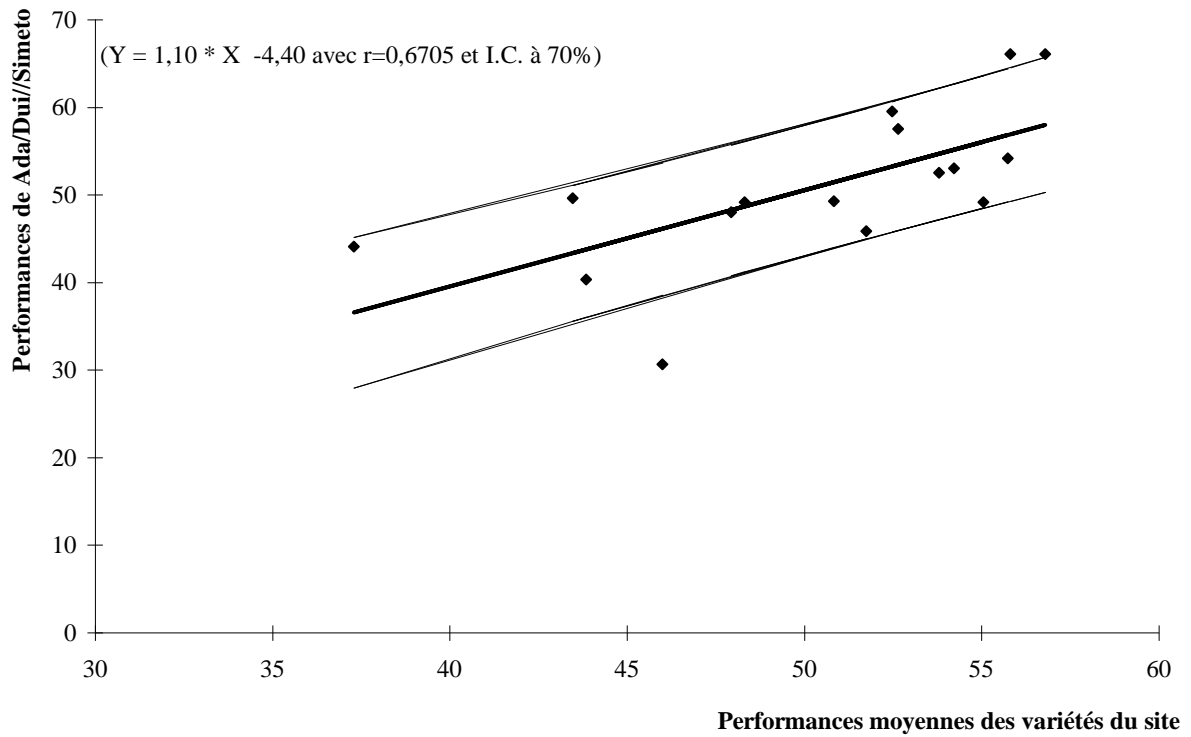


Fig 2 : Régression entre le rendement moyen en grain des variétés Ada/Dui//Simeto et MBB/Lan's et le rendement moyen grain des variétés étudiées dans les mêmes environnements.

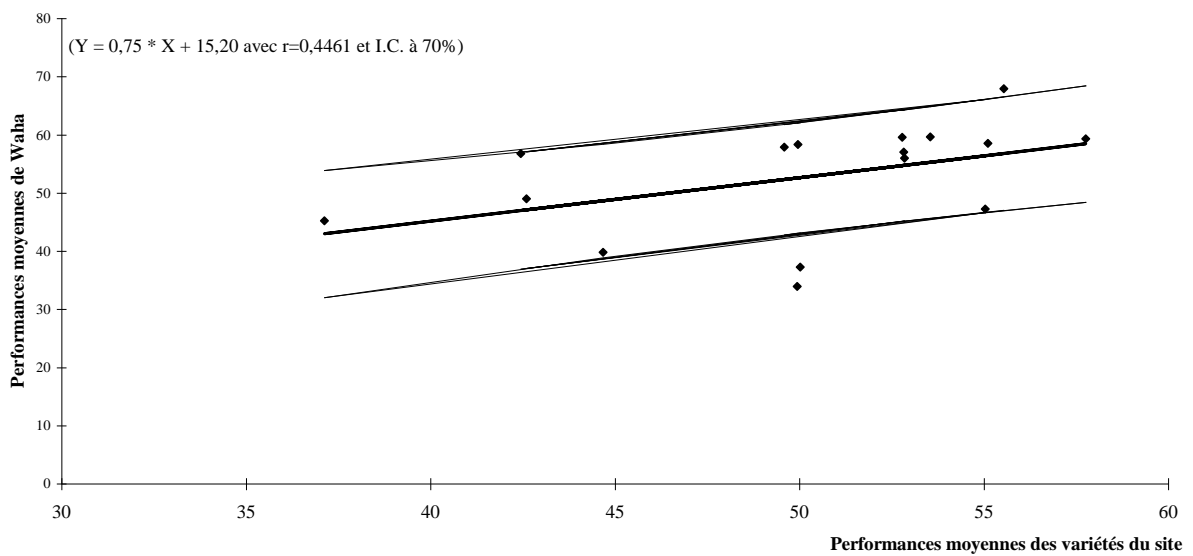
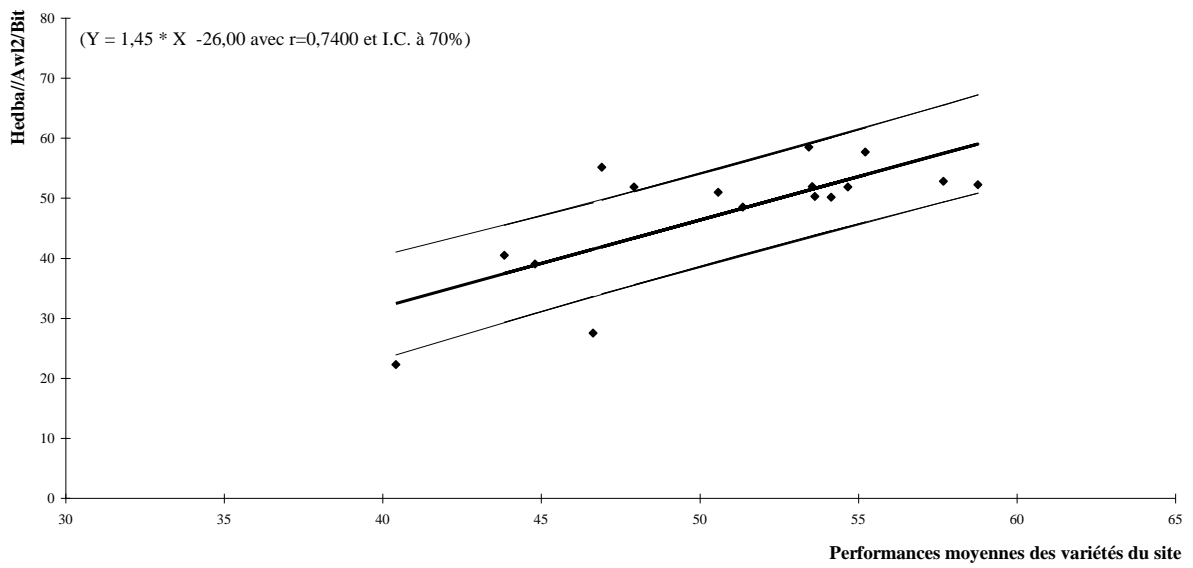


Fig 3 : Régression entre le rendement moyen en grain des variétés Hedba//Aw12/Bit et Waha et le rendement moyen grain des variétés étudiées dans les mêmes environnements.

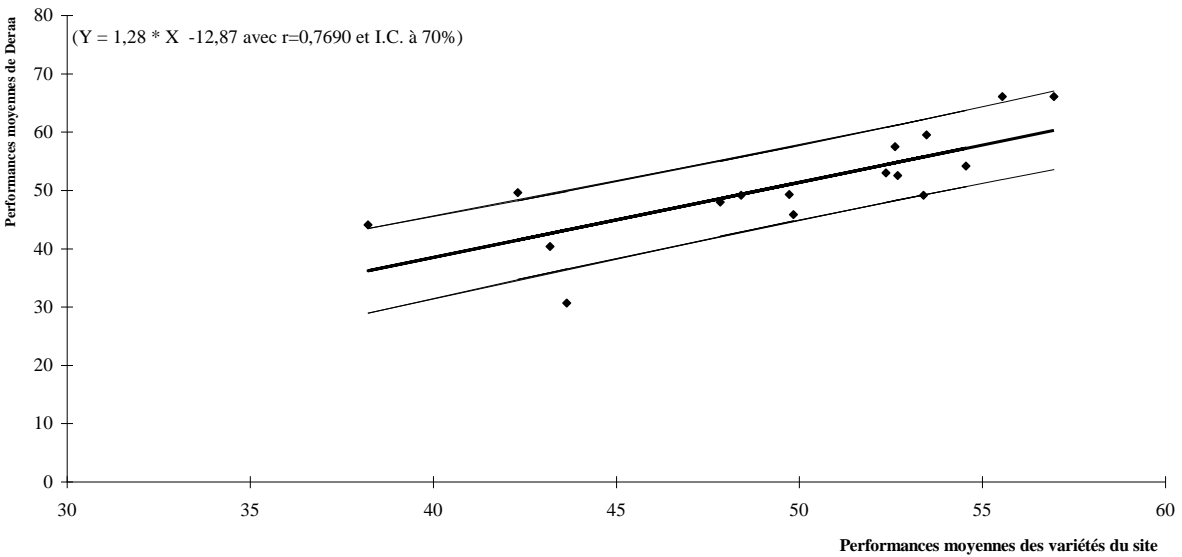
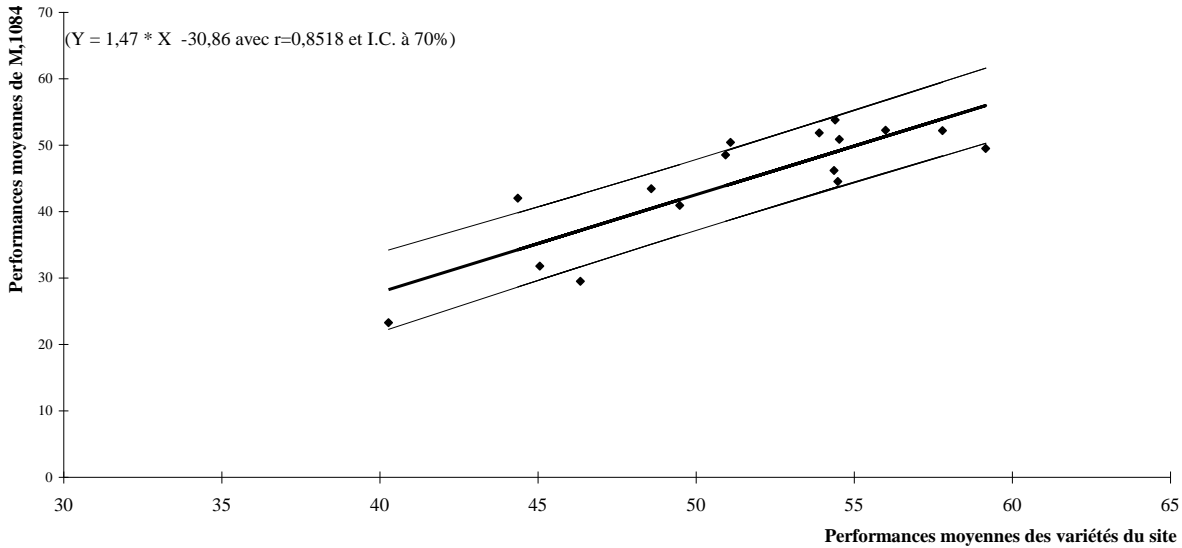


Fig 4 : Régression entre le rendement moyen des variétés M1084 et Deraa et le rendement moyen grain des variétés étudiées dans les mêmes environnements.

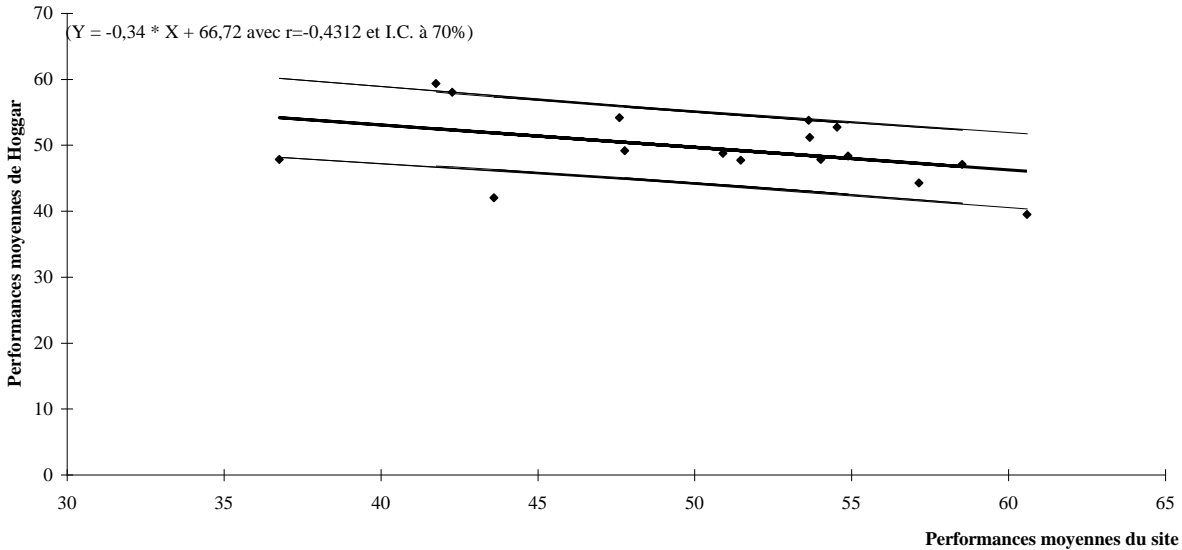
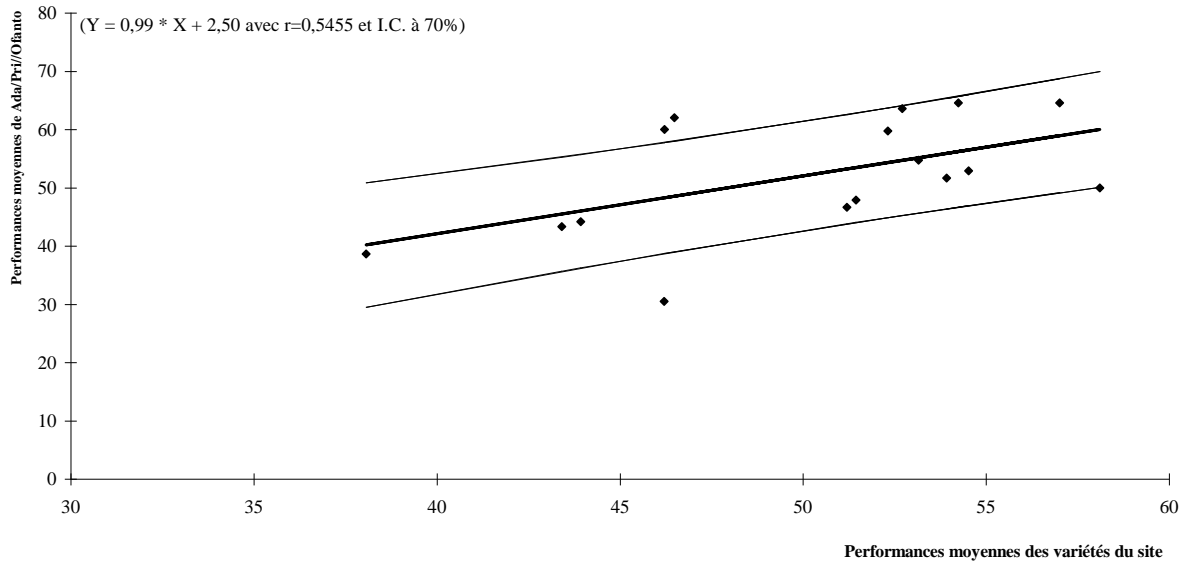


Fig 5 : Régression entre le rendement moyen des variétés Ada/Pri//Offanto et Hoggar et le rendement moyen grain des variétés étudiées dans les mêmes environnements.

### 5.1.5 Analyse des composantes du rendement

- **Peuplement épis au m<sup>2</sup> (EPEM<sup>2</sup>)**

L'analyse de variance du nombre d'épis/m<sup>2</sup> révèle une très haute signification statistique aussi bien entre génotypes que sites et années (tableau n°9). Les moyennes, les meilleures sont représentées par : Hoggar (97 épis), M1084 (93 épis), Hedba//Awl2//Bit (89 épis), Waha (88 épis), Deraa (88 épis).

Il semble que cette composante soit une caractéristique importante en ce sens que les variétés ayant un bon tallage épi permettent en principe l'obtention d'un bon rendement en grains.

- **Fertilité épi (GREP)**

Le nombre de grains par épi a la même importance que le nombre d'épis au m<sup>2</sup> en tant que composante du rendement en grains. L'analyse de variance donne pour cette composante une très haute signification entre génotypes, sites et années (cf. tableau n°9). Les meilleurs génotypes sont Deraa (54 grains), Ada/Dui//Offanto (51 grains), Waha (50 grains) et que l'année 2 a été dans l'ensemble plus féconde que l'année 1.

L'examen des corrélations (tableau n°11) montre que les paramètres EPM2 et GREP sont négativement corrélé dans les deux sites d'étude.

Ce résultat a été trouvé par Belahcen (2002) et montre la compétition entre ces deux principales composantes du rendement. Dans le cadre de notre étude, les bénéfices d'un nombre élevé d'épis au m<sup>2</sup> n'ont pas profité aux génotypes à l'exception de la variété Waha qui a conservé un nombre de grains par épi relativement élevé.

- **Poids de mille grains (PMG)**

Pour ce paramètre l'analyse indique un effet très hautement significatif pour les génotypes et les sites et hautement significatif pour l'interaction génotypes x années.

Les meilleurs poids de mille grains (PMG) sont enregistrés pour les variétés MBB//Lan's (39.5 gr), Deraa (38.5 gr), M1084 (38 gr), Hedba//Awl2//Bit (37.5gr).

Dans l'ensemble le site d'El khroub a enregistré des PMG supérieurs à celui d'O.El bouaghi à l'exception des variétés MB Bachir, Hedba et Ada.

L'analyse des corrélations (tableau n°11) indique une corrélation positive entre le rendement et le PMG à l'endroit du site d'El khroub.

**Tableau n°11 :**

- Corrélation entre RDT et ses composantes : site d'El khroub

	RDT	EPM2	GREP	PMG	HAUT	NJEP
RDT	1					
EPM2	-0.0831	1				
GREP	0.4214	-0.170699	1			
PMG	0.2486	0.1437396	0.3479853	1		
HAUT	-0.0082	-0.040736	-0.032403	0.0839574	1	
NJEP	0.2265	0.3607717	-0.165818	0.2929919	0.1345138	1

- Corrélation entre RDT et ses composantes : site d'O.El Bouaghi

	RDT	EPM2	GREP	PMG	HAUT	NJEP
RDT	1					
EPM2	-0.2392	1				
GREP	0.3967	-0.383811	1			
PMG	-0.0782	-0.197023	-0.390805	1		
HAUT	-0.0223	0.07809	-0.343571	0.0618641	1	
NJEP	0.0304	0.1731927	-0.148267	0.2107699	0.0384389	1

De plus, il est à noter une certaine régularité dans le PMG d'un site à l'autre pour les variétés MBB/Lan's, Hedba//Awl2/Bit, Ada/Dui//Simeto.

### 5.1.6 Corrélations entre rendement et ses composantes

L'analyse de régression, menée sur les composantes épis/m<sup>2</sup> (EPM2), grains par épi (GREP), poids de mille graines (PMG) met en évidence l'importante et déterminante contribution du nombre de grains par épi dans la réalisation du rendement comme l'indique l'équation suivante :

$$\text{RDT} = -17.73 \text{ EPM2} + 182.93 \text{ GREP} - 18.23 \text{ PMG} - 3816.06$$

Analyse de variance de l'équation de régression finale

---

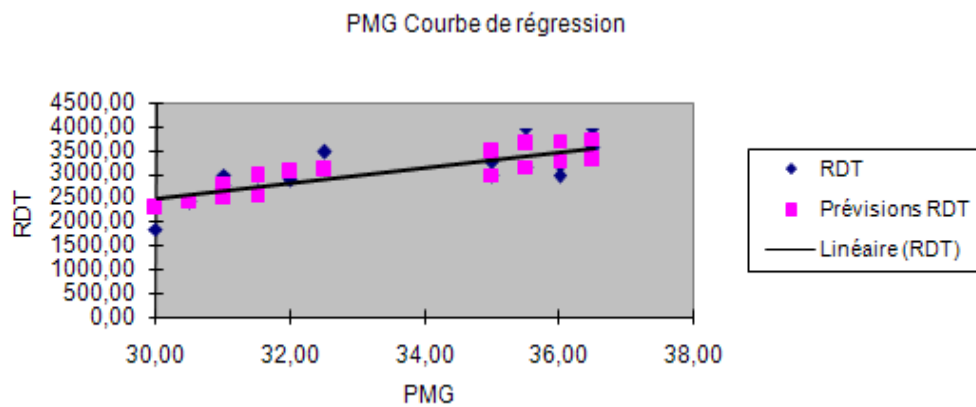
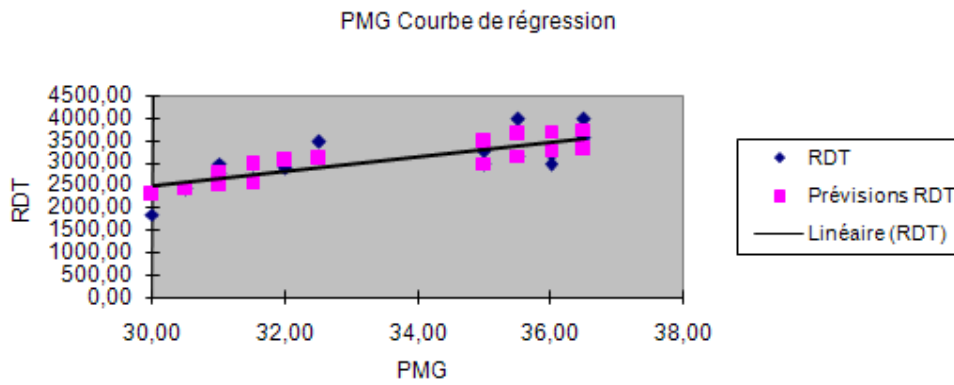
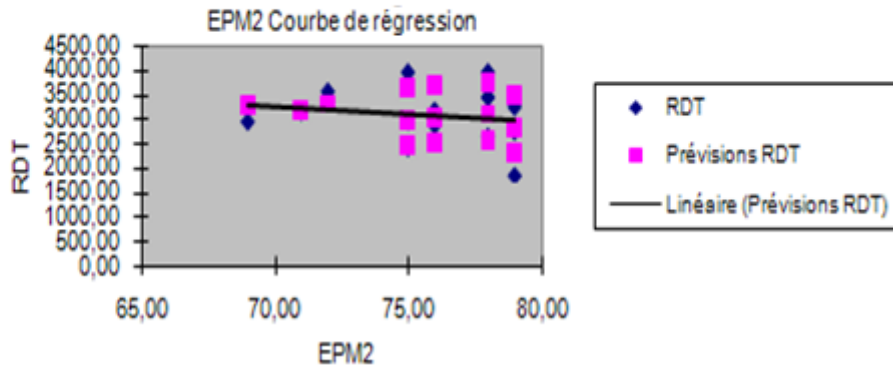
<u>Source de variation</u>	<u>DDL</u>	<u>Somme des carrés</u>	$r^2 = 0.1717$
Régression	3	3095307.49	$r^2 = 0.6396$
Résiduelle	12	1253667.5	$r^2 = 0.8436$
Total	15		$r^2 = 0.8436$

Ce résultat montre clairement que le rendement est la résultante dans le cadre de notre étude d'un nombre important de grains par épi associé à un poids de mille grains élevé, témoin d'un bon remplissage du grain comme c'est le cas du site d'El khroub.

L'expression du nombre de grains par épi est liée aux conditions climatiques au cours de la période « gonflement-épiaison ».

Tout froid tardif et/ou sécheresse associé à des hautes températures précoces à cette période peuvent induire une stérilité de l'épi par suite d'une non ouverture des stigmates plumeux. C'est pourquoi, certains auteurs tels que Abbseenne et al (1998) préconisent de retenir dans les sélections génotypiques, des individus qui regrouperaient à la fois des caractères de tardivité à l'épiaison et de précocité à la maturité ce qui permettrait d'éviter les gelées tardives et les hautes températures printanière. En somme, des génotypes capables d'adopter des stratégies d'évitement par raccourcissement de leur cycle de développement.

**Droites de régression des composantes du rendement grain**



### 5.1.7 Relations entre phénologie, morphologie et rendement

- **Phénologie** : la longueur du cycle à l'épiaison des variétés testées varie de 115 à 119 jours sur le site d'El khroub et de 116 à 122 jours sur celui d'O.El Bouaghi soit respectivement une différence de 4 jours et 6 jours. L'analyse de variance donne pour ce paramètre une très haute signification statistique entre géotypes, sites et années (tableau n°12) de la sorte nous pouvons dans le contexte de notre étude distinguer les variétés qui seraient relativement précoces : Deraa, M1084, MBB/Lan's, Hedba//Awl/Bit et celles relativement tardives : Hoggar, Waha, Ada/Dui/Simeto, Ada / Pri / Offanto.

En outre, des corrélations positives entre le rendement en grains et le nombre de jours à l'épiaison ont été trouvées pour les sites et notamment celui d'El khroub.

Il semblerait que se soient les variétés tardives à l'exemple de Ada/Dui/Simeto et Ada/Pri/Offanto, Waha qui sont à l'origine de l'obtention de hauts rendements dans le site d'El khroub confirmant en partie les conclusions auxquelles nous sommes parvenues à l'issue de l'analyse de rendements des deux campagnes agricoles.

Des variétés à l'exemple de Deraa et MBB/Lan's classées ici en précoces semblent tirer profit de leur flexibilité environnementales en adoptant probablement des stratégies qui leur permettent de maintenir un niveau appréciable de productivité (cf conclusions sur les rendements des deux campagnes agricoles).

- **Morphologie : hauteur de la plante**

L'analyse de variance indique un effet très hautement significatif entre géotypes, années et sites ce qui montre la grande variabilité des hauteurs des plantes. C'est la variété Hedba//Awl/Bit qui a la plus haute paille (123 cm), les autres variétés ont des hauteurs qui varient entre 89 cm (Ada/Dui//Simeto, M1084, Hoggar) et 99 cm (Ada/Dui//Offanto) : Waha témoin présentant une paille moyenne de 92 cm.

**Tableau n°12** : Analyse de variance des facteurs morpho-phénologiques des deux campagnes agricoles

Variable	Effet génotype		Effet site		Effet année		Inter géno x site		Inter géno x année		Inter site x année		Inter géno x site x année	
	F	Proba	F	Proba	F	Proba	F	Proba	F	Proba	F	Proba	F	Proba
NJEP	66.47	0.000	67.5	0.000	14.7	0.0003	1.67	0.1244	132.64	0.000	67.5	0.000	1.67	0.1244
		***		***		***		NS		***		***		NS
H	5077.71	0.000	97.19	0.000	6049.19	0.000	58.12	0.000	374.92	0.000	120.01	0.000	64.64	0.000
		***		***		***		***		***		***		***

\*\*\* : Très hautement significatif

NS : non significatif

Quoiqu' il en soit, ces hauteurs moyennes des plantes n'ont eu aucune incidence directe au niveau des deux sites, sur le rendement en grains dans la mesure où l'on note une corrélation négative entre les hauteurs des pailles et ce dernier, comme l'indique le tableau n° 11 des corrélations.

## Chapitre 6      Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

---

Dans ce chapitre, nous tenterons de chercher à identifier quelques caractères morpho-physiologiques liés à la tolérance au déficit hydrique chez les 8 géotypes de blé dur.

Une telle étude, dite prédictive et réalisée au stade juvénile de la plante est très efficace pour l'obtention de géotypes adaptés. (Blum, 1970-Grignac ,1987-Brinis ,1995).

Selon Benbelkacem et al (1982), les différentes réponses géotypiques au stress hydrique aux premiers stades constituent l'amorce pour l'identification de l'idéotype pour une meilleure productivité dans des conditions environnementales spécifiques. C'est dans cet esprit que des paramètres physiologiques ont été étudiés. Ils portent essentiellement sur la biomasse aérienne et racinaire, la teneur relative en eau, les teneurs en proline et en chlorophylle.

Nous tenterons à l'issue de ces travaux de mettre en évidence les éventuelles corrélations qui nous semblent les plus appropriées pour approcher et expliquer quelque peu les résultats obtenus par les géotypes mis à l'étude dans le cadre de la sélection directe au champ.

### **6.1 Paramètres morphologiques**

#### **6.1.1 Biomasse matière fraîche**

Les résultats de la biomasse sont donnés par le tableau n°13 et la figure 6

## Chapitre 6      Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

**Tableau n°13** : résultats de la biomasse (matière fraîche) en fonction du stress hydrique exprimés en grammes (gr)

Variété \ Trait.	Traitements	Partie aérienne	Partie racinaire	Total	R/C
V1	T <sub>0</sub>	9.5	0.29	9.8	0.03
	T <sub>1</sub>	8.86	0.32	9.18	0.035
	T <sub>2</sub>	7.57	0.36	7.93	0.04
V2	T <sub>0</sub>	7.55	0.475	8.02	0.055
	T <sub>1</sub>	5.7	0.35	6.055	0.055
	T <sub>2</sub>	6.43	0.31	6.75	0.065
V3	T <sub>0</sub>	6.97	0.275	7.25	0.035
	T <sub>1</sub>	7.52	0.325	7.84	0.035
	T <sub>2</sub>	5.02	0.225	5.24	0.04
V4	T <sub>0</sub>	8.92	0.375	9.3	0.04
	T <sub>1</sub>	5.55	0.23	5.78	0.04
	T <sub>2</sub>	6.0	0.29	6.29	0.045
V5	T <sub>0</sub>	5.97	0.125	6.1	0.015
	T <sub>1</sub>	7.1	0.34	7.44	0.045
	T <sub>2</sub>	5.86	0.26	6.12	0.049
V6	T <sub>0</sub>	7.9	0.3	8.2	0.035
	T <sub>1</sub>	6.45	0.375	5.82	0.065
	T <sub>2</sub>	6.06	0.315	6.375	0.075
V7	T <sub>0</sub>	6.52	0.55	7.07	0.08
	T <sub>1</sub>	5.59	0.315	5.91	0.09
	T <sub>2</sub>	6.18	0.315	6.49	0.14
V8	T <sub>0</sub>	6.19	0.175	6.36	0.02
	T <sub>1</sub>	6.64	0.28	6.92	0.04
	T <sub>2</sub>	4.97	0.32	5.27	0.055
Var.		***	***	***	NS
Trait.		***	*	***	NS
Var x trait		***	***	***	*

## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

---

L'analyse de variance pour la partie aérienne fraîche indique un effet très hautement significatif aussi bien pour les génotypes, les traitements que leur interaction (cf. tableau de variance en annexe).

L'analyse des écarts à la moyenne montre que les variations entre génotypes sont de faible importance ce qui laisse croire qu'elles ont des réactions quasi- identiques face au stress hydrique imposé : toutes les variétés accusant une réduction de leur partie aérienne par rapport au témoin : La plus faible réduction revient à la variété M1084 (V5) avec environ 2% et la plus élevée à la variété Waha (V4) avec 41%.

Pour ce qui concerne la partie racinaire, les génotypes ont des comportements différents ; tantôt il y a une réduction, tantôt une augmentation, ce qui laisse présager des stratégies adaptatives opportunes à chacun d'entre eux. Ceci, d'autant que l'analyse de variance donne un effet hautement significatif, significatif, et très hautement significatif.

L'examen des écarts moyens montre que vis-à-vis d'un stress prononcé, des diminutions s'opèrent et oscillent entre 18 et 42% pour respectivement Hedba//Awl/Bit (V3) et Ada/Pri/offanto (V7) et des augmentations racinaires de l'ordre de +3% pour Deraa (V6) et +82% pour Hoggar (V8)

S'agissant de la matière fraîche totale, nous enregistrons pour tous les génotypes une diminution et ce, quelle que soit l'importance du stress.

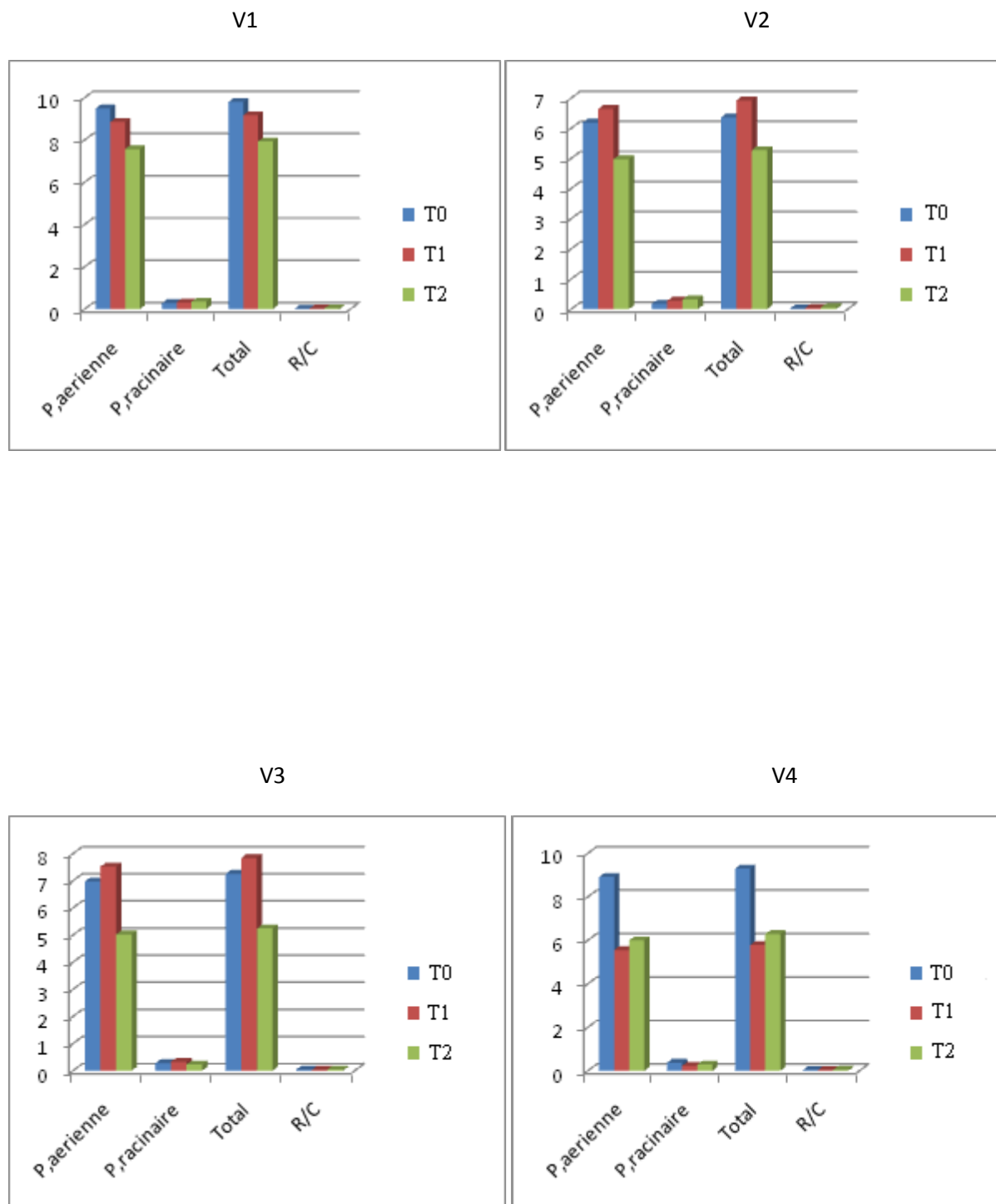
L'analyse de variance donne pour ce paramètre un effet très hautement significatif avec des écarts par rapports à la moyenne de l'ordre de 32% pour la variété waha (V4) et 27% pour Hedba//Aw l/Bit (V3)

Ces résultats confirment ceux trouvés par Hsiao (1973) qui note que lors d'un déficit hydrique la plante réagit par une diminution de la partie aérienne .Quant à la partie racinaire , il semble que nos résultats soient en partie confirmés par Dadday et al (1973) où il a été montré qu'un léger déficit au début du cycle stimulerait la croissance racinaire :c'est le cas de Ada//dui /siméto(V1) , Hoggar (V8) et M.1084 (V5)

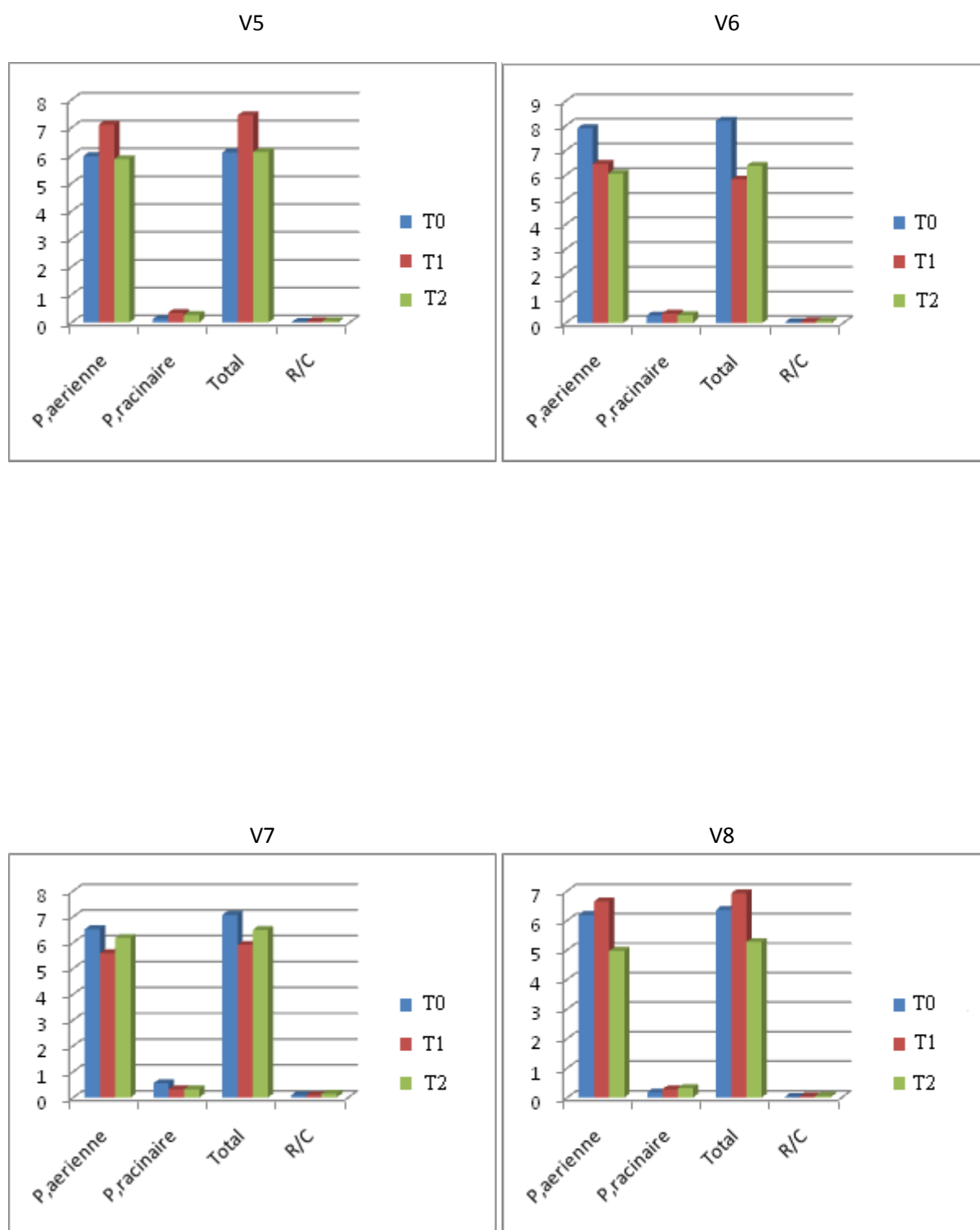
Concernant le rapport R/C, l'analyse de variance ne donne de signification que pour l'interaction Variété .traitement.

## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

**Fig06. Biomasse (matière fraîche) en fonction du stress hydrique exprimé en gramme(g) des différentes variétés**



## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique



### 6.1.2 Biomasse matière sèche

Les résultats de la matière sèche sont indiqués par le tableau 14 et la figure 7.

## Chapitre 6      Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

**Tableau n°14 :** Résultats de la biomasse (matière sèche) en fonction du stress hydrique exprimé en grammes (gr)

Trait. Variété	Traitements	Partie aérienne	Partie racinaire	Total	R/C
V1	T <sub>0</sub>	4.07	0.18	4.25	0.04
	T <sub>1</sub>	2.68	0.145	2.825	0.055
	T <sub>2</sub>	3.07	0.175	2.215	0.08
V2	T <sub>0</sub>	2.78	0.235	3.02	0.075
	T <sub>1</sub>	1.36	0.205	1.565	0.155
	T <sub>2</sub>	1.07	0.24	1.31	0.225
V3	T <sub>0</sub>	2.57	0.195	2.765	0.07
	T <sub>1</sub>	1.85	0.215	2.11	0.11
	T <sub>2</sub>	1.065	0.105	1.17	0.19
V4	T <sub>0</sub>	4.14	0.205	4.35	0.045
	T <sub>1</sub>	1.05	0.155	1.205	0.145
	T <sub>2</sub>	1.365	0.17	1.535	0.162
V5	T <sub>0</sub>	0.97	0.08	1.935	0.018
	T <sub>1</sub>	2.01	0.205	2.215	0.095
	T <sub>2</sub>	1.135	0.105	1.24	0.098
V6	T <sub>0</sub>	2.30	0.085	2.39	0.165
	T <sub>1</sub>	1.195	0.205	1.4	0.165
	T <sub>2</sub>	1.435	0.13	1.565	0.185
V7	T <sub>0</sub>	3.78	0.26	2.63	0.11
	T <sub>1</sub>	1.52	0.185	1.705	0.115
	T <sub>2</sub>	1.295	0.15	1.445	0.125
V8	T <sub>0</sub>	2.265	0.09	2.36	0.035
	T <sub>1</sub>	2.05	0.12	2.17	0.055
	T <sub>2</sub>	0.9	0.17	1.07	0.018
Var.		***	NS	***	NS
Trait.		***	NS	***	**
Var x trait		***	NS	***	NS

## Chapitre 6      Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

---

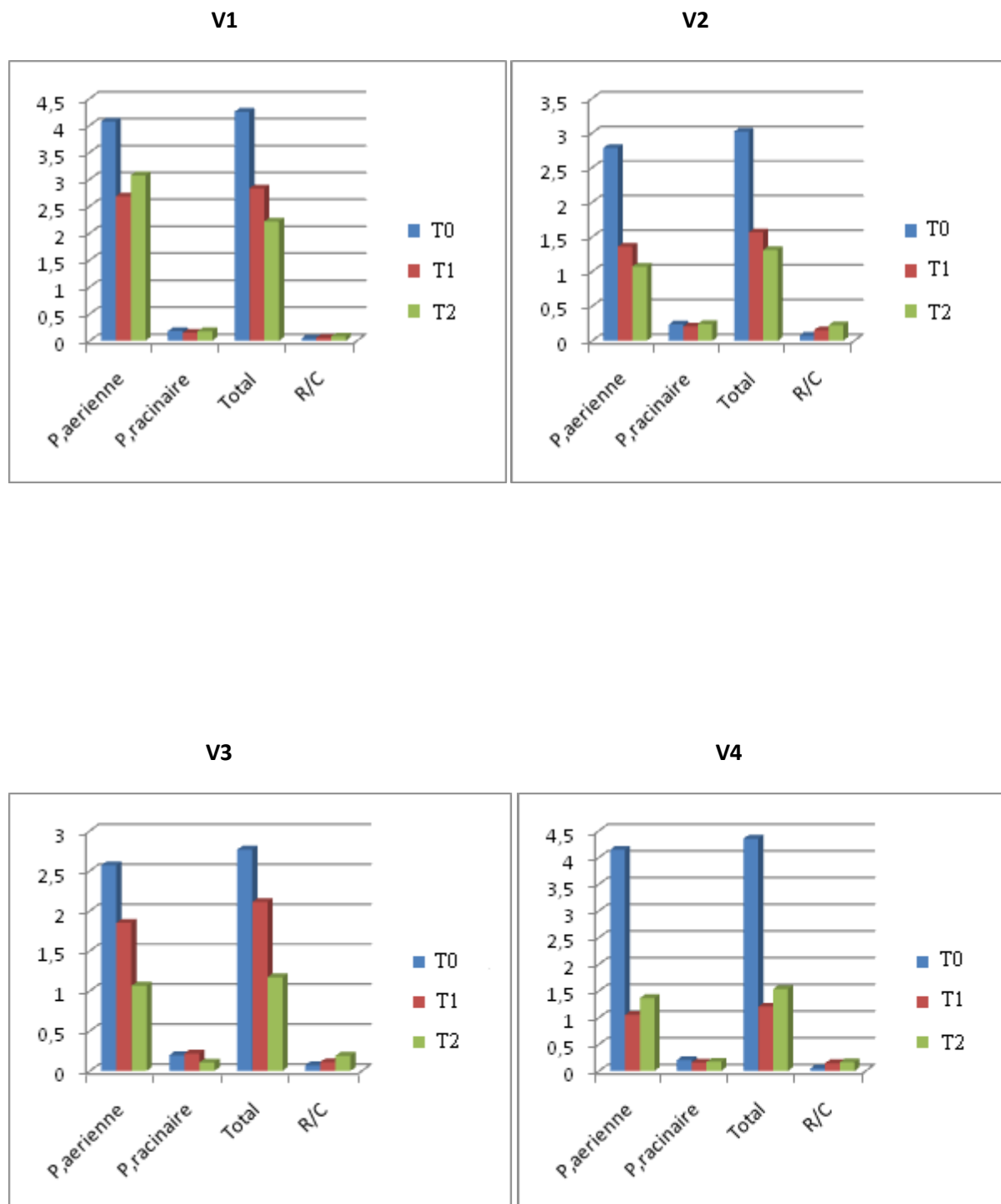
Les résultats obtenus pour la matière sèche reflètent en partie ceux de la matière fraîche à la grande différence qu'ici, nous ne notons pas de grands écarts de la matière sèche racinaire entre les génotypes et ce, quel que soit le traitement imposé (stress faible ou prononcé). Ceci est corroboré par l'analyse statistique qui indique un effet non significatif (cf. tableau en annexe). Ceci semblerait signifier que pour les génotypes ayant enregistré un gain racinaire « en vert » : cas de Hoggar (V8,) Ada/Dui/simeto (V1) les cellules du « compartiment » racinaire sont restées turgides et ont permis d'atténuer les effets du stress hydrique imposé en affichant une quasi similitude des matières sèches notamment entre  $T_0$  et  $T_2$  (sans stress et stress prononcé). Ceci est d'ailleurs confirmé par l'analyse des moyennes (cf. tableau en annexe). S'agissant de la matière sèche totale, l'analyse de variance indique un effet très hautement significatif pour toutes les variables.

Il ressort du tableau des résultats une diminution de la matière sèche totale qui oscille entre 34% pour les variétés M.1084(V5) et Deraa (V6) et 64% pour la variété Waha.(V4)

Le ratio R/C n'a quant à lui de signification que pour l'effet traitement. Ceci vient du fait que les génotypes présentent sous le traitement en sec des valeurs relativement élevées. Il indique par la même que la croissance racinaire a été dans bien des cas moins affectée que celle de la partie aérienne sous l'effet du stress hydrique.

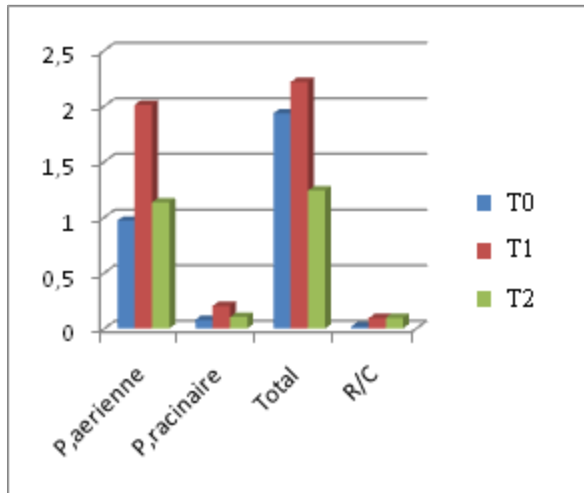
## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

Fig07. Biomasse (matière sèche) en fonction du stress hydrique exprimé en gramme(g) des différentes variétés

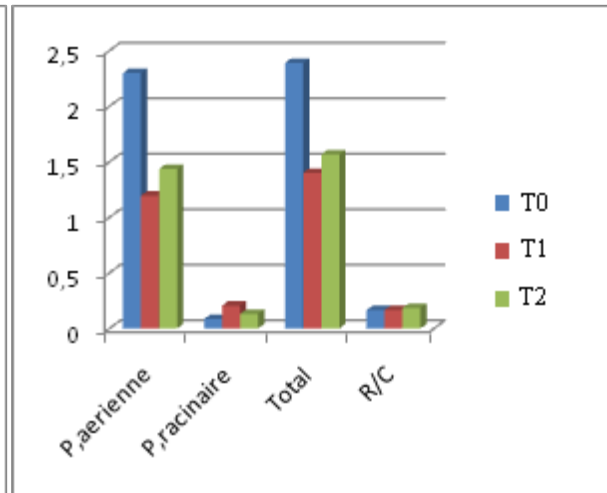


## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

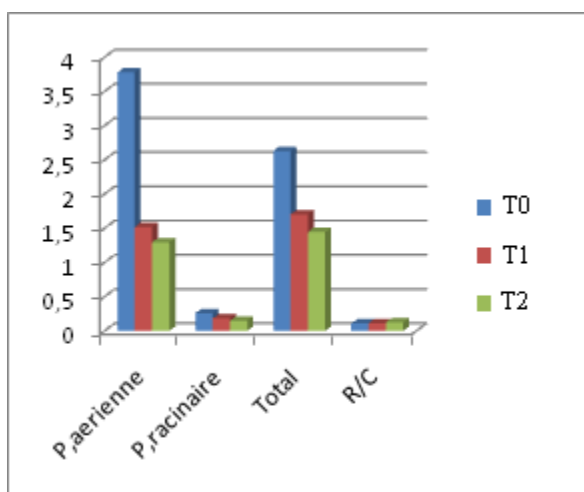
V5



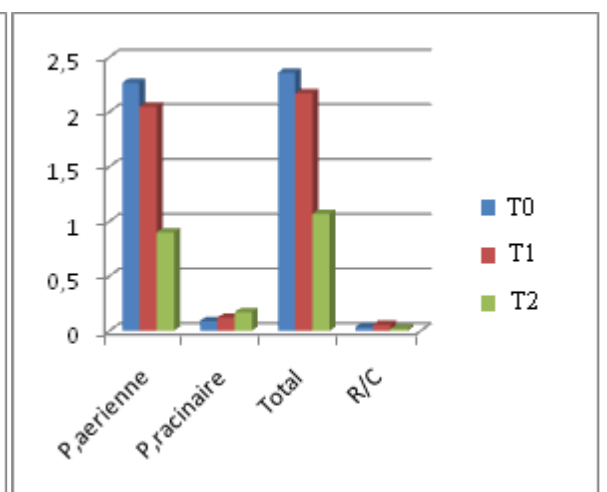
V6



V7



V8



## Chapitre 6      Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

---

### 6.2 Paramètres physiologiques

#### 6.2.1 Statut hydrique = teneur relative en eau (RWC)

Les résultats de la teneur relative en eau sont indiqués par le tableau n°15 et figure 8.

**Tableau n°15** : résultats de la turgescence relative en eau en fonction des niveaux de stress hydrique (Exprimés en %)

traitements Variétés	Témoin (T <sub>0</sub> )	Stress faible (T <sub>1</sub> )	Stress prononcé (T <sub>2</sub> )
V1	37.5	66.6 *(+77%)	68.57 *(+82%)
V2	77.5	53.57 *(-30%)	50 *(-35%)
V3	100	45 *(-55%)	41.6 *(-58%)
V4	62.5	87 *(+39%)	58.33 *(-6%)
V5	66.6	50 *(-24%)	50 *(-24%)
V6	58.33	55 *(-5%)	70.83 *(+21%)
V7	62.5	80 *(+28%)	53.47 *(-14%)
V8	62.5	41.5 *(-33%)	45.87 *(-26%)
Variétés	*	(*) Ecart/T <sub>0</sub>	(*) Ecart/T <sub>0</sub>
Trait	**	$\frac{T_0 - T_1}{T_0} \times 100$	$\frac{T_0 - T_2}{T_0} \times 100$
Var x Trait.	***		

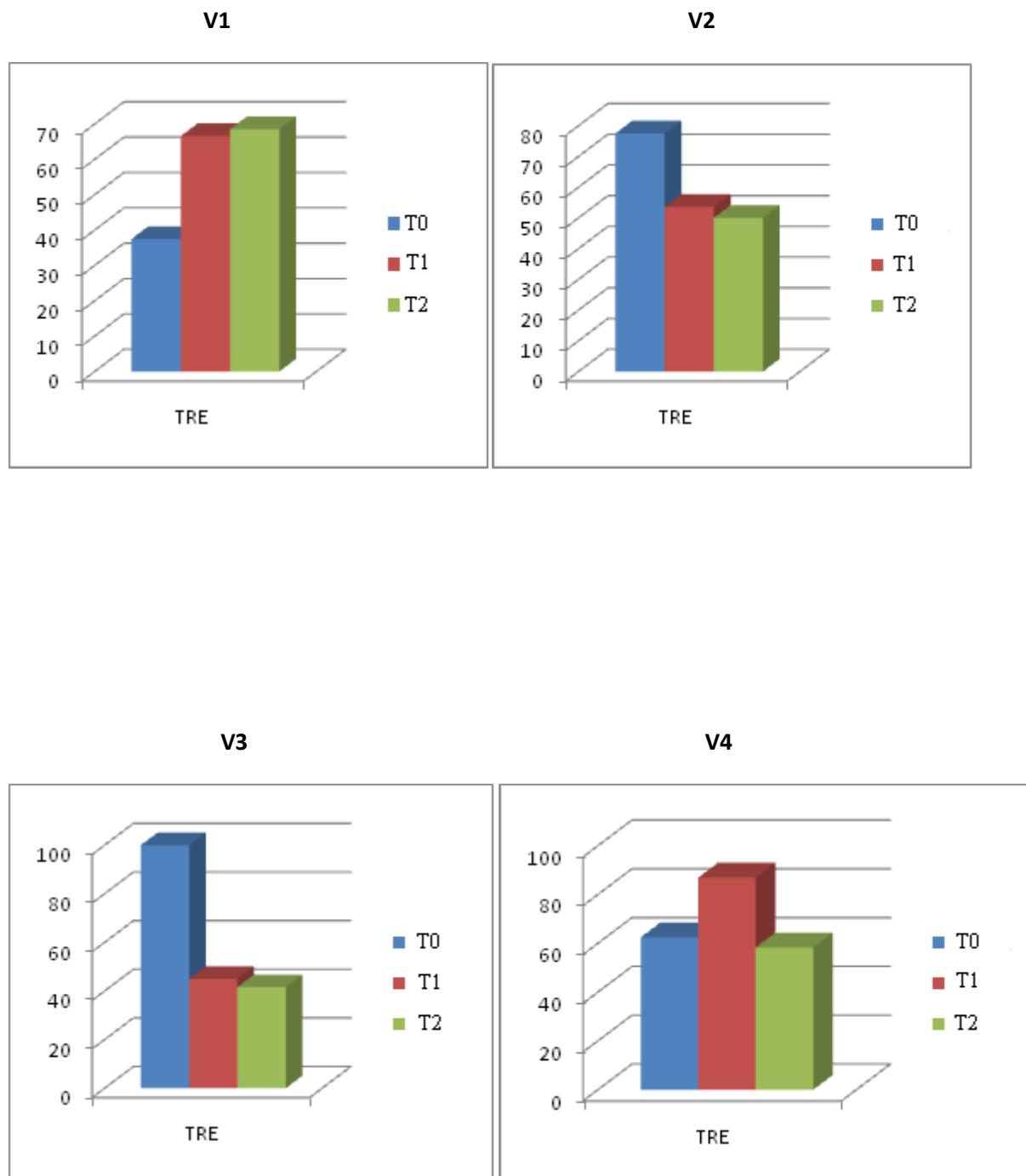
De ces résultats, il ressort l'action positive du stress hydrique chez Ada/Dui//Simeto (V1) et Deraa(V6) dans la mesure où l'on note une augmentation de leur TRE.

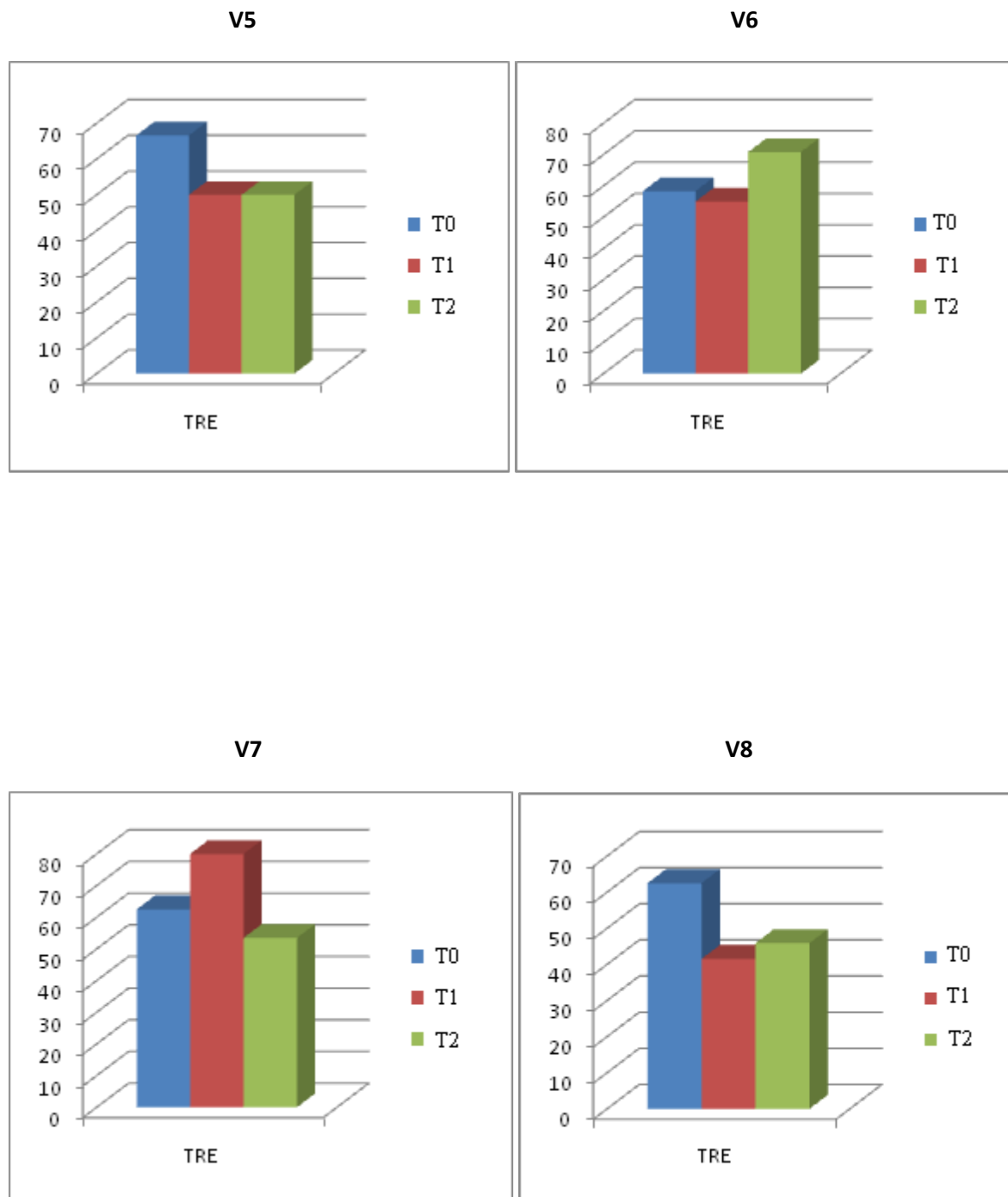
Selon Blum (1989), le maintien d'un niveau élevé de la TRE serait lié à une bonne capacité d'ajustement osmotique et expliquerait l'augmentation racinaire chez ces deux génotypes. En revanche, l'augmentation racinaire d'environ 82% notée chez Hoggar(V8) (cf. tableau de biomasse fraîche) ne serait pas le résultat d'un ajustement osmotique mais procéderait probablement d'un autre mécanisme de résistance. Il en est de même pour la variété M1084.(V5)

L'analyse de variance indique pour ce paramètre un effet significatif pour les variétés et très hautement significatif pour l'interaction.

## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

Fig08. Teneur relative en eau en fonction du stress hydrique des différentes variétés





### 6.3 Paramètres biochimiques

**6.3.1 Statut énergétique = teneur en chlorophylle** Les résultats de la teneur en chlorophylle sont indiqués par le tableau n°16 figure 9.

## Chapitre 6      Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

**Tableau n°16** : Résultats de la teneur en chlorophylle en fonction des niveaux de stress hydrique.

Trait. Variété	Traitements	Chl a	Chl b	Chl a+Chl b	Chl a/Chl b
V1	T <sub>0</sub>	21.59	34.85	54.31	0.62
	T <sub>1</sub>	19.86	31.0	48.76	0.64
	T <sub>2</sub>	22.17	34.87	56.4	0.63
V2	T <sub>0</sub>	23.71	31.68	54.65	0.75
	T <sub>1</sub>	21.05	31.29	55.69	0.59
	T <sub>2</sub>	25.83	36.05	61.97	0.64
V3	T <sub>0</sub>	23.86	40.52	64.36	0.58
	T <sub>1</sub>	20.07	39.35	59.43	0.50
	T <sub>2</sub>	21.79	35.45	57.24	0.61
V4	T <sub>0</sub>	24.08	38.84	60.95	0.65
	T <sub>1</sub>	20.57	32.76	52.98	0.63
	T <sub>2</sub>	22.94	41.9	64.85	0.56
V5	T <sub>0</sub>	24.35	30.23	54.26	0.79
	T <sub>1</sub>	21.0	35.43	56.43	0.58
	T <sub>2</sub>	29.6	29.47	57.12	0.92
V6	T <sub>0</sub>	21.85	23.21	47.84	0.93
	T <sub>1</sub>	20.3	16.99	38.54	1.19
	T <sub>2</sub>	21.61	36.77	58.41	0.62
V7	T <sub>0</sub>	26.36	40.98	67.58	0.64
	T <sub>1</sub>	20.46	36.93	57.75	0.60
	T <sub>2</sub>	24.27	35.05	59.99	0.71
V8	T <sub>0</sub>	24.67	44.03	67.71	0.53
	T <sub>1</sub>	22.9	41.97	64.88	0.54
	T <sub>2</sub>	21.88	31.27	53.15	0.69
Var.		NS	***	NS	***
Trait.		NS	NS	NS	NS
Var x trait		NS	***	NS	***

## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

---

Selon les résultats obtenus le déficit hydrique augmente la teneur en chlorophylle (a) chez les variétés MBB//Lan's (V7), Waha (V4) et Deraa (V6)

Par contre, chez Hedba//Awl/Bit (V3), M1084(V5), Ada/Pri//Offanto (V7), le déficit hydrique fait diminuer la teneur. C'est pourquoi, pour ce paramètre l'analyse indique une différence très hautement significative entre variétés ainsi que l'interaction variétés x traitements.

Le surcoût énergétique observé pour certaines variétés serait à la base du mécanisme d'adaptation au stress hydrique et pourrait expliquer la résistance à la pénétration de CO<sub>2</sub> (élément indispensable à la photosynthèse) et la fermeture des stomates.

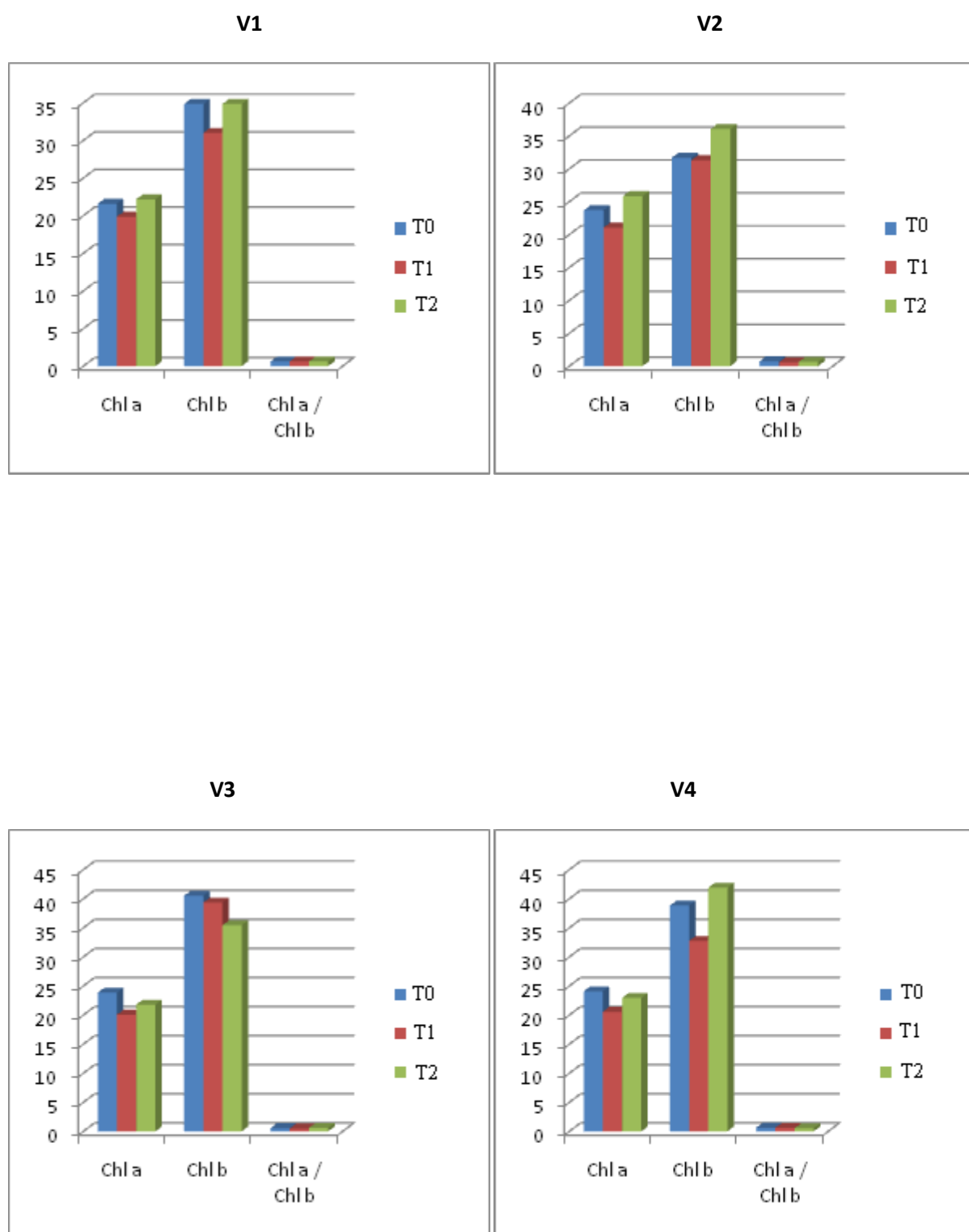
Néanmoins, certains auteurs tels que Guettouche (1990) affirment que la teneur en chlorophylle n'est pas un bon indicateur de résistance mais c'est plutôt le rapport Ch a / Chb.

A ce titre, nous constatons que l'analyse de variance donne un effet très hautement significatif entre les variétés et leurs interactions.

Il est à signaler que les variétés les plus tolérantes sont celles qui ont un rapport élevé. C'est le cas des variétés Hoggar (V8), M1084 (V5), Hedba//Awl/Bi (V3), Ada/pri//Offanto (V7).

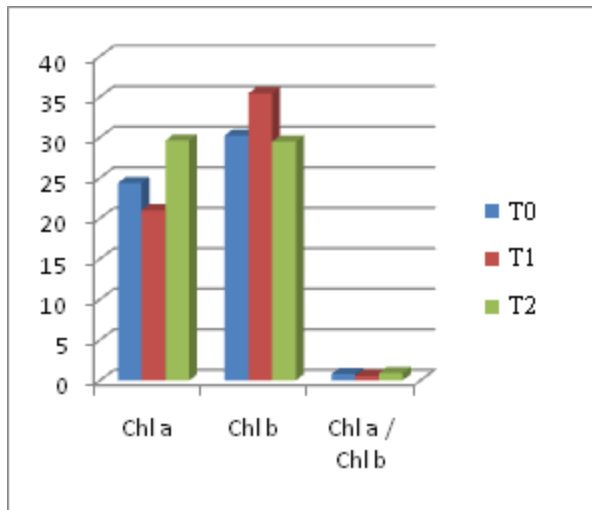
## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

Fig09. Teneur en CHL a/CHL b en fonction du stress hydrique des différentes variétés

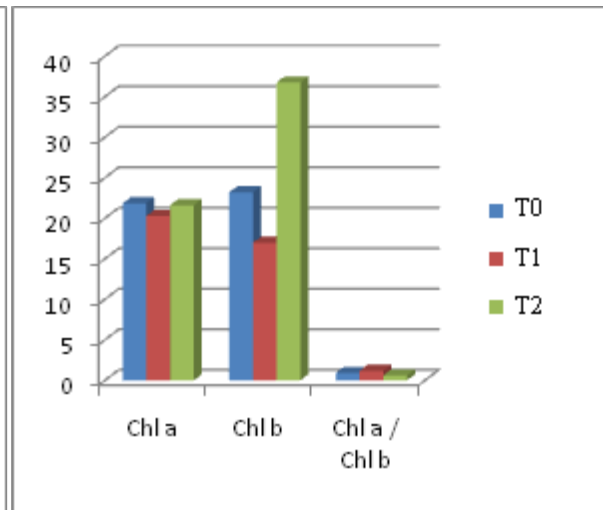


## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

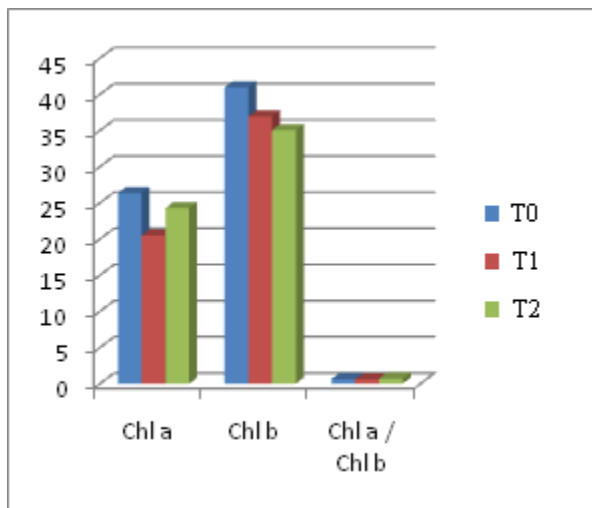
V5



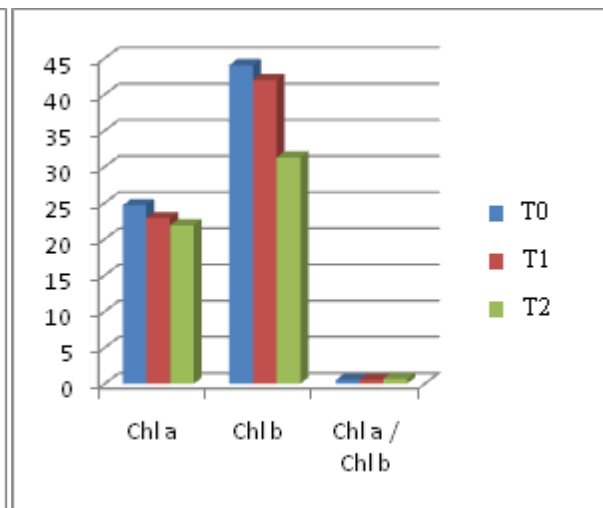
V6



V7



V8



## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

### 6.3.2 Teneur en proline

Les résultats des teneurs en proline sont indiqués dans le tableau n°17 et figure 10.

**Tableau n°17** : Teneur en proline en fonction des niveaux de stress hydrique exprimés en µg/100gr MF des huit variétés.

traitements	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
T <sub>0</sub>	828	318.518	518.148	332.962	437.777	493.33	318.518	322.962
T <sub>1</sub>	220.74	176.296	213.481	350	376.296	199.25	176.296	29.518
T <sub>2</sub>	1419.25	1450.74	1252.592	1448.14	1148.88	1424.8	1450.74	1255.92
Variétés	***							
Trait.	***							
Var x Trait	*							

Les résultats obtenus indiquent que tous les génotypes sans exception réagissent positivement en accumulant de la proline suite à un stress hydrique prononcé et ce, à des degrés divers.

Cette accumulation de proline indique à quel point certaines variétés plus que d'autres se montrent plus aptes à l'exemple de M.BB//Lans (V2), Ada/Pri//offanto(V7), Waha(V4) avec des teneurs représentant plus de 3 fois celles des cellules turgescents. Il en est de même pour la variété Hoggar(V8), mais dans des proportions moindres. C'est ainsi que la plus faible valeur est affichée par Ada/dui //simeto (V1) avec un écart de l'ordre de 71% et la plus grande valeur par M.BB//Lans et Ada /pri //Offanto avec 350% environ.

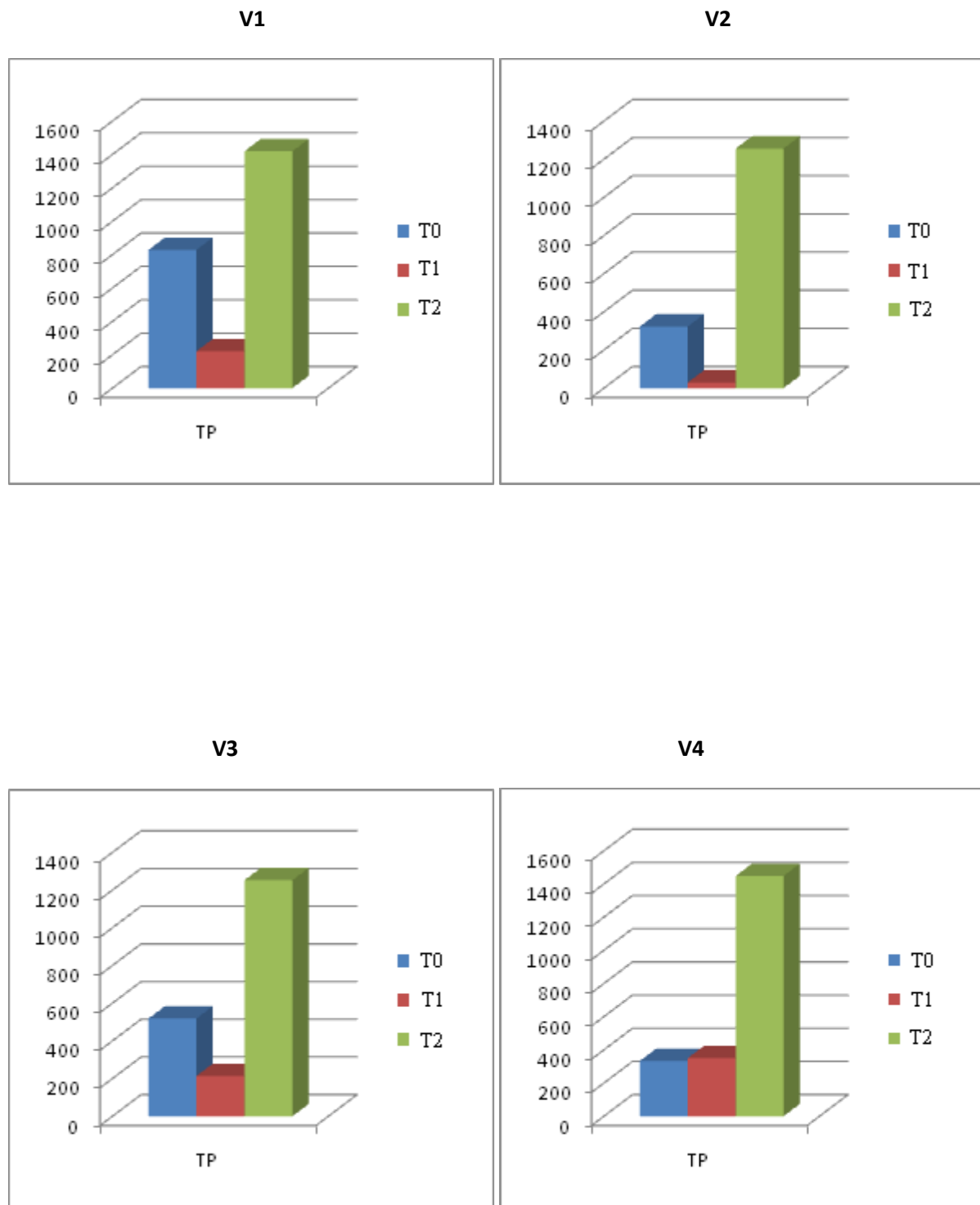
Selon Weigle et al (1990) in Adjab (2002) l'ajustement osmotique du contenu cellulaire résulte d'une activité métabolique conduisant à la synthèse de nombreux composés organiques azotés telle que la proline. Selon Monneveux et Nemmar (1986) l'accumulation de proline serait révélatrice d'une certaine résistance à la sécheresse.

Ces résultats montrent si besoin est, qu'il semble exister pour certaines des variétés mises à l'étude une autre forme d'accommodation à la sécheresse par l'accumulation de grandes quantités de proline.

L'analyse de variance indique un effet très hautement significatif pour les génotypes et les traitements et significatif pour l'interaction.

## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

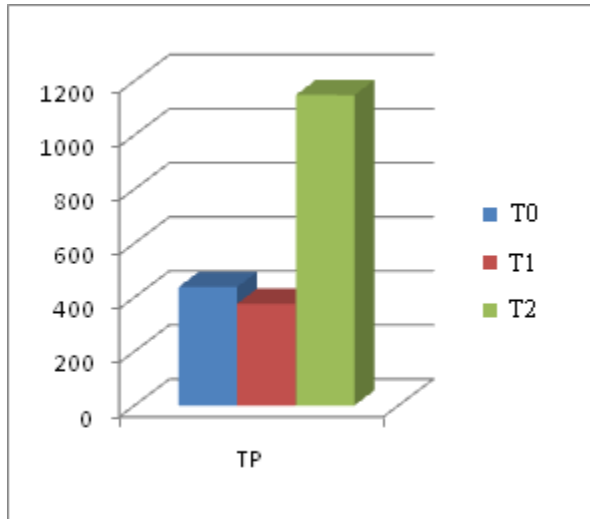
Fig10. Teneur en proline en fonction du stress hydrique des différentes variétés



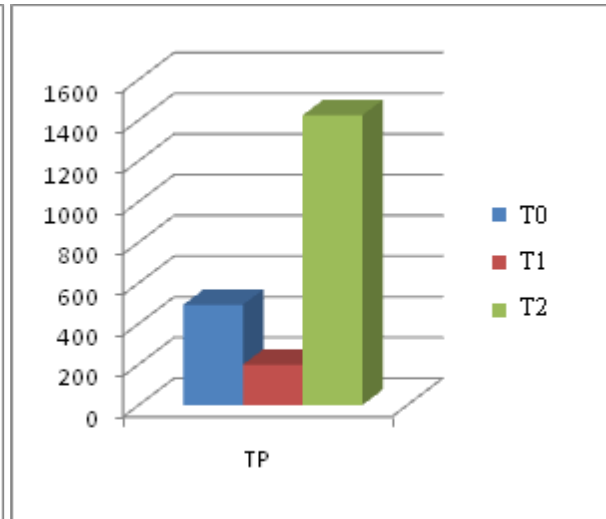
## Chapitre 6 Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

---

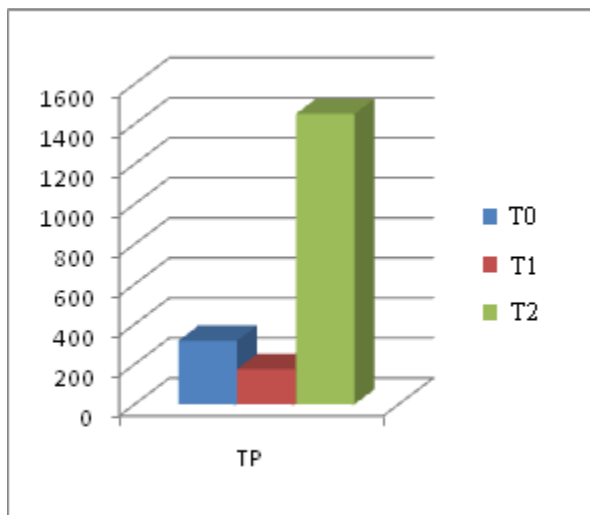
V5



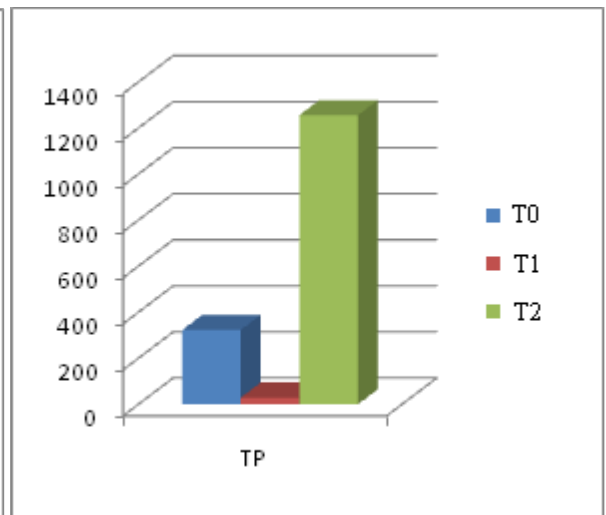
V6



V7



V8



## Chapitre 6      Caractères morpho-physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique

---

### **Synthèse de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique**

Les différentes analyses entreprises ont porté sur quelques caractères morphologiques et biochimiques chez huit génotypes ; le but étant de cerner les mécanismes d'adaptation au stress hydrique et ce, à travers l'expression des réponses génotypiques. Ces derniers pourraient aider à expliquer en partie les rendements obtenus en plein champ dans le cadre d'une sélection directe.

A la lumière des résultats obtenus, s'il est illusoire de vouloir identifier avec grand discernement les mécanismes d'adaptation, il est cependant possible d'en dégager quelques traits caractéristiques et spécifiques à chaque génotype.

Face à un stress hydrique, les réponses génotypiques sont diversifiées : Elles sont soit l'expression d'un ajustement osmotique, à travers une teneur élevée en eau, soit l'accumulation d'osmoprotecteurs importante telle que la proline ou soit d'un surcoût énergétique représenté par les teneurs pigmentaires chlorophylliennes.

-c'est ainsi qu'il a été noté des gains de matières sèches racinaires chez certaines variétés telles Deraa, Ada/dui//simeto qui laisserait croire à un ajustement osmotique dont le résultat est des teneurs en eau élevées, par rapport au témoin.

-Une autre forme d'accommodation est imputée à l'accumulation importante de proline chez les variétés suivantes : M.BB//lan 's' ; Ada /pri// Offanto ; Waha .Hoggar .

-La tolérance au stress imposé reflétée par le statut énergétique et plus particulièrement par le rapport Ch. (a) / Ch. (b) montre des valeurs élevées de ce dernier pour les variétés suivantes : M.1084 ; Hedba //Awl /Bit et subsidiairement et en complément à la proline, nous avons Hoggar et Ada / pri//Ofanto.

# Conclusion générale perspectives

La présente étude s'est fixée pour objectif d'allier deux approches complémentaires en vue de la sélection génétique pour la tolérance à la sécheresse. Il s'agit d'une approche directe par l'étude de la stabilité des rendements et de ses composantes obtenus sur deux campagnes agricoles et dans deux environnements différents. La seconde approche plus analytique et plus explicative est basée sur le principe de la sélection indirecte par incorporation de caractères morpho-physiologiques de tolérance à la sécheresse.

Partant de ce point de vue, nous avons procédé à l'identification chez les génotypes mis à l'étude de mécanismes morpho-physiologiques de tolérance à la sécheresse à même d'expliquer leurs performances et stabilité. Ceci, pourrait permettre en fin de compte d'aborder un programme d'amélioration génétique en ayant des critères affinés de sélection.

C'est ainsi, que l'analyse conjointe sur les mécanismes d'adaptation au stress hydrique menée au laboratoire d'une part et les résultats agronomiques obtenus au champ d'autre part, sans prétendre vouloir expliquer totalement ces derniers, permettent néanmoins grâce à l'identification des mécanismes spécifiques de tolérance à la sécheresse d'étayer les performances agronomiques réalisées par les différents génotypes.

Partant de là, il se dégage trois groupes de génotypes : un premier groupe constitué des variétés Deraa, MBB /Lans et Waha dont les bonnes performances observées quels que soit l'année ou le site seraient le résultat à la fois d'un statut hydrique dû à un ajustement osmotique à travers une TRE plus ou moins élevée et d'une accumulation d'osmoprotecteurs (proline) pour la première et d'une accommodation morphologique d'un ratio R/C élevé accompagnée d'une accumulation de proline pour les deux autres.

Toutefois, l'étude de la stabilité des rendements selon la méthode Finlay et Wilkinson (1963) classe ce premier groupe comme étant des variétés non stables capables de ne produire qu'en conditions climatiques favorables, mais il reste néanmoins que ces génotypes sont très productifs et conservent leurs supériorités dans toutes les situations.

Un second groupe constitué de Ada/Dui//Simeto, Ada/Dui//Offanto, semble très productif dans des conditions climatiques favorables et chez lequel nous avons pu noter l'existence d'une capacité d'ajustement osmotique, maintenant la teneur relative en eau à des niveaux assez élevés.

## Conclusion générale et perspectives

---

Cette capacité d'ajustement est liée à une accumulation d'osmolytes, laquelle aurait tendance à confirmer le rôle essentiel de ces osmoprotecteurs dans l'abaissement du potentiel osmotique en particulier chez le blé (Rascio 1985). En revanche, Hedba//Aw12/Bit et M1084, semblent tirer leurs bonnes performances d'un surcoût énergétique élevé.

Le troisième groupe représenté par Hoggar, variété autochtone maintiendrait une production acceptable grâce probablement à sa relative tardivité d'une part et concomitamment à sa tendance à accumuler et de la proline et des pigments chlorophylliens importants en fin de cycle végétatif.

Toutefois, si le nombre peu élevé de génotypes retenus ici, ainsi que la nature et la sévérité de la contrainte imposée ne nous permettent pas d'appréhender avec certitude de relation entre l'état hydrique de la plante « in situ » et les résultats agronomiques qui s'y rattachent, ils permettent néanmoins de nous suggérer d'accorder une grande place à l'ajustement osmotique à travers la TRE et les caractères y afférents en tant que paramètre entrant dans le criblage des génotypes adaptés à la sécheresse comme c'est le cas de façon franche et clairement affichée par Ada/Dui//Simeto et dans une moindre mesure (stress faible) par Waha et Ada/Dui//Offanto.

Il reste que pour l'heure et particulièrement pour cet aspect à valider dans le cadre de nouvelles recherches, les résultats auxquels est parvenue cette étude.

De même qu'il conviendrait au regard de la relative lourdeur dans la mise en œuvre des analyses physiologiques d'accorder un intérêt particulier à la recherche de marqueurs moléculaires, liés fonctionnellement aux mécanismes correspondants. Ceci, d'autant que d'ores et déjà quelques résultats intéressants ont été obtenus dans le cadre d'un programme de recherche de marqueurs associés aux paramètres liés au statut hydrique des céréales et ce, à l'INRA / ENSA de Montpellier.

La démarche consisterait donc dans un premier temps à confirmer sur la base d'essais multi locaux et pour les variétés retenues dans notre étude, la relation existante entre le maintien de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique avec les rendements. La seconde étape consisterait à rechercher des QTL (Quantitative Traits Loci) liés aux caractères physiologiques de la tolérance au stress hydrique.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

---

- **Abbassene F, Bouzerzour H, Hachemi L** – 1998 : Phénologie et production de blé dur en zone semi aride d'altitude – An.agro – INA el Harrach – 18 : 24-36.
  - **Adjab M** – 2002 : Etude des mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique chez différents génotypes de blé dur – Mémoire de Magistère – Univ. ANNABA.
  - **Ali Dib T, Monneveux Ph, Arauss J** – 1990: Breeding durum wheat for draught tolerance proc – Inter symp. – Bulgaria – Albena . Agri acad: 224-240.
  - **Allioui N** – 1993 : Etude de quelques altérations physiologiques et biochimiques causées par la rouille brune du blé – Thèse Magistère – Univ. ANNABA.
  - **Araus JL, Alegre L, Ali Dib T, Benlaribi M, Monneveux Ph** – 1991 : Epidermal and stomatal conductance in seeding of durum wheat landraces and varieties : in physiology breeding of winter cereals for stressed. Medit.environment.Colloque 55: 225- 242.
  - **Azzi G** – 1954 : Ecologie agricole – Encyclopédie agricole - Ed. Ballière – Paris.
  - **Bagga Ak, Ruwali Kn, Asana Rd** – 1970: Comparison of responses of some indian and semi dwarf Mexican wheat to irrigated cultivation – Indian – J.Agric.Sci – 40: 421-427.
  - **Bansal Kc, Sinha Sk** – 1991: Assessment of draught resistance in 20 accessions of triticum aestivum and related species .I. Total dry matter and grain yield stability - euphytica 56 : 7- 14.
  - **Belhassen E, This T, Monneveux Ph** – 1995 : Adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse – Cahier agri. 4 : 251- 261.
  - **Benlaribi N** – 1990 : Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur- Etude des caractères morphologiques et physiologiques – Thèse de doctorat – Univ. Constantine.
  - **Binet P** – 1989 : Métabolisme et adaptation des végétaux supérieurs aux contraintes hydriques, thermique et salines – Bull.eco – T20 : 41-49.
  - **Blum A** – 1988: Plant breeding for stress environment – Baco.reaton.Florida – Ed CRC Press INC – 223p.
  - **Blum A** – 1989: Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress – Crop.sci 29: 230- 233.
  - **Baragovic S, Williams AW** – 1982: Genotype X environment interactions for leaf area parameters and grain yield component and their effects on wheat yields – Crop.sci 22: 1020-1025.
  - **Bourras L** – 2001 : Effet du stress hydrique sur les composantes du rendement de quelques génotypes de blé dur – Thèse de Magistère – INA El Harrach.
  - **Brinis L** – 1995 : Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morphologiques, physiologiques et biochimiques. Traits d'adaptation et déterminisme génétique chez le blé dur- Thèse de Doctorat – Univ. Annaba.
  - **Cotton B** – 2000 : 20 ans d'exportation de blé français vers l'Algérie – Symposium blé 2000 – Enjeux et stratégies – Alger 7-9 fév 2000.
  - **Cruziat P** – 1974 : Détermination des pertes en eau subies par les organes d'une plante soumise au dessèchement –Ann. Agro 25(4) : 539-554.
-

---

## Références bibliographiques

---

- **Daday Hf, Biner E, Gressia A, and peak Jw** – 1973: The effect of environment on heritability and predicted selection response in *Médicago sativa* – *Heredity* 231- 293.
  - **Deysson G** – 1970: Physiologie et biologie des plantes vasculaires – 1ere partie. Nutrition et métabolisme – Tome II. Ed soc. D’enseig.sup.850p.
  - **Diehl R** – 1975 : Agriculture générale- Ed Balliere 120 p.
  - **Djekoun A, Yeklef N** – 1996 : Déficit hydrique : effets stomatiques et non stomatiques et activités photosynthétiques de quelques génotypes de blé tétraploïdes : 3° réunion du réseau Sewana de blé dur – Hassen II - 6.7 dec 1996.
  - **El Hakimi A** – 1992 : Evaluation de la variabilité génétique des caractères d’adaptation à la sécheresse chez les espèces tétraploïdes sauvages et cultivés du blé – Thèse de DEA- Montpellier 60 p.
  - **Finlay Kw, Wilkinson Gn** – 1963: The analysis of adaptation in a plant breeding program- *Aust.Journ.Agri- Res* 14: 742 p.
  - **Fischer Ra, Wood Jt-** 1979: Drought resistance in spring wheat cultivar III yields association with morphophysiological trait - *Aust.Journ.Agri- Res* 30: 1001- 1020.
  - **Gate P** – 1991 : Mieux comprendre l’élaboration du nombre de grains par epi chez le blé. Influences des facteurs climatiques – *Perspectives agricoles* 114 : 38- 51.
  - **Gate P, Brain P, Colenne J, Briffaux G** – 1990 : pour les cereales à paille à chaque variété son époque de survie - *Perspectives agricoles* 148 : 20-27.
  - **Guettouche R** – 1990 : Contribution à l’identification des caractères morphophysologiques d’adaptation à la secheresse chez le blé dur – Thèse DAA mise en valeur du milieu naturel – ENSA Montpellier.
  - **Grignac P** – 1965 : Contribution à l’études du *triticum durum desf* - Thèse de Doctorat – Univ . Toulouse 246p.
  - **Grignac P** – 1987 : Tolérance au déficit hydrique et aux hautes températures de cultivars de blé – ATP ecophysiologie du blé – Rapport intermédiaire campagne 1985- INRA : 279- 289.
  - **Hafsi M** – 2001 : Adaptation du blé dur dans les conditions des hautes plaines sétifiennes – Thèse de Doctorat – Univ. Ferhat Habbes Setif.
  - **Hsiao Tc** – 1973: Plant responses to water stress – *Ann. Revue plant physio* 24: 519- 570.
  - **Henry Y, Beyser J** – 2000 : Origine des blés dans la science – *H séné* 26 : 60- 62.
  - **Hsiao Tc , Bradford Jj** – 1984 : Physiological consequent of cellular water deficit in Taylor Hm, Jordan Wm, Sinclair. Ed limitation to efficient water – *Society of agronomy*.
  - **Hubac C** – 1978 : Evolution des sucres solubles et de l’amidon au cours de l’assèchement et de la réhumidification chez les plantes plus ou moins résistantes à la sécheresse (*Carex* et *Gossipium*) – Comparaison entre les parties aeriennes et les plantes souterraines – IV FAO – Nancy : 31-43.
-

---

## Références bibliographiques

---

- **Korichi M** - 1993 : Contribution à l'étude de l'ajustement osmotique et de la réponse protéique de blé dur au stress hydrique – DEA. Montpellier France.
  - **Kramer Pj** – 1969: Plant and soils water relationships and modern synthesis – MC Grawahill – New York.
  - **Kramer Pj** – 1983: Water relation of plants – Department of Botany – Duke – Univ Durham North. Carolina.
  - **Larbi A** – 1992 : Détermination de quelques caractères agronomiques d'adaptation à la secheresse chez le blé tender et chez le blé dur. Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement – Agro 6 : 583 – 590.
  - **Levit J** – 1972: Responses of plant to environment stress – Vol 2- Academic press – New York.
  - **Monneveux Ph** – 1991 : Quelles stratégies pour l'amélioration génétiques de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver pour ? In amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides – Ed AUPELF.UREF – John Libbery – Eurotext Paris : 165 - 186.
  - **Monneveux Ph, Depigny** - 1995 : Intégration des approches physiologiques, génétiques et moléculaires par l'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les céréales – Congrès AUPELF.URF – Namur 18 – 21 oct 1993.
  - **Morgan Jm** – 1983: Osmoregulation as a selection criterious for drought tolerance in wheat – Aust. J. agro- Res 34.
  - **Nemmar M** – 1983: Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur et du blé tender – Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement – Thèse de Doctorat ENSA – Montpellier.
  - **Papadakis** – 1983 : Ecologie agricoles – Ed Duculot – Gembloux. 313p.
  - **Paquin R** – 1977 : Effet de basses températures sur la résistance au gel de la luzerne et son contenu en proline libre – Physio.veg 115 (14) : 657-665.
  - **Papagopal V, Bahesubramanian V , Sinha SK** – 1977 : Diurnal fluctuation in relative water content nitrate reductase and proline content in water stress and no stress wheat – physio plant 40: 69 – 71.
  - **Percevaux S** – 1963: Transpiration végétale et production végétale. Essai d'interprétation en fonction des facteurs du milieu – Ann .agro 14(5) :655 – 742.
  - **Pffeifer WH** – 1993: Drought tolerance in breed a wheat analysis of yield improvement over years in cymmit germplasm – Mexico: 274 - 284.
  - **Planchon C** - 1963 : Essai de determination des critères physiologiques en vue de l'amélioration du blé tendre – Les facteurs de la photosynthèse de la derniere feuille – Ann. Amélioration plantes (15) : 680 – 687.
  - **Rascio A** – 1985: Water retention capacity of triticum durum cultivars receiving two different water regions – Gent – Agro 39: 409 – 416.
  - **Robert D, Gate P, François C** – 1993 : Les stades du blé – Brochure de l'ITCF.
  - **Smille Rm, Hetherington Sf** – 1983: Stress tolerance and stress induced injury in crop plants measured by chlorophylle fluorescence invivo - Plant physio 72: 1043 – 1050.
-

## Références bibliographiques

---

- **Tal M, Imber D, Ernez M, Epstein E** – 1979: Abnormal stomatal behaviour and hormonal imbalance in flaccid and wilted mutant of tomato plant – *Physiol* 63: 1044-1048.
  - **Todd Gw, Webster Dl** – 1965: Effect of repeated drought periods on photosynthesis and survival of cereal seedlings – *Agronomy journal* 57: 399 – 402.
  - **Turner Nc** – 1979: Drought resistance and adaptation of water in crop plants in stress physiology of crop plants: 343 – 372.
  - **Richards Ra, Passioura Jb** – 1981: Seminal root morphology and water use of wheat. II. Genetic variation crop. *Cr.Sci* 21: 253 – 255.
  - **Van oosteram Ve, Cecarelli S, Peacock Jm** – 1993: yield responses of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environment. *Jagri sci* 121: 307 – 313.
-

# Annexes

**Tableau n°1** : Composantes du rendement année 2002

Moyenne des 04 répétitions

Geno	NJE	HT	EP/M <sup>2</sup>	NG/E	PMG	RDT
Simeto	118	88	75	45	31	46.88
MBB/Lan's	116	87	79	44	40	49.57
Hedba	117	116	88	43	37	41.37
Waha	120	86	87	49	37	50.9
M1084	117	87	92	43	39	39.89
Deraa	118	88	87	54	38	51.16
Offanto	115	98	75	51	35	47.24
hoggar	121	90	95	48	34	52.37

**Tableau n°2**: Composantes du rendement année 2003

Moyenne des 04 répétitions

Geno	NJE	HT	EP/M <sup>2</sup>	NG/E	PMG	RDT
Simeto	115	100	77	50	34	54.95
MBB/Lan's	116	102	81	46	40	51.37
Hedba	120	132	91	45	38	53.26
Waha	116	100	90	52	37	51.8
M1084	122	93	94	41	38	48.34
Deraa	118	91	89	51	39	60.46
Offanto	116	101	77	52	35	57.14
hoggar	114	90	100	48	34	46.58

**Tableaux d'analyses de variances : tableau n°1** : Epis au mètre carré (EPM2)

ET	CV	SCE	DDL	C moyens	Test F	PROB
Var total		8908.22	127	70.14		
Var.facteur1		7226.72	7	1032.39	123.19	0.0000
Var.facteur2		276.13	1	276.13	32.95	0.0000
Var.facteur3		276.13	1	276.13	32.95	0.0000
Var.Inter 1x2		17.88	7	2.55	0.3	0.9494
Var.Inter 1x3		17.88	7	2.55	0.3	0.9494
Var.Inter 2x3		270.28	1	270.28	32.25	0.0000
Var.Inter 1x2x3		18.72	7	2.67	0.32	0.9431
Var residuelle		804.5	96	8.38		
2.89	34%					

**Tableau n°2** : Rendement (RDT)

ET	CV	SCE	DDL	C moyens	Test F	PROB
Var total		41773564	127	328925.69		
Var.facteur1		4505388	7	643626.88	3.40	0.0028
Var.facteur2		548628	1	548628.88	2.90	0.0879
Var.facteur3		2850076	1	2850076.00	15.06	0.0003
Var.Inter 1x2		1380080	7	197154.28	1.04	0.4075
Var.Inter 1x3		5334692	7	762098.88	4.03	0.0007
Var.Inter 2x3		5172132	1	5172132	27.34	0.0000
Var.Inter 1x2x3		3820396	7	545770.88	2.88	0.0089
Var residuelle		18162172	96	189189.3		
434.96	14.4%					

**Tableau n°3** : Grains par épi (GREP)

ET	CV	SCE	DDL	C moyens	Test F	PROB
Var total		2711.5	127	21.35		
Var.facteur1		1995.5	7	285.07	684.17	0.0000
Var.facteur2		180.5	1	180.5	433.20	0.0000
Var.facteur3		60.5	1	60.5	145.20	0.0000
Var.Inter 1x2		83.5	7	11.93	28.63	0.0000
Var.Inter 1x3		63.5	7	9.07	21.77	0.0000
Var.Inter 2x3		264.5	1	264.5	634.8	0.0000
Var.Inter 1x2x3		23.5	7	3.36	8.06	0.0000
Var residuelle		40.0	96	0.42		
0.65	1.4%					

**Tableau n°4** : Poids de mille grains (PMG)

ET	CV	SCE	DDL	C moyens	Test F	PROB
Var total		1361.88	127	10.72		
Var.facteur1		622.88	7	88.98	213.56	0.0000
Var.facteur2		210.13	1	210.13	504.3	0.0000
Var.facteur3		3.13	1	3.13	7.5	0.0073
Var.Inter 1x2		214.88	7	30.70	73.67	0.0000
Var.Inter 1x3		9.87	7	1.41	3.39	0.0029
Var.Inter 2x3		231.13	1	231.13	554.7	0.0000
Var.Inter 1x2x3		29.88	7	4.27	10.24	0.0000
Var residuelle		40	96	0.42		
0.65	1.8%					

**Tableau n°5** : Hauteur des plantes (HAUT)

ET	CV	SCE	DDL	C moyens	Test F	PROB
Var total		18911.99	127	148.91		
Var.facteur1		14809.99	7	2115.71	5077.71	0.0000
Var.facteur2		40.49	1	40.49	97.19	0.0000
Var.facteur3		2520.49	1	2520.49	6049.19	0.0000
Var.Inter 1x2		169.51	7	24.22	58.12	0.0000
Var.Inter 1x3		1093.51	7	156.22	374.92	0.0000
Var.Inter 2x3		50.01	1	50.01	120.01	0.0000
Var.Inter 1x2x3		187.99	7	26.86	46.64	0.0000
Var residuelle		40	96	0.42		
0.65	1.8%					

**Tableau n°6** : Nombre de jours à l'épiaison (NJEP)

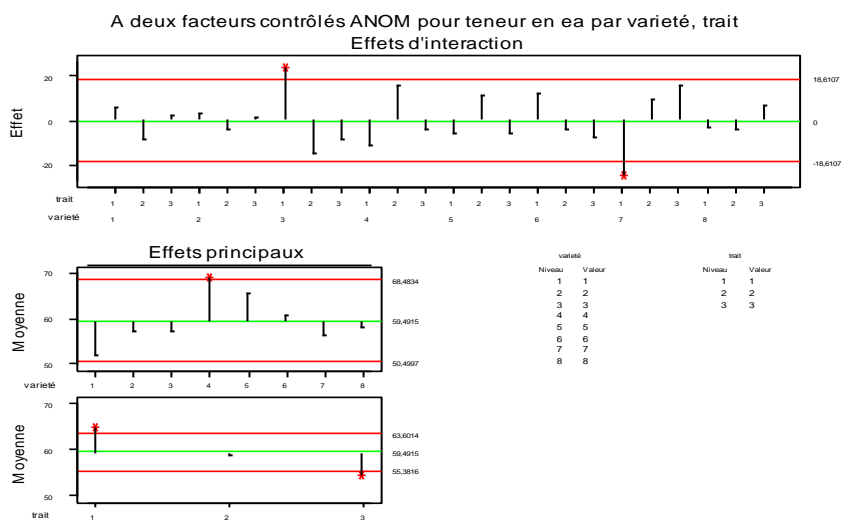
ET	CV	SCE	DDL	C moyens	Test F	PROB
Var total		692.88	127	5.46		
Var.facteur1		193.88	7	27.7	66.47	0.0000
Var.facteur2		28.13	1	28.13	67.5	0.0000
Var.facteur3		6.13	1	6.13	14.7	0.0003
Var.Inter 1x2		4.87	7	0.7	1.67	0.1244
Var.Inter 1x3		386.87	7	55.27	132.64	0.0000
Var.Inter 2x3		28.12	1	28.12	67.5	0.0000
Var.Inter 1x2x3		4.88	7	0.7	1.67	0.1244
Var residuelle		40	96	0.42		
0.65	0.6%					

**Modèle linéaire généralisé : teneur en eau en fonction de variété. trait**

Facteur	Type	Niveaux	Valeurs
variété	fixe	8	1 2 3 4 5 6 7 8
trait	fixe	3	1 2 3

Analyse de la variance pour teneur e, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	1962,6	1962,6	280,4	2,71	0,019
trait	2	1360,5	1360,5	680,2	6,57	0,003
variété*trait	14	8616,1	8616,1	615,4	5,94	0,000
Erreur	48	4970,1	4970,1	103,5		
Total	71	16909,3				

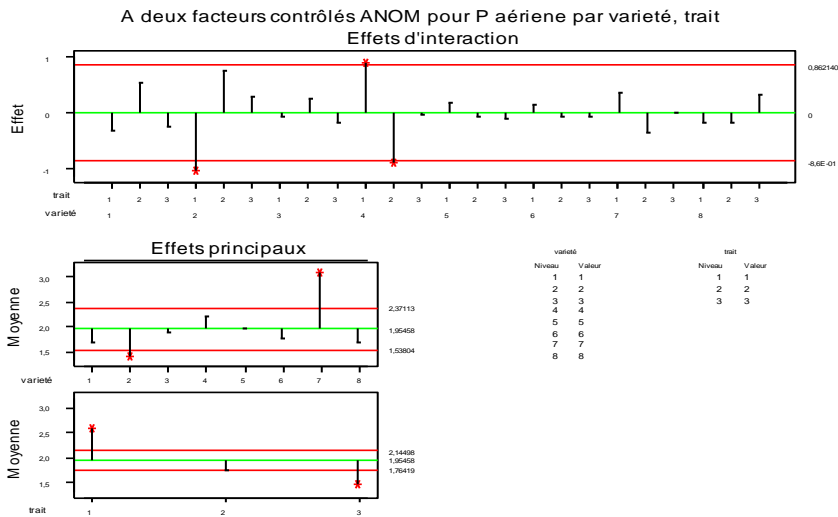


**MSeche : P aériene. P racinaire. ... en fonction de variété.**

Facteur	Type	Niveaux	Valeurs
variété	fixe	8	1 2 3 4 5 6 7 8
trait	fixe	3	1 2 3

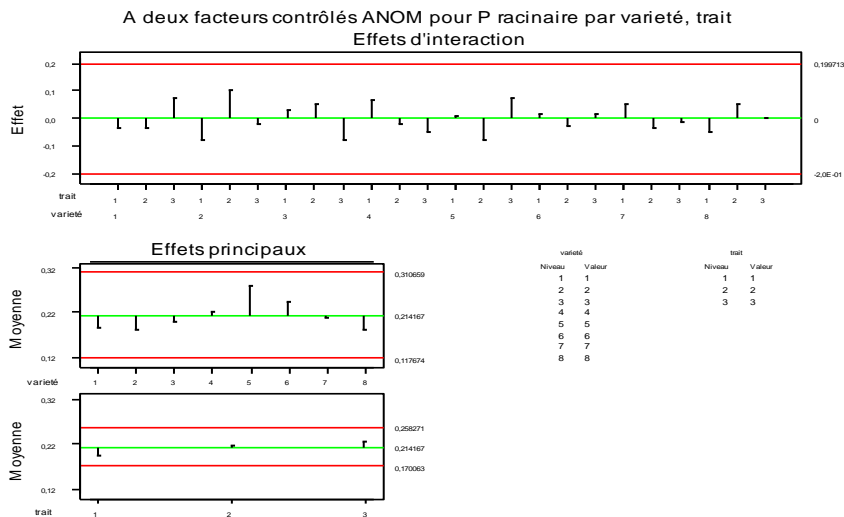
Analyse de la variance pour P aérien, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	17,4787	17,4787	2,4970	11,24	0,000
trait	2	17,4469	17,4469	8,7234	39,26	0,000
variété*trait	14	13,3214	13,3214	0,9515	4,28	0,000
Erreur	48	10,6658	10,6658	0,2222		
Total	71	58,9128				



Analyse de la variance pour P racina, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	0,08299	0,08299	0,01186	0,99	0,447
trait	2	0,01120	0,01120	0,00560	0,47	0,628
variété*trait	14	0,19302	0,19302	0,01379	1,16	0,338
Erreur	48	0,57233	0,57233	0,01192		
Total	71	0,85955				

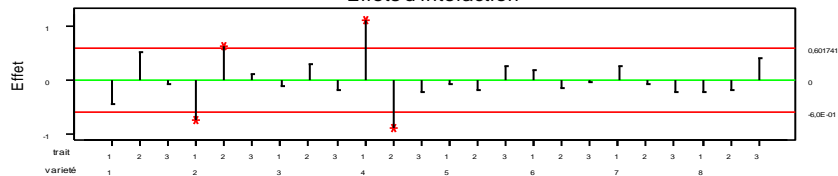


R indique une observation avec une valeur résiduelle normalisée importante.

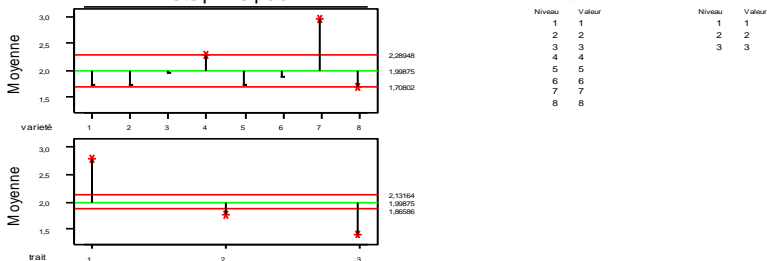
Analyse de la variance pour Total, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	12,4335	12,4335	1,7762	16,41	0,000
trait	2	26,9637	26,9637	13,4819	124,55	0,000
variété*trait	14	13,0583	13,0583	0,9327	8,62	0,000
Erreur	48	5,1959	5,1959	0,1082		
Total	71	57,6514				

A deux facteurs contrôlés ANOM pour Total par variété, trait  
Effets d'interaction



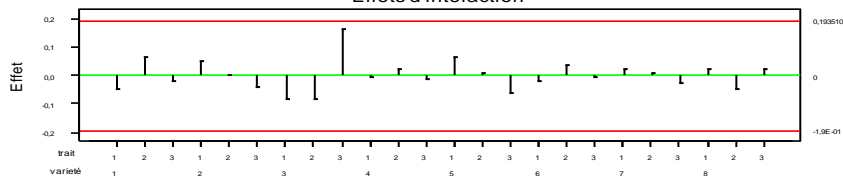
Effets principaux



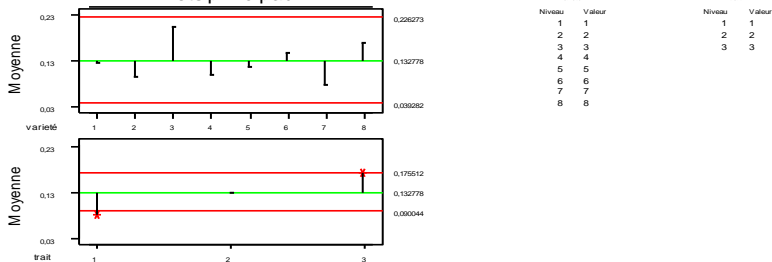
Analyse de la variance pour R/C, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	0,11671	0,11671	0,01667	1,49	0,194
trait	2	0,11039	0,11039	0,05519	4,93	0,011
variété*trait	14	0,20441	0,20441	0,01460	1,30	0,240
Erreur	48	0,53733	0,53733	0,01119		
Total	71	0,96884				

A deux facteurs contrôlés ANOM pour R/C par variété, trait  
Effets d'interaction



Effets principaux



19/04/2009 14:25:02

Bienvenue dans Minitab, appuyez sur F1 pour obtenir l'aide.

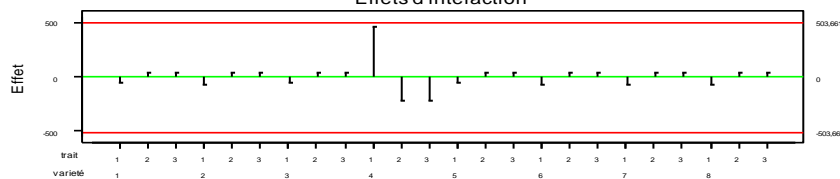
**Modèle linéaire généralisé : CHLa. CHLb. ... en fonction de variété. trait**

Facteur	Type	Niveaux	Valeurs
variété	fixe	8	1 2 3 4 5 6 7 8
trait	fixe	3	1 2 3

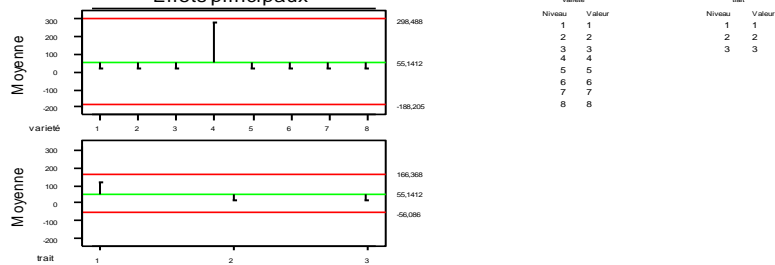
Analyse de la variance pour CHLa, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	530519	530519	75788	1,00	0,443
trait	2	157011	157011	78505	1,04	0,363
variété*trait	14	1064618	1064618	76044	1,00	0,466
Erreur	48	3640112	3640112	75836		

A deux facteurs contrôlés ANOM pour CHLa par variété, trait  
Effets d'interaction



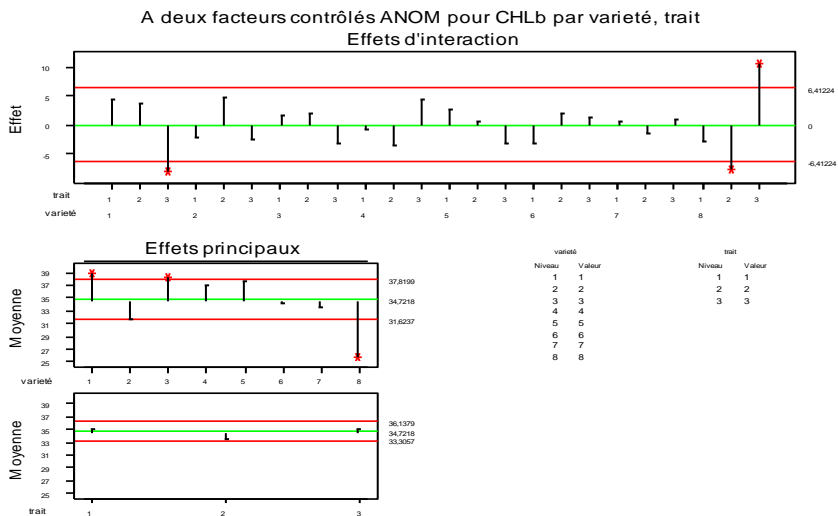
Effets principaux



Total 71 5392259

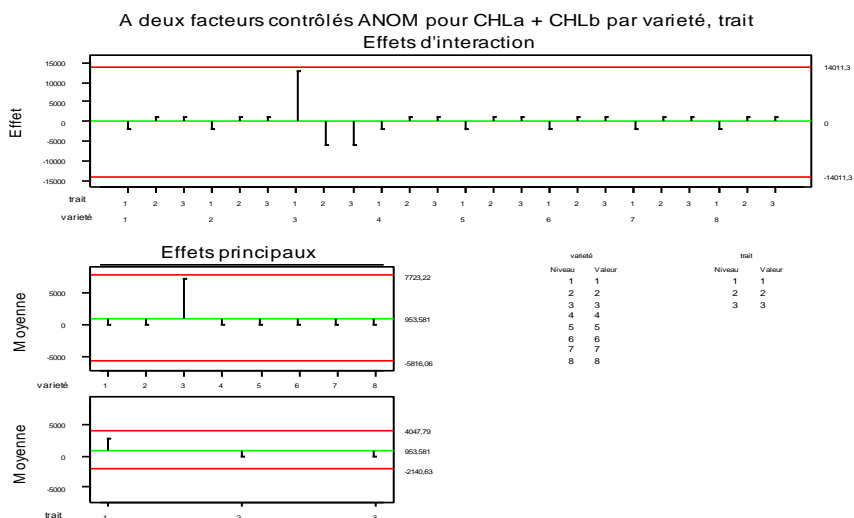
Analyse de la variance pour CHLb, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	1268,42	1268,42	181,20	14,74	0,000
trait	2	33,64	33,64	16,82	1,37	0,264
variété*trait	14	1209,33	1209,33	86,38	7,03	0,000
Erreur	48	590,01	590,01	12,29		
Total	71	3101,39				



Analyse de la variance pour CHLa + C, en utilisant la SC ajustée pour les tests

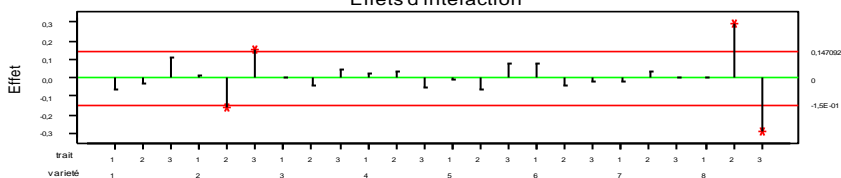
Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	412050646	412050646	58864378	1,00	0,441
trait	2	117592762	117592762	58796381	1,00	0,375
variété*trait	14	821888227	821888227	58706302	1,00	0,468
Erreur	48	2817052222	2817052222	58688588		
Total	71	4168583858				



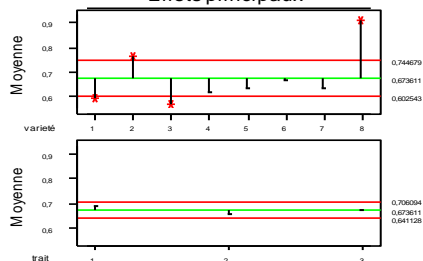
Analyse de la variance pour CHLa / C, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	0,834239	0,834239	0,119177	18,43	0,000
trait	2	0,012211	0,012211	0,006106	0,94	0,396
variété*trait	14	0,830744	0,830744	0,059339	9,17	0,000
Erreur	48	0,310467	0,310467	0,006468		
Total	71	1,987661				

A deux facteurs contrôlés ANOM pour CHLa / CHLb par variété, trait  
Effets d'interaction

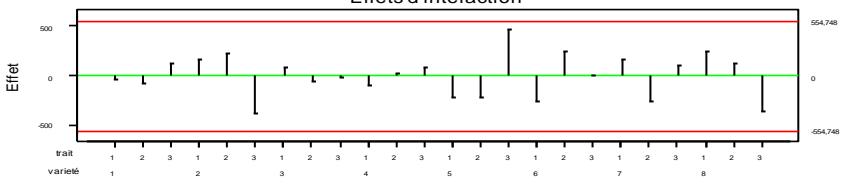


Effets principaux

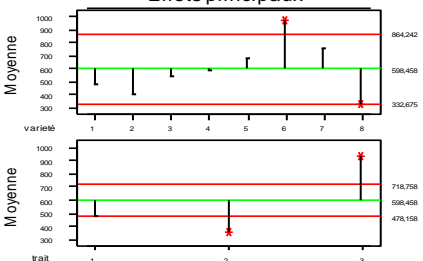


variété		trait	
Niveau	Valeur	Niveau	Valeur
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		
8	8		

A deux facteurs contrôlés ANOM pour Proline par variété, trait  
Effets d'interaction



Effets principaux



variété		trait	
Niveau	Valeur	Niveau	Valeur
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		
8	8		

**Modèle linéaire généralisé : Proline en fonction de variété. trait**

Facteur	Type	Niveaux	Valeurs
variété	fixe	8	1 2 3 4 5 6 7 8
trait	fixe	3	1 2 3

Analyse de la variance pour Proline, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	1836709	1836709	262387	4,73	0,002
trait	2	3095842	3095842	1547921	27,91	0,000
variété*trait	14	2071863	2071863	147990	2,67	0,017
Erreur	24	1330834	1330834	55451		
Total	47	8335249				

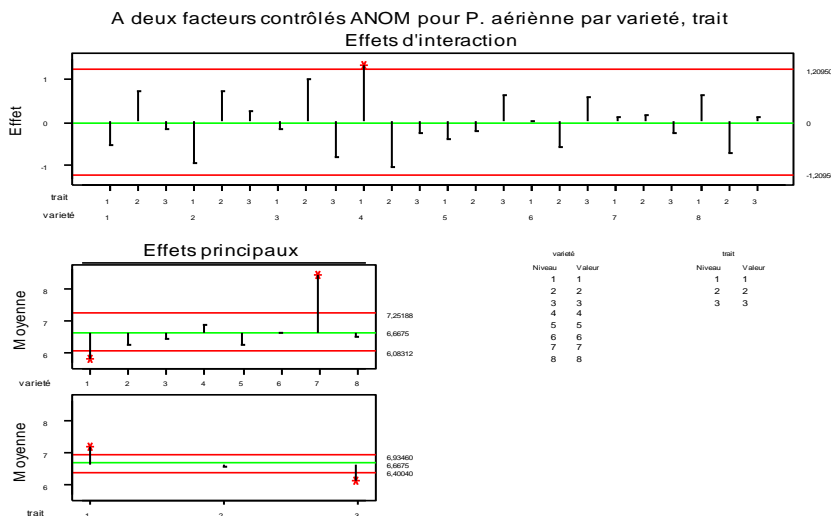
**MFraiche : P. aérienne. P racinaire. ... en fonction de variet TRT**

```

Facteur      Type Niveaux Valeurs
varieté     fixe      8  1 2 3 4 5 6 7 8
trait       fixe      3  1 2 3
    
```

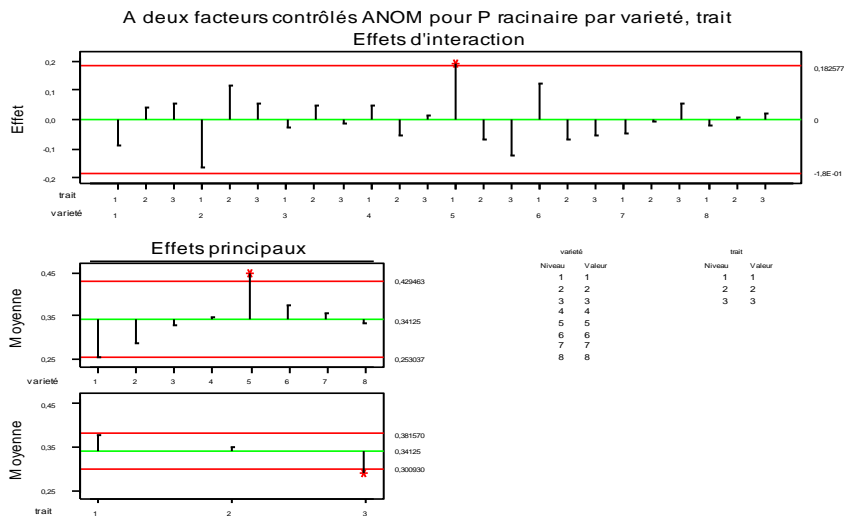
Analyse de la variance pour P. aériè, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
varieté	7	40,9454	40,9454	5,8493	13,38	0,000
trait	2	14,3383	14,3383	7,1692	16,39	0,000
varieté*trait	14	28,0809	28,0809	2,0058	4,59	0,000
Erreur	48	20,9918	20,9918	0,4373		
Total	71	104,3563				



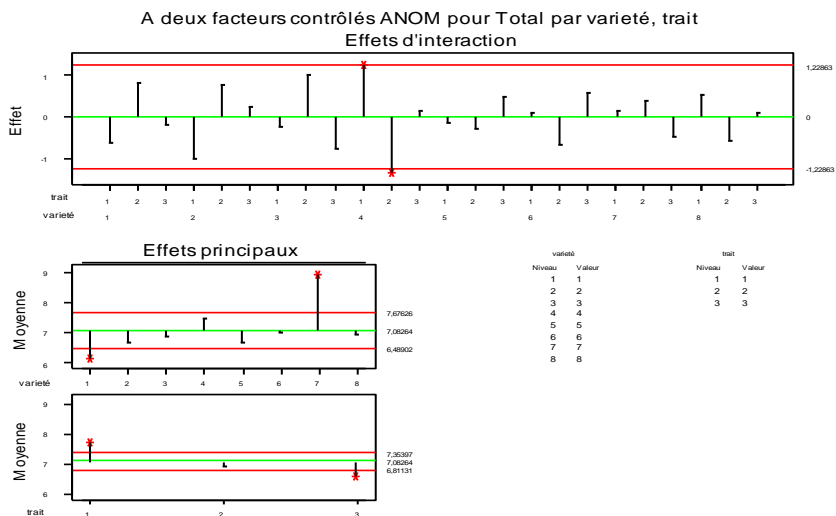
Analyse de la variance pour P racina, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
varieté	7	0,218276	0,218276	0,031182	3,13	0,008
trait	2	0,098425	0,098425	0,049213	4,94	0,011
varieté*trait	14	0,458553	0,458553	0,032754	3,29	0,001
Erreur	48	0,478333	0,478333	0,009965		
Total	71	1,253588				



Analyse de la variance pour Total, en utilisant la SC ajustée pour les tests

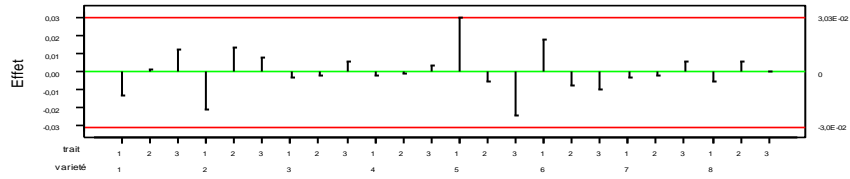
Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	45,7449	45,7449	6,5350	14,48	0,000
trait	2	16,3171	16,3171	8,1585	18,08	0,000
variété*trait	14	30,1103	30,1103	2,1507	4,77	0,000
Erreur	48	21,6613	21,6613	0,4513		
Total	71	113,8336				



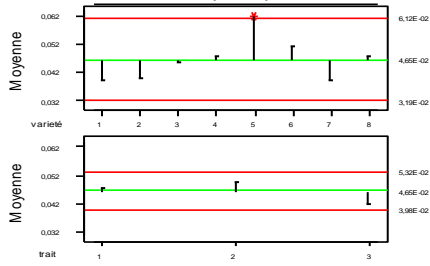
Analyse de la variance pour R/C, en utilisant la SC ajustée pour les tests

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
variété	7	0,0038764	0,0038764	0,0005538	2,01	0,073
trait	2	0,0007861	0,0007861	0,0003931	1,43	0,249
variété*trait	14	0,0095694	0,0095694	0,0006835	2,49	0,010
Erreur	48	0,0132000	0,0132000	0,0002750		
Total	71	0,0274319				

A deux facteurs contrôlés ANOM pour R/C par variété, trait  
Effets d'interaction



Effets principaux



variété		trait	
Niveau	Valeur	Niveau	Valeur
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4		
5	5		
6	6		
7	7		
8	8		