



لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



التعليم  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université des Frères Mentouri Constantine 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسنطينة 1  
كلية الطبيعة الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

: البيولوجيا و علم البية النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : *Biotechnologie et Génomique Végétale*

### Intitulé :

---

**Comparaison entre la mesure du taux de la chlorophylle et le dosage de sa teneur par spectrophotométrie : Comparaison évolutive de la sénescence de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.).**

---

Présenté et soutenu par : BOUZIDI IMEN

Le : 17/07/2019

#### Jury d'évaluation :

**Présidente du jury :** Mme. *HAMLA C.* (MCB - UFM Mentouri Constantine 1).

**Encadrant :** Mr. *DJEKOUN A.* (Prof- UFM Mentouri Constantine 1).

**Co- Encadrant :** Mr. *KELLOU K.* (MAA – UFM Mentouri Constantine 1).

**Examinatrice :** Mme. *MOUELLEF A.* (MAA - UFM Mentouri Constantine 1).

*Année universitaire  
2018 - 2019*

# *Dédicaces*

*A mes chers parents pour leur patience, gentillesse et pour leur  
soutien moral*

*A mes frères : Charaf Et Nasreddine.*

*A mes adorables cousines : Sonia, Selma, Inés*

*Aux anges : Nimou, Norcine, Céline, Maïssa, Lyne*

*A mes tantes : Chafia, Hafiza, Houria Et Tata Imen*

*A mes oncles: Mohamed Salah, Abdelouaheb Rachid, Karim*

*A mes amis et surtout mes Copines Kahina, Chaima*

*A mes collègues de la promotion biotechnologie et génomique  
végétale*

## **Remerciement**

*Je remercie dieu le tout puissant et Miséricordieux d'avoir guidé nos pas et éclairé nos pensées, de nous avoir offert la source d'inspiration qui nous a permis d'arriver à faire ce travail.*

*Je tiens à remercier mon encadreur le professeur Djekoun A, chef d'équipe de recherche de Biotechnologie et Amélioration des Plantes au niveau de laboratoire Génétique Biochimie et Biotechnologie Végétale (GBBV).*

*C'est avec plaisir que je tiens à remercier MR KELLOU, mon Co-encadrent, qui a dirigé Ce travail, qui m'a soutenue et ma poussé à surpasser et donner le meilleur de moi-même.*

*Je remercie l'équipe d'ITGC d'El khroub*

*Mes vifs remerciements s'adressent également aux membres de jury qui ont accepté de juger mon travail :*

*Dr. HAMLA C. pour le grand honneur de présider le jury.*

*Mme. MOUELLEF A. d'avoir bien voulu d'examiner ce travail*

*Merci a tout les professeurs qui nous ont enseignées en particulier Mr Benbelkacem qui m'a beaucoup aidé ainsi que toutes les personnes qui ont participé de près et de loin a la réalisation de ce travail*

*Et sans oublier de remercier les membres du laboratoire de GBBV Mr belbekri ,madame Chafika et madame Bouldjej Rima et aussi l'équipe l'institut technique des grands cultures*

## Résumé

La teneur en chlorophylle est un facteur limitant pour une bonne accumulation des photosynthétats et un bon remplissage du grain du blé dur. La mesure de la chlorophylle en teneur et en taux des feuilles étendards nous indique sur la bonne assimilation de la plante des réserves nutritionnelles et avoir un bon rendement en fin de cycle. L'objectif de notre travail est de mesurer le taux et la teneur en chlorophylle chez 6 variétés de blé dur cultivées à l'ITGC d'EL Khroub Constantine (Waha, Hoggar, Simeto, Oued Zenati 368, Djennah Khetifa et Beni Mestina) en 4 dates différentes après l'épiaison. En comparant les mesures du taux de chlorophylle par deux appareils (SPAD et chlorophylle mètre) et les dosages des teneurs en chlorophylle a, b et totale et en caroténoïdes par spectrophotométrie. Les résultats ont montré que le chlorophylle mètre est le plus fiable par rapport au SPAD, parce que il y'a une corrélation avec les fluctuations de la chlorophylle a et totale.

**Mots clés :** Chlorophylle, caroténoïdes, SPAD, chlorophylle mètre, blé dur.

## Summary

The chlorophyll content is a limiting factor for a good accumulation of photosynthesizes and a good feeling of durum wheat grain. The measurement of chlorophyll in the content and rate of the standard leaves indicates the good assimilation of the plant of the nutritional reserves and the good yield at the end of the cycle. The objective of our work is to measure the rate and chlorophyll content in 6 varieties of durum wheat grown in EL Khroub Constantine's ITGC (Waha, Hoggar, Simeto, Oued Zenati 368, Djennah Khetifa et Beni Mestina) in 4 different dates after heading. Comparing the chlorophyll level measurements by two devices (SPAD and chlorophyll meter) and the assays of chlorophyll content a, b and total and carotenoids by spectrophotometry. The results showed that the chlorophyll meter is the most reliable compared to SPAD, because there is a correlation with the fluctuations of chlorophyll a and total.

**Key words:** Chlorophyll, carotenoids, SPAD, chlorophyll meter, durum wheat.

يعد محتوى الكلوروفيل عاملاً مقيداً للتراكم الجيد للتركيب الضوئي و التعبئة الجيدة لحبوب . إن قياس الكلوروفيل في محتوى و مستوى الأوراق يدل على الامتصاص الجيد للنبات من الاحتياطات الغذائية و الحصول على مردود جيد في نهاية الدورة . الهدف من عملنا هو قياس معدل ومحتوى الكلوروفيل 6 (Beni Mestina Djennah Khtifa Oued Zenati 368 Simeto Hoggar Waha) ITGC الخروب قسنطينة 4 تواريخ مختلفة بعد . مقارنة قياسات مستوى الكلوروفيل بواسطة جهازين (مقياس الكلوروفيل و SPAD) قياس محتوى الكلوروفيل ا و ب و الإجمالي و الكاروتينويد بواسطة القياس الطيفي. حيث أظهرت النتائج أن مقياس الكلوروفيل هو الأكثر موثوقية بالنسبة لمقياس الكلوروفيل مقارنة بالسباد SPAD لان هناك علاقة مع تقلبات الكلوروفيل أ والإجمالي.

**الكلمات المفتاحية :** الكلوروفيل ، الكاروتينويد ، SPAD مقياس الكلوروفيل ، القمح الصلب.

## *Abréviation*

ANOVA: Analyse of variance

CCI : indice de teneur en chlorophylle

Chl: chlorophylle

CIMMYT: International Maize and Wheat Improvement Center

CPP : complexes pigments-protéines

Djennah Kh : Djennah Khetifa

GGPP : géranylgeranyl pyrophosphate

GPC: grain protein content

ICARDA: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas

ITGC: Institut Technique des Grandes Cultures

LHC : Light Harvesting Complex.

Oued z : Oued zenati

PSI: le photosystème I

PSII : le photosystème II

RC : centre réactionnel

SPAD : développements pour l'analyse du sol et des plantes

## *Liste des figures*

Titre	Page
<b>Figure 1</b> : Phylogénie de blé dur	4
<b>Figure 2</b> : Caryotypes des trois espèces de blé	5
<b>Figure 3</b> : Cycle de développement du blé	6
<b>Figure 4</b> : Sénescence monocarpique chez l'orge.	9
<b>Figure 5</b> : chloroplastes dans des cellules vertes.	11
<b>Figure 6</b> : structure des chlorophylles	13
<b>Figure 7</b> : Spectre d'absorption des chlorophylles (a) et (b)	13
<b>Figure 8</b> : évolution des pigments photosynthétiques lors de la sénescence	18
<b>Figure 9</b> : l'appareil SPAD (MINOLITA502)	23
<b>Figure 10</b> : l'appareil Apogee MC -100	24
<b>Figure 11</b> : Teneur en chlorophylle a (Chl a) des feuilles des variétés étudiés.	27
<b>Figure 12</b> : Variation de la teneur en chlorophylle b (Chl b) des feuilles des variétés étudiées.	28
<b>Figure 13</b> : Variation de la teneur en chlorophylle totale (Chl a + Chl b) des feuilles des variétés étudiées.	30
<b>Figure 14</b> : Variation de la teneur en caroténoïdes des feuilles des variétés de blé dur étudiées.	31
<b>Figure 15</b> : Variation du taux de chlorophylle mesuré en SPAD des feuilles des variétés étudiées.	32
<b>Figure 16</b> : Variation du taux de chlorophylle mesuré par la chlorophylle mètre des feuilles des variétés étudiées.	35



## *Liste des tableaux*

Titre	Page
<b>Tableau 1</b> : teneur en pigments des structures pigments-protéines issues de l'ADN chloroplastique	16
<b>Tableau 2</b> : teneur en pigments des CPP issues de l'ADN nucléaire	16
<b>Tableau n° 03</b> : Description du matériel végétal étudié à El Khroub (2018/2019)	20
<b>Tableau n°4</b> : Relevé Pluviométrique 2018/2019 comparée à la moyenne Seltzer de 25 ans à Constantine de septembre 2018 à Juin 2019	22
<b>Tableau n°5</b> : Températures moyennes mensuelles, minimas et maximas ayant prévalues à Constantine du mois de septembre 2018 au mois de juin 2019	22
<b>Tableau n°6</b> : Températures minimas et maximas et pluviométrie ayant prévalues à Constantine de mois de mai 2019 par date	23

# Sommaire

<b>INTRODUCTION</b> .....	01
<b>CHAPITRE I. Revue bibliographique</b>	
1. Généralité sur le blé dur.....	03
1.1 Historique et répartition géographique du blé.....	03
1.2 Origine génétique du blé dur.....	03
1.3 Le cycle biologique du blé.....	05
1.3.1 Période végétative.....	05
1.3.2 Période reproductrice.....	07
2. La sénescence chez les céréales.....	07
2.1. Sénescence terminale.....	10
2.2 Sénescence de la plante entière, teneur en protéines du grain et teneur en minéraux du grain.....	10
3. les pigments foliaires.....	11
3.1 Rôle et propriétés des pigments foliaires.....	11
3.2 Les propriétés physico-chimiques.....	12
3.2.1 la chlorophylle.....	12
3.2.2 Les caroténoïdes.....	14
3.3 Localisation et rôle dans la feuille.....	15
3.3.1 Les pigments photosynthétiques.....	15
4. Evolution de la teneur en pigments.....	17
<b>CHAPITRE I. Matériel et méthodes</b>	
1. Matériel végétal.....	20
2. Description sur le site de culture.....	21
3. Données climatiques .....	22
4. Paramètres étudiées.....	23
4.1. Taux de chlorophylle mesuré par SPAD et chlorophylle mètre (Apogee MC-100).....	24
4.2. Mesure de la teneur en chlorophylle (Chlorophylle a et b et caroténoïdes).....	26
5. Traitement et analyse statistique.....	27
<b>CHAPITRE I. Résultats et discussion</b>	
1. Résultats.....	28
1.1 Teneur en chlorophylle a.....	28
1.2 Teneur en chlorophylle b .....	30
1.3 Teneur en chlorophylle totale.....	31
1.4 Teneur en caroténoïdes.....	32
1.5 Taux de chlorophylle mesuré par SPAD.....	33
1.6 Taux de chlorophylle mesuré par chlorophylle mètre.....	34
Discussion.....	35
Conclusion.....	38
Références bibliographiques.....	39
Annexes	

*Chapitre*  
*Synthèse*  
*bibliographique*

## Introduction

---

### Introduction

Depuis longtemps, les céréales constituent une importante ressource alimentaire de l'homme et de l'animal. Ils occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole (Slama et *al.*, 2005). Ces plantes ont en commun des hauts rendements, des principes énergétiques importants ainsi que des durées de conservation des graines très longues (Feillet, 2000).

Parmi ces céréales, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) compte parmi les espèces les plus anciennes. Il constitue une grande partie de l'alimentation de l'humanité, d'où son importance économique.

La culture du blé et particulièrement celle du blé dur constitue une filière agricole importante dans l'économie nationale. (Zitouni, 2006). La superficie emblavée à ce jour est de 3,49 millions hectares, dont plus de 1,47 million d'hectares emblavés en blé dur, contre une superficie globale de 3,2 millions d'hectares emblavés à la même période de la campagne écoulée. (Anonyme a., 2019).

En Algérie, cette place est d'autant plus importante, vu que le pays prévoit d'atteindre une production stable de céréales, en particulier le blé dur, demeure l'aliment de base des régimes alimentaires. Malheureusement, l'Algérie n'arrive pas à atteindre l'autosatisfaction, elle ne couvre que 40% des besoins et cette faiblesse du rendement est due à plusieurs facteurs biotique (les maladies, les attaques des insectes...), ou abiotique (le climat et surtout les précipitations.....) aussi on peut l'expliquer par la non maîtrise des itinéraires techniques (la mauvaise préparation du sol, l'adaptation des anciennes méthodes non ou peu efficaces....).

En effet, les pigments foliaires permettent une bonne assimilation de l'énergie lumineuse par la plante, interviennent lors de sa croissance et la protègent contre une multitude de facteurs tout au long de sa vie. La teneur en pigments foliaires constitue une des principales signatures de l'état physiologique des plantes. La mesure de l'évolution de l'équipement pigmentaire dans les feuilles permet de déterminer le stade phénologique, différencier les populations d'un écosystème, révéler les carences et les situations de stress éventuelles. Les pigments foliaires sont aussi importants dans le monde végétal que les cellules sanguines dans le monde animal. (Féret., 2009)

Chaque famille de pigments est soumise à ses propres mécanismes de régulation, souvent complexes et permettant de cibler leur action en fonction des besoins de la plante et des contraintes environnementales. La chlorophylle, principal pigment foliaire, sert ainsi

## Introduction

---

d'indicateur pour évaluer le rendement potentiel d'une culture ou la biomasse d'une forêt, pour détecter des carences nutritionnelles ou encore divers types de pollutions. C'est aussi une variable clé des modèles du cycle du carbone, et plus généralement des modèles climatiques. Quantitativement, les caroténoïdes constituent la deuxième famille de pigments foliaires. Ils participent activement au bon fonctionnement de la plante par des mécanismes qui leur sont propres comme le cycle des xanthophylles qui protège les végétaux d'un excès de lumière et de chaleur, et renseignent aussi sur les conditions de développement de la végétation.(Féret., 2009)

Pour le cas du blé, une teneur en chlorophylle élevée constitue un facteur limitant pour une bonne accumulation des photosynthétats et un bon remplissage du grain du blé dur. La mesure de la chlorophylle en teneur et en taux des feuilles étendards nous indique sur la bonne assimilation de la plante des réserves nutritionnelles pour un bon rendement. Ce travail a pour principal objectif de mettre au point une méthode d'estimation du taux de la chlorophylle par SPAD et par chlorophylle mètre afin de pouvoir apprécier les fluctuations de la teneur en chlorophylle chez 6 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.).

Ce mémoire est structuré en trois grandes parties :

- Une première partie qui représente une synthèse bibliographique qui se base essentiellement sur des généralités sur le blé dur, la sénescence chez les céréales, et les pigments foliaires
- Une deuxième partie qui englobe la description du matériel végétal, conditions de culture et les paramètres étudiés.
- La troisième partie consacrée au traitement des résultats obtenus et leur discussion.

Et finalement une conclusion et perspective suivi par une liste de références bibliographique.

### *CHAPITRE I – Revue bibliographique*

#### **1. Généralité sur le blé dur**

##### **1.1 Historique et répartition géographique du blé**

Depuis la naissance de l'agriculture, le blé est à la base de la nourriture de l'homme (Ruel, 2006). La découverte du blé remonte à 10000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran (Feldman et Sears, 1981). Ceci correspond au début de la période du Dryas qui fut localement un épisode climatique de sécheresse et de refroidissement, qui a pu aboutir à l'arrêt progressif du mode de vie « chasseur-cueilleur » et entraîner la domestication de certaines plantes - dont les blés - et, via le stockage de stocks alimentaires, la création de premières communautés villageoises (Hayden, 1990 ; Wadley et Martin, 1993).

Les blés ont d'abord évolué en dehors de l'intervention humaine, puis sous la pression de sélection qu'ont exercée les premiers agriculteurs (Henry et de Buyser, 2001). En simplifiant, on peut considérer que la culture des blés a historiquement entraîné trois grands types de modifications : Dans une première phase, qui correspond à la période de transition entre la collecte manuelle de formes sauvages dans leur habitat natif et l'apparition des premiers champs cultivés, le passage de formes à épi fragile à des types à rachis solide a été déterminant, ainsi que le repérage de mutants à épi facilement battable et grain nu. D'autres modifications ont accompagné cette période comme le choix préférentiel de plantes érigées, à gros grain non dormant, germant uniformément et certainement un tri sur la couleur du grain, lié à des pratiques religieuses ou autres. Il est possible également que, dès cette étape, les agriculteurs aient pris conscience de l'intérêt du nombre d'épillets par épi, mais ce n'est pas certain (Bonjean, 2001).

On admet généralement que la culture de blé dur a commencé et s'est développée en Algérie au lendemain de la conquête Arabe. La plupart des auteurs s'accordent pour considérer que la céréaliculture algérienne est depuis cette date et jusqu'à la colonisation, très largement dominée par le blé dur (Laumont et Erroux, 1961).

##### **1.2 Origine génétique du blé dur**

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus 10000 espèces différentes (Mac Key, 2005). Plusieurs espèces de ploïdie différentes sont regroupées dans le genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allo-ploïdie, dont

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

les génomes homéologues dérivent de l'hybridation inter espèces appartenant à la même famille (Levy et Feldman, 2002).

D'après Feillet (2000), ces espèces se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28 ou 42 respectivement). La nature polyploïde du génome des blés aurait également contribué au succès de leur domestication (Dubcovsky et Dvorak, 2007).

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops (bicornis, speltoides, longissimaou searsii)* et le génome D d'*Aegilops squarrosa*(également dénommé *T. tauschii*). Le croisement naturel *T. monococcum*×*Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*T. turgidum* sp. *dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum* sp. *dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (Feillet, 2000). Des restes de types primitifs de *T. turgidum* cultivé (l'amidonniér, qui est un blé à grains vêtus), découverts sur plusieurs sites archéologiques en Syrie, ont été datés d'environ 8000 avant J-C (Brink et Belay, 2006). Le croisement entre l'espèce *T. durum* de constitution génomique AABB et l'*Aegilops tauschii* de constitution génomique DD, donna naissance à l'espèce *T. aestivum* de constitution génomique AABBDD (Feldman et Sears, 1981 ; Shewry, 2009) (Figure n 1).

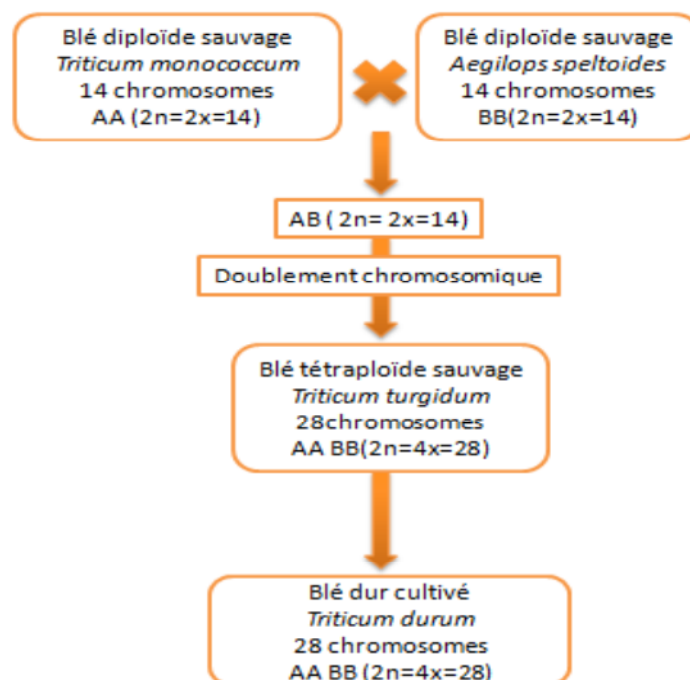


Figure n 1 : Phylogénie de blé dur (Debiton. 2010).

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

Des études ultérieures de cytogénétique mirent en évidence que les différents blés formaient une série allo-polyploïde avec  $x = 7$  (Feldman et *al.*, 1995). Selon Salamé (2012), des observations cytologiques plus fines, réalisées afin de classer les chromosomes des 3 espèces ont conduit à établir les 3 caryotypes suivants (Figure n 2) :

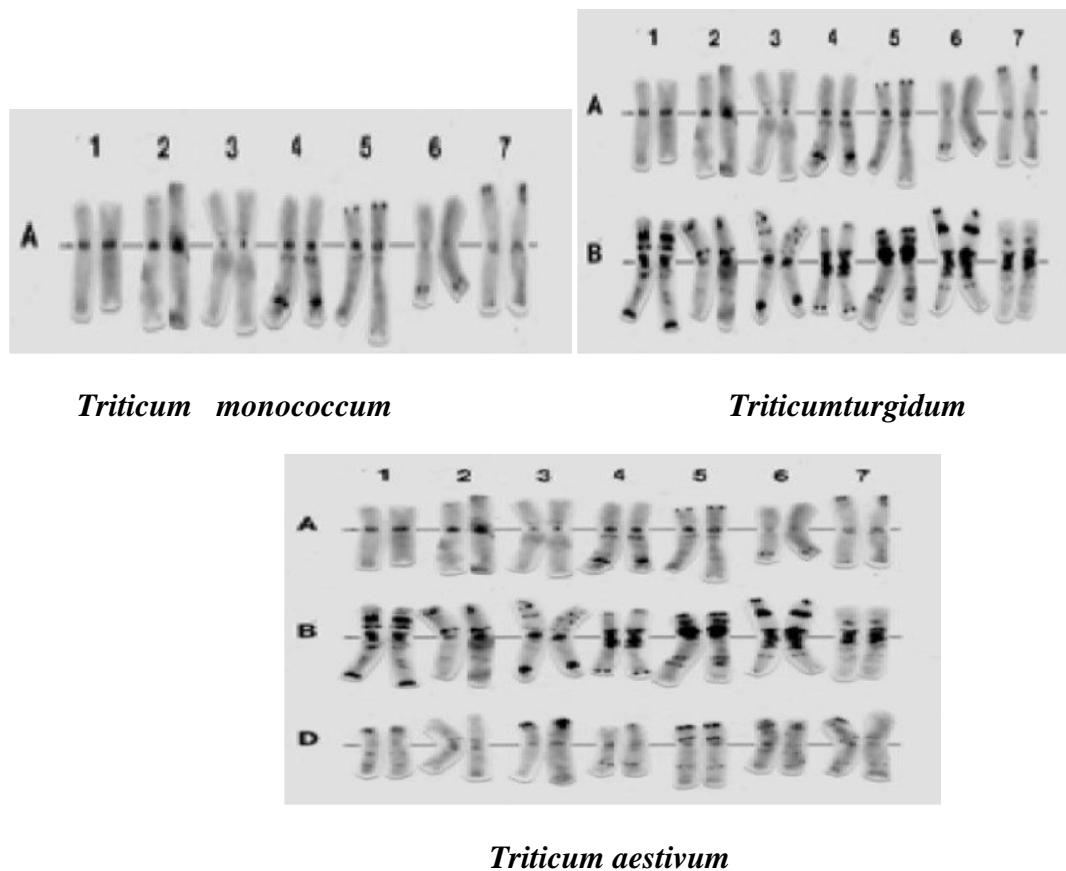


Figure n 2 :Caryotypes des trois espèces de blé (Salamé, 2012).

### 1.3 Cycle biologique du blé

De graine à graine, le cycle biologique du blé se divise en trois périodes successives, chacune comporte des phases et des stades (Figure n 3). La réalisation des différents stades est sous le contrôle de la somme des températures journalières (degré/jour) subie par la plante. La somme des températures, base zéro pour le blé, se calcule ainsi :

Somme degré/jour =  $(T^{\circ}\text{C min} + T^{\circ}\text{C max}) / 2$ . Il ne faut prendre en considération que les valeurs positives ( $>0$ ) (Hamadache, 2013).

#### 1.3.1. Période végétative

##### 1.3.1.1. Phase germination-levée

Cette phase correspond à la mise en place du nombre de pieds/m<sup>2</sup>. Le sol est percé par le coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille (Hamadache, 2013). La levée est

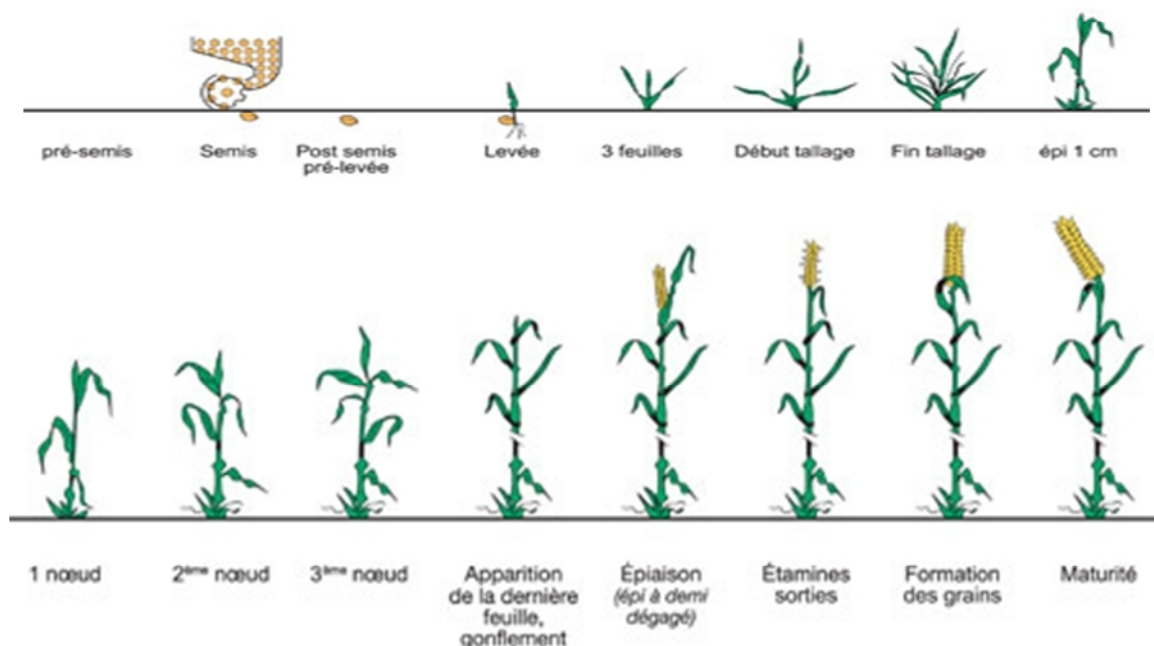


## CHAPITRE I – Revue bibliographique

notée quand 50% des plantes sont sorties de la terre (Figure n 3). Pendant cette phase, les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (Karou et *al.*, 1998).

### 1.3.1.2. Le tallage

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. La formation de la première talle se fait au stade 3 feuilles. La première talle primaire (maitre-brin) apparaît à l'aisselle de la première feuille du blé. La 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> talle apparaissent à l'aisselle de la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> feuille (Hamadache, 2013). Le fin tallage est celui de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995) (figure n 3). Cependant, Longnecker et *al.*, (1993) suggèrent que le tallage ne s'arrête pas à n'importe quel stade de développement du blé, mais il est plutôt contrôlée par un certain nombre de facteurs génétiques et environnementaux. Le nombre de talles productives dépend du génotype, de l'environnement et est fortement influencée par la densité de peuplement (Acevedo et *al.*, 2002).



**Figure n 3 :** Cycle de développement du blé (Witzenberger et al. 1989 ; Lancashire et *al.* 1991)

### 1.3.2. Période reproductrice

#### 1.3.2. 1. Montaison-floraison

La montaison débute lorsque les entre-nœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage (Belaid, 1987). Selon Baldy (1984) la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit le nombre d'épis montants par unité de surface (Figure 3).

A l'épiaison, l'épi sort de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement après quelques jours (moins de 7 jours) après l'épiaison. Les températures élevées et la sécheresse au cours de l'épiaison et de la floraison peuvent réduire la viabilité du pollen et ainsi réduire le nombre de grain (Herbek et Lee, 2009).

#### 1.3.2.2. Floraison-maturité (Période remplissage et maturité du grain)

La période floraison-maturité correspond à l'accumulation des hydrates de carbone et de l'azote dans le grain (Gallais et Bannerot, 1992). Cette période correspond à la formation de la dernière composante constitutive du rendement qui est le poids de 1000 grains (Robert et *al.*, 1993). Le remplissage du grain, après la floraison, se fait de deux façons :

- Par la migration d'une partie des réserves de la tige.
- Par la photosynthèse des parties de la plante encore vertes (feuilles, épis, barbes) (Hamadache, 2013).

Le rendement en grains, sous système de culture pluviale et sous environnement contraignant, est la résultante de la durée, de la vitesse de remplissage et de la capacité de translocation des assimilats stockés dans la tige (Abbassenne et *al.*, 1997). Les fortes températures au cours de cette période provoquent l'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain (échaudage du grain). Puis suit le dessèchement du grain, pour atteindre son poids sec final (Wardlow, 2002) (Figure I.3).

## 2. La sénescence chez les céréales

La sénescence est le dernier stade de développement des cellules végétales, des tissus, des organes et, dans le cas des espèces monocarpiques, de la plante entière. La plupart des humains connaissent les aspects visuels de la sénescence des plantes. Des exemples frappants de processus de sénescence de plantes à grande échelle peignent des paysages entiers: coloration d'automne chez les feuillus et sénescence de cultures monocarpiques (céréales), où les grandes surfaces agricoles virent du vert au jaune en quelques semaines (figure 4). Alors

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

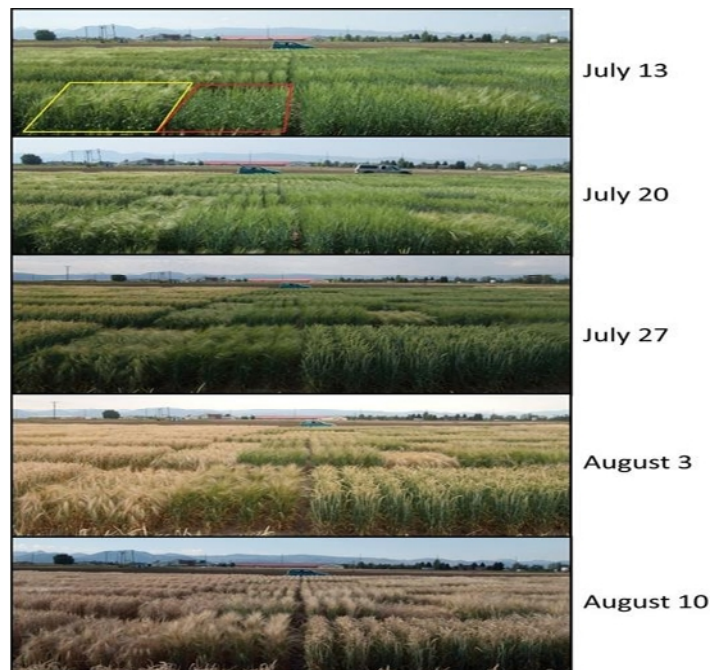
---

que la biosynthèse des anthocyanes est responsable de cette glorieuse dégradation, de nombreux processus moléculaires et biochimiques supplémentaires contribuent au syndrome de sénescence. (Distelfeld et *al.*, 2014).

Il convient de noter que les cultures les plus importantes au monde, notamment le maïs, le blé et le riz, sont des espèces monocarpiques dans lesquelles des ressources provenant d'organes sénescents sont remobilisées en grains. Une fois la sénescence commencée, elle entraîne généralement une remobilisation massive des éléments nutritifs mobiles du phloème des parties de la plante sénescents vers les puits en développement, tels que les graines et les grains de cultures monocarpiques. Dans ce contexte, l'azote occupe une position particulière. C'est le nutriment minéral végétal le plus important du point de vue quantitatif, et les macromolécules contenant de l'azote (protéines et acides nucléiques) doivent être hydrolysées et converties en glutamate, en glutamine et (dans une moindre mesure) en autres acides aminés avant le chargement du phloème et son transport vers des puits en développement. (in :Distelfeld et *al.*, 2014)

Le moment choisi pour la sénescence (à la fois le début et la vitesse d'exécution du processus) influe sur les caractéristiques agronomiques clés, notamment l'efficacité de l'utilisation des nutriments, le rendement (avec des variétés à sénescence tardive ou «vertes»), mais pas toujours avec des rendements plus élevés et qualité(Thomas et Howarth , 2000; Gregersen et *al.*, 2013).

Une remobilisation précoce et / ou efficace des éléments nutritifs est associée à une concentration plus élevée en protéines de grains, mais également à des concentrations plus élevées en micronutriments souhaitables tels que le Fe et le Zn (Uauy et *al.*, 2006b;Heidlebaugh et *al.*, 2008; Jukanti et *al.*, 2008; Waters et *al.*, 2009). L'analyse du processus de sénescence, tant chez les espèces modèles que chez les cultures, a donc pour objectif (a) de comprendre les facteurs internes (génétiques, épigénétiques) et environnementaux régulant le processus de sénescence et (b) de comprendre les détails cellulaires et moléculaires des éléments nutritifs (en particulier l'azote) remobilisation et transport. En raison de leur importance économique, une grande partie de ces recherches a été réalisée sur des cultures monocarpiques, notamment le blé et l'orge. (In : Distelfeld et *al.*, 2014)



**Figure n 4:** Sénescence monocarpique chez l'orge. Les photos ont été prises à la ferme de recherche Arthur Post près de Bozeman, Montana, États-Unis.  
(Jukantiet *al.* (2008))

### 2.1 Sénescence terminale

Lorsqu'on discute du syndrome de sénescence, il est utile de faire la distinction entre la sénescence d'organes (par exemple, les feuilles) d'un côté et la sénescence de la plante entière (monocarpique, terminale) de l'autre (Leopold, 1961). La sénescence des organes peut se produire tout au long du cycle de vie d'une plante. Au cours de la croissance végétative, les organes sénescents transfèrent les nutriments aux parties les plus jeunes de la plante (Gan et Amasino, 1997). Ce processus est associé à l'âge de la feuille, mais aussi à des facteurs environnementaux. Au cours de la phase de reproduction des plantes monocarpiques, un processus global de sénescence est amorcé, au cours duquel tous les tissus et organes de la plante parentale meurent, et les nutriments remobilisés à partir des tissus sénescents sont remobilisés aux graines en développement (Davies et Gan, 2012). En fait, quand on regarde un champ de céréales mûr, il est utile de se rappeler que les seuls tissus vivants présents sont ceux de la génération suivante.

L'ampleur de la sénescence des organes dépend fortement des facteurs environnementaux. Sous des conditions contrôlées (généralement «sans stress»), les plantes à croissance végétative ont un plus grand nombre de feuilles photosynthétiquement actives (non grimpantes) que dans des conditions limitant l'eau ou les nutriments. Le rapport biomasse sénescence / non ascendante est généralement assez faible chez les plants de blé et d'orge à

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

---

croissance végétative maintenus dans des conditions bien arrosées et fertilisées, et les parties en développement des plantes obtiennent une plus grande fraction de leurs nutriments par l'absorption racinaire que par le biais remobilisation à partir de parties de plantes sénescents. En revanche, la sénescence post-anthèse (monocarpique) affecte toute la plante, les organes les plus proches des grains en développement (feuilles drapées, glumes) étant généralement sénescents en dernier (Feller et *al.*, 2008). Les grains de blé en développement tirent une grande partie des micro- et macronutriments mobiles des organes sénescents de la plante parentale, avec une contribution moindre de l'absorption racinaire (Kichey et *al.*, 2007). Par conséquent, les processus de sénescence et de remobilisation des éléments nutritifs intervenant au stade de la reproduction sont plus importants pour comprendre les mécanismes qui contrôlent la productivité des plantes que la sénescence des organes (sénescence séquentielle des feuilles) se produisant pendant le développement de la plante.

### **2.2.Sénescence de la plante entière, teneur en protéines et en minéraux du grain**

La sénescence de la plante entière affecte non seulement le rendement, mais également des paramètres de qualité tels que la teneur en protéines du grain (GPC) et en micronutriments (Fe, Zn). Dans le blé et l'orge, il existe une corrélation négative bien établie entre le rendement et la GPC (Kibite et Evans, 1984; Simmonds, 1995), qui peut être expliquée par deux hypothèses.

La première hypothèse suggère que, dans les variétés ou lignées à sénescence retardée, les protéines et les micronutriments du grain sont «dilués» par une accumulation prolongée de glucides, ce qui entraîne une augmentation du poids et du rendement du grain (Slafer et *al.*, 1990; Gregersen, 2011). Selon la génétique et l'environnement, la sénescence tardive peut être associée à une remobilisation moins efficace des éléments nutritifs, ce qui pourrait réduire davantage la teneur en éléments nutritifs des grains. Par ailleurs, une sénescence précoce peut conduire à une remobilisation plus efficace ou plus complète de l'azote et des micronutriments. Le terme «dilemme de la sénescence» a été utilisé dans une étude pour attirer l'attention sur cette situation (Gregersen, 2011).

Une deuxième hypothèse repose sur le fait que la synthèse de protéines de stockage consomme plus de carbone par unité de masse que la synthèse d'amidon (reflétant le «coût» de l'absorption, de l'assimilation et du transport de l'azote) (Munier-Jolain et Salon, 2005). L'équilibre délicat entre le poids du grain, la teneur en éléments nutritifs et la sénescence est démontré par l'effet des gènes *Gpc-1* chez le blé et l'orge sur ces paramètres.

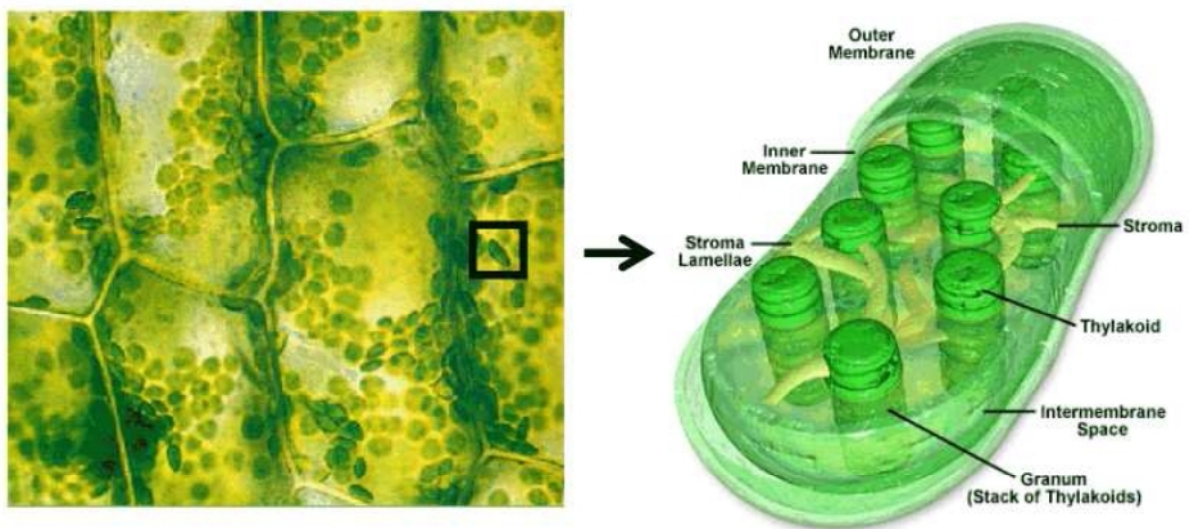
### 3. Les pigments foliaires

#### 3.1 Rôle et propriétés des pigments foliaires

L'importance des pigments foliaires s'explique en premier lieu par leur rôle central dans la photosynthèse, qui permet la synthèse de matière organique constituant les parois cellulaires des cellules végétales.

Cette réaction photochimique qui puise son énergie dans les photons émis par le soleil a lieu chez de très nombreux organismes allant des bactéries aux angiospermes (groupe de végétaux le plus récemment apparu sur terre et le plus évolué), en passant par tous les végétaux « intermédiaires » comme les mousses, les algues... La transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique s'effectue dans la cellule, au sein d'organites spécialisés appelés chloroplastes, en utilisant les propriétés oxydo-réductrices des pigments photosynthétiques (figure 5).

Ces pigments sont associés à différents complexes protéiques qui sont intégrés dans la membrane des thylakoïdes. La répartition des chloroplastes dans la feuille résulte elle aussi d'une adaptation des végétaux aux conditions lumineuses.



**Figure n 5 :** à gauche, chloroplastes dans des cellules vertes (d'après Galston, 1994). A droite, structure tridimensionnelle d'un chloroplaste (<http://www.daviddarling.info/>). (In : Féret, 2009)

Il existe aussi des pigments non photosynthétiques qui n'ont pas de rôle actif dans la photosynthèse mais un rôle photoprotecteur. L'efficacité de la photosynthèse résulte donc d'une adaptation de la plante à l'interception optimale de l'énergie lumineuse à l'échelle moléculaire grâce aux pigments, à l'échelle cellulaire grâce aux chloroplastes, et à l'échelle de

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

---

l'organe végétal grâce aux feuilles. Cette adaptation qui a pour objectif d'optimiser l'utilisation de l'énergie lumineuse est responsable de la majeure partie de la biomasse et de la biodiversité terrestre.

### 3.2. Propriétés physico-chimiques

L'étude des pigments foliaires nécessite leur extraction dans des solvants choisis selon leur polarité. Leur composition chimique, leur poids et leur concentration peuvent ensuite être déterminés par différentes méthodes physico-chimiques comme la spectrophotométrie ou la chromatographie en phase liquide à haute pression (HPLC, aussi appelée chromatographie en phase liquide à haute performance). L'étude du spectre d'absorption des pigments fournit une bonne illustration de la sensibilité des propriétés optiques à la structure d'une molécule.

En effet, les doubles liaisons conjuguées sont susceptibles d'être excitées par une onde électromagnétique, et le passage d'un état électronique stable à un état électronique excité nécessite l'absorption d'énergie sous forme de photon. Lorsque la taille du système conjugué croît, on assiste à une augmentation de la longueur d'onde du maximum d'absorption. Tout substituant ajouté à la structure de base augmente la longueur d'onde d'absorption de la molécule d'une valeur que l'on peut prévoir grâce aux règles de Woodward-Fieser (Woodward, 1941).

Des variations de propriétés optiques peuvent aussi être induites par les interactions entre une molécule et son environnement. Ainsi, le spectre d'absorption de la chlorophylle pure en solution varie en fonction du solvant, en raison des liaisons hydrogène. Ces variations sont limitées et s'expriment sous forme de déplacement des pics d'absorption et de modification d'intensité. De nombreuses études de solvatochromie utilisant divers solvants proposent des méthodes de dosage des différentes formes de chlorophylle et des caroténoïdes (Lichtenthaler, 1987 ; Krawczyk, 1989 ; Porra, 2002).

#### 3.2.1. La chlorophylle

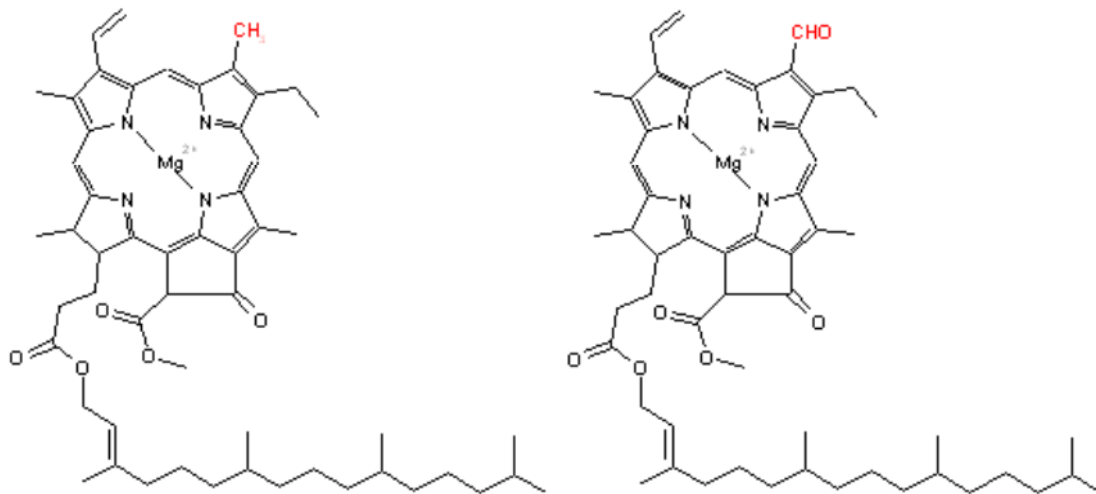
La chlorophylle est le principal pigment photosynthétique. Elle est présente chez presque tous les organismes photosynthétiques et est à l'origine de leur couleur verte car elle absorbe fortement la lumière visible dans les longueurs d'onde correspondant au bleu et au rouge mais laisse filtrer une grande partie de la lumière verte. On dénombre jusqu'à plusieurs centaines de millions de molécules de chlorophylle dans un seul chloroplaste. Deux structures remarquables caractérisent cette molécule :

- un noyau tétrapyrrolique ou chlorine, contenant un atome de magnésium en son centre.

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

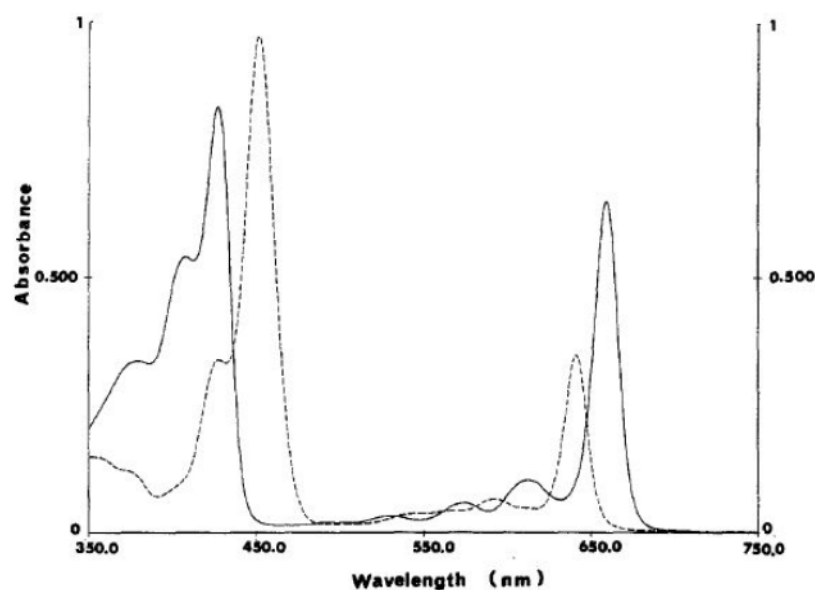
- une chaîne terpénique ou phytol, constituée de vingt atomes de carbone.

Il existe différentes formes de chlorophylles, dont les seules présentes chez les végétaux supérieurs sont la chlorophylle a et la chlorophylle b. Les autres formes (chlorophylles c et d) présentes chez certaines algues ou bactéries et sortent du cadre de notre étude. La structure des formes a et b de la chlorophylle est quasi identique, à l'exception d'une fonction aldéhyde située sur la chlorine (figure 6)



**Figure n 6** : structure des chlorophylles a (à gauche) et b (à droite).

Cette différence de structure a une forte incidence sur leurs propriétés optiques respectives, comme le montre la figure 7 qui présente les spectres d'absorption des deux formes pures mises en solution dans un solvant apolaire.



**Figure n 7** : Spectre d'absorption des chlorophylles a (traits pleins) et b (pointillés) en solution dans le diéthyl éther pur (Lichtenthaler, 1987).



## CHAPITRE I – Revue bibliographique

---

L'atome de magnésium participe aux propriétés optiques de la molécule alors que le groupement phytol n'interagit pas avec la lumière. En revanche, en raison de ses propriétés liposolubles, il joue un rôle essentiel dans l'intégration de la chlorophylle dans les protéines de la membrane des thylakoïdes.

La synthèse et la dégradation de la chlorophylle mettent en jeu des précurseurs comme la chlorophyllide et des produits de dégradation (phéophytine, phéophorbide...) dont les propriétés optiques sont proches de celles de la chlorophylle. Ces molécules responsables de la formation de radicaux libres sous l'action de la lumière sont dites phototoxiques. Pour limiter cet effet, une chaîne de mécanismes empêche l'accumulation de ces précurseurs et de produits de dégradation. Leur influence sur les propriétés optiques de la feuille est donc négligeable.

### 3.2.2 Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont présents chez de nombreux êtres vivants, végétaux, animaux et microorganismes. Les animaux sont incapables de les synthétiser aussi se les procurent-ils par leur alimentation. Ce sont des pigments photosynthétiques d'apparence orangée ou jaune, liposolubles, appartenant à la famille des terpénoïdes en C<sub>40</sub>.

Plus de six cent formes de caroténoïdes ont été répertoriées à ce jour. Ils sont divisés en deux grandes familles : les carotènes, uniquement composés de carbone et d'hydrogène, et les xanthophylles qui sont synthétisés à partir des carotènes et possèdent en plus des atomes d'oxygène. Dans le chloroplaste, on distingue deux formes principales de carotènes (  $\alpha$ -carotène et  $\beta$ -carotène) et cinq de xanthophylles (lutéine, zéaxanthine, violaxanthine, anthéaxanthine et néoxanthine) (Lichtenthaler, 1987).

L'introduction d'une fonction hydroxyle dans le  $\beta$ -carotène permet la formation de lutéine, alors que le  $\alpha$ -carotène est le précurseur de la zéaxanthine, la violaxanthine, et l'anthéaxanthine. Ce mécanisme est à l'origine de leurs propriétés anti-oxydantes. La néoxanthine est formée à partir de la violaxanthine.

Comme pour la chlorophylle, certaines étapes de la synthèse des caroténoïdes sont induites par la lumière (Grumbach et Lichtenthaler, 1982 ; Sandmann et *al.*, 2006). Le précurseur des caroténoïdes est le géranylgeranyl pyrophosphate (GGPP), qui participe aussi à la synthèse de nombreux autres composés synthétisés dans la plante, comme le groupement phytol de la chlorophylle. Il est donc possible que la synthèse des chlorophylles et des caroténoïdes soit contrôlée par la disponibilité en GGPP (Hartel et Grimm, 1998).

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

---

### 3.3 Localisation et rôle dans la feuille

#### 3.3.1 Les pigments photosynthétiques

A l'intérieur des chloroplastes, la chlorophylle et les caroténoïdes sont associés à des protéines membranaires et forment des complexes pigments-protéines (CPP) inclus dans la membrane des thylakoïdes. Ces CPP font partie de l'appareil photosynthétique, composé de deux photosystèmes : le photosystème I (PSI) et le photosystème II (PSII). Ceux-ci sont constitués d'un centre réactionnel (RC) où se déroule le transfert des électrons à l'origine de la production d'énergie chimique, et d'antennes collectrices contenant des molécules de chlorophylle a, b et des xanthophylles.

Le RC contient, entre autre, deux molécules de chlorophylle a responsables de la réaction photochimique, au cours de laquelle la molécule de chlorophylle passe d'un état stable à un état excité, et entraîne une réaction d'oxydo-réduction. Cette paire de chlorophylles a est appelée P700 dans le PSI (respectivement P680 dans le PSII) car elle absorbe principalement la lumière à la longueur d'onde de 700 nm (respectivement 680 nm). Ces propriétés spécifiques s'expliquent par les interactions avec les protéines du RC. Chaque photosystème assure une réaction photochimique spécifique, permise grâce au transfert par résonance de l'énergie lumineuse par les pigments de l'antenne jusqu'aux P680 et P700. Les caroténoïdes et la chlorophylle b sont appelés pigments accessoires car ils réalisent un transfert de l'énergie lumineuse par résonance mais n'échangent pas d'électrons.

La chlorophylle b transfère la quasi-totalité de l'énergie absorbée à la chlorophylle a. Les caroténoïdes absorbent dans le domaine bleu-vert et transfèrent jusqu'à 90% de l'énergie absorbée aux chlorophylles a et b (Dutton, 1997).

L'énergie non transférée est dissipée sous forme de chaleur. Les spectres d'absorption des chlorophylles et des caroténoïdes se chevauchent entre 400 nm et 500 nm, domaine de plus forte énergie dans le visible. Cela permet de capter l'énergie lumineuse avec une meilleure efficacité. La chlorophylle a transmet l'énergie au centre réactionnel, ou bien l'évacue sous forme de chaleur ou de fluorescence. Ces deux voies sont des pertes nettes d'énergie pour le rendement photosynthétique.

Chaque élément du photosystème possède un équipement pigmentaire spécifique selon l'origine de l'ADN qui a servi à coder les protéines qui le composent : le RC ainsi que certaines antennes collectrices appelées antennes internes (car plus fortement liées au RC) sont codés par l'ADN chloroplastique. Seuls la chlorophylle a et le b-carotène (ainsi que quelques molécules de phéophytine) sont présents dans ces CPP, en nombre relativement

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

constant pour assurer leur stabilité. Le tableau 1 récapitule les différentes structures pigments-protéines issues de l'ADN chloroplastique (Green et Durnford, 1996).

**Tableau 1** : teneur en pigments des structures pigments-protéines issues de l'ADN chloroplastique (Green et Durnford, 1996).

	CPP	Pigments
<b>Photosystème I</b>	CoreComplex (CP1)	75-100 Chlorophylle a 12-15 $\beta$ -Carotène
<b>Photosystème II</b>	Centre Réactionnel (RC)	4-6 Chlorophylle a 1-2 $\beta$ -Carotène
	CP47	20-22 Chlorophylle a 2-4 $\beta$ -Carotène
	CP 43	20 Chlorophylle a 5 $\beta$ -carotène

Les antennes collectrices principales appelées Light Harvesting Complex (LHCI et LHCI selon le photosystème) sont issues de l'expression de l'ADN nucléaire. Celles-ci contiennent des molécules de chlorophylle a, chlorophylle b et de xanthophylle. Le tableau 2 récapitule les différents CPP issus de l'ADN nucléaire (Green et Durnford, 1996), et le rapport chlorophylle a / chlorophylle b (Chl a/b) associé à ces CPP.

**Tableau 2**: teneur en pigments des CPP issues de l'ADN nucléaire (Green et Durnford, 1996). 1: Preiss et al. (1993) ; 2: Green (1988) ; 3: Pålsson et al. (1995) ; 4: Peter et Thornber (1991) ; 5: Dainese et Bassi (1991) ; 6: Arsalane et al. (1992). (In : Féret, 2009)

	Cpp	Rapport Chl a/b
<b>Photosystème I</b>	LHCIa	1.4 (ref. 1), 1.9 (ref. 2), 3.1 (ref. 3)
	LHCIIb	2.3 (ref. 1), 1.9 (ref. 2), 3.2 (ref. 3)
<b>Photosystème II</b>	LHCIIa	2.3 (ref. 4), 2.8 (ref. 5), 3.1 (ref. 6)
	LHCII b	1.33 (ref. 4), 1.4 (ref. 5)
	LHCII c	1.8 (ref. 4), 2.2 (ref. 5)
	LHCII d	0.9 (ref. 4), 1.6 (ref. 5)

Chez les feuilles d'une même espèce soumises à des conditions de développement similaires, les proportions en différents pigments sont particulièrement stables dans chaque CPP. Le rapport Chl a/b des feuilles de lumière est de l'ordre de 3 à 4 (Lichtenthaler, 1987 ; Fritsch et Ray, 2007). Le rapport chlorophylle / caroténoïdes (Chl/Car) se situe entre 4 et 6

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

---

(Lichtenthaler, 1987 ; Gitelson et Merzlyak., 2004). La proportion massique des différents caroténoïdes est 25-40% de  $\beta$ -carotène, 40-57% de lutéine, 9-20% de violaxanthine, et 5-13% de néoxanthine.

La conservation de ces distributions suggère un rôle spécifique pour chaque pigment. Ces valeurs sont indicatives et susceptibles de varier fortement d'une espèce à l'autre, mais aussi au sein d'une même espèce à la suite de la mise en place de mécanismes d'adaptation des feuilles à leur environnement (lumière, température, nutrition, atmosphère, nature du sol...). Le rôle des caroténoïdes ne se cantonne pas au transport de photons ou d'excitons. On peut aussi citer :

- Un rôle photoprotecteur : une énergie lumineuse incidente trop importante risque d'endommager la feuille en raison de la création de radicaux libres par les RC. Pour éviter cela, le cycle des xanthophylles se déclenche et dissipe l'énergie lumineuse en excès sous forme de chaleur.
- Un rôle stabilisateur : en se fixant spécifiquement sur certains sites de l'antenne, la lutéine permet de désexciter la molécule de chlorophylle excitée à son état triplet, limitant ainsi la production de radicaux libres (Dall'Osto et al., 2006).
- Un rôle structural : l'organisation des membranes photosynthétiques est stabilisée par la présence des caroténoïdes (Britton, 1995).

### 4. Evolution de la teneur en pigments

Les proportions relatives de chaque pigment dans la feuille sont assez stables pour une même espèce et des conditions spécifiques. Comment l'équipement pigmentaire s'adapte-t-il à des changements climatiques et environnementaux ?

#### Conditions normales

L'équipement pigmentaire foliaire est conditionné par la luminosité et la température. Ceci est particulièrement vrai en milieu tempéré où les saisons contrôlent l'ontogénèse de la feuille, du stade bourgeon au stade sénescence, et généralisable à tous types de climats et d'espèces même lorsque les variations climatiques annuelles sont atténuées.

Lors du débourrement, les principaux pigments foliaires sont les anthocyanes dont le rôle n'est pas clairement identifié. La feuille contient des organites non différenciés, les proplastides, qui se transforment en chloroplastes sous l'action de la lumière. La chlorophylle, les caroténoïdes et les protéines qui forment les CPP sont alors synthétisés. La mise en place de l'appareil photosynthétique est caractérisée par une transition de la feuille de l'état de puits à l'état de source, lorsque la photosynthèse produit plus d'éléments nécessaires à son activité

## CHAPITRE I – Revue bibliographique

---

métabolique qu'elle n'en consomme. Chez la plupart des plantes herbacées et caduques, cette transition se réalise lorsque la feuille atteint 30 à 60 % de sa taille à maturité. Elle peut se réaliser plus tardivement chez certaines espèces tropicales pour lesquelles l'appareil photosynthétique ne se développe pas avant la fin de la croissance de la feuille (Woodall et *al.*, 1998).

Ce mécanisme adaptatif permet de limiter les qualités nutritives des feuilles et de les protéger des différents prédateurs : elles ont ainsi plus de chance d'atteindre un stade de développement avancé et d'optimiser leur productivité (Kursar et Coley, 1992).

Lorsque la feuille arrive à maturité et commence à fournir les éléments nécessaires à la croissance de la plante, l'appareil pigmentaire contrôle ses propriétés optiques dans le domaine visible en raison de la forte concentration en chlorophylle et caroténoïdes. Il concentre aussi la plus grande partie des protéines de la feuille. Une fois cette phase de maturité passée, la feuille débute la sénescence et une partie des éléments de la feuille est mobilisée vers les organes de stockage. De nombreuses études détaillent la dynamique des pigments au cours de la vie de la feuille (Matile, 2000 ; Hörtensteiner et Feller, 2002). Comme le montre la figure 8 la teneur en chlorophylle foliaire diminue plus vite que la teneur en caroténoïdes durant la sénescence. (Biswal, 1995).

Cela explique la couleur jaune des feuilles sénescentes : la coloration induite par les caroténoïdes déjà présents dans la feuille est révélée après que la couleur due à la chlorophylle s'estompe. Les caroténoïdes participent alors très activement à la photo-protection de la feuille (Merzlyak et Gitelson, 1995).

Lors de la sénescence, les anthocyanes sont les seuls pigments synthétisés à partir de flavonols incolores situés dans la vacuole (Wilkinson et *al.*, 2002).

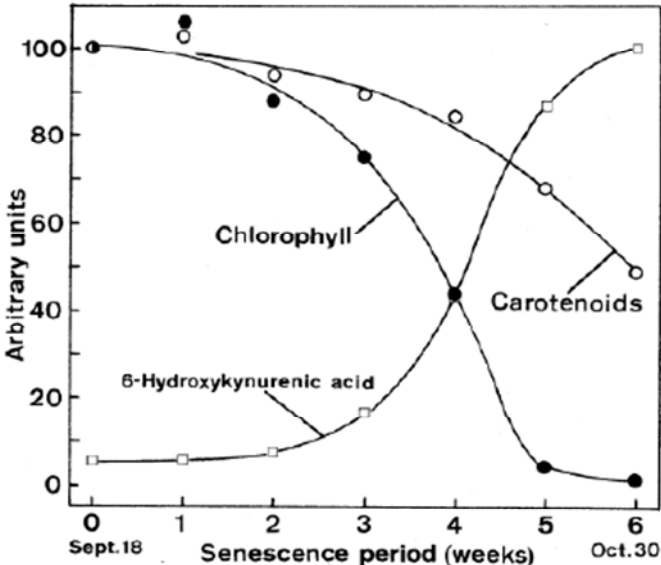


Figure n 8 : évolution des pigments photosynthétiques lors de la sénescence (Matile, 2000).

*Chapitre*

*Partie pratique*

## *Chapitre : Matériel et méthodes*

### **1. Matériel végétal**

Le matériel végétal étudié est composé de 6 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Deux anciennes variétés locales ; Oued Zenati 368 et Djennah Khetifa, deux variétés introduites et sélectionnées aux années 90 ; Waha et Hoggar et deux variétés nouvellement sélectionnées ; Beni Mestina et Simeto (Tableau n 03).

**Tableau n 03** : Description du matériel végétal étudié à ElKhroub (2018/2019) : source : Station INRA EL khroub 2019. (Benbelkacem 2019).

<b>Nom de variété</b>	<b>Caractéristiques</b>	<b>Origine</b>
<b>WAHA</b>	Variété précoce, à bonne adaptation aux régions semi-arides, bon potentiel de rendement, Qualité technologique acceptable, Modérément Sensible à quelques maladies.	Introduite du CIMMYT en F4 et sélectionné à la station ITGC d'ElKhroub
<b>HOGGAR =VITRON</b>	Variété semi-précoce, tolérante à la sécheresse, bon rendement, Modérément Sensible à quelques maladies.	Introduite du CIMMYT en lignée avancée et sélectionné à la station ITGC d'ElKhroub
<b>SIMETO</b>	Variété semi tardive, sélectionnée pour son rendement élevé, ses gros grains, son PMG élevé, à bonne qualité, moyennement résistante à plusieurs maladies.	Introduit d'Italie du projet WANADDIN en collaboration avec l'ICARDA.
<b>OUED ZENATI368</b>	Très bonne adaptation, tardive, haute, à bonne qualité, Modérément Sensible à quelques maladies et à la verse.	Variété population très ancienne, sélectionnée par les botanistes Ducellier, Laumont et Erroux les années 60.
<b>DJENNAH-KHETIFA</b>	Variété population très ancienne, à bonne adaptation au semi aride, très tardive, très haute, à qualité moyenne, Modérément Sensible à quelques maladies et à la verse.	Variété population très ancienne commune à l'Algérie et la Tunisie.
<b>BENI MESTINA = Lahn/Ch12003</b>	Nouvelle Variété, adaptée aux régions semi-arides, à bon rendement et qualité appréciable, modérément résistante aux maladies. Très apprécié par les agriculteurs	Lignée avancée introduite de l'ICARDA, sélectionnée à Beni Mestina (nord Constantine),



### 2. Description sur le site de culture

Campagne Agricole : 2018/2019

Site : Constantine/Algérie / Localisation : Ferme de Démonstration et de Production de Semences ITGC El-Khroub / Parcelle : KoudiateEl Kamh

Latitude : 36°,25 Nord Longitude : 6°,67 Est Altitude : 640m

Caractéristiques du Sol :

Texture : Argileux Limoneux. Profondeur : 120cm Topographie : Plate.

Etage de Site : Aride..... Semi-aride ......Subhumide ..... Humide.....

Pluviométrie annuelle Moyenne (longue période) : 450mm

Précédent Cultural : Légumineuses (Lentilles)

- La Mise en Place de l'essai :

Conditions du Sol : Sec

Labour profond : 35 cm fin septembre 2018

Façons Superficielles : Le Recroisement 1<sup>er</sup> Passage Cover-croop. 12/10/2018

2<sup>ème</sup> passage le 17/10/2018, 3<sup>ème</sup> Passage le 17/11/2018 Hersage le 21/11/2018.

Engrais de Fond : MAP (12% N, 52%P, 0%K) 100kg/ha le 16/11/2018

- Le Semis :

Date de Semis : 13 Décembre 2018, Densité de semis : 130kg/ha. (300 à 350 graines/m<sup>2</sup>).

Mode de semis : Manuel

Parcelle élémentaire : 4 lignes de 1m de long/variété.

Date de levée : 27/12/2018

Désherbage chimique : désherbant : COSAK Dose : 1L/ha

Date d'application : 10/03/2019

Fertilisation azoté : engrais UREE46% 1,5ql/ha le 15/03/2019

- La Récolte :

Date de récolte prévue début juillet 2019.

## CHAPITRE : MATERIEL ET METHODES

Mode de récolte : Manuel puis battage avec la batteuse à gerbes.

### 3. Données climatiques (pluviométrie et températures), campagne 2018/2019 à Constantine

**Tableau n°4 :** Relevé Pluviométrique 2018/2019 comparée à la moyenne Seltzer de 25 ans à Constantine de septembre 2018 à Juin 2019 : Source : Station IMETOS FDPS El Khroub.

Mois	Pluviométrie en mm	Moyenne Seltzer (25ans)
Septembre	10	37,5
Octobre	165.2	38,6
Novembre	10.8	44,6
Décembre	30.6	73,2
Janvier	130.2	62,8
Février	66.6	53,8
Mars	53.2	56,2
Avril	50	59
Mai	55.4	42,3
Juin	0.2	19.3
<b>Total</b>	<b>572.2</b>	<b>468</b>

On remarque que la campagne 2018/2019 est caractérisé par un taux de précipitation plus moins bon, le cumul pluviométrique en période d'automne été favorable pour les différentes manœuvres technique (labour, recroisement, hersage et semis). Ainsi le taux de précipitation durant les mois mars, avril et mai a favorisé un bon développement des plantes.

**Tableau n°5 :** Températures moyennes mensuelles, minimas et maximas ayant prévalu à Constantine du mois de septembre 2018 au mois de juin 2019 : Source : station IMETOS FDPS khroub

Mois	Moy Mensuel	C°Mini	°C Maxi
Septembre	21.09	19.90	21.97
Octobre	16.53	15.50	17.38
Novembre	12.27	11.57	13.12
Décembre	9.11	8.50	9.78
Janvier	7.48	6.85	8.12
Février	7.08	6.36	7.81
Mars	8.60	7.82	9.25
Avril	14.89	13.81	15.88
Mai	19.67	18.32	20.74
Juin	25.92	24.53	27.14

## CHAPITRE : MATERIEL ET METHODES

On remarque que la campagne 2018/2019 se caractérise par une température plus ou moins élevée durant les mois de septembre, octobre 2018 et mai, juin 2019, alors que la température durant les mois d'hiver est relativement basse.

**Tableau n°6 :**Températures minimas et maximas et pluviométrie ayant prévalu à Constantine de mois de mai 2019 par date: Source :<https://www.historique-meteo.net/afrique/algerie/constantine/2019/05/>.

Date	Température Min/Max	Pluviométrie (mm)
02/05	12 C/21 C	0.8
03/05	14 C/25 C	4.9
04/05	11 C/15 C	3.3
05/05	9 C/17 C	0.2
11/05	19 C/27 C	1.4
12/05	13 C/17 C	1.8
13/05	9 C/14 C	0.8
14/05	10 C/14 C	2.1
19/05	12 C/20 C	0.4
21/05	13 C/16 C	6.9
22/05	14 C/21 C	19.6
23/05	15 C/24 C	0.3
24/05	17 C/25 C	4.5
25/05	14 C/17 C	28.9
26/05	11 C/17 C	7.1
27/05	11 C/18 C	0.7
<b>Le totale du mois</b>	<b>28 C/19 C</b>	<b>86mm</b>

### 4. Paramètres étudiées

Afin d'atteindre notre objectif, quatre sorties sur terrain sont réalisées, après l'épiaison des six variétés, dans lesquelles on a fait des mesures et des prélèvements.

On a mesuré le taux de la chlorophylle avec deux appareils différents le SPAD et le chlorophylle mètre "Apogee MC-100".

L'échantillonnage est effectuée aléatoirement pendant les stades de l'épiaison et floraison jusqu'à la fin du stade maturation, on a prélevé 03 feuilles étendards dans chaque parcelle pour 18 plantes(3 répétitions pour chaque variétés).

## CHAPITRE : MATERIEL ET METHODES

---

Les échantillons ont été analysés au laboratoire de biotechnologies et amélioration des plantes, laboratoire de recherche de génétique, biochimie et biotechnologie végétales (GBBV), à Chaab Ersas. Université des frères Mentouri Constantine 1 pour effectuées des mesures.

### 4.1. Taux de chlorophylle mesuré par SPAD et chlorophylle mètre (Apogee MC-100)

#### 4.1.1. Taux de chlorophylle par SPAD

La chlorophylle est mesurée avec le SPAD (MINOLTA 502) : c'est un outil portable de diagnostic qui mesure la verdure ou la teneur relative en chlorophylle des feuilles.



**Figure n 9:** l'appareil SPAD (MINOLTA 502)

Le "*ChlorophyllMeter SPAD-502 Plus*" est un instrument qui mesure la teneur en chlorophylle (facteur important pour la compréhension de la croissance et conditions nutritives des plantes) directement sur les feuilles des plantes et indique les valeurs *SPAD*. Les mesures sont instantanées sur la plante sans avoir à couper des feuilles, simplement en projetant de la lumière à travers la feuille mesurée. Il peut s'appliquer sur des produits comme le riz, le blé, le coton, les fruits et autres légumes aussi bien que sur les plantes ornementales. (Anonyme B, 2019)

Les mesures se font en fermant la tête de mesure sur la feuille de la plante. La feuille n'est pas coupée ou endommagée permettant ainsi de reproduire la mesure sur la même feuille plusieurs fois.

La mémoire de l'instrument peut stocker jusqu'à 30 mesures et les visualiser sur une courbe de tendance. Les valeurs anormales, les variations soudaines dans les mesures sont alors visibles en un clin d'œil. (Anonyme C, 2019)

### 4.1.2. Taux de chlorophylle par la chlorophylle mètre

La chlorophylle est aussi mesurée avec la nouvelle pince Apogee MC -100. Le MC-100 breveté mesure et affiche directement la concentration en chlorophylle d'échantillons de feuilles intactes sans endommager le matériel végétal. Le compteur est calibré pour mesurer la concentration en chlorophylle avec des unités de  $\mu\text{mol}$  de chlorophylle par  $\text{m}^2$ . À des fins de référence et de comparaison, le compteur fournit également des unités relatives (CCI "indice de teneur en chlorophylle" ou SPAD). Les applications typiques comprennent la détermination de la concentration de chlorophylle dans les feuilles pour l'évaluation de l'état des nutriments, des besoins en engrais, de l'évaluation du stress et de l'optimisation de la récolte.



**Figure n 10 :** l'appareil Apogee MC -100

Le compteur de chlorophylle MC-100 est le seul modèle de compteur de chlorophylle proposé par *Apogee Instruments*. Il inclut des coefficients personnalisés pour déterminer la concentration en chlorophylle de vingt-deux espèces de plantes. Elle comprend également une équation générique à utiliser avec toutes les espèces de plantes, l'équation étant dérivée des données de toutes les vingt-deux espèces mesurées. Des coefficients de personnalisation pour des espèces supplémentaires, une fois établie à partir de la mesure de l'indice de teneur en chlorophylle et de la détermination de la concentration en chlorophylle dans les feuilles, qui nécessite une digestion chimique des échantillons de feuilles et une extraction ultérieure de la chlorophylle, puis une analyse optique pour la détermination de la chlorophylle. (Parry et al. 2014).

## CHAPITRE : MATERIEL ET METHODES

---

Le rapport de transmittance entre 931 nm et 653 nm est appelé indice de teneur en chlorophylle (CCI). Une mesure de l'ICC proche de 1 indique une transmittance similaire du rayonnement rouge et du rayonnement proche infrarouge, donc peu ou pas de chlorophylle dans l'échantillon de feuille. Une mesure CCI supérieure à un indique une transmittance moindre du rayonnement rouge par rapport au rayonnement infrarouge proche (par exemple, voir la valeur CCI calculée à partir du spectre de transmittance de la feuille dans le graphique ci-dessus), des ratios plus élevés indiquant plus de chlorophylle. Le compteur de concentration de chlorophylle MC-100 est unique. en ce sens qu'il convertit le CCI, mesure relative de la teneur en chlorophylle, en une estimation de la concentration réelle en chlorophylle. Il existe une relation non linéaire entre les concentrations de CCI et de chlorophylle, et la relation est différente pour différentes espèces de plantes (voir la relation pour trois espèces de plantes différentes dans la figure ci-dessous). La MC-100 comprend des équations avec des coefficients spécifiques pour deux espèces différentes, une équation avec des coefficients génériques dérivés des données relatives aux vingt-deux espèces et une équation pour convertir les unités CCI en unités SPAD (SPAD est la sortie d'un compteur de chlorophylle similaire fabriqué par Minolta). Au fur et à mesure que des coefficients personnalisés d'espèces supplémentaires sont générés, ils peuvent être ajoutés à la base de données dans le lecteur par Apogee. (Bugbee Bruce., 2019)

Les sorties sont effectuées le 08, le 13, le 20 mai et le 11 juin où on a choisit au hasard les feuilles étendards au niveau de chaque parcelle élémentaire, les valeurs des taux de chlorophylle mesurés par les appareils représentent la moyenne de 5 lectures pour l'appareil SPAD et celle de 3 lectures pour l'appareil Apogee MC-100.

### 4.2. Mesure de la teneur en chlorophylle (Chlorophylle a et b et caroténoïdes)

L'extraction de la chlorophylle et les caroténoïdes des végétaux permet d'obtenir une solution chlorophyllienne qui va servir à réaliser la lecture par spectrophotomètre.

Pour étudier ces paramètres : 0.2g de la partie médiane des feuilles vertes (matière fraîche) sont découpées en petit morceaux, ensuite sont misent dans des tubes à essais qui contiennent 10 ml d'un mélange d'éthanol et d'acétone (80% éthanol et 20% acétone) (Pompelli *et al.*, 2012).

## CHAPITRE : MATERIEL ET METHODES

---

Une dilution est réalisée vue que les échantillons sont trop denses (le spectre n'a pas pu mesurer l'extrait des échantillons) pour cela les solutions sont diluées à un rapport de 1/3 : on dilue 0.33 ml échantillons par 0.66 ml de mélange (80 % éthanol et 20% acétone).

Pour ce qui est spectre d'absorption, les mesures sont faites avec les DO suivantes comme il a été décrit par Lichtenthaler, (1987) ;

chl<<a>> :470 nm    chl<<b>>: 648 nm    caroténoïde :664 nm

Le taux de chlorophylle est déterminé par les équations à inconnues suivantes :

$$\text{chl a} = (13.36 \times A_{664\text{nm}}) - (5.19 \times A_{648\text{nm}})$$

$$\text{chl b} = (27.043 \times A_{648\text{nm}}) - (8.12 \times A_{664\text{nm}})$$

$$\text{Car} = [(1000 \times A_{470}) - (2.13 \text{chl}<<a>>) - (97.64 \text{chl}<<b>>)] / 209$$

La teneur en chlorophylle totale est déduite de la somme des chlorophylles a et b.

Après la lecture avec le spectrophotomètre, les résultats seront résolus avec ces équations qui nous donnent les teneurs de la chlorophylle <<a>> et <<b>> et les pigments caroténoïdes en µg/mg.

### 5. Traitement et analyse statistique

L'analyse des données des paramètres étudiés ainsi que le calcul des moyennes et la conception des graphiques sont réalisés à l'aide du tableur Excel 2007 pour Windows.

Les résultats sont présentés sous forme des courbes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes. L'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur de classification ont été utilisés, le facteur variété, facteur dates ont été réalisées par l'utilisation d'un logiciel spécifique « xlstat 2019 » en utilisant le test de *Newman-Keuls*.

## Chapitre III. Résultats et Discussion

### 1. Résultats

Le suivi de la parcelle du 08 mai au 11 juin, dès les stades de l'épiaison et de floraison jusqu'à la maturation, par l'étude des paramètres choisis, nous a permis de dégager les résultats suivants.

#### 1.1 Teneur en chlorophylle a

A la première sortie du 08 mai, la teneur en chlorophylle a est élevée pour les variétés Waha, Oued Zenati et Beni Mestina avec les moyennes de  $(48,95 \pm 13,56)$  et  $(46,54 \pm 11,93)$  et  $(41,28 \pm 15,39)$   $\mu\text{g}/\text{mg}$  respectivement et pour les variétés Djennah Khetifa et Hoggar et Simeto ont marquées des teneurs plus au moins faibles avec les moyennes suivantes  $(33,38 \pm 6,38)$ ,  $(29,12 \pm 2,47)$  et  $(25,49 \pm 3,76)$   $\mu\text{g}/\text{mg}$ . (Figure n° 11)

Pour la deuxième date du 13 mai, les teneurs en chlorophylle a ont été moyennement élevées pour les variétés Djennah Khetifa, Hoggar et Simeto avec des moyennes de  $(38,97 \pm 9,60)$ ,  $(39,45 \pm 8,02)$ ,  $(44,28 \pm 7,26)$   $\mu\text{g}/\text{mg}$ , elles sont augmentées par rapport à la première date, par contre les variétés Waha, Oued Zenati et Beni Mestina les valeurs sont un petit peu baissées à des moyennes de  $(48,16 \pm 4,62)$ ,  $(33,84 \pm 3,02)$  et  $(39,02 \pm 3,21)$   $\mu\text{g}/\text{mg}$  respectivement.

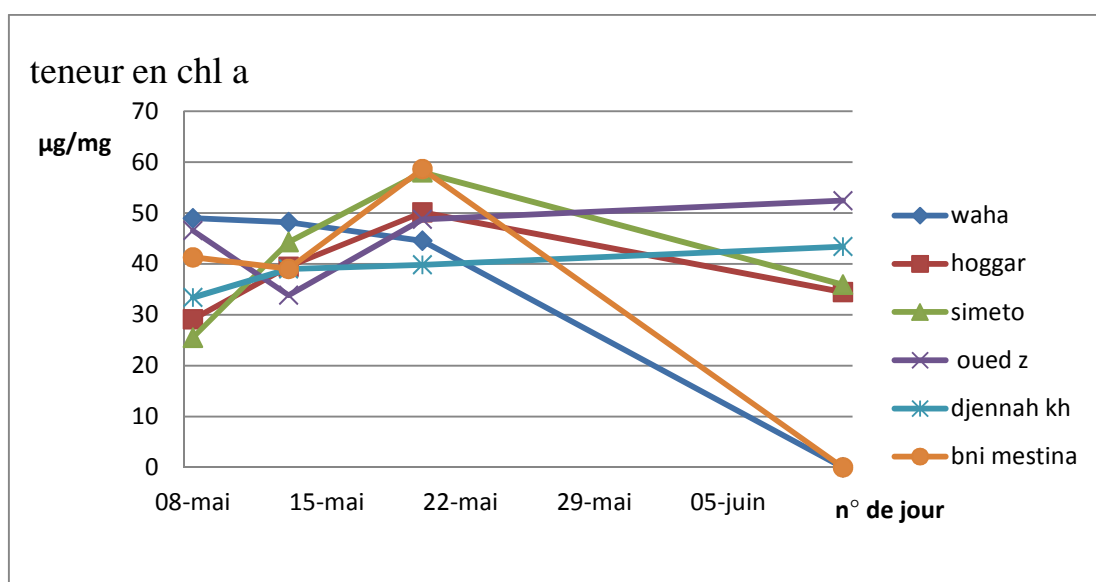


Figure n 11 : Variation de la Teneur en chlorophylle a (Chl a) des feuilles des variétés étudiés.



## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

---

La troisième date du 20 mai et après une pluviométrie remarquable les valeurs ont marquée des augmentations pour Simeto, Hoggar et Beni Mestina ( $57,98 \pm 5,76$ ), ( $50,12 \pm 13,43$ ), ( $58,62 \pm 11,36$ )  $\mu\text{g}/\text{mg}$  par contre Waha, Oued Zenati et Djennah Khetifa n'ont pas beaucoup changé ( $44,51 \pm 8,76$ ), ( $48,75 \pm 3,48$ ), ( $39,80 \pm 11,18$ )  $\mu\text{g}/\text{mg}$ .

La quatrième date, le 11 juin les variétés Hoggar, Simeto, Oued Zenati et Djennah Khetifa ont plus au moins augmentée et pour la variété Waha et Beni Mestina ont atteint le dernier stade la sénescence ce qui explique la diminution de la chlorophylle a. (Annexe 1, tableau n 1).

Le test *Newman-Keuls* nous a permis de dégager 3 groupes homogènes, le premier groupe a est constitué de la 3ème lecture du 20 mai 2019 avec la valeur en moyenne de 49.96

La première et la deuxième lecture du 8 et 13/05/2019 sont considérées comme un seul groupe ab par contre la dernière lecture du 11/06 qui s'est dégagée avec une faible moyenne de 27.69 avec le groupe b, ce qui montre que l'effet du traitement est significatif à 5%. (Annexe 2, tableau n =7).

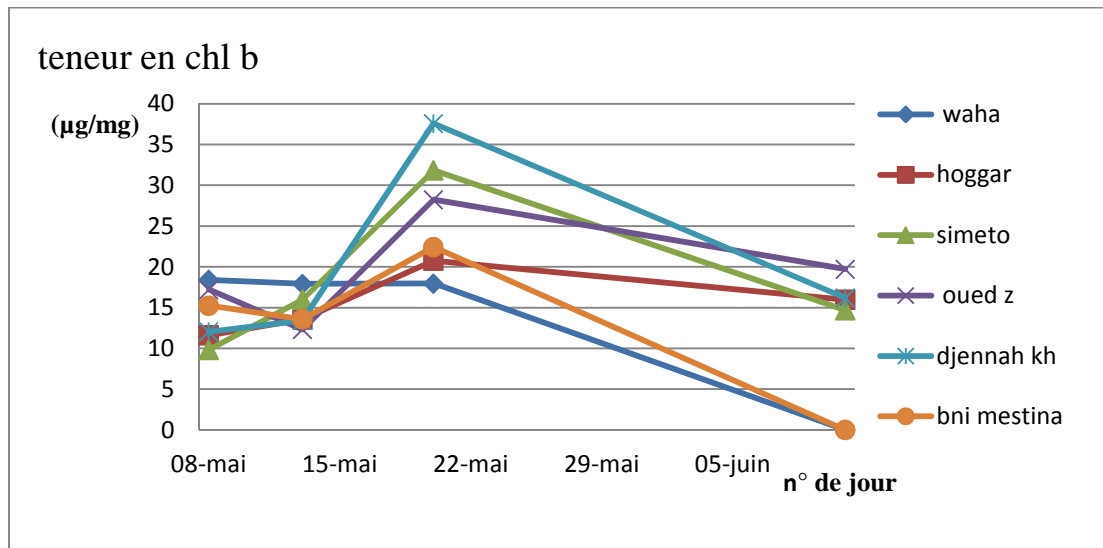
Pour l'effet génotype l'ensemble des variétés ont montré des résultats non significatifs. (Annexe 2, tableau n =8).

### 1.2 Teneur en chlorophylle b

Cependant la première journée la teneur en chlorophylle b des variétés étudiées sont variables et varient entre ( $9,83 \pm 2,94$ ) et ( $18,41 \pm 6,57$ )  $\mu\text{g}/\text{mg}$ . (Figure n°12)

Pour la seconde date le 13 mai, les valeurs sont légèrement évoluées et les moyennes sont un peu proches d'une variété à une autre.

## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION



**Figure n 12 :** Variation de la teneur en chlorophylle b (Chl b) des feuilles des variétés étudiées

Le 20 mai après un temps orageux on a marquée une augmentation de la chlorophylle b pour les variétés Djennah Khetifa, Simeto, Oued Zenatiet Beni Mestina avec les moyennes suivantes  $37,58 \pm 35,38, 31,83 \pm 10,66, 28,24 \pm 7,09$  et  $22,44 \pm 10,36$   $\mu\text{g/mg}$  et la variété Waha et Hoggar les valeurs ont stagné et n'ont pas beaucoup changé. (Figure n°10)

La dernière sortie, les teneurs ont diminuée pour la variété Oued Zenatiavec une moyenne de  $19,72 \pm 5,10$   $\mu\text{g/mg}$ , Djennah Khetifa en moyenne de  $16,20 \pm 8,49$   $\mu\text{g/mg}$ , Hoggar de  $15,98 \pm 4,28$   $\mu\text{g/mg}$  et Simeto  $14,69 \pm 2,20$   $\mu\text{g/mg}$  alors que les valeurs des deux variétés Waha et Beni Mestina ont chuté. (Annexe 1, tableau n =2).

Après l'analyse de variance, on remarque que l'effet du traitement est très hautement significatif à 1% et le test de *Newman-Keuls* a permis de les classer en deux groupes, toujours la troisième lecture du 20 mai est considérée par la valeur la plus élevée, la première et la deuxième et la dernière lecture sont des moyennes très proches avec le même groupe b.

(Annexe 2, tableau n =9).

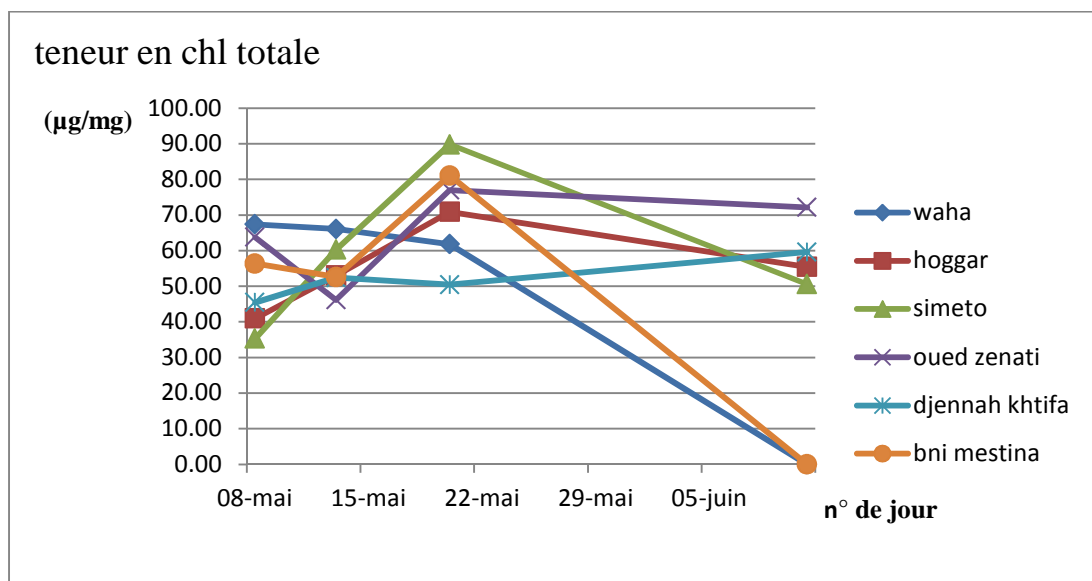
Pour l'effet génotype l'analyse de la variance montre des résultats non significatifs pour les six variétés avec un seul groupe homogène. (Annexe 2, tableau n =10).

## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

### 1.3 Teneur en chlorophylle totale

Les résultats obtenus pour la teneur en chlorophylle totale pour le 8 mai ont montré des valeurs différentes qui varient entre  $35,31 \pm 8,10 \mu\text{g}/\text{mg}$  pour la variété Simeto et  $67,36 \pm 24,21 \mu\text{g}/\text{mg}$  pour la variété Waha.

Pour la seconde journée les valeurs ont évoluées pour les variétés Simeto, Hoggar et Djennah Khetifa en moyenne de  $(60,26 \pm 9,24)$ ,  $(53 \pm 9,94)$  et  $(52,40 \pm 12,51) \mu\text{g}/\text{mg}$  respectivement, la chlorophylle totale d'Oued Zenati et Beni Mestina sont diminuées avec la moyenne de  $46,17 \pm 3,88 \mu\text{g}/\text{mg}$  et  $52,59 \pm 4,65 \mu\text{g}/\text{mg}$  ainsi la variété Waha a légèrement diminuée en moyenne de  $66,08 \pm 6,55 \mu\text{g}/\text{mg}$ . (Figure n°13)



**Figure n 13 :** Variation de la teneur en chlorophylle totale (Chl a + Chl b) des feuilles des variétés étudiées.

Le 20 mai les teneurs ont augmenté pour les variétés Hoggar, Simeto, Oued Zenati et Beni Mestina avec les moyennes suivantes  $(70,88 \pm 18,89)$ ,  $(89,81 \pm 5,12)$ ,  $(76,99 \pm 10,57)$  et  $(81,06 \pm 17,48) \mu\text{g}/\text{mg}$  et on remarque que les teneurs des deux génotypes Waha et Djennah Khetifa sont baissées avec respectivement les moyennes de  $61,79 \pm 13,61$  et  $50,43 \pm 0,82 \mu\text{g}/\text{mg}$ .

Le 11 juin les valeurs de Hoggar, Simeto et Oued Zenati ont diminuées et seule la variété Djennah Khetifa qui a légèrement augmenté. (Annexe 1, tableau n =3).

L'analyse de variance de la teneur en chlorophylle totale est significative à 5%. (Annexe 2, tableau n =11)

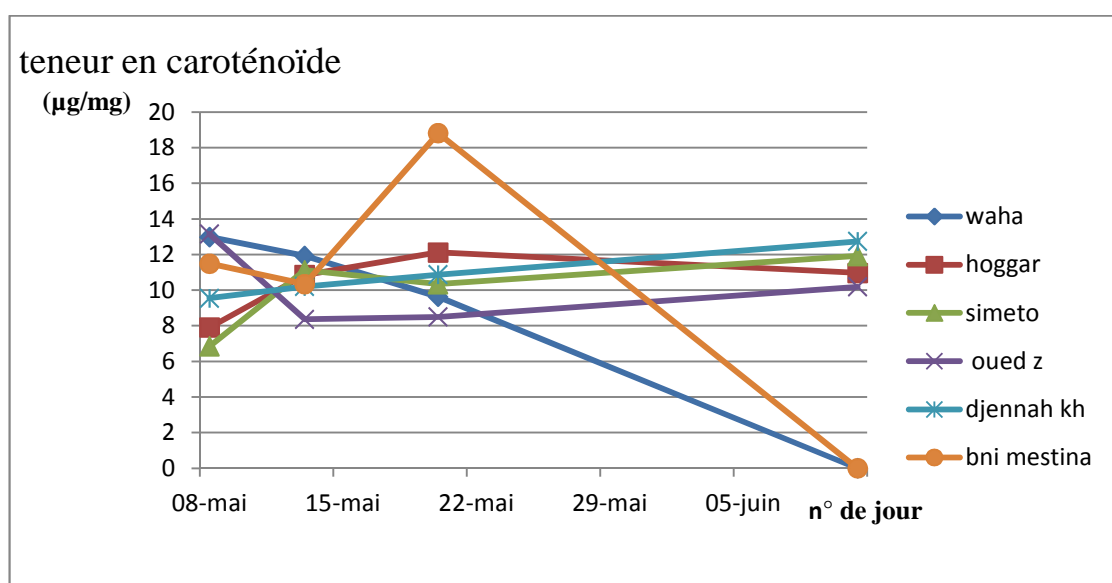
## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

Le test de *Newman-Keulsa* permet d'obtenir 3 groupes homogènes, la 3<sup>ème</sup> lecture du 20 mai avec une moyenne de  $71.83\mu\text{g}/\text{mg}$  avec un seul groupe a, et les deux lectures du 8 et 13 mai sont du même groupe ab par contre la dernière date du 11 juin s'est considérée la plus faible avec la moyenne  $39.63\mu\text{g}/\text{mg}$  et pour l'effet génotype est toujours n'est pas significatif avec un seul groupe homogène. (Annexe 2, tableau n =12)

### 1.4 Teneur en caroténoïdes

La teneur en caroténoïdes enregistrée en premier jour varie d'une variété à une autre, ou nous avons noté la valeur maximal de  $13,15\pm 4,63\mu\text{g}/\text{mg}$  pour la variété Oued Zenati et une valeur minimale de  $6,84\pm 1,36\mu\text{g}/\text{mg}$  pour la variété Simeto, cependant pour les variétés Waha a affichée une moyenne de  $12,98\pm 5,68\mu\text{g}/\text{mg}$  après Oued Zenati avec la moyenne de  $13,15\pm 4,63$  et la moyenne de  $11,49\pm 4,51\mu\text{g}/\text{mg}$  pour Beni Mestina et ensuite Hoggar et Djennah Khetifa en moyenne de  $7,90\pm 0,80$  et  $9,55\pm 2,34\mu\text{g}/\text{mg}$  respectivement. (Figure n° 14)

La seconde journée le 13 mai les valeurs des deux variétés Hoggar, Simeto et Djennah Khetifa ont moyennement augmenté ( $10,85\pm 3,17$ ), ( $11,11\pm 1,79$ ), ( $10,20\pm 2,71$ )  $\mu\text{g}/\text{mg}$  respectivement, Waha et Beni Mestina ont diminuée de  $11,92\pm 1,04$  et  $10,34\pm 1,07\mu\text{g}/\text{mg}$  en moyenne alors que Oued Zenati a chuté avec la moyenne de  $8,36\pm 0,65\mu\text{g}/\text{mg}$ .



**Figure n 14 :** Variation de la teneur en caroténoïdes des feuilles des variétés de blé dur étudiées.

La troisième journée les variétés Beni Mestina et Hoggar ont été évoluée en moyenne de  $18,81\pm 9,05$  et  $12,12\pm 4,27\mu\text{g}/\text{mg}$  respectivement et les variétés Oued Zenati et Djennah

## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

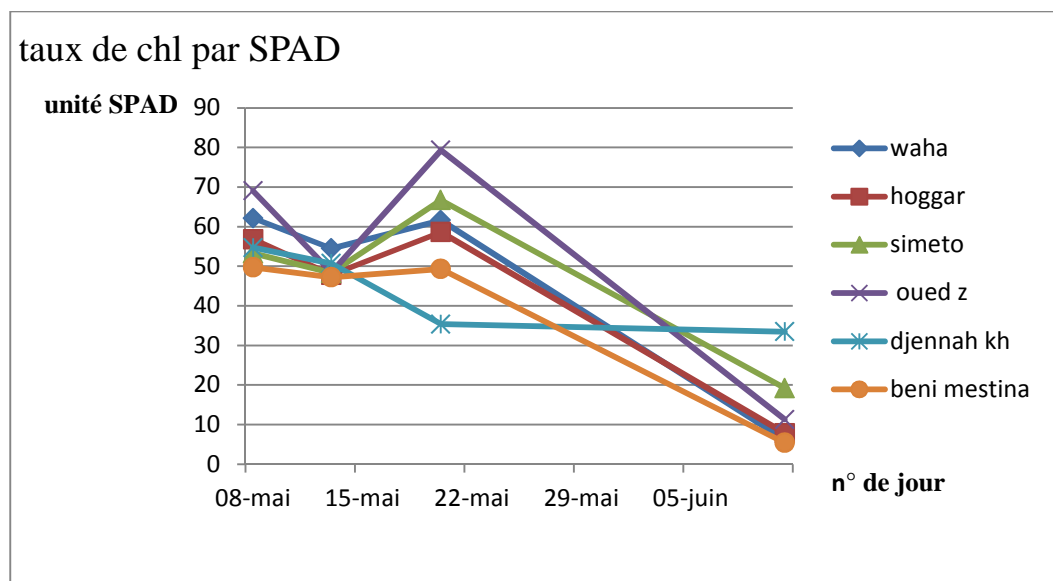
Khetifa sont stagnées presque aux mêmes moyennes ainsi que les valeurs de Waha et Simet sont moyennement baissés. (Figure n°14).

La dernière journée les géotypes Djennah Khetifa et Oued Zenati et Simeto ont plus augmenté en moyennes de  $(12,74 \pm 4,69)$ ,  $(10,19 \pm 7,40)$  et  $(11,92 \pm 0,95) \mu\text{g}/\text{mg}$  respectivement alors que la variété Hoggar a diminuée avec la moyenne de  $10,97 \pm 2,55 \mu\text{g}/\text{mg}$  et les deux géotypes Waha et Beni Mestina ont déjà atteint le stade de sénescence à cette date. A la quatrième sortie du 11/06 les deux variétés Waha et Beni Mestina sont arrivées au dernier stade qui est la sénescence et pour cela on n'a pas pu faire l'extraction de la chlorophylle. (Annexe 1, tableau n =4)

Après l'analyse de variance les teneurs en caroténoïde n'ont pas connus un grand changement donc elle n'est pas significative pour les l'effet date et géotype, avec un seul groupe homogène a. (Annexe 2, tableau n =13,14).

### 1.5 Taux de chlorophylle SPAD

La première semaine les valeurs sont élevées et varient entre 49,7 unité SPAD pour la variété Beni Mestina et 69,03 unité SPAD pour la variété Oued Zenati, après une semaine on remarque que le taux des variétés a diminué. (Figure n°15)



**Figure n 15 :** Variation du taux de chlorophylle mesuré en SPAD des feuilles des variétés étudiées.

## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

---

Le 20 mai on note que le taux a augmenté pour les variétés Waha, Hoggar, Simeto et Oued Zenati avec les résultats suivantes : 61,6 ; 58,63 ; 66,7 et 79,33 unité SPAD et que les valeurs des deux variétés Djennah Khetifa et Beni Mestina ont réduit en moyenne de 35,36 et 49,3 unité SPAD respectivement.

La dernière date on remarque que le taux des variétés a chuté sauf pour la variété Djennah Khetifa qui a resté presque stable en moyenne de 33,46 unité SPAD. (Annexe 1, tableau n =5)

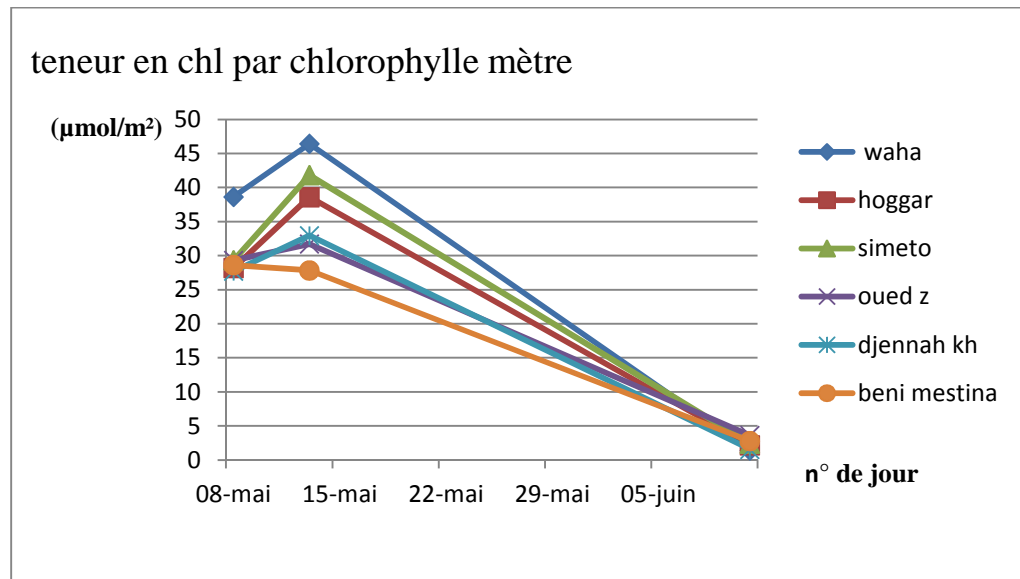
L'analyse de variance du taux de chlorophylle mesuré par SPAD pour les quatre dates est très hautement significatif à 1 % avec deux groupes homogènes, pour les 3 premières dates avec des moyennes très proches donc du même groupe a, et la dernière lecture du 11/06 qui a connu une chute libre avec une moyenne de 13,88 unité SPAD et l'analyse de variance pour l'effet génotype est non significative. (Annexe 2, tableau n =15)

Pour l'effet date du traitement est aussi non significatif avec un seul groupe homogène. (Annexe 2, tableau n =16)

### 1.6 Taux de chlorophylle mesuré par chlorophylle mètre

Le taux de chlorophylle mesuré par la chlorophylle mètre (Apogee MC-100) varie entre des valeurs moyennement élevées entre 27,72 et 38,64  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  pour les variétés Hoggar et Waha dans la première date du 8 mai. (Figure n°16)

Le taux enregistré la deuxième semaine le 13 mai a augmenté pour les variétés Waha, Hoggar, Simeto et Oued Zenati et Djennah Khetifa avec respectivement les moyennes de 46,42 ; 38,6 ; 41,82 ; 31,71 et 32,97  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$  alors que la variété Beni Mestina a diminué en moyenne de 27,84  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ .



**Figure n 16 :** Variation du taux de chlorophylle mesuré par le chlorophylle mètre des feuilles des variétés étudiées.

La dernière date le 11 juin on a noté que les valeurs du taux de chlorophylle des variétés ont chuté (Waha avec la moyenne de  $1.43\mu\text{mol}/\text{m}^2$  et Hoggar  $2.17\mu\text{mol}/\text{m}^2$  et Simeto  $2.4\mu\text{mol}/\text{m}^2$  et Oued Zenati  $3.6\mu\text{mol}/\text{m}^2$  et DjennahKhetifa  $1.57\mu\text{mol}/\text{m}^2$  et Beni Mestina  $2.77\mu\text{mol}/\text{m}^2$ ). (Annexe 1, tableau n =6).

Pour la lecture du 20 mai n'a pas été effectué parce que l'appareil n'a pas pu être fonctionnel.

L'analyse de variance du taux de chlorophylle a montré un effet très hautement significatif et le test de *Newman-Keuls* nous a dégagé 3 groupes homogènes pour les 3 lectures. (Annexe 2, tableau n =17).

Pour l'effet génotype le test est toujours n'est pas significatif. (Annexe 2, tableau n =18).

## 2. Discussion

La chlorophylle est un pigment végétal responsable de la coloration verte des plantes. Ce pigment, que l'on retrouve dans les cellules des végétaux, est utilisé avec d'autres pigments par les plantes pour effectuer la photosynthèse. Ce processus permet à la plante d'utiliser l'énergie du soleil pour convertir le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et l'eau en oxygène et en matière organique

### CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

---

La teneur en chlorophylle est considérée comme paramètre de tolérance au stress abiotique (salinité et sécheresse) chez plusieurs espèces (Srivastava et *al.* 1988).

D'après notre étude, on remarque que les variétés locales de blé dur se caractérisent par une forte teneur en chlorophylle a et b et totale pour les deux variétés Oued ZenatietDjennahKhetifa. Par contre Hannachi (2013),montre que les variétés locales se caractérisent par un contenu en chlorophylle relativement faible.

Au cours la photosynthèse la chlorophylle a est responsables de laréaction photochimique, au cours de laquelle la molécule de chlorophylle passe d'un état stable à un état excité, et entraîne une réaction d'oxydo-réduction., car elle absorbe principalement la lumière à la longueur d'onde de 700 nm, Les caroténoïdes et la chlorophylle b sont appelés pigmentsaccessoires car ils réalisent un transfert de l'énergie lumineuse par résonance, et la chlorophylle b transfère la quasi-totalité de l'énergie absorbée à la chlorophylle a. Les caroténoïdes transfèrent jusqu'à 90% de l'énergie absorbée aux chlorophylles a et b (Dutton, 1997).

Lorsque la feuille arrive à la maturité, elle commence à fournir les éléments nécessaires à lacroissance de la plante, l'appareil pigmentaire contrôle ses propriétés optiques dans le domaine visible en raison de la forte concentration en chlorophylle et caroténoïdes. Il concentre aussi laplus grande partie des protéines de la feuille. Une fois cette phase de maturité passe, la feuille débute la sénescence et une partie des éléments de la feuille est mobilisée vers les organes destockage ce qui explique la couleur jaune des feuilles sénescence.(Matile, 2000 ; Hörtensteiner et Feller, 2002).

L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de laréduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (Siakhène, 1984). Par contre, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba et *al.*,2009).

La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka et *al.*, 2006).Ce qui explique l'augmentation de la chlorophylle a et b et totale chez les variétés étudiée après une pluviométrie remarquable entre le 13 et la 20 mai.



### CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

---

Zhang et *al.*,(1997) ont montré que la fertilisation azotée stimule la synthèse de la chlorophylle mais non la photosynthèse. Selon Ernez et Lannoye (1991), l'altération de l'état physiologique des plantes causée par des conditions défavorable de l'environnement,se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermique émis par la plante.

D'après Mekliche et *al.*, (2003) les différences de chlorophylle observées chez les génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sont ainsi en fonction de la tolérance au stress.

Selon Tahri et *al.*, (1997), une baisse dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b) a été enregistrée chez le blé dur sous l'effet du stress. Par ailleurs, nous remarquons une diminution de la teneur en pigments chlorophylliens (chlorophylle a, b) et caroténoïdiques à la fin de cycle de la plante, cela peut être le résultat de la dégradation de la chlorophylle (Fahmi et *al.*, 2011).

Pour éviter les périodes critiques du manque d'eau, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique, c'est le cas des génotypes précoces.

La précocité constitue, de ce fait, un important mécanisme d'esquive du déficit hydrique de fin de cycle. La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible et ils sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (Bajji, 1999).

Ce fait le rendement grain est positivement corrélé à la précocité d'épiaison (Gonzalez, 1999). La précocité de l'épiaison est efficacement utilisée comme critère de sélection pour améliorer les productions des zones semi-arides (Ali Dib, 1992 ; Ben Salem *et al.*, 1997). Ce qui est remarqué pour les deux variétés Waha et Beni Mestina au dernier stade qui la sénescence par rapport aux autres variétés. Sachant que la variété Waha est l'un des parents de la variété Beni Mestina.

## **Conclusion**

Au terme de ce travail nous avons pu conclure que nos résultats enregistrées pour les teneurs en chlorophylle a et b et totale (chlorophylle a + b) ont montré un effet significatif a hautement significatif en fonction des dates, parce qu'il y'a un développement phénologique lié à la sénescence des plantes du blé dur après le remplissage du grain, ce qui explique le rôle primordial de la chlorophylle a et b dans la photosynthèse lors du remplissage (migration des photosynthétats).

La chlorophylle peut être utilisée comme indicateur de la bonne assimilation et la remobilisation des nutriments de la plante en fin de cycle et une des principales signatures de l'état physiologique des plantes, et qu'elle permet de déterminer le stade phénologique de la plante.

Le comportement génotypique des variétés est pareille car en fin de cycle toutes les plantes chlorophylliennes connues une chute dans la teneur en chlorophylle après le remplissage.

Au cours des dates d'enregistrement des teneurs en caroténoïdes, les variétés n'ont pas présenté des fluctuations significatives et ceci parce que les caroténoïdes sont considérés comme pigments accessoires, elles participent très activement à la photo-protection de la feuille.

On peut suggérer que les mesures du taux de chlorophylle totale par chlorophylle mètre sont plus efficaces qu'au SPAD pour mettre en évidence les changements des teneurs en chlorophylle a et/ ou b.

### **Perspectives**

Il est souhaitable dans un futur travail, d'élargir l'étude sur d'autres génotypes, et de travailler sur différents stades phénologiques, ainsi sur d'autres régions pédoclimatiques, dans le but de connaître la fiabilité de chlorophylle mètre et les différents aspects qui touchent aux fluctuations de la teneur en chlorophylle.

*Références*  
*Bibliographiques*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbassenne, F., Bouzerzour, H., & Hachemi, L. (1997).** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA*, El Harrach, 18 :24-36.
- Acevedo, E., Conesa, A. P., Monneveux, P., & Srivastava, J. P. (1989).** Physiology breeding of winter cereals for stressed mediterranean environments, *INRA Stat. Bioclimatologie*, 50-66.
- Acevedo, E., Silva, P., & Silva, H. (2002).** Wheat growth and physiology, *In: Curtis, B. C., Rajaram, S., and Macpherson, G. H., Bread wheat. Improvement and Production, Eds. Food and Agriculture Organization, Rome, 30: 34 - 70.*
- Ali Dib, T., (1992).** Contribution à l'étude de la tolérance à la sécheresse de blé dur. Etude de la diversité de caractères physiologiques d'adaptation. Thèse de doctorat ; Montpellier, 196.p. 81.
- Anonyme A.,(2019).** Gestion de la filière des céréales.Un nouveau système d'information. Article ; le temps Algérie. Dernier mise à jour :30/01/2019 consulté 21/06/2019.
- Anonyme B.C. (2019).** <https://www5.konicaminolta.eu/fr/instruments-de-mesure/produits/couleur/produits-discontinues/spad-502.html> consulté : 07/07/2019.
- Bajji, M., (1999).** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de doctorat, faculté des sciences, université catholique de Louvain.
- Baldy, C., Ruelle, P., & Fernandes, A. (1993).** Résistance à la sécheresse du sorgho-grain en climat méditerranéen. *Sécheresse*, 4: 85-93.
- Belaid, D. (1987).** Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur (Hedba3) en conditions de déficit hydrique, Mémoire de magister. INA - El Harrach, Alger, 108p.
- Ben Salem, M., Boussen, H., Slama, A., (1997).** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay.
- Benbelkacem,A (2019).** Description du matériel végétal étudié à El Khroub (2018/2019) : Station INRA EL khroub 2019.
- Biswal B. (1995).** “Carotenoid catabolism during leaf senescence and its control by light”, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 30:3-13.
- Bonjean, A. (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Dossier de l'environnement de l'INRA*, 21: 29-37.
- Bousba R. Ykhlef N. Djekoun A, 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Trticum durum Desf*).*World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5. 609 -616p.
- Britton, G. (1995).** “Structure and properties of carotenoids in relation to function”, *The FASEB Journal*, 9(15):1551-1558.
- Bugbee Bruce., (2019).** Owner's manual of chloropyll concentration meter. Apogee Instruments, Inc. 721 West 1800 North Logan, UT84321, USA.

**Dall'Osto L., Lico C., Alric J., Giuliano G., Havaux M. et Bassi R. (2006).** “Lutein is needed for efficient chlorophyll triplet quenching in the major LHClI antenna complex of higher plants and effective photoprotection in vivo under strong light”, *BMC Plant Biology*, 6:32.

**Davies PJ, Gan S. 2012.** Towards an integrated view of monocarpic plant senescence. *Russian Journal of Plant Physiology* 59, 467–478.

**Debiton C,(2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniqueswaxy. Thèse.Doct. Univ, Blaise Pascal.

**Distelfeld A., Avni R., and Andreas M. Fischer.,(2014).** Senescence, nutrient remobilization, and yield in wheat and barley. Review paper. Department of Plant Sciences and Plant Pathology, 119 Plant BioScience Building, Montana State University, Bozeman, MT 59717-3150, USA.

**Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007).** Genome plasticity a key factor in the success of polyploidy wheat under domestication. *Science*, 316 (5833) :1862.

**Dutton H.J. (1997).** “Carotenoid-sensitized photosynthesis: Quantum efficiency, fluorescence and energy transfer”, *Photosynthesis Research*, 52(2):175-185.

**Ernez M. Lannoye R. (1991).**Quantification des désordres photosynthétiques chez la plantestressée : aspects conceptuels et méthodologiques, L'amélioration des plantes pour l'adaptationaux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, 9-23.

**Fahmi, F., Tahrouch, S., Bouzoubâa, Z., & Hatimi,A. (2011).** Effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'argania spinosa. Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir, pp. 299-308.

**Feldman, M., & Sears, E. R. (1981).** The wild gene resources of wheat. *Sci. Am*, 244 : 98–109.

**Feldman, M., Lupton, F. G. H., & Miller, T. E. (1995).** Wheats. In J. Smartt, N.W. Simmonds : Evolution of crop plants. Longman Group Ltd., London, 184-192.

**Feller U, Anders I, Mae T. 2008.** Rubiscolytics: fate of Rubisco after its enzymatic function in a cell is terminated. *Journal of Experimental Botany* 59, 1615–1624.

**Féret M., (2009).** Apport de la modélisation pour l'estimation de la teneur en pigments foliaires par télédétection. Thèse.Doct. L'université Pierre et Marie Curie.France.

**Feuillet, P. (2000).** Le grain de blé, composition et utilisation. Ed INRA. Paris, 88-199.

**Fritschi F. et Ray J. (2007).** “Soybean leaf nitrogen, chlorophyll content, and chlorophyll a/b ratio”, *Photosynthetica*, 45:92-98.

**Gallais, A., & Bannerot, H. (1992).** Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. *INRA éditions*. 759 p.

**Gan S, Amasino RM. 1997.** Making sense of senescence—Molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence. *Plant Physiology* 113, 313–319.

**Gate, P. H. (1995).** Ecophysiologie du blé ; Technique et documentation : Lavoisier, Paris, 429 p.

**Gitelson A.A. et Merzlyak M.N. (2004).** Non-destructive assessment of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in higher plant leaves: Principles and algorithms, In Remote Sensing for

Agriculture and the Environment (S. Stamatiadis, J.M. Lynch, J.S. Schepers, Eds). Ella (Greece), pp.78-94.

**Gonzalez, A., Martin, I., Ayerbe, L., (1999).** Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Res*; 62: 23-34.

**Green B.R. (1988).** “The chlorophyll-protein complexes of higher plant photosynthetic membranes, or just what green band is that?” *Photosynthesis Research*, 15:3-32.

**Green B.R. et Durnford D.G. (1996).** “The chlorophyll-carotenoid proteins of oxygenic photosynthesis”, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47(1):685-713.

**Gregersen PL. 2011.** Senescence and nutrient remobilization in crop plants. In: Hawkesford MJ, Barraclough PB, editors, *The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops*. Oxford, UK: John Wiley & Sons, pp 83–102.

**Grumbach K.H. et Lichtenthaler H.K. (1982).** “Chloroplast pigments and their biosynthesis in relation to light intensity”, *Photochemistry and Photobiology*, 35:209-212.

**Hadj Youcef Taibi, H., Khaldoun, A., & Mekliche, A. (2003).** Etude comparative de la tolérance à la sécheresse de 08 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de 04 variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) Analyse de la stabilité du rendement avec étude multilocale. *Céréaliculture*, N°38: 26-30.

**Hamadache, A. (2013).** *Eléments de phytotechnie générale : Grandes Cultures- Tom I : Le blé*. 1<sup>ère</sup> édition. Mohamed Amrani. 49-69.

**Hannachi, A. (2013).** Analyse diallele de quelques caractères associés à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Mémoire de Magister, Faculté des Sciences Agronomiques et biologiques, Département des Sciences Agronomiques. Université Saad Dahlab de Blida, 106 p.

**Hartel H. et Grimm B. (1998).** “Consequences of chlorophyll deficiency for leaf carotenoid composition in tobacco synthesizing glutamate 1-semialdehyde aminotransferase antisense RNA: dependency on developmental age and growth light”, *Journal of Experimental Botany*, 49(320):535-546.

**Hayden, B., (1990).** *Nimrods, Piscators, Pluckers and Planters : The Emergence of Food Production*. *J. Anthropol. Archaeol.*, 9(1), 31.

**Henry, Y., & De Buyser, J. (2001).** L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed.). De la graine à la plante. *Ed. Belin*, Paris, pp. 69-72.

**Herbek, J., & Lee, C. (2009).** Growth and development. In: *A comprehensive guide to wheat management in Kentucky*. The Univ. of Kentucky. <http://www.uky.edu/Ag/GrainCrops/ID125Section2.html> (accessed 29 Nov. 2012).

**Hikosaka, K., Ishikawa, K., Borjigidai, A., Muller, O., Onoda, Y. (2006).** Temperature acclimation of photosynthesis mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* 57:291-302.

**Hörtensteiner S. et Feller U. (2002).** “Nitrogen metabolism and remobilization during senescence”, *Journal of Experimental Botany*, 53(370):927-937.

**Jukanti AK, Heidlebaugh NM, Parrott DL, Fischer IA, McInnerney K, Fischer AM. (2008).** Comparative transcriptome profiling of nearisogenic barley (*Hordeum vulgare*) lines

differing in the allelic state of a major grain protein content locus identifies genes with possible roles in leaf senescence and nitrogen reallocation. *New Phytologist* 177, 333–349.

**Karou, M., Haffid, R., Smith, D. N., & Samir, K. (1998).** Roots and growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. *Agronomy*, 18: 181-186.

**Kibite S, Evans LE. 1984.** Causes of negative correlations between grain yield and grain protein concentration in common wheat. *Euphytica* 33, 801–810.

**Kichey T, Hirel B, Heumez E, Dubois F, Le Gouis J. 2007.** In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Research* 102, 22–32.

**Krawczyk S. (1989).** “The effects of hydrogen bonding and coordination interaction in visible absorption and vibrational spectra of chlorophyll a”, *Biochimica et Biophysica Acta*, 976:140-149.

**Kursar T.A. et Coley P.D. (1992).** “Delayed greening in tropical leaves: An anti-herbivore defense?” *Biotropica*, 24:256-262.

**Lancashire PD, Bleibolder H, Langelüddeke P, Stauss R, Van den boom T, Weber E, Witzemberger A (1991).** An uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann Applied Biol* 119:561-601.

**Laumont, P., & Erroux, J. (1961).** Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. *Mémoire de la société d’histoire naturelle de l’Afrique du Nord*, 5 : 94p.

**Leopold AC. 1961.** Senescence in plant development. *Science* 134, 1727–1734

**Levy, A. A., & Feldman, M. (2002).** The impact of polyploidy on grass genome evolution. *Plant Physiol*, 130: 1587-1593.

**Lichtenthaler H.K. (1987).** “Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes”, *Methods in Enzymology*, 148:350-382.

**Lichtenthaler H.K., Bach T.J. et Wellburn A.K. (1982).** Cytoplasmic and plastidic isoprenoid compounds of oat seedlings and their distinct labeling from <sup>14</sup>C-mevalonate, *Biochemistry and metabolism of plant lipids* (J.F.G.M. Wintermans et P.J. Kuiper, Eds). Elsevier, Amsterdam, pp. 489-500.

**Longnecker, N., Kirby, E. J. M., & Robson, A. (1993).** Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Sci*, 33: 154- 160.

**Mac Key, J. (2005).** Wheat: Its concept, evolution, and taxonomy. In: Conxita

**Matile P. (2000).** “Biochemistry of Indian summer: physiology of autumnal leaf coloration”, *Experimental Gerontology*, 35:145-158.

**Matile P. (2000).** “Biochemistry of Indian summer: physiology of autumnal leaf coloration”, *Experimental Gerontology*, 35:145-158.

**Mekliche, A., Boukecha, D., Hanifi-Mekliche, L. (2003).** Etude de la tolérance a la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) .I. Effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologiques, morphologiques et physiologiques, 24 (1, 2): 97-110.

- Merzlyak M.N. et Gitelson A.A. (1995).** “Why and what for the leaves are yellow in autumn? On the interpretation of optical spectra of senescing leaves (*Acer platanoides* L.)”, *Journal of Plant Physiology*, 145:315- 320.
- Moughli L.2010,** Analyses végétales : pour une optimisation dynamique des apports de l’azote , *Agriculture du maghreb*, (42) :66-70.
- Munier-Jolain NG, Salon C. 2005.** Are the carbon costs of seed production related to the quantitative and qualitative performance? An appraisal for legumes and other crops. *Plant, Cell and Environment* 28, 1388–1395.
- Pålsson L.O., Tjus S.E., Andersson B. et Gillbro T. (1995).** “Ultrafast energy transfer dynamics resolved in isolated spinach light-harvesting complex I and the LHC I-730 subpopulation”, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1230:1-9.
- Parry, C., J. M. Blonquist Jr., and B.Bugbee, (2014).** In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. *Plant, Cell and Environment*37:2508-2520.
- Peter G.F. et Thornber J.P. (1991).** “Biochemical evidence that the higher plant photosystem II core complex is organized as a dimer”, *Plant and Cell Physiology*, 32:1237-50.
- Porra R.J. (2002).** “The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b”, *Photosynthesis Research*, 73:149-156.
- Ruel, T. (2006).** Document sur la culture du blé, *édition Educagri*.
- Salamé, N. (2012).** Evolution : accompagnement pédagogique. Caryotypes des 3 mêmes espèces de blé. [www.acces.ens-lyon.fr](http://www.acces.ens-lyon.fr).
- Sandmann G., Römer S. et Fraser P.D. (2006).** “Understanding carotenoid metabolism as a necessity for genetic engineering of crop plants”, *Metabolic Engineering*, 8(4): 291-302.
- Shewry, P. (2009).** Wheat. *Journal of experimental botany*, 60 (6): 1537.
- Siakhène N. (1984).** Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle. Mémoire ing Agr. INA. El Harrach : 90 p.
- Simmonds NW. 1995.** The relation between yield and protein in cereal grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67, 309–315.
- Slafer GA, Andrade FH, Feingold SE. 1990.** Genetic improvement of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Argentina: relationships between nitrogen and dry matter. *Euphytica* 50, 63–71.
- Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., Zid, E.D. (2005).** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Univ. Elmanar. Tunisie. ([http://www.john-libbeyeurotext.fr/fr/revues/agro\\_biotech/sec/e-docs /00/04/11/2E/ telecharger.md](http://www.john-libbeyeurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/sec/e-docs /00/04/11/2E/ telecharger.md)).
- Tahri, E., Belabed, A., Sadki, K. (1997).** Effet d’un stress osmotique sur l’accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Bulletin de l’Institut Scientifique. Rebat*.21: 81 - 89.
- Wadley, G., & Martin, A. (1993).** The origins of agriculture – a biological perspective and new hypothesis. *Australian Biologist*, 6: 96-105.
- Wardlaw, I. F. (2002).** Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Annals of Botany*, 90: 469-476.



- Wilkinson D.M., Sherratt T.N., Phillip D.M., Wratten S.D., Dixon A.F.G. et Young A.J. (2002).** “The adaptive significance of autumn leaf colours”, *Oikos*, 99:402-407.
- Witzenberger A. Hack H. van den boom T (1989).** Erläuterungen zum BBCH-dezimal-Code für die Entwicklungssadien des getreides-mit Abbildungen Gesunde Pflanzen 41;384-388.
- Woodall G. et Stewart G. (1998).** “Short communication. Do anthocyanins play a role in UV protection of the red juvenile leaves of *Syzygium*?” *Journal of Experimental Botany*, 49(325): 1447-1450.
- Woodward R.B. (1941).** “Structure and the absorption spectra of a,b-unsaturated ketones”, *Journal of the American Chemical Society*, 63(4):1123-1126.
- Zhang S., Hennessey T.C., Heinemann A., (1997).** Acclimation of loblolly pine (*Pinus taeda*) foliage light intensity as related to leaf nitrogen availability. National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada, 27: 1032-1040.
- Zitouni Z., (2006).** Cinétique de quelques paramètres physiologiques du blé dur *Triticum durum* (variété vitron) sous contrainte hydrique dans la plaine de Mitidja. Mémoire Ing. INA. El-Herrach. Alger. 171p.

## Annexe:1

Tableau n =1 : les moyennes de la teneur en chlorophylle A dans les feuilles étendards des variétés étudiées.

Variété	08-mai	13-mai	20-mai	11-juin
Waha	48,95±13,56	48,16±4,62	44,51±8,76	0
Hoggar	29,12±2,47	39,45±8,02	50,12±13,43	34,45±13,48
Simeto	25,49±3,76	44,28±7,26	57,98±5,76	35,90±6,05
Oued z	46,54±11,93	33,84±3,02	48,75±3,48	52,43±12,03
Djennah kh	33,38±6,38	38,97±9,60	39,80±11,18	43,40±19,45
Beni mestina	41,28±15,39	39,02±3,21	58,62±11,36	0

Tableau n =2 : les moyennes de la teneur en chlorophylle B dans les feuilles étendards des variétés étudiées

Variété	08-mai	13-mai	20-mai	11-juin
Waha	18,41±6,57	17,92±1,93	17,95±4,09	0
Hoggar	11,62±2,10	13,56±1,93	20,76±5,46	15,98±4,28
Simeto	9,83±2,94	15,97±1,98	31,83±10,66	14,69±2,20
Oued z	17,22±6,84	12,33±0,86	28,24±7,09	19,72±5,10
Djennah kh	12,05±3,05	13,43±2,92	37,58±35,38	16,20±8,49
Beni mestina	15,25±7,51	13,58±1,45	22,44±10,36	0

Tableau n =3 : les moyennes de la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles étendards des variétés étudiées

Variété	08-mai	13-mai	20-mai	11-juin
Waha	67,36±24,21	66,08±6,55	61,79±13,61	0
Hoggar	40,94±5,50	53±9,94	70,88±18,89	55,43±17,74
Simeto	35,31±8,10	60,26±9,24	89,81±5,12	50,59±8,25
Oued z	63,76±23,73	46,17±3,88	76,99±10,57	72,15±17,10
Djennah kh	45,43±1,50	52,40±12,51	50,43±0,82	59,60±27,92
Beni mestina	56,37±27,50	52,59±4,65	81,06±17,48	0

Tableau n =4 : les moyennes de la teneur en caroténoïde dans les feuilles étendards des variétés étudiées

Variété	08-mai	13-mai	20-mai	11-juin
Waha	12,98±5,68	11,92±1,04	9,63±2,66	0
Hoggar	7,90±0,80	10,85±3,17	12,12±4,27	10,97±2,55
Simeto	6,84±1,36	11,11±1,79	10,34±6,37	11,92±0,95
Oued z	13,15±4,63	8,36±0,65	8,50±1,69	10,19±7,40
Djennah kh	9,55±2,34	10,20±2,71	10,87±7,09	12,74±4,69
Beni mestina	11,49±4,51	10,34±1,07	18,81±9,05	0

Tableau n =5 : les moyennes du taux de chlorophylle mesuré par SPAD dans les feuilles étendards des variétés étudiées

Variété	08-mai	13-mai	20-mai	11-juin
Waha	62,13±6,73	54,5±9,98	61,6±6,61	6,2±1,67
hoggar	56,80±5,15	47,83±6,01	58,63±3,57	7,8±1,57
simeto	53,23±3,77	48,3±11,69	66,7±7,18	19,17±7,28
oued z	69,03±6,07	48,5±24,85	79,33±0,78	11,26±5,13
djennah kh	54,70±7,64	50,7±12,68	35,36±3,77	33,46±26,73
bni mestina	49,70±6,41	47,23±9,26	49,3±2,39	5,4±1,01

Tableau n =6 : les moyennes du taux de chlorophylle mesuré par chlorophylle mètre dans les feuilles étendards des variétés étudiées

Variété	08-mai	13-mai	11-juin
Waha	38,64±3,84	46,42±1,32	1,43±0,32
Hoggar	28,18±1,97	38,6±3,82	2,17±0,58
Simeto	29,32±5,66	41,82±7,60	2,4±0,87
Oued z	29,32±2,65	31,71±0,96	3,6±2,79
Djennah kh	27,72±7,35	32,97±3,94	1,57±0,21
Beni mestina	28,6±3,80	27,84±0,32	2,77±0,88

## Annexe:2

Tableau n =7 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet date de la teneur en chlorophylle A

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	1517,635	505,878	3,011	0,054
Erreur	20	3360,588	168,029		
Total corrigé	23	4878,223			

Tableau n =8 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet génotype de la teneur en chlorophylle A

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	304,581	60,916	0,240	0,940
Erreur	18	4573,642	254,091		
Total corrigé	23	4878,223			

Tableau n =9 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet date de la teneur en chlorophylle B

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	831,533	277,178	7,493	<b>0,001</b>
Erreur	20	739,811	36,991		
Total corrigé	23	1571,344			

Tableau n =10 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet génotype de la teneur en chlorophylle B

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	179,794	35,959	0,465	0,797
Erreur	18	1391,550	77,308		
Total corrigé	23	1571,344			

Tableau n =11 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet date de la teneur en chlorophylle totale

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	3183,299	1061,100	3,013	0,054
Erreur	20	7042,913	352,146		
Total corrigé	23	10226,212			

Tableau n =12 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet génotype de la teneur en chlorophylle totale

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	854,719	170,944	0,328	0,889
Erreur	18	9371,493	520,639		
Total corrigé	23	10226,212			

Tableau n =13 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet date de la teneur en caroténoïde

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	52,962	17,654	1,223	0,327
Erreur	20	288,661	14,433		
Total corrigé	23	341,623			

Tableau n =14 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet génotype de la teneur en caroténoïde

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	11,247	2,249	0,123	0,986
Erreur	18	330,376	18,354		
Total corrigé	23	341,623			

Tableau n =15 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet date du taux de chlorophylle mesuré par SPAD

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	7975,383	2658,461	26,645	< <b>0,0001</b>
Erreur	20	1995,482	99,774		
Total corrigé	23	9970,865			

Tableau n =16 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet génotype du taux de chlorophylle mesuré par SPAD

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	445,416	89,083	0,168	0,971
Erreur	18	9525,449	529,192		
Total corrigé	23	9970,865			

Tableau n =17 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet date du taux de chlorophylle mesuré par la chlorophylle mètre

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	3987,772	1993,886	90,566	< <b>0,0001</b>
Erreur	15	330,239	22,016		
Total corrigé	17	4318,011			

Tableau n =18 : tableau de l'analyse de variance pour l'effet génotype du taux de chlorophylle mesuré par la chlorophylle mètre

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	162,229	32,446	0,094	0,992
Erreur	12	4155,782	346,315		
Total corrigé	17	4318,011			

## Annexe:3

Tableau n =19 : Résultats du dosage de la chlorophylle A du premier jour 08/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	69,29	39,83	37,73	48,95	13,56	311,39
Hoggar	32,37	29,98	25,61	29,12	2,47	11,75
Simeto	30,33	19,85	26,28	25,49	3,76	27,93
Oued Zenati	64,43	30,87	44,31	46,54	11,93	285,29
Djennah-kh	36,38	23,82	39,95	33,38	6,38	71,78
Beni mestina	18,2	50,68	54,97	41,28	15,39	404,23

Tableau n =20 : Résultats du dosage de la chlorophylle B du premier jour 08/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	25,98	14,96	14,28	18,41	6,57	43,13
Hoggar	13,75	11,56	9,56	11,62	2,10	4,39
Simeto	13,09	7,38	9,01	9,83	2,94	8,65
Oued zenati	24,63	11,14	15,89	17,22	6,84	46,82
Djennah kh	13,57	8,54	14,03	12,05	3,05	9,28
Beni mestina	6,71	18,21	20,84	15,25	7,51	56,47

Tableau n =21 : Résultats du dosage de la chlorophylle totale du premier jour 08/05

Génotype	R1	R2	R3	Moyenne	écart type	variance
Waha	95,27	54,79	52,01	67,36	24,21	586,30
Hoggar	46,12	41,54	35,17	40,94	5,50	30,24
Simeto	43,42	27,23	35,29	35,31	8,10	65,53
Oued zenati	89,06	42,01	60,2	63,76	23,73	562,91
Djennah kh	49,95	32,36	53,98	45,43	11,50	132,18
Beni mestina	24,91	68,39	75,81	56,37	27,50	756,06

Tableau n =22 : Résultats du dosage des caroténoïdes du premier jour 08/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	19,53	10	9,42	12,98	5,68	32,23
Hoggar	7,33	7,92	6,34	7,20	0,80	0,64
Simeto	8,02	5,36	7,14	6,84	1,36	1,84
Oued zenati	17,95	8,71	12,78	13,15	4,63	21,45
Djennah kh	10,11	6,98	11,55	9,55	2,34	5,46
Beni mestina	6,46	12,84	15,18	11,49	4,51	20,37

Tableau n =23 : Résultats des mesures par SPAD du premier jour 08/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	59,9	56,8	69,7	62,13	6,73	45,34
Hoggar	60,4	50,9	59,1	56,80	5,15	26,53
Simeto	48,9	55,8	55	53,23	3,77	14,24
Oued z	70,4	74,3	62,4	69,03	6,07	36,80
Djennah kh	50,8	49,8	63,5	54,70	7,64	58,33
Beni mestina	45,8	57,1	46,2	49,70	6,41	41,11

Tableau n =24 : Résultats des mesures par chlorophylle mètre du premier jour 08/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	41,4	34,26	40,26	38,64	3,84	14,71
Hoggar	29,6	29	25,93	28,18	1,97	3,88
Simeto	24,63	27,73	35,6	29,32	5,66	31,98
Oued zenati	28,26	27,36	32,33	29,32	2,65	7,01
Djennah kh	31,83	19,23	32,1	27,72	7,35	54,08
Beni mestina	24,33	29,83	31,63	28,6	3,80	14,46

Tableau n =25 : Résultats du dosage de la chlorophylle A du deuxième jour 13/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	45,94	45,07	53,47	48,16	4,62	21,34
Hoggar	30,31	42,73	45,3	39,45	8,02	64,26
Simeto	39	41,29	52,56	44,28	7,26	52,69
Oued zenati	35,54	30,35	35,62	33,84	3,02	9,12
Djennah kh	48,45	29,26	39,2	38,97	9,60	92,10
Beni mestina	39,52	41,95	35,58	39,02	3,21	10,33

Tableau n =26 : Résultats du dosage de la chlorophylle B du deuxième jour 13/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	16,87	16,74	20,15	17,92	1,93	3,73
Hoggar	11,37	14,3	15	13,56	1,93	3,71
Simeto	14,51	15,18	18,23	15,97	1,98	3,93
Oued zenati	12,92	11,34	12,73	12,33	0,86	0,74
Djennah kh	16,51	10,69	13,1	13,43	2,92	8,55
Beni mestina	13,49	15,07	12,17	13,58	1,45	2,11



Tableau n =27 : Résultats du dosage de la chlorophylle totale du deuxième jour 13/05

Génotype	R1	R2	R3	Moyenne	écart type	variance
Waha	62,81	61,81	73,62	66,08	6,55	42,89
Hoggar	41,68	57,03	60,3	53,00	9,94	98,84
Simeto	53,51	56,47	70,79	60,26	9,24	85,40
Oued zenati	48,46	41,69	48,35	46,17	3,88	15,03
Djennah khtifa	64,96	39,95	52,3	52,40	12,51	156,38
Beni mestina	53,01	57,02	47,75	52,59	4,65	21,61

Tableau n =28 : Résultats du dosage des caroténoïdes du deuxième jour 13/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	11,53	11,13	13,09	11,92	1,04	1,07
Hoggar	7,2	12,58	12,78	10,85	3,17	10,02
Simeto	10,05	10,1	13,18	11,11	1,79	3,21
Oued zenati	8,75	7,61	8,73	8,36	0,65	0,43
Djennah khtifa	12,61	7,2	10,26	10,02	2,71	7,36
Beni mestina	10,62	11,24	9,15	10,34	1,07	1,15

Tableau n =29 : Résultats des mesures par SPAD du deuxième jour 13/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	55,2	56,5	73,1	54,5	9,98	99,61
Hoggar	51,7	62,4	61,8	47,83	6,01	36,14
Simeto	69,4	76,8	53,9	48,3	11,69	136,57
Oued zenati	79,7	104	54,3	48,5	24,85	617,62
Djennah khtifa	31,6	25	49,5	50,7	12,68	160,70
Beni mestina	60,8	43,3	46,8	47,23	9,26	85,75

Tableau n =30 : Résultats des mesures par Chlorophylle mètre du deuxième jour 13/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	44,9	47,07	47,3	46,42	1,32	1,75
Hoggar	34,5	36,43	41,87	38,6	3,82	14,61
Simeto	40,77	49,9	34,8	41,82	7,60	57,83
Oued zenati	30,63	32,03	32,47	31,71	0,96	0,92
Djennah khtifa	34,97	35,5	28,43	32,97	3,94	15,51
Beni mestina	27,9	27,5	28,13	27,84	0,32	0,10

Tableau n =31 : Résultats du dosage de la chlorophylle A du troisième jour 20/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	48,23	34,5	50,8	44,51	8,76	76,80
Hoggar	41,78	42,96	65,61	50,12	13,43	180,38
Simeto	61,8	60,78	51,36	57,98	5,76	33,13
Oued zenati	47,13	46,38	52,74	48,75	3,48	12,08
Djennah khtifa	32,51	52,67	34,23	39,80	11,18	124,90
Beni mestina	67,96	45,98	61,92	58,62	11,36	128,95

Tableau n =32 : Résultats du dosage de la chlorophylle B du troisième jour 20/05

génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	17,37	14,18	22,29	17,95	4,09	16,69
Hoggar	17,28	17,95	27,05	20,76	5,46	29,79
Simeto	26,74	24,67	44,09	31,83	10,66	113,74
Oued zenati	24,81	23,52	36,4	28,24	7,09	50,31
Djennah khtifa	18,83	78,39	15,53	37,58	35,38	1251,61
Beni mestina	32,97	22,09	12,25	22,44	10,36	107,42

Tableau n =33 : Résultats du dosage de la chlorophylle totale du troisième jour 20/05

Génotype	R1	R2	R3	Moyenne	écart type	variance
Waha	62,81	61,81	73,62	66,08	6,55	42,89
Hoggar	41,68	57,03	60,3	53,00	9,94	98,84
Simeto	53,51	56,47	70,79	60,26	9,24	85,40
Oued zenati	48,46	41,69	48,35	46,17	3,88	15,03
Djennah khtifa	64,96	39,95	52,3	52,40	12,51	156,38
Beni mestina	53,01	57,02	47,75	52,59	4,65	21,61

Tableau n =34 : Résultats du dosage des caroténoïdes du troisième jour 20/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	11,07	6,56	11,27	9,63	2,66	7,09
Hoggar	9,13	10,22	17,01	12,12	4,27	18,23
Simeto	13,38	14,62	3,02	10,34	6,37	40,57
Oued zenati	8,97	9,9	6,62	8,50	1,69	2,86
Djennah khtifa	6,09	19,01	7,5	10,87	7,09	50,23
Beni mestina	27,15	9,19	20,09	18,81	9,05	81,87

Tableau n =35 : Résultats des mesures par SPAD du troisième jour 20/05

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	57,7	58,9	46,9	61,6	6,61	43,7
Hoggar	51,9	46,4	45,2	58,63	3,57	12,8
Simeto	40,6	49,5	54,8	66,7	7,18	51,5
Oued zenati	48,9	49	47,6	79,33	0,78	0,6
Djennah khtifa	54,9	47,6	49,6	35,36	3,77	14,2
Beni mestina	48	44,9	49,6	49,3	2,39	5,7

Tableau n =36 : Résultats du dosage de la chlorophylle A du quatrième jour 11/06

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	0	0	0	0	0	0
Hoggar	51,1	24,69	42,55	39,45	13,48	181,60
Simeto	42,86	31,92	32,91	35,90	6,05	36,61
Oued zenati	52,7	64,32	40,27	52,43	12,03	144,66
Djennah khtifa	41,33	25,07	63,8	43,40	19,45	378,22
Beni mestina	0	0	0	0	0	0

Tableau n =37 : Résultats du dosage de la chlorophylle B du quatrième jour 11/06

génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	0	0	0	0	0	0
Hoggar	19,92	11,43	16,6	15,98	4,28	18,31
Simeto	17,21	13,15	13,72	14,69	2,20	4,83
Oued zenati	19,17	25,07	14,92	19,72	5,10	25,98
Djennah khtifa	14,57	8,64	25,38	16,20	8,49	72,04
Beni mestina	0	0	0	0	0	0

Tableau n =38 : Résultats du dosage de la chlorophylle totale du quatrième jour 11/06

génotype	R1	R2	R3	Moyenne	écart type	variance
Waha	0	0	0	0	0	0
Hoggar	71,02	36,12	59,15	55,43	17,74	314,88
Simeto	60,07	45,07	46,63	50,59	8,25	68,01
Oued zenati	71,87	89,39	55,19	72,15	17,10	292,47
Djennah khtifa	55,9	33,71	89,18	59,60	27,92	779,48
Beni mestina	0	0	0	0	0	0

Tableau n =39 : Résultats du dosage des caroténoïdes du quatrième jour 11/06

Génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	0	0	0	0	0	0
Hoggar	11,41	8,23	13,28	10,97	2,55	6,52
Simeto	10,87	12,18	12,72	11,92	0,95	0,91
Oued zenati	15,4	1,72	13,44	10,19	7,40	54,72
Djennah khtifa	12,21	8,34	17,68	12,74	4,69	22,02
Beni mestina	0	0	0		0	0

Tableau n =40 : Résultats des mesures par SPAD du quatrième jour 11/06

génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	6,3	7,6	4,7	6,2	1,67	2,11
Hoggar	9,6	7,1	6,7	7,8	1,57	2,47
Simeto	16,1	13,8	27,4	19,17	7,28	52,99
Oued zenati	12,6	15,6	5,6	11,26	5,13	26,33
Djennah khtifa	62,3	9,5	28,6	33,46	26,73	714,72
Beni mestina	5,6	6,4	4,4	5,4	1,01	1,01

Tableau n =41 : Résultats des mesures par chlorophylle mètre du quatrième jour 11/06

génotype	R1	R2	R3	moyenne	écart type	variance
Waha	1,8	2,3	2,4	1,43	0,32	0,10
Hoggar	2,1	1,1	1,1	2,17	0,58	0,33
Simeto	3,4	2	1,8	2,4	0,87	0,76
Oued zenati	2,3	6,8	1,7	3,6	2,79	7,77
Djennah khtifa	1,8	1,5	1,4	1,57	0,21	0,04
Beni mestina	3,5	3,01	1,8	2,77	0,88	0,77

Comparaison entre la mesure du taux de la chlorophylle et le dosage de sa teneur par spectrophotométrie : Comparaison évolutive de la sénescence de quelques variétés de blé dur (*triticum durum* Desf).

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie et Génomique Végétale

**Résumé :**

La teneur en chlorophylle est un facteur limitant pour une bonne accumulation des photosynthétats et un bon remplissage du grain du blé dur. La mesure de la chlorophylle en teneur et en taux des feuilles étendards nous indique sur la bonne assimilation de la plante des réserves nutritionnelles et avoir un bon rendement en fin de cycle. L'objectif de notre travail est de mesurer le taux et la teneur en chlorophylle chez 6 variétés de blé dur cultivées à l'ITGC d'EL Khroub Constantine (Waha, Hoggar, Simeto, Oued Zenati 368, Djennah Khetifa et Beni Mestina) en 4 dates différentes après l'épiaison. En comparant les mesures du taux de chlorophylle par deux appareils (SPAD et chlorophylle mètre) et les dosages des teneurs en chlorophylle a, b et totale et en caroténoïdes par spectrophotométrie. Les résultats ont montré que le chlorophylle mètre est le plus fiable par rapport au SPAD, parce que il y'a une corrélation avec les fluctuations de la chlorophylle a et totale.

**Mots clés :** Chlorophylle, caroténoïdes, SPAD, chlorophylle mètre, blé dur

**Laboratoire de recherche :** Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales

Jury d'évaluation :

**Présidente du jury :** Mme. *HAMLA C.* (MCB - UFM Mentouri Constantine 1).

**Encadrant :** Mr. *DJEKOUN A.* (Prof- UFM Mentouri Constantine 1).

**Co- Encadrant:** Mr. *KELLOU K.* (MAA - UFM Mentouri Constantine 1).

**Examinatrice :** Mme. *MOUELLEF A.* (MA1 - UFM Mentouri Constantine 1).

**Date de soutenance :** le 17/07/2019