

## Introduction

Les céréales sont les principales ressources de protéines et de calories. Le blé est le plus cultivé des céréales et la première avant le riz et le maïs.

La graminée *Triticum* s'adapte presque à tous les climats. Le blé dur (*Triticum durum* Desf) réussit bien dans les zones chaudes et sèches, très riche en gluten, c'est le blé des pâtes alimentaires. Le blé tendre (*Triticum aestivum*. L), celui qu'on transforme en pain, s'adapte mieux aux hautes latitudes. De plus, les systèmes de culture ont favorisé des types de blé ; le blé d'automne, semé pour profiter au maximum de l'humidité hivernale et printanière, caractérise les régions méditerranéennes et tempérées. Le blé de printemps signal les pays à hiver trop rude.

Le climat algérien, qui est de type méditerranéen, se caractérise essentiellement par la variabilité intra et interannuelle des précipitations et des températures. Les stress climatiques, tels que les températures extrêmes, le déficit hydrique, deviennent très communs à mesure qu'on pénètre dans les plaines intérieures (Bensemene 2004). Ces contraintes altèrent le développement et la production des cultures (Baldy 1974).

La productivité de la céréaliculture pluviale reste tributaire de ces variations climatiques. Ceci est surtout valable pour les régions des hauts plateaux qui se caractérisent par un cumul de pluie variant de 200 à 500mm, accompagné d'hivers doux à rigoureux et d'étés chauds et secs (Bouzerzour et al, 2002).

La culture de blé dur, spéculation traditionnelle, devenue stratégique au fil du temps en remplaçant l'orge comme aliment de base de la population, occupe largement l'espace agricole des plaines intérieures et des hauts plateaux, (Hakim 1989).

Amokrane (2001), note que le rendement est faible et fluctuant suite à l'effet des stress abiotiques. Face à cette situation, les stratégies développées, pour améliorer la production du blé, sont la recherche de variétés tolérantes aux stress d'une part et d'autre part une meilleure valorisation des eaux pluviales (Ykhlef, 2001; Bensemene, 2004). La tolérance est souvent liée à des facteurs génétiques qui assurent le maintien des fonctions vitales de la plante sous stress et l'adaptent aux changements de son environnement (This et Monneveux, 1997).

L'eau est l'élément limitant, et la pluie devient plus rare une fois l'hiver sorti, il faut que le développement de la plante soit à même de valoriser l'eau reçue. La plante doit compter, à la fin de son cycle, sur les réserves d'eau stockées dans le sol pour faire une production acceptable (Simane et al. 1993; Passioura 1996).

L'effet d'un déficit hydrique au niveau de la plante, en particulier dans les feuilles, se définit par la nette augmentation de concentration d'un certain nombre de constituants entre autres des composés azotés (Goas, 1965). La présente contribution à pour objectif, l'étude bibliographique de la caractérisation de la proline, indicateur de stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone méditerranéenne.

## CHAPITRE I

### I - Présentation de la culture du blé

Le blé dur est une graminée appartenant au genre *Triticum* et l'espèce *durum*, il fait partie du groupe des espèces tétraploïdes ( $2n = 28$  chromosomes).

#### 1- Caractéristiques morphologiques et cycle végétatif du blé

##### 1-1- caractéristiques morphologiques du blé

###### 1-1-1- le grain

Le grain de blé est un fruit (caryopse) sec et indhéscant, sa couleur est jaune ambrée chez le blé dur (*Triticum durum*. Desf.), rouge ou blanche chez le blé tendre (*Triticum aestivum*. L) (Belaid, 1986).

La composition chimique du grain de blé diffère avec la variété et le milieu, mais elle est généralement composée de : (selon Belaid 1986),

- 10.5 % d'humidité
- 1,5 % de cendres
- 12 % de protéines
- 2 % de fibres
- 71,6 % de carbohydrates
- 0,05 % de calcium
- 0,38 % de phosphore

###### 1-1-2- l'appareil végétatif

Les graminées sont des plantes herbacées de petite taille. La plante se présente sous forme d'un certain nombre d'unités qu'on appelle les talles :

Deux systèmes se forment au cours du développement :

**A/ système aérien** : il se développe en produisant un certain nombre de talles, qui se développent en tiges cylindriques formées par des nœuds séparées par des entrenœuds. Chaque tige porte à son extrémité une inflorescence.

**B/ système racinaire** :

**-racines primaires** : ce sont des racines séminales qui fonctionnent de la germination au tallage, et ne restent pas longtemps fonctionnelles.

**-racines secondaires** (racines de tallages) : du type fasciculé, elles partent des nœuds les plus bas et sont toutes au même niveau (plateau de tallage).

### **1-1-3- l'appareil reproducteur**

Les fleurs sont groupées en inflorescence, chacune est composée d'unité morphologique de base: les épillets. Le blé dur, le blé tendre et l'orge sont des plantes autogames ou à autofécondation où le pollen d'une fleur pollinise l'ovaire de la même fleur.

### **1-2- Cycle végétatif du blé**

Le cycle de développement (végétatif) du blé peut se décomposer en trois grandes périodes subdivisées en phases.

#### **1-2-1- Période A : la période végétative** comprenant :

- **la phase germination – levée** : la germination est le passage de la semence de l'état de vie latente à la vie active.

- **la phase tallage** : les premières feuilles apparaissent puis les premières talles. Le plateau de tallage constitue un ronflement plus en moins épais d'où partent les talles et les racines de tallage. Le tallage prend fin quand la distance moyenne du sommet de l'épi au plateau est égale à un centimètre (épi à 1cm).

- **phase montaison** : ce phénomène se manifeste par l'élongation du premier entrenœud, à ce moment l'émission des talles s'arrête. Elle est notée lorsque l'épi est à 1cm du plateau, peu à peu les talles montent et l'épi gonfle dans la tige, c'est le stade gonflement et la montaison prend fin à l'épiaison.

#### **1-2-2- Période B : la période reproductrice** : elle débute de l'épiaison à la floraison.

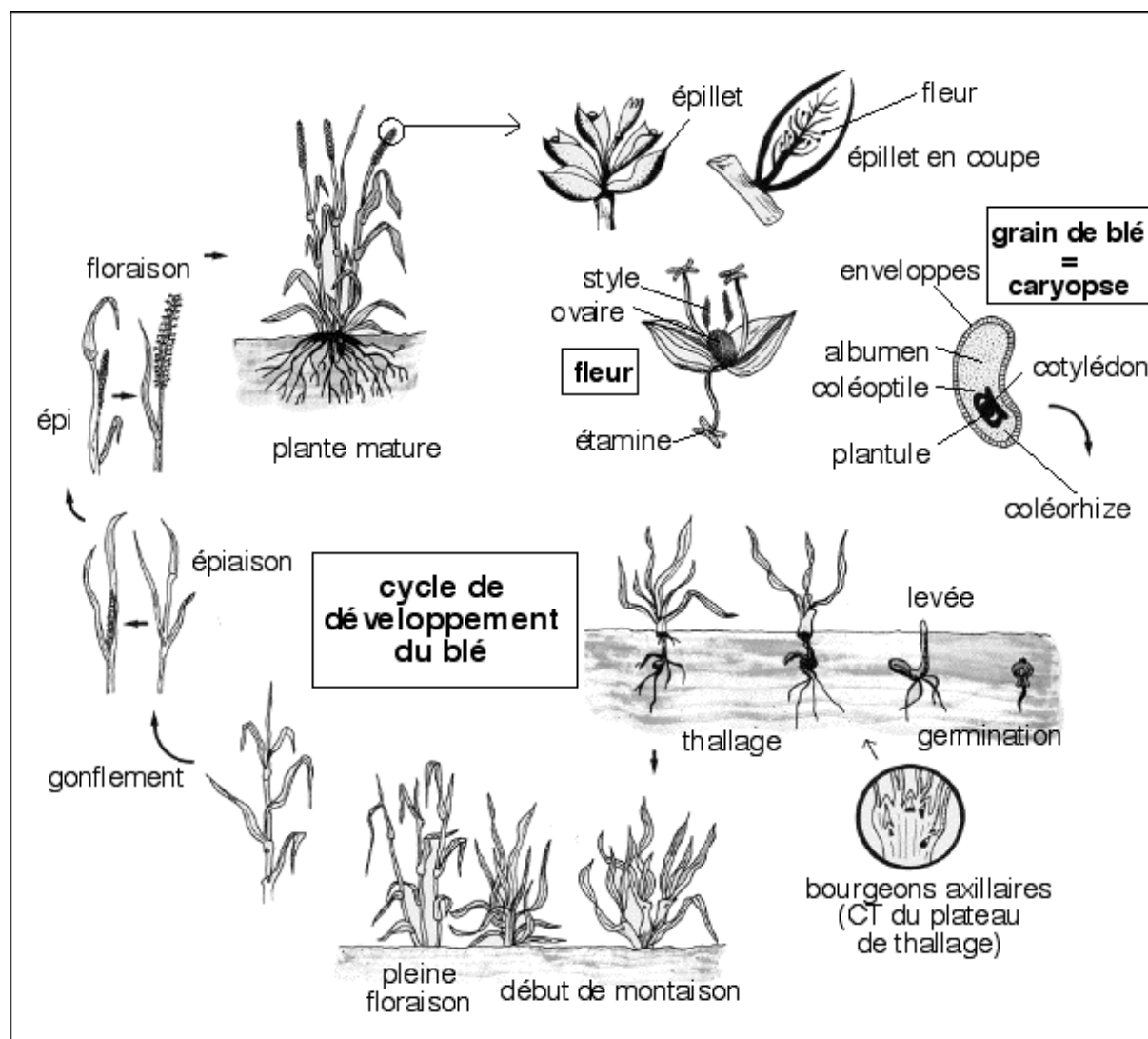
L'épiaison est déterminée par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille. La floraison se produit en général quatre à huit jours après épiaison, elle débute à la partie centrale de l'épi.

#### **1-2-3- Période C : période de maturation** :

-Floraison à la maturité physiologique: qui comprend la croissance du grain, l'accumulation active et la transformation des matières de réserves.

-maturité physiologique- dessiccation du grain :

- Stade laiteux du grain : Les enveloppes du grain sont formées, la taille Potentielle du grain est déterminée.
- Stade pâteux du grain : Il est atteint lorsque la couleur du grain est jaune vert, donc il y a remplissage du grain.
- Stade vitreux : Perte régulière d'eau jusqu'à un pourcentage d'humidité de 10 à 14%



**Figure I : Le cycle de développement du blé**

## 2- les exigences du blé

### 2-1- le sol :

Un sol recevant une culture de blé doit être : rassi en eau en profondeur, peu motteux en surface, ferme, non creux et peu affiné en surface (Bazerbachi, 1973). Il assure une bonne surface de contact aux racines fasciculées.

### 2-2- la température :

La physiologie du blé est sous le control de la température à tout moment (Soltner, 1987).

Une température de 0°C de végétation est exigée pour la phase de germination (anonyme, 1980).

Bessaid et al. (1996), notent que les températures exigées diffèrent selon les stades:

Stade levée : sommes des températures égale à 120° C

Stade tallage : somme des températures égale à 450° C

Stade plein tallage : somme des températures égale à 500° C

Epis un centimètre (1cm) : somme des températures égale à 600° C

### **2-3- l'eau :**

Les besoins en eau des cultures représentent le volume d'eau requis pour l'évapotranspiration depuis la date de plantation jusqu' à la date de récolte. Pour une culture donnée, dans un régime climatique spécifique, quand l'humidité du sol est suffisamment maintenue par les précipitations ou l'irrigation de telle sorte que cela ne limite pas la croissance des plantes ou le rendement des cultures (Larousse agricole 1984).

La culture de blé réussit bien dans les régions où les pluies annuelles sont de 375 à 1100mm (Bazerbachi, 1973). Il peut être cultivé dans les régions qui reçoivent 250mm/an mais les rendements seront peu convenables. Et selon Doorenbos (1987), les besoins totaux du blé en eau sont de 450 à 650mm/an à condition que ces quantités soient bien réparties au cours du cycle de développement du blé. Mais ces besoins dépendent des facteurs climatiques, pédologiques et ceux liés à la plante entre autres densité de semis, le stade de développement etc....

Flagier (1990), note que les paramètres qui doivent être pris en considération pour déterminer les besoins en eau des cultures sont : les réserves en eau disponibles dans le sol, la demande climatique et le stade végétatif de la plante.

## **CHAPITRE II.**

### **1-La sécheresse et la plante**

#### **1-1- Rôle et importance de l'eau dans la plante**

C'est grâce à l'eau que la vie a pu se développer sur terre et elle dépend toujours en premier lieu de cet élément. L'eau est le facteur clef de production.

L'eau occupe un taux élevé dans la plante, il est de 60 à 80 % du poids frais de la plante jusqu' à la sénescence (Tardieu et al. 1995 ; Gruiziat, 1995 ; Monneveux et Belhassen, 1996).

Durant les périodes où l'activité de la plante est intense, le taux de l'eau peu aller jusqu' à 85 à 90 % du poids frais de la plante (De Raissac 1992).

L'eau joue un rôle dominant dans les fonctions de croissance et de développement de la plante. Elle véhicule les éléments minéraux nécessaires à son développement et alimente la transpiration qui est le mécanisme physiologique.

L'eau établit, après absorption par les racines, un courant à l'intérieur de la plante qui irrigue tous les organes végétatifs et la plus grande partie est évacuée par le mécanisme de la transpiration (Issaka 1992).

Le maintien du fonctionnement de la plante nécessite que l'eau d'imbibition qui s'évapore par la transpiration doit être remplacée en permanence par l'eau du sol absorbée par les racines.

Tardieu et al. (1995), considèrent que dès que la teneur en eau des organes de la plante diminue de 15 à 20 % de sa valeur maximale, son activité physiologique est affectée.

#### **2-2- Notion de sécheresse et déficit hydrique**

##### **2-2-1- Définition de stress**

Du point de vue physique, le stress se définit comme une action mécanique d'un objet sur un autre. Dans le domaine de la biologie végétale, il désigne les effets que le manque ou l'excès des facteurs écologiques ont sur le comportement de la plante (Bensemmane, 2004).

### **2-2-2- Notion de sécheresse**

En météorologie, la sécheresse se caractérise par des quantités de précipitation tombées significativement au-dessous de la moyenne.

En agriculture, on parle de sécheresse lorsque la quantité et la distribution des pluies sont suffisamment faibles pour causer chez les cultures des chutes considérables du rendement (Hulse 1989).

La sécheresse est définie généralement comme étant un déficit hydrique par rapport à un état normal.

La sécheresse est la contrainte environnementale qui provoque des dommages dans les productions agricoles en général et les céréales en particulier. Elle affecte considérablement les récoltes dans les zones arides et semi-arides, caractérisées par des pluies rares et irrégulières et par des températures très élevées (Bouras 2001).

Zair (1991), définit la sécheresse comme l'état climatique qui s'installe après un déficit hydrique.

De Raissac (1992), indique qu'il y a sécheresse dès que l'eau devient un facteur limitant la croissance des végétaux.

### **2-2-3- Notion de déficit hydrique**

Le déficit hydrique est un phénomène courant durant le cycle de développement des plantes. Il est lié à la réduction de l'humidité du sol et à l'augmentation de la demande de l'évapotranspiration (Acevedo 1991, Blum 1996).

La plante perd une partie de son eau d'imbibition et la majeure partie du processus physiologique commence à être affectée (Gate 1995).

Le déficit hydrique constitue le principal facteur limitant le rendement des céréales. D'après Zair (1991), le déficit hydrique agit sur les trois principales composantes du rendement (nombre d'épis, nombre de grains par épis et poids de 1000 grains).

Aidaoui (1994) constate que le stress hydrique est la conséquence directe d'un déficit hydrique.

D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique de la plante en dessous d'une certaine valeur (Rekika 1997).

## **2-3- Effets du stress hydriques sur le cycle de la plante**

### **2-3-1 Effets du stress hydrique sur la période végétative**

Au cours de la germination, un certain taux d'humidité est nécessaire pour assurer une bonne levée (Nemmar ; 1980).

Adda (1996), note que l'apparition d'un stress hydrique précoce provoque une germination réduite et retardée qui va diminuer le nombre de plantes/m<sup>2</sup>.

Au stade tallage, le déficit hydrique peut entraîner une réduction de la vitesse d'émission des talles et par conséquent une limitation du nombre d'épillets par épi (Debacke et al ; 1996).

Selon (Bouthier et al. 1993), un stress hydrique arrivant au stade mi-montaison à la floraison provoque une diminution du nombre de grains par épi.

### **2-3-2 Effets du stress hydrique sur la période reproductrice**

On assiste au cours de cette période, à une élongation rapide des tiges et à une intense production de matière fraîche qui requière un haut niveau d'hydratation.

Gate (1987), constate que le stress hydrique arrivant au stade épiaison conduit à la mort des ébauches florales sous l'effet de compétition alimentaire.

Au cours de la floraison, le stress hydrique entraîne une diminution du poids de 1000 grains, et au stade de fécondation on remarque une chute du nombre de grains.

### **2-3-3- Effets du stress hydrique sur la période de maturation du grain**

Selon Deumier (1987), la durée de remplissage du grain devient plus courte durant un stress hydrique.

Grignac (1981) et d'autres chercheurs, notent que le stress hydrique arrivant au cours de la formation du grain peut diminuer sa teneur en eau ce qui va entraîner le blocage du remplissage du grain.

### 2-3-4- Effets du stress hydrique sur les fonctions physiologiques

La diminution de l'eau dans le sol, sous l'effet de la sécheresse, oblige la plante d'abaisser son potentiel hydrique pour que la valeur s'ajuste à celle du potentiel hydrique du milieu.

Selon Dwyer et Stewart (1984), le stress hydrique devient intense, la photosynthèse diminue davantage du fait d'une modification du métabolisme, les stomates, qui constituent les voies d'échanges de gaz et de vapeur d'eau entre la plante et l'atmosphère se ferment. (Olufayo 1994).

Selon Dutuit et Pourrat (1994), la fermeture des stomates, provoquée par un stress hydrique, a un effet fondamental sur la photosynthèse. Cette fermeture des stomates constitue une réponse immédiate au manque d'eau qui permet à la plante d'échapper à un dommage irréversible, mais elle entraîne un dysfonctionnement provoquant une réduction de l'activité photosynthétique et altère la croissance et le développement de la plante.

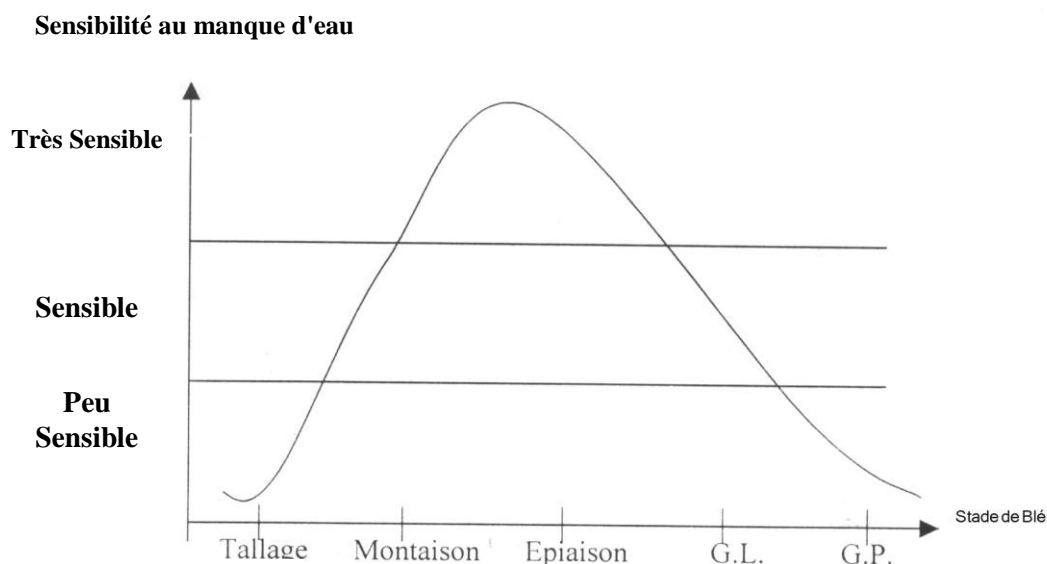


Figure 1 : Les différents stades phénologique du blé et leurs sensibilités.  
[G.L. (grain laiteux) ; G.P. (grain pâteux)]

## **2-4- Notion d'adaptation et de tolérance à la sécheresse**

### **2-4-1- Notion d'adaptation**

L'adaptation d'un être vivant à son milieu renvoie à la notion de niche écologique, entité fonctionnelle définie par un certain nombre de facteurs:

- Environnement physico-chimique (climat, nature du sol) caractérisé par l'ensemble des facteurs abiotiques
- Environnement biologique

Le terme adaptation est défini de point de vue écologique la notion de survie et de propagation de l'espèce dans les conditions limitante en eau (Levitt, 1980).

De point de vue agronomique le degré d'adaptation de la plante où la productivité est fortement influencée.

Turner (1979) et Arraudeau (1989) définissent l'adaptation à la sécheresse comme la capacité de la plante à survivre, croître et donner des rendements satisfaisants dans les zones sujettes à des déficits hydriques périodiques.

La notion d'adaptation est liée à celle de résistance et de tolérance aux stress, (Bensemane, 2004).

### **2-4-2- Stratégies adaptatives aux stress**

Levitt (1982), remarque que l'adaptation peut prendre trois formes distinctes :

#### **1- Esquive**

C'est une stratégie adaptative qui permet à la plante de terminer son cycle de vie sans que les stades les plus sensibles aux stress ne se réalisent à des périodes où les risques de contraintes sont très élevés (Abbassene et al, 1997).

C'est une situation où la plante, grâce à un rythme de développement spécifique, réussit à s'harmoniser à l'environnement de production (Bensemene, 2004).

#### **2- Evitement :**

L'évitement de la déshydratation permet aux plantes soumises à un déficit hydrique du sol, à maintenir un potentiel hydrique foliaire élevé (Acevedo, 1991).

Le maintien de potentiel hydrique élevé est réalisé par l'augmentation de l'absorption racinaire de l'eau et / ou la réduction de la transpiration.

Sous climat semis aride, l'évaporation du sol est une source majeure de perte d'eau (Van Damme 1990). Pour un stock d'eau donné du sol, le cultivar adapté, donc économe d'eau, et celui qui développe une surface foliaire élevée qui soit à même de rythmer au mieux la consommation d'eau tout le long du cycle (Richards, 1987).

### **2-1- Activité photosynthétique.**

La surface des feuilles porte de nombreux pores microscopiques (environ 10000 par cm<sup>2</sup>), ce sont les stomates, elles permettent la pénétration de gaz carbonique CO<sub>2</sub> dans les feuilles où il est utilisé comme matière première pour la synthèse des sucres grâce à l'activité photosynthétique.

(Monneveux et al. 1994), constatent que l'activité photosynthétique diminue en cas de stress hydrique, cette diminution est due par la fermeture stomatique qui réduit l'entrée de CO<sub>2</sub> et limite aussi la sortie de l'eau par transpiration.

La fermeture des stomates est déclenchée par un signal chimique émis par les racines et véhiculé jusqu'aux feuilles par la sève brute. Ce signal est dû à l'implication de l'acide abscissique ABC (hormone végétale) et du calcium (second messenger), (Gowing et al. 1990 cités par Monneveux et This, 1997).

### **2-2- Surface et morphologie des feuilles**

Selon Ali – Dib et Monneveux (1992), certaines variétés de blé dur qui ont des feuilles étroites et courtes peuvent limiter les pertes d'eau par transpiration, lors d'un déficit hydrique.

La réduction de la croissance foliaire, quand le stress hydrique est très important, est un mécanisme majeur de réduction des besoins en eau. L'enroulement des feuilles entraîne une diminution de la transpiration

### **2-3- Hauteur de la plante**

Les plantes de taille élevée ont beaucoup plus de réserves en eau que les plantes de taille courte par conséquent, elles supportent mieux le stress hydrique par une grande capacité à utiliser ses réserves en période de remplissage des grains.

En effet, une taille élevée est souvent associée à un système racinaire profond et par conséquent, à une meilleure aptitude à extraire l'eau du sol (Bagga et al, 1970 cités par Gate et al. 1990).

#### **2-4- Longueur des barbes**

La longueur des barbes du blé dur est liée étroitement à la tolérance au stress hydrique (Hadj Christodoulou, 1985 cités par Hermez, 1996). Elle augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et de l'élaboration de la matière sèche lors de la phase de maturation des grains, (Grignac 1965 cités par Monneveux 1991).

#### **2-5- Présence de cire cuticulaire**

Clarke et Romagosa (1991), notent que le faible taux de perte d'eau à travers la cuticule est considéré comme étant un mécanisme important de survie au stress hydrique et varie de 1 à 50% de la transpiration totale chez les différentes espèces.

Levitt (1980), suggère que l'augmentation de la surface lipidique sur la feuille réduit progressivement la transpiration jusqu'à ce que la cuticule devienne imperméable à l'eau.

### **3- Tolérance :**

Monneveux et Nemmar (1986), définissent la tolérance de la plante comme étant sa capacité à résister à l'abaissement du potentiel hydrique tout en maintenant l'activité métabolique grâce à des adaptations de nature physiologique.

L'homéostasie de la turgescence des feuilles se fait par accumulation de solutés comme les ions potassium, des sucres solubles, des acides aminés et plus particulièrement la proline et enfin des acides organiques notamment l'acide malique.

#### **3-1- Ajustement osmotique**

La tolérance implique que des changements du métabolisme cellulaire caractérisé par l'accumulation de certains produits qui peuvent être synthétisés rapidement sous l'effet des stress. La tolérance, dans le cas d'une faiblesse du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence rendue possible grâce au phénomène d'ajustement osmotique qui maintient les stomates ouverts et assure l'activité photosynthétique (Belhassen et al. 1995).

L'ajustement osmotique réfère à une augmentation nette de solutés dans les cellules (acides organique, ions inorganiques, sucres solubles et acides aminés), créée par une production active d'ions par la plante stressée, menant en une diminution du potentiel osmotique et ainsi, en un appel d'eau dans les cellules (Kramer, 1983 ; Lord, 1999).

Les feuilles d'une plante bien hydratée (condition normale) ont des valeurs de potentiel hydrique qui oscillent entre 0.2 et 0.6 MPa, alors que les feuilles subissant un stress hydrique peuvent voir cette même valeur descendre aux alentours de -2.0 MPa, (Lord, 1999).

En condition normale, le transport de l'eau se fait des racines vers les feuilles et puis vers l'atmosphère par la transpiration, donc d'un potentiel hydrique plus élevé vers un potentiel hydrique qui diminue (du + vers le -). De ce fait, l'eau ne pourra entrer dans la plante que si son potentiel hydrique est plus bas que celui du sol. C'est ce différentiel de potentiel entre les différentes parties de la plante qui explique le mouvement de l'eau (Kramer, 1983 ; Lord, 1999).

En présence d'un stress hydrique, la teneur en eau du sol diminue considérablement. Lorsqu'on diminue la concentration en eau du sol, le différentiel de potentiel entre les racines et les feuilles change. La plupart des plantes ne peuvent survivre dans un milieu asséché parce que celui-ci est caractérisé par un potentiel hydrique plus bas que celui qui est nécessaire aux tissus végétaux pour un fonctionnement adéquat. La plante doit donc se déshydrater au fur et à mesure que le sol sèche. Mais cela n'arrive pas car cela provoquerait la mort de la plante (Lord, 1999).

Le phénomène d'ajustement osmotique intervient donc à ce moment là. Les cellules deviennent de plus en plus concentrées en solutés (exemple : la proline), ce qui crée une diminution du potentiel hydrique dans les cellules, augmente le gradient de potentiel hydrique entre l'intérieur des cellules et l'extérieur créant un appel d'eau vers les cellules. Les cellules exercent donc une pression osmotique. Ce phénomène indique que l'eau va entrer dans la cellule et ce, jusqu'à ce que le potentiel hydrique à l'intérieur de la cellule égale celui de l'extérieur (dans la solution où lequel la cellule baigne) d'où un arrêt du mouvement de l'eau.

## **CHAPITRE III.**

### **1- Accumulation de la proline**

#### **1-1- Définition**

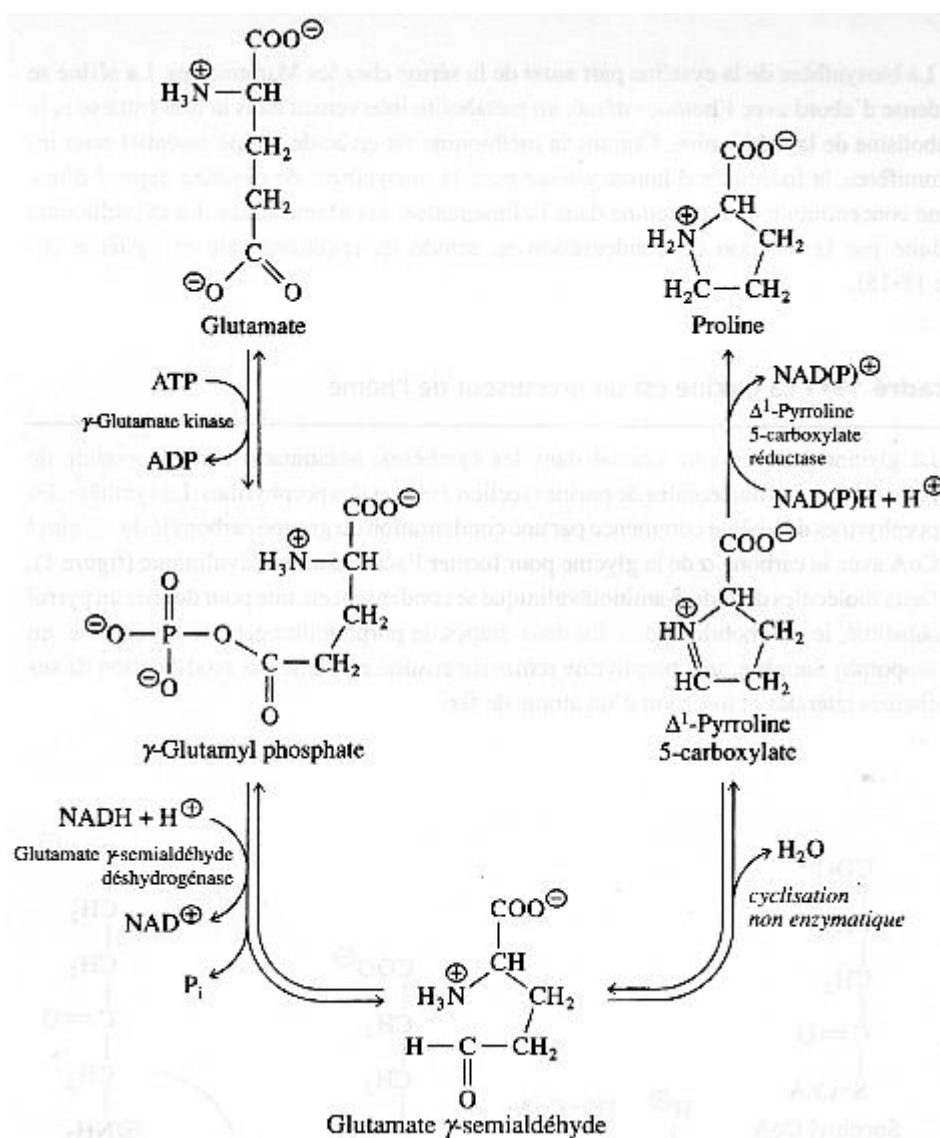
La proline est un acide aminé de formule brute ( $C_5H_9NO_2$ ), il possède un groupement azoté sous la forme d'une amine secondaire et comporte un radical NH au lieu de radical  $NH_2$ . C'est un corps blanc très soluble dans l'eau et dans l'éthanol, il est facilement oxydé par la ninhydrine. Son  $pH = 6,30$ , et sa masse moléculaire est égale à 115, 13 Da.

#### **1-2- La synthèse de la proline**

De nombreuses études suggèrent que le glutamate est le précurseur majeur de la proline, lorsque sa synthèse est induite par un stress hydrique.

Selon Horton et al. (1994), la synthèse de la proline se déroule en quatre étapes (Fig : 1):

- La première réaction est catalysée par la  $\gamma$ -glutamate kinase qui phosphoryle le glutamate en  $\gamma$ -glutamylphosphate, ce qui correspond à la première réaction de synthèse de la glutamine
- La seconde réaction fait intervenir le  $NADH, H^+$  et déphosphoryle le  $\gamma$ -glutamylphosphate en glutamate  $\gamma$ -semialdéhyde.
- La troisième réaction: c'est la cyclisation du glutamate  $\gamma$ -semialdéhyde
- Enfin, une réductase forme la proline qui, selon les organismes, utilise le  $NADH, H^+$  ou le  $NADPH, H^+$



**Figure III** : Synthèse de la proline

Source : (Horton et al, 1994)

### **1-3- Accumulation de la proline chez des plantes stressées**

L'accumulation de la proline sous l'effet d'un déficit hydrique a été mise en évidence dès 1967 par Savitskaya chez l'orge et par Tyankova chez le blé.

L'accumulation de la proline induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse (Morris et al, 1969 ; Boggess et al, 1976), inhibition de son oxydation (Stewart et al, 1977 ; Rayapati et Stewart, 1991) et altération de la biosynthèse des protéines (Stewart et al, 1977).

La proline joue, parmi l'ensemble des osmotocums, un rôle particulier; son accumulation en cas de contrainte hydrique a été signalée chez la plupart des céréales : orge (Singh et al 1972), soja (Sivarama krichman et al, 1988). Des corrélations positives ont été notées par ces auteurs entre la tolérance au déficit hydrique et capacité d'accumulation de proline.

La signification physiologique de l'accumulation de proline sous l'effet d'une contrainte hydrique est encore mal connue; plusieurs hypothèses ont été proposées. La fonction la plus souvent évoquée concerne l'ajustement osmotique (Stewart et Lee, 1974).

D'autres rôles de l'accumulation de proline :

- participation de la proline à la constitution d'un stock d'azote, utilisable pour la reprise de croissance postérieure au stress (Paquin, 1977 ; Tall et Rosental, 1979).
- Régulation du PH cytoplasmique (Pesci et Beffagna, 1984) en condition de stress, les productions d'acides organiques liée à la respiration et à la photorespiration sont activées (Venekamp et al, 1988); la tendance à l'acidification peut être évitée grâce à une synthèse accrue de proline.
- Ajustement du métabolisme énergétique (Bellinger et al, 1991) : la synthèse de la proline est étroitement liée au métabolisme des sucres et à la respiration.

Nemmar (1984), conclue dans ses recherches sur 16 variétés de blé dur et 20 variétés de blé tendre, que les variétés tolérantes à la sécheresse sont celles qui ont accumulé plus de proline au stade fécondation. Ses résultats concordent avec ceux obtenus par d'autres chercheurs chez d'autres espèces.

Nemmar (1984), note que l'élévation de l'accumulation de la proline n'est pas directement liée à un stade végétatif de la plante mais à une période de sécheresse.

Singh et al. (1973), notent que les génotypes sont plus tolérants à la sécheresse d'autant plus importante que l'accumulation de la proline.

Plusieurs travaux sur les phénomènes d'accumulation de la proline chez les végétaux, soumis aux contraintes hydriques, ont été abordés par de nombreux auteurs. Les résultats obtenus montrent une augmentation de la concentration de la proline chez les plantes exposées à différents stress. Chouard (1973), note qu'une accumulation de la proline est une conséquence directe du stress hydrique.

Selon Barnett et Naylor (1966), la proline pourrait être un stock d'énergie d'azote réduit et de carbone qui peut être utilisé durant le métabolisme du post stress.

Hubac et Guerrier (1972), concluent que cet acide aminé serait plus qu'une conséquence de la résistance à la sécheresse.

Singh et al (1972), observent que l'accumulation de la proline chez des variétés d'orge montre leur résistance à la sécheresse. Ces auteurs remarquent que l'accumulation de la proline dans des jeunes plantes pourrait être un critère de sélection dans les régions arides et semi – arides.

La teneur en protéines est généralement faible, et peut atteindre des valeurs très élevées lorsque les plantes souffrent de sécheresse (Monneveux et Nemmar 1986). En effet, les variétés de blé tolérantes à la sécheresse accumulent plus de proline lors d'un déficit hydrique (Singh et al, 1973).

## **CONCLUSION**

Au terme de cette étude bibliographique, nous pouvons conclure que les facteurs climatiques sont considérés parmi les causes influençant l'augmentation ou la réduction du rendement.

Parmi ces facteurs, l'eau constitue l'élément limitant la production céréalière de la zone méditerranéenne en affectant un grand nombre de processus morphologiques, physiologiques et biochimiques de la plante. Mais des différences interpopulations sont relevées, ce qui donne des possibilités de sélection de certaines variétés pour une meilleure adaptation à la sécheresse. Pour cela, des variétés de blé, sous l'effet du déficit hydrique, développent certains mécanismes et en particulier l'augmentation d'un certain nombre de constituants, tels que les composés azotés, dont la proline qui occupe une place importante, parce que la majorité des plantes cultivées accumulent de la proline dans les feuilles lorsqu'elles sont soumises à l'action d'un déficit hydrique.

Des observations suggèrent l'existence d'une relation entre l'accumulation de la proline et le degré de tolérance des végétaux à la sécheresse. Chez les blés, l'accumulation de la proline est un mécanisme de réponse à la sécheresse, comme cela a été mis en évidence dans cette étude.

Une phase pratique permettrait, sans doute, d'avoir des informations complémentaires sur le métabolisme de la proline au cours des différents stades de développement du blé.