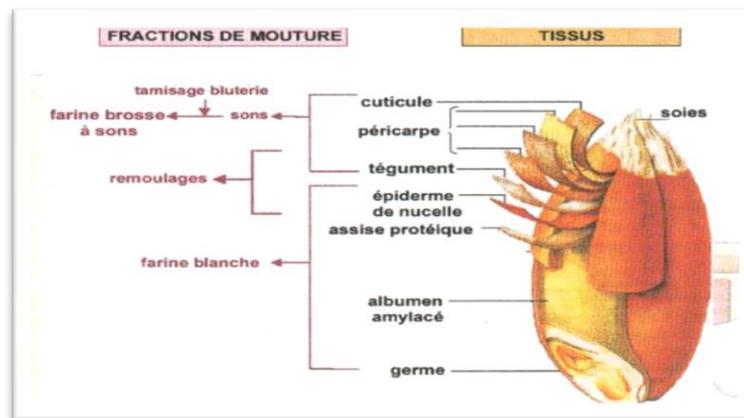


## Composition histologique et chimique du grain de blé dur.

Le grain de blé (figure 3) (ou caryopse de blé) est un organe complexe, qui permet le développement de la future plante (Soltner, 1990), on présente ci-dessous les compositions histologique et chimique du grain de blé dur.

### I.3.2.1. Composition histologique.

Les grains de blé, sont des fruits secs indéhiscents, le caryopse de blé est nu, blanc plus ou moins roux, ovoïde et pesant de 35 à 50 mg (Soltner, 1990). Possédant sur une de leurs faces une cavité longitudinale " le sillon" et a l'extrémité opposée de l'embryon des touffes de poiles " la brosse" (figure 3) (feillet, 2000).



**Figure 3** : Différents tissus du grain de blé (Feillet, 2000).

Le grain de blé comprend trois parties principales : des enveloppes, l'albumen et le germe;

- a) les enveloppes (13 - 17 % du grain) : donne le son en semouleries elles sont d'épaisseur variable et sont formées de trois groupes de téguments soudés:
  - 1/ Les péricarpes ou tégument du fruit constitué de trois assises cellulaires ;
    - Epicarpe ; protégé par la cuticule et les poiles.
    - Mésocarpe ; formé de cellules transversales.
    - Endocarpe ; constitué par des cellules tubulaires, il est particulièrement riche en cellulose, hémicelluloses et pentosanes, ainsi qu'en éléments minéraux (Godon, 1991).

2/Les testa ou tégument de la graine constitué de deux couches de cellules.

3/L'épiderme (di) nucelle appliqué sur l'albumen sous-jacent.

b) L'albumen (80 - 85 % du grain) : principalement amylicé et vitreux chez le blé dur, possède à sa périphérie une couche à aleurone riche en protéines, lipides, pentosanes, hémicellulose et minéraux.

c) Le germe (3 % du grain) : composé d'un embryon, lui-même formé d'un cotylédon unique ou scutellum riche en lipides et protéines, une plantule plus ou moins différenciée :

- La radicule ou racine embryonnaire protégée par le coléorhize.
- La gemmule comportant un nombre variable de feuilles visibles enfermées dans un étui producteur nommé sa coléoptile (feillet, 2000).

### I.3.2.2. Composition chimique.

Le grain est l'organe majeur du blé. Il renferme d'importants éléments qui déterminent sa valeur alimentaire (tableau 7). Néanmoins les valeurs indiquées par le tableau 7 sont variables selon les caractères génétiques de la plante, les conditions pédoclimatiques et le niveau agro technique (Rakipov, 1987).

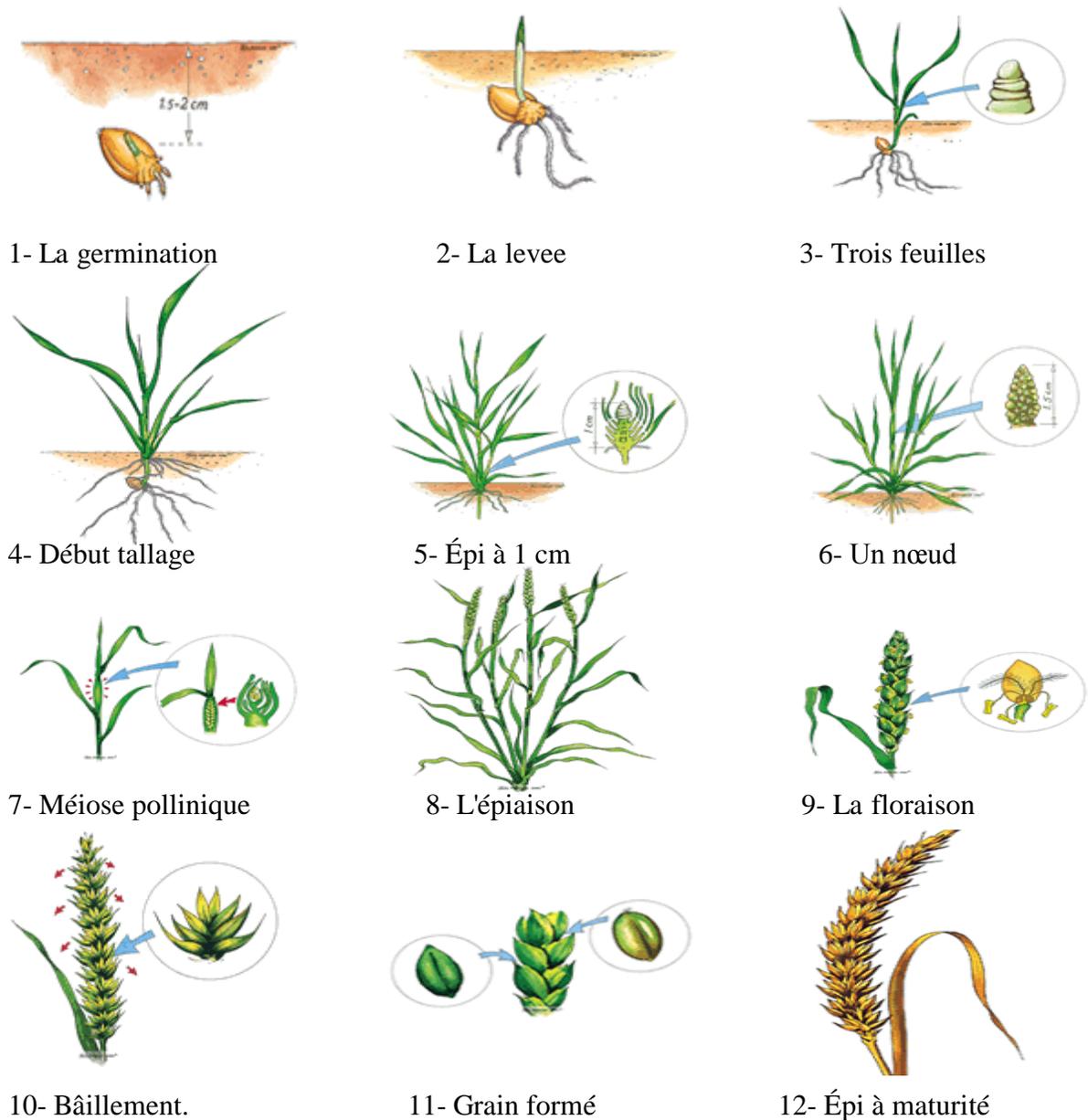
**Tableau 7** : Composition chimique du grain de blé en % de matière sèche (Godon, 1991).

Culture	Eau	Protéines	Lipides	Glucides			
				Totale	Mono et disaccarides	Amidon	Cellulose
Blé dur	14	12, 5	1, 9	67, 5	2, 1	54, 9	2, 3

### I.3.3. Croissance et développement.

La compréhension des processus de croissance et du développement est à la base de la modélisation du fonctionnement des cultures (Casals, 1996).

Dans la littérature, et selon la référence, on rencontre plusieurs descriptions des stades de développement d'une culture de blé (Weir et *al.*, 1984). On présente ci-dessous une description détaillée pour le cycle de vie du blé dur et on note toutefois que le cycle végétatif du blé peut être toujours divisé en deux grandes périodes distinctes ; l'une végétative et l'autre reproductive (figure 4).



**Figure 4 :** Cycle de développement du blé (www.UNCTAD.org).

C'est au cours de la période végétative que la plante produit des feuilles et des racines. Cette phase végétative s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi (Bozzini, 1988). La germination du grain de blé commence quand il en a absorbé environ 25 % de son poids d'eau. La racine principale, couverte d'une légère enveloppe ou coléorhize, apparaît, de même que la coléoptile recouvrant la gemmule, il perce la couche superficielle du sol, percé à son tour par la première feuille (Grandcourt et Prats, 1970). Le tallage est un mode de développement propre aux graminées. Il débute à la troisième feuille, lorsqu'un renflement apparaît à 2 cm de la surface du sol, c'est le futur plateau de tallage. La première talle apparaît généralement à l'aisselle de la première feuille lorsque la plante est au stade quatre feuilles. Par la suite, à chaque nouvelle feuille correspond l'apparition d'une talle. En même temps que se déroule la quatrième feuille, et que pointe la première talle, de nouvelles racines sortent de la base du plateau de tallage ; ce sont les racines secondaires, les racines primaires deviennent inactives.

La période reproductrice comprend la formation de la croissance de l'épi. Elle s'étend du stade (épi-1 cm), montaison, au stade floraison. La montaison débute à la fin du tallage. Elle est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. À cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Grandcourt et Prats, 1971). Cette phase s'achève une fois que l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle ; C'est le stade gonflement (Bozzini, 1988). L'épiaison se caractérise par l'émission de l'épi hors de la gaine de la feuille étendard. Les épis sortis de leur gaine, fleurissent généralement 4 à 8 jours après l'épiaison. Le nombre de grains par épi est fixé, à ce stade (Bozzini, 1988). C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et s'effectue la fécondation. La floraison est caractérisée par l'apparition des étamines sur l'épi. Cette phase correspond au maximum de la croissance de la plante qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influence le nombre final de grains par épi (Masle-Meynard, 1980). Pendant la phase de formation et de maturation du grain, il n'y a plus de croissance des feuilles et des tiges. Le produit de l'activité photosynthétique est entièrement dirigé vers le grain qui grossit, met en place ses enveloppes et accumule des éléments carbonés et

azotés. Les glucides proviennent de l'activité photosynthétique des feuilles encore vertes et constituent l'amidon du grain. Les acides aminés proviennent de la migration des réserves azotées accumulées dans les parties végétatives (feuilles, tiges, épis) et constituent les protéines du grain (Gate et *al.*, 2003).

Le grain passe par trois stades consécutifs ; laiteux, pâteux et grain mûr. Entre les stades laiteux et pâteux, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable ; c'est le palier hydrique, phase critique du remplissage du grain, où un dessèchement prématuré de la plante peut bloquer la migration des réserves et provoquer un "échaudage" du grain (Robert et *al.*, 1993).

Les dates et l'apparition des stades de développement sont plus au moins définies et fixes pour une même variété mais varient d'une culture à l'autre (Karrou, 2003). Les dates de réalisation des stades de développement du blé dépendent essentiellement de la température et de la photopériode subies par la culture après la germination.

La durée de certaines phases comme les phases de germination et de maturation dépend peu de la photopériode et répond au modèle des sommes de degrés jours, qui utilise des températures cumulées à partir de la fin du stade précédent pour prédire le début du stade suivant. Les facteurs qui affectent l'évolution de la plante pendant la phase semis-levée sont : l'humidité du sol, sa température et la profondeur du semis (Barloy, 1984). La photopériode a un effet plus important durant la phase végétative de la plante à travers le processus de photosynthèse. En général le rendement d'une culture de blé peut être affecté par la température (Ledent, 1989), le rayonnement solaire (Stapper, 1984), les stress hydrique et azoté (Masle-Meynard, 1981), les dates de semis et de récolte (Darwinkel, 1978), ainsi que les caractéristiques pédologiques (Weir et *al.*, 1984).

#### **I.4. Besoins écologiques de développement de blé dur.**

Le blé dur est bien adapté aux régions à climat relativement sec, où il fait chaud le jour et frais la nuit durant la période végétative, ce qui est typique des climats méditerranéens et tempérés (Bozzini, 1988). La plus grande partie du blé dur produit dans le monde est constituée de blé de printemps ; toutefois, il existe des variétés de blé dur d'hiver qui ont besoin de vernalisation pour amorcer la transition de la phase végétative de la phase reproductrice (Schilling et *al.*, 2003). Le blé dur n'a pas les mêmes exigences

que le blé tendre. Il a des besoins élevés en ensoleillement, une faible résistance au froid et à l'humidité, une sensibilité à certaines maladies cryptogamiques plus grande que chez le blé tendre (Bennasseur, 2003). Le blé dur exige, une terre qui provient de la décomposition poussée du fumier (Celement, 1981), saine, drainant bien mais pas trop sujet au stress hydrique surtout pendant la période de l'accumulation des réserves dans le grain. L'installation du blé dur dans les terres ressuyant mal, le rend plus sensible aux maladies cryptogamiques telles que les piétins et les fusarioses (Bennasseur, 2003). La température optimale est la température à partir de laquelle la croissance est considérée comme maximale pour le blé, est généralement de 20°C (Ezzahiri, 2001). Le blé dur a des exigences en eau de l'ordre de 500 à 600 mm/an, bien répartis sur le cycle de développement. Une bonne alimentation en eau est particulièrement importante entre l'épiaison et la floraison et entre les stades "grains laiteux" et "grain pâteux" (Celement, 1981).

### **I.5. Ennemis du blé.**

Comme toutes les autres plantes cultivées par l'homme, les céréales à paille peuvent être attaquées par un grand nombre d'organismes parasites macroscopiques et microscopiques. Ces organismes peuvent être groupés en :

#### **a – Parasites animaux :**

Ils, comprennent l'ensemble des ravageurs inclus dans le règne animal allant des vers, aux mammifères : nématodes, insectes, oiseaux, rats. (Richards *et al.*, 1985). Ces agents blessent les parties souterraines ou aériennes de la plante. A titre d'exemple les (nématodes) provoquent des coupures ou des déformations du système racinaire, comme Le nématode *Meloidogyne naasi* qui provoque un ralentissement de la croissance chez les céréales à paille et peut même réduire ou inhiber l'épiaison, les insectes et les oiseaux provoquent des dégâts mécaniques sur les parties aériennes (Anonyme, 1971).

#### **b – Champignons :**

L'infection par les champignons pathogènes peut être à l'origine de maladies provoquant des pertes assez importantes à la culture de blé. Les champignons, pouvant s'adapter à tous les milieux, absorbent les éléments nutritifs qu'il s puisent dans les tissus de l'hôte. Parmi ces champignons on distingue (Prescott *et al.*, 1987) :

(*Puccinia sp.* : Agent des rouilles), (*Erysiphe sp.* : Agent de l'oïdium), (*Tillitia sp.* : Agent des caries), (*Ustilago sp.* : Agent des charbons) et (*Fusarium sp.* : Agent des fusarioses).

#### **c – Bactéries :**

Ces micro-organismes pathogènes peuvent être disséminés par les insectes, le vent, l'eau. Des blessures superficielles ou des stomates ouverts permettent aux bactéries de pénétrer dans les tissus de la plante hôte. Elles envahissent le système vasculaire ou les espaces intercellulaires et provoquent des nécroses par les toxines ou les enzymes qu'elles sécrètent. Parmi ces bactéries on peut citer (Prescott *et al.*, 1987) :

- *Pseudomonas syringae* : agent de la brûlure bactérienne de la feuille.

#### **d – Virus :**

Agents de viroses, ils parasitent les cellules des plantes et altèrent leur vigueur. Plusieurs viroses sont transmises par des insectes (Pucerons), des nématodes et des champignons. Parmi ces agents on peut citer (Kamel, 1994) :

- Le V.M.S.O : agent de la mosaïque striée de l'orge, transmis par la semence, s'attaquant généralement à l'orge mais aussi au blé, à l'avoine, au maïs et à d'autres graminées.

#### **e – Mauvaises herbes :**

Elles comprennent les plantes adventices qui exercent une concurrence avec les plantes cultivées. Elles peuvent être nuisibles par compétition pour les éléments nutritifs, l'eau, la lumière et l'air (tableau 8).

**Tableau 8:** Principaux ravageurs, maladies et adventices du blé  
(Richards *et al.*, 1985).

Stade Vegetative	Maladies cryptogamiques	Ravageurs	Adventices (mauvaises herbes)
Semis - Levée	Fonte de Semis	Limaces, mouches, grises des céréales, tipules, taupins	Folle avoine Ray – grass
Levée - Tallage	Maladies du pied: Rhizoctone	Pucerons	Paturin Vulpin , Gaillet Matricaire Veronique, Agrostide
Montaison	- Rouilles, - Piétin – verse, - Oïdium.	- Cnephasia (tordeuse) - Agromyza (mineuse)  - Oiseaux	En plus des adventices cités dessus on a : Chénopodes, Chardon, Coquelicot, liseron
Epiaison	Rhynchosporiose Fusariose, Septoriose, Charbons	-Cécidomyies des épis -Pucerons -Oiseaux	

## I.6. Physiologie de semence.

### I.6.1. Germination de semence.

La germination, est un ensemble de phénomènes par les quels la plantule en vie ralentie dans la graine mure, commence une vie active et se développe grâce à l'énergie contenue dans les réserves de la graine (Celement, 1981). La germination est définie aussi comme étant un processus dont les limites sont le but d'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la racicule (Mazliak, 1988). Sur le plan physiologique, c'est une reprise de l'activité métabolique de l'embryon traduite par l'activité respiratoire (Feillet, 2000). Pendant la germination, la plantule utilise pour la couverture de ces besoins énergétiques les réserves de la graine (grains d'amidon, grains d'aleurone et

lipides), qui sont transformés, sous l'action d'enzymes appropriées, en substances directement utilisables pour la croissance (glucose, maltose et acides aminés) (Celement, 1981).

Dans le phénomène de la germination on distingue trois phases :

Phase I : phase d'imbibition, phase II : elle est appelée aussi la phase de la germination sensu-stricto et la phase III : correspond à la croissance de la radicule (Mazliak, 1988), La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et de la coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle (Bada, 2007). La période d'activation de la graine peut durer une dizaine d'heures. Aucun changement notable n'est visible. Seules s'opèrent quelques modifications du métabolisme qui préparent le déclenchement de la croissance. La période des mitoses dure environ deux heures. On ne note pas de modifications morphologiques apparentes. Au cours de la période de début d'allongement, des cellules de la radicule, celle-ci pénètre dans les fentes causées par l'éclatement des téguments (Celement, 1981). Lorsque les substances de la croissance sont épuisées, la jeune plante qui possède un appareil racinaire et un appareil aérien formés et fonctionnels, devient autonome et peut assurer elle-même sa propre croissance; La germination est alors terminée (Gate, 1995).

#### **I.6.1.1. Facteurs essentiels à la germination.**

La germination des semences de blé est sous l'influence de facteurs internes et de facteurs externes ;

- a) Les facteurs internes ; c'est-à-dire : tous les constituants de la graine de blé ; enveloppes séminales (légumes + éventuellement péricarpe) et amande (tissu des réserve + embryon) sont complètement différenciés du point de vue forme. L'intégrité physique : les graines doivent être intactes, complètes et bien constituées, ni cassées, ni brisées (Heller, 2000).
- b) Les facteurs externes :
  - L'eau : il est nécessaire à la germination parce qu'elle permet à la graine de s'imbiber et aux activités métaboliques de se déclencher, c'est le siège de toutes

les réactions enzymatiques elle doit être disponible en quantité suffisante dans le milieu extérieur (Mazliak, 1988).

- La température : compatible avec la germination, s'inscrit dans une gamme assez large qui va d'un minimum assez bas, exemple : haricot, blé, avoine : 3 - 5 °C à un maximum assez élevé 30 - 40 °C par un optimum assez étal (la température optimale pour la germination du blé se situe entre 15 et 30 °C) (Mazliak, 1988).
- L'oxygène : c'est un facteur essentiel à la germination. D'une manière générale la germination exige un effet d'oxygène, souvent de l'ordre 0,5 %, il y a lieu de tenir compte de l'obstacle mis par les téguments et l'albumen à la diffusion du gaz (Mazliak, 1988).
- La lumière : fait appel à la photosensibilité de l'espèce elle est classée en trois catégories :
  - Photosensibilité positive : la germination est favorisée par la lumière.
  - Photosensibilité négative : dans ce cas elle est favorisée par l'obscurité.
  - Espèces non photosensibles : renferme toutes les plantes à caractères agronomiques (céréales et la plupart des légumineuses) (Mazliak, 1988).

### **I.6.2. Vigueur des semences.**

Le concept de vigueur des semences a été l'objet de beaucoup de spéculations et de nombreuses tentatives ont été faites pour le caractériser en terme de composantes de qualité spécifique ou des attributs (Milosevic et *al.*, 2010).

Isely (1957) définit la vigueur des semences comme << la condition d'une graine qui est au plus haut niveau de sa qualité et celles qui font de bonne semences sont pesé dans les bonnes proportions promettant une performance satisfaisante sur une portée maximum de conditions environnementales >>. Selon (Delouche et Caldwell, 1960), la vigueur des semences est un facteur important non seulement dans des conditions de plantation défavorables, mais aussi dans des conditions favorables. Woodstock (1969) définit la vigueur comme étant << la condition d'une bonne santé active et la robustesse naturelle dans les graines qui lors de la plantation, permet la germination de procéder rapidement et à l'achèvement en vertu d'un large éventail de conditions environnementales >>. Le terme de vigueur est généralement utilisé pour décrire l'état physiologique de semence

qui régit sa capacité à produire une plante rapidement dans le sol et à tolérer une gamme de facteurs environnementaux. Le potentiel ou la qualité de semences est déterminée par des caractéristiques génétiques combinés avec d'autres facteurs tels que la dormance, les dommages mécaniques et la pathogénèse des semences (Perry, 1978).

### **I.6.3. Tests de vigueur des semences.**

Les tests de vigueur ont été conçus pour mesurer la capacité des semences de germer et de produire des plantes utiles dans des conditions de terrain qui peuvent raisonnablement être connues par la localisation géographique et le type du corps en question (Woodstock, 1973). Heydecker, (1969) a déclaré que les tests de vigueur doivent être bon marché, faciles à réaliser sur un grand nombre d'échantillons et que les tests devraient produire des résultats reproductibles qui peuvent être évalués objectivement, clairement enregistrés et interprétés valablement. Pratiquement Plusieurs tests doivent être utilisés, car tous les tests de vigueur disponibles sont moins que satisfaisants dans au moins un de leurs aspects (Perry, 1978).

#### **I.6.3.1. Types de tests de vigueur.**

Il n'existe aucun test de vigueur universellement accepté. Pour toutes les espèces végétales, lors du choix d'un test de vigueur on doit tenir compte de la biologie, la physiologie et d'autres caractéristiques spécifiques d'espèces végétales. Pour cette raison, les tests de vigueur sont regroupés en plusieurs manières (tableau 9) (Milosevic et *al.*, 2010).

**Tableau 9:** Différents divisions de tests de vigueur (Milosevic et *al.*, 2010).

Hampton et Tekrony (1995) divisent les tests de vigueur en deux groupes:	Association des Organisations Américaines aux essais de semences (AOSA, 2002 <i>in</i> Milosevic et <i>al.</i> , 2010).
Les tests recommandés, afin de mieux comprendre la viabilité et plus proche d'orientation relative au pourcentage de germination sur le terrain (test de conductivité et test de vieillissement accéléré).	Tests de stress (test de vieillissement accéléré, le test au froid et la germination a basse température).
Les tests recommandés, qui sont encore en phase de développement (test à froid, la germination à basse température, test de chute contrôlée dans la germination des graines, complexe-test de stress, test de Hiltner, Test de la croissance des semis et le test de tetrazolium).	
	Tests d'estimation et de croissance de semis (classement de semis en fonction de la vigueur et test de croissance de semis).
	Les tests biochimiques (test au tetrazolium et le test de conductivité).

McDonald (1975) a regroupé les tests de vigueur en trois groupes:

Tests physiques ; déterminent les caractéristiques des graines telles que la taille et la masse. Ces tests sont peu coûteux, rapides peuvent être appliqués à grand nombre d'échantillons et sont en corrélation positive avec la vigueur des semences. La caractéristique principale de développement des semences est l'accumulation de matières nutritives, qui est aussi en corrélation directe avec la vigueur, c'est-à-dire avec la taille et la masse des semences.

Tests physiologiques; en utilisant la germination et les paramètres de croissance. Il existe deux types de ces tests; premier type, lorsque la germination se fait dans des conditions favorables (germination standard au laboratoire et le test de l'intensité de croissance). Deuxième type, lorsque les grains sont exposés à des conditions environnementales défavorables (test à froid, test de vieillissement accéléré et le test de Hiltner).

Tests biochimiques ; sont considérés comme des méthodes indirectes d'estimation de la valeur de départ. Ces tests sont le test de (TZ), les mesures conductimétriques, l'activité enzymatique et la respiration.

#### **I.6.4. Germination standard (test de germination).**

Le test de germination, est communément fait pour déterminer la viabilité de la semence, ce test est devenu tellement universellement accepté que la germination et la viabilité sont probablement considérées comme étant une seule idée par la plupart des scientifiques (Copeland, 1976). Dans de nombreux cas, ce test a été montré pour être un test de vigueur fiable dans des conditions optimales. Il est rapide, peu coûteux, ne requiert aucun équipement spécialisé et ne nécessite pas de formation supplémentaire pour les travailleurs. Les principales critiques sont : la difficulté de standardiser les variables telles que l'humidité et la température, puisque le manque de la normalisation affecte la comparaison des résultats entre les laboratoires. En outre, le test de germination repose sur la capacité de l'analyse des semences pour interpréter les résultats et cette capacité varie d'une personne à l'autre (Abu el gassim, (sd)). Les graines qui sont capables d'étendre une racine ne peuvent pas nécessairement être assez vigoureuses pour établir une plante dans des conditions de terrain. Cela a conduit à l'élaboration de Procédures réglementaires de test de graines pour évaluer le potentiel d'une graine pour la mise en place sur le terrain. Cependant, les tests réglementaires sont également la base sur laquelle la négociabilité des semences est déterminée (Willington, 1965) et cela à inévitablement conduit à une tentative de maximiser la germination en utilisant les conditions optimales (De Tempe, 1963).

#### **I.6.5. Test de tetrazolium.**

Le test au tetrazolium a été développé en Allemagne (1950) par le professeur Georg Lakor comme un test pour l'obtention rapide d'estimation générale de la viabilité des graines, en particulier dans les espèces où la dormance a été exprimée et le test de germination allait durer trop longtemps (Milosevic et *al.*, 2010). Ce test est largement appliqué (Hampton et Tekrony, 1995) :

- Lorsque les semis doivent être effectués immédiatement après la récolte de graines très dormantes.
- Dans les graines de longue germination.
- Lorsque des renseignements sur le potentiel de germination des semences sont urgents.
- En vue de déterminer les différents types de dommages causés par la récolte ou de transformation (par la chaleur et mécanique) ou dommages causés par les insectes.
- En vue de résoudre les problèmes qui pourraient être rencontrés lors des tests de germination, par exemple quand il y a un effet indésirable soupçonné du traitement par les pesticides et lorsque les causes de l'apparition des anomalies ne sont pas claires...etc.

Le test au tétrazolium est basé sur la réduction de la solution incolore chlorure 2, 3, 5-triphenyl tétrazolium (*TTC* : 2,3,5 -*Triphenyl Tetrazolium Chloride* ) en 2, 3, 5-triphenyl formazan de couleur rouge. Cette solution agit comme un indicateur pour la détection des processus de réduction qui ont lieu dans les parties de vie de la graine. A l'intérieur de la graine, le test de (TZ) repose sur l'action des enzymes déshydrogénases. Ces enzymes libèrent des atomes d'hydrogène qui réagissent avec la molécule (TZ) pour former un pigment rouge insoluble dans l'eau appelé formazan (Grabe, 1970), qui se précipite dans les cellules vivantes tandis que dans les tissus morts où aucune réaction ne se produit reste incolore (*ISTA*, 2009).

Les graines sont immergées dans l'eau parce que les graines gonflées se fissent difficilement, et sont plus faciles à couper par rapport aux graines sèches et sont plus uniformes.

Les semences préparées sont immergées dans 0,5 à 1% de la solution de tétrazolium.

Les graines doivent être recouvertes complètement par la solution et non exposées à la lumière directe. Après il faut attendre le temps nécessaire pour que la teinture apparaisse, (cela dépend des espèces végétales) (Milosevic et al., 2010).

Pendant le test la semence viable devrait exprimer son potentiel de formation de plantule normale grâce à l'activité biochimique. (*ISTA*, 2009). Tous les tissus (nécessaires pour le développement des plantules normales) de la graine viable devraient être teintés. Selon les espèces, de petites taches non teintées de certaines parties de ces tissus peuvent être acceptées. L'emplacement, la taille des zones non teintées et parfois l'intensité de la teinture, sont utilisés pour déterminer si certaines semences sont considérées comme viables ou non (Milosevic et al., 2010).

Le test au (TZ) a plusieurs limites, car il (Milosevic et *al.*, 2010) :

- Fournit des valeurs trop élevées de vitalité, c'est-à-dire dans les graines vigoureuses on ne peut pas séparer les graines qui donneront des plantes typiques de celles anormales,
- Cause des difficultés dans l'identification visuelle des plantules anormales (c'est-à-dire coléoptiles divisés, géotropisme négatif, etc.).
- Nécessite un personnel spécialement formé.
- Ne détecte pas la présence d'un effet pathogène ou phytotoxique.

### **I.7. Notion de la sécheresse et de stress hydrique.**

La notion de stress hydrique a toujours été assimilée à la notion de sécheresse (Morizet, 1984). Durant leur phase de croissance, les végétaux présentent une forte hydratation. Ils renferment alors entre 85% à 90 % d'eau. Les végétaux doivent donc trouver dans le sol des quantités d'eau égales à celles qu'ils perdent, sinon ils ont tendance à se déshydrater, et la physiologie de la plante est perturbée (Deraissac, 1992). La sécheresse définit l'état de pénurie hydrique dont souffre la culture (Morizet, 1984). (Hulse, 1989 *in* Anonyme, 1997) définit deux types de sécheresse, la sécheresse météorologique et la sécheresse agricole ; il y'a sécheresse agricole quand les précipitations chutent remarquablement pour causer des baisses de rendement et il y'a sécheresse météorologique quand les précipitations chutent significativement en dessous d'un seuil critique sur une superficie étendue et durant une longue période. D'après (Deraissac, 1992), la sécheresse à un sens résolument relatif, lié au déficit hydrique de l'espèce cultivée (il y'a sécheresse dès lors que l'eau devient facteur limitant de la croissance et du rendement). D'après (Gate, 1995), le phénomène de sécheresse s'instaure quand la perte d'eau par la transpiration dépasse la quantité absorbée et d'après (Henin, 1976 *in* Chaker, 1997) il y'a sécheresse dès qu'il se produit dans la masse des tissus des végétaux un déficit hydrique entraînant une baisse de rendement. Le déficit hydrique est un phénomène courant durant le cycle de développement des plantes. Il est lié à la réduction d'humidité du sol et à l'augmentation de la demande évaporatoire (Blum et Pnuel, 1996). Le stress hydrique, ou osmotique, est le stress subi par une plante placée dans un environnement qui amène à ce que la quantité qu'elle absorbe. Ce stress se rencontre en période de sécheresse mais aussi par augmentation de la salinité du milieu ou en période

de froid (Deraissac, 1992). D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique de la plante ( $\psi$ ) en dessous d'une certaine valeur dépendante du génotype et des caractéristiques du milieu, il constitue enfin le principal facteur limitant la croissance et les rendements des céréales (Turner, 1986). Le terme de déficit hydrique se rapporte à l'état physiologique de la plante lorsque les conditions d'eau sont défavorables à la croissance optimum (Robelin, 1968 *in* Bouthiba, 1985).

### **I.7.1. Effets du stress hydrique sur le végétal.**

Le stress perçu par une plante, autrement dit le niveau de tension interne, dépend de la résistance de l'organisme à un type de stress appliqué avec une certaine intensité. En plus du type de stress et de son intensité (Levitt, 1980), il faut également considérer que le degré de sensibilité au déficit hydrique dépend du stade de développement de la plante et de la durée du stress (Day et *al.*, 1978). En effet, même si l'intensité d'un stress est trop faible pour provoquer des dommages irréversibles à court terme, à long terme, ce stress peut provoquer des changements, voire la mort de l'organisme (Levitt, 1980). Selon (Nemmar, 1983) le déficit hydrique apparaît en premier lieu dans les feuilles et s'étend vers la tige et les racines.

#### **I.7.1.1. Effets sur la morphologie de la plante.**

En réponse au stress, la plante simule des changements significatifs que ce soit sur le plan morphologique que métabolique (Ali Dib et *al.*, 1992). Les plantes sont différentes dans leur sensibilité au stress. Leur réponse varie selon le stade de développement, de la germination à la maturité (Turner, 1979). L'effet du déficit hydrique est beaucoup plus marqué sur le développement aérien que sur le développement racinaire (Kramer, 1980). Ceci s'explique par le fait que la partie aérienne est plus exposée aux effets de la déshydratation de l'atmosphère. La croissance des plantes est contrôlée directement par le déficit hydrique du sol (Kies, 1982). Car il réduit la croissance des jeunes pousses (Hsiao, 1973), la division cellulaire, la taille des feuilles, leur surface verte et la teneur en eau de tous les organes de la plante (Kies, 1982). Le stress hydrique diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille (Turner, 1979). Le

déficit hydrique au cours de la période végétative provoque la réduction des talles par unité de surface qui est l'une des composantes essentielles du rendement chez le blé (Nemmar, 1983). Ce déficit affecte au début montaison l'allongement des premiers entre nœuds tandis qu'en fin montaison, plus fréquent, il réduit la longueur des derniers entre nœuds et du col de l'épi, en plus de la hauteur on observe aussi des peuplements d'épis faibles (Gate, 1995). La sécheresse du sol, en surface peut bloquer leur développement sans modification notable de la turgescence apparente des feuilles (Baldy, 1986). (Liana *et al.*, 1972 *in* Nemmar, 1983) ont constatés que le déficit hydrique au cours de la période végétative réduit d'une manière considérable la hauteur de la tige et freine le rythme de la synthèse de la matière sèche. D'après (Bruna, 1988 *in* khaldoun, 1990) la plante peut limiter ses pertes d'eau par la réduction de l'interception du rayonnement solaire ; enroulement foliaire, position érigée des feuilles, augmentation de la réflexion due à la pilosité de la feuille, présence de cire sur la feuille et réduction de la surface foliaire. De nombreuses études conduites au champ ou en conditions contrôlées montrent l'existence d'une grande variation des caractéristiques d'enracinement des différentes espèces cultivées en conditions hydriques défavorables. Des relations entre certaines caractéristiques racinaires et la tolérance au déficit hydrique ont d'ailleurs été mises en évidence chez le blé dur (Benlaribi *et al.*, 1990). Selon (Robelin, 1970 *in* Meriaux, 1972) l'efficacité de l'eau à chaque période considérée, dépend de la vitesse de croissance de la plante et l'indice de sécheresse. Elle est d'autant plus grande que la vitesse de croissance est plus grande et le climat moins évaporant.

#### **I.7.1.2. Effets sur la physiologie et la biochimie de la plante.**

Au niveau de la plante de nombreuses modifications physiologiques sont provoquées par la sécheresse comme l'augmentation du taux d'acide abscissique, l'activité photosynthétique, la fermeture des stomates, l'ajustement osmotique et l'accumulation de solutés comme la proline et les sucres solubles ...etc (Sandhu et Laude, 1985).

Un déficit hydrique s'accompagne en plus de la perte de turgescence des cellules, d'une fermeture des stomates qui est une réponse automatique dont le but est de minimiser les pertes d'eau par transpiration. Cette fermeture des stomates est considérée comme une

« première ligne de défense » contre la dessiccation, car c'est un processus rapide et plus flexible que d'autres alternatives (Calmes et *al.*, 1985).

L'ajustement osmotique ou osmorégulation est un mécanisme effectif de tolérance à la sécheresse dans une stratégie de bas potentiel hydrique de la plante. Il, permet le maintien de la pression de turgescence à un niveau aussi élevé que possible pour des valeurs basses du potentiel hydrique (Johnson et *al.*, 1984). Le maintien de la turgescence permet d'empêcher la fermeture des stomates donc de maintenir la photosynthèse, l'assimilation de carbone et l'élongation cellulaire, dont la turgescence est la force motrice (Morgan, 1977). Mc Crew (1984 *in* Turner, 1986) montre que l'ajustement osmotique permet de maintenir une balance positive du carbone et une meilleure utilisation de l'azote stocké après la fin du stress. L'ajustement osmotique joue différemment suivant la morphologie et l'ontogénie de l'espèce considérée. De plus, l'ajustement osmotique fait partie des caractéristiques inductibles, c'est-à-dire des caractères qui ne se mettent en place pour faire face à des contraintes limitées dans le temps (Turner, 1986).

Sous l'action de contraintes aussi différentes que la sécheresse, le sel ou le froid, les plantes réagissent par une modification de leur teneur en certains composés organiques. Pour (Morgan, 1984) et (Blum, 1986), l'ajustement osmotique, surtout au niveau foliaire, est dû à l'accumulation de solutés et la composante passive (baisse de la teneur en eau) est négligeable. Ils s'appuient notamment sur le fait qu'il est improbable que l'ajustement osmotique soit dû à une allocation différente du carbone, étant donné la variété des solutés. Ceci suggère qu'il ne s'agit pas d'un processus simple. Car, il n'y aurait pas de limite au phénomène de maintien de la turgescence or il existe toujours une limite à l'ajustement osmotique. De plus, des cas de développement d'ajustement après diminution de photosynthèse et de croissance ont été observés. Ces réactions adaptatives permettent de rétablir l'équilibre hydrique dans le végétal (Gollek, 1973). (Benlaribi et Monneveux, 1988) rapportent que l'effet d'un déficit hydrique se traduit au niveau de la plante, par la nette augmentation de la concentration d'un certain nombre de constituants qui peuvent être des composés azotés, des glucides ou des acides organiques. Lors d'un déficit hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées et pourraient être un facteur de tolérance au manque d'eau. Lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court (Bensari et *al.*, 1990). Beaucoup d'auteurs ont mis en

évidence l'effet protecteur des sucres sur les membranes en particulier mitochondriales. Leurs présences permettraient le maintien des réactions de phosphorylation et de production d'énergie. Outre ce rôle protecteur des membranes les hydrates de carbone protègent les processus par lesquels les enzymes sont synthétisés, ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la dessiccation et donc une meilleure résistance à la sécheresse (Duffus et Ibinnie, 1990). Chez le blé les hydrates de carbone solubles s'accumulent 2 à 3 semaines après l'anthèse dans les tiges. La translocation de ces réserves vers l'épi pendant la période du remplissage des grains joue un rôle essentiel dans la formation du poids du grain surtout quand l'assimilation foliaire est réduite par la contrainte hydrique (Bidinger et *al.*, 1997). Benlaribi (1990) a montré sur deux lignées présumées tolérantes (Gam Guoum Rekham et Hedba 3) que la teneur en sucres solubles des feuilles augmente fortement au début de la phase de contrainte hydrique et diminue ensuite à mesure que s'accroît le déficit. La proline ou (acide pyrrolidine 2-carboxylique :  $C_5H_9O_2N$ ) est un acide aminé découvert en 1900 par Willstten au cours d'un dosage de l'ornithine et isolé pour la première fois des hydrolysats acides de caséine par Fisher (1901) (Nemmar, 1980). C'est un corps blanc très soluble dans l'eau, le méthanol, le benzène et le toluène. Elle est facilement oxydée par la ninhydrine. La proline est neutre et non toxique, serait synthétisée à partir de l'acide glutamique, par l'intermédiaire de l'acide semi-aldehyde glutamique et de l'acide 5-carboxylique  $\Delta^1$  pyrroline (P5C) (Monneveux et Nemmar, 1987). La proline, s'accumule dans la plante lorsque l'équilibre métabolique de celle-ci est perturbé par une condition défavorable telle qu'un stress hydrique (Blum et Ebercon, 1976). De nombreux travaux ont été effectués en vue de relier la tolérance à la sécheresse de certains génotypes à leur aptitude à accumuler la proline dans leurs feuilles. En effet, (Levitt, 1972) signale que cette accumulation de proline peut-être accompagnée par d'autres acides aminés comme l'asparagine, la glutamine, la serine ou la glycine. Dreier (1978) rapporte que l'augmentation de la teneur en proline est une réponse protectrice des plantes à tous les facteurs qui entraînent une diminution en eau du cytoplasme. Selon (Bellinger et Larher, 1987) la proline pourrait avoir un rôle très important dans l'ajustement du métabolisme énergétique, sa synthèse étant très liée au métabolisme des sucres et à la respiration. D'après (Larsson et *al.*, 1989) la proline est considérée comme un agent osmotique régulant et réduisant les pertes d'eau cellulaire par la transpiration, de plus la proline pourrait être un stock d'énergie d'azote

réduit et de carbone pouvant être utilisés lors du métabolisme post stress. L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus remarquables du stress hydrique. Aussi a-t-on cherché à mettre en évidence une corrélation positive ou négative entre l'accumulation de cet acide aminé dans les feuillettes et la résistance à la sécheresse (Zid et Grignon, 1991).

La chute du potentiel hydrique causée par le stress hydrique stimule non seulement le phénomène d'osmorégulation mais également l'inhibition ou la synthèse de nouvelles protéines dont les protéines *LEA* qui assurent une protection de l'ensemble vitale des protéines cellulaires (David et Grongnet, 2001) et les protéines de choc thermique qui permettent un maintien des structures protéiques et membranaires de la cellule végétale (Baker *et al.*, 1988).

La photosynthèse, fonction fondamentale de la vie de la plante et source de toute production végétale. Elle correspond à une réaction d'oxydoréduction (dans laquelle l'anhydride carbonique est réduit par l'hydrogène provenant de la photolyse de l'eau) dans des organites cellulaires appelés chloroplastes (Anonyme, 1981). (Farquhar *et al.*, 1988) signalent que la photosynthèse et les gaz échangeables des feuilles sont affectés par les stress dus à la sécheresse, à l'inondation, à la salinité, au froid, aux hautes températures et à une nutrition inadéquate. Par exemple, la conduction stomatique et la carboxylation photosynthétique diminuent par unité de surface foliaire avec l'apparition du stress (Gimenez *et al.*, 1992). L'activité photosynthétique diminue en cas de sécheresse à cause de la fermeture des stomates mais aussi à cause de facteurs non stomatiques (Bunce, 1988). Dans le cas d'une contrainte hydrique l'activité photochimique de la membrane thylacoïdienne est rapidement inhibé, la composition et la structure des lipides de ces membranes qui diffèrent selon les variétés expliqueraient des différences intervariétales dans la résistance aux contraintes hydriques et thermiques (Thomas *et al.*, 1986). Plus précisément un changement dans l'interaction protéine-lipide du PS-II (photosystème II) entraînerait une moins grande résistance. Selon (Zagdanska, 1984 *in* Thomas *et al.*, 1986) la réduction de la photosynthèse sous les conditions du déficit hydrique est due non seulement à l'augmentation de la résistance foliaire aux échanges gazeux mais également à l'altération des réactions sombres et lumineuses de la photosynthèse. D'autres auteurs, Boyer et Bowen (1970) ont montrés que l'activité des chloroplastes est réduite pour des potentiels hydriques égaux à ceux qui provoquent la fermeture des stomates. Une étude

précise des effets non stomatiques du déficit hydrique sur la photosynthèse est nécessaire, elle a été rendue possible grâce à la fluorescence chlorophyllienne. Plusieurs travaux sur la sécheresse ont été menés en se basant sur l'étude de l'induction de la fluorescence chlorophyllienne. (Genty *et al.*, 1987 *in* Havaux *et al.*, 1988) signalent que la sécheresse est un facteur écologique qui perturbe le mécanisme photosynthétique de transfert d'électrons. Ceci a été démontré par les mesures de l'amplitude de la fluorescence variable (Havaux *et al.*, 1986). Le principe de la fluorescence consiste selon (Kautsky *et al.*, 1960 *in* Ali Dib *et al.*, 1990) une feuille est soumise à la lumière après une période d'obscurité un changement rapide dans l'intensité de la fluorescence se produit avec l'illumination. C'est ce qu'on appelle l'effet Kautsky. L'analyse *in vivo* de ce signal de fluorescence est une méthode de plus en plus utilisée pour l'étude des réponses à un stress quelconque pouvant perturber le bon fonctionnement de l'appareil photosynthétique (Havaux et Lannoye, 1984).

### **I.7.1.3. Effets du stress hydrique sur le rendement et ses composantes.**

Le rendement en grains est la résultante de diverses composantes qui sont déterminées à différentes périodes du cycle de la plante (Day *et al.*, 1978). Chez les céréales, le rendement en grains dépend du génotype, de l'environnement et de la disponibilité en éléments minéraux du sol (Nemmar, 1983). Le déficit hydrique, de nature intermittente, est une des principales causes des pertes de rendement du blé dur, pouvant aller jusqu'au sinistre total. Il affecte toutes les composantes du rendement et en particulier le nombre de grains par épi et le poids moyen du grain (Chennafi *et al.*, 2006). Selon (Debaeke *et al.*, 1996), le déficit hydrique précoce, au cours de la montaison, réduit le nombre d'épis et le nombre de grains par épi. Le poids moyen du grain, quant à lui, est affecté par le déficit hydrique de la post-floraison, qui accélère la sénescence foliaire et réduit la durée de remplissage. Provoquant ainsi l'échaudage (Benbelkacem et Kellou, 2001). (Abbassenne *et al.*, 1998) mentionnent que sous conditions pluviales des hautes plaines orientales, la durée de remplissage et par conséquent le poids du grain atteignent rarement leurs maximales, induisant une baisse du rendement.

## **I.8. Adaptation et résistance des plantes au déficit hydrique.**

Plusieurs définitions sont attribuées à l'adaptation et résistance à la sécheresse.

Une variété adaptée est celle qui a la capacité de croître et de donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des stress de périodicité connues. L'adaptation n'est en fait que la capacité de la variété à varier peu sa production sous les effets souvent contraignants des facteurs climatiques du milieu de production. Cette capacité est liée à la stabilité de production. Elle est la traduction de toute une série de modifications du niveau organe entier jusqu'au niveau cellulaire voire moléculaire (Demarly, 1984). D'après (Ruffie, 1986 *in* Monneveux, 1991) l'adaptation d'un être vivant à son milieu renvoie à la notion de niche écologique, entité fonctionnelle définie par un certains nombres de facteurs. La nature et l'étendue de la niche sont liées aux aptitudes génétiques de l'être vivant à s'installer dans le milieu, à en exploiter les sources (eau, éléments minéraux...etc) le terme adaptation, du point de vue écologique et physiologique, il fait intervenir la notion de survie et propagation de l'espèce dans les conditions limitantes en eau (Levitt, 1980), du point de vue organique, le degré d'adaptabilité de la plante influence directement la productivité (Guettouche, 1990).

La résistance d'une plante à la sécheresse est définie comme étant la capacité de la plante soumise à une période de sécheresse durant au moins une période de son cycle, de demeurer vivante et de pouvoir se reproduire (Yochida, 1975 *in* Nemmar, 1983). La résistance à la sécheresse a été associée à plusieurs caractéristiques d'ordre phénologique, morphologique, physiologique et biochimique reflétant différents types d'adaptation (esquive, évitement et tolérance) (Nachit et Ketata, 1986). Puisque le rendement lui-même dépend non seulement de la capacité de survivre mais également sa capacité à se développer et compléter son cycle avant, durant ou après la période de sécheresse (Levitt, 1980). Toute espèce possède donc un éventail de caractères dit adaptatifs car ils contribuent au maintien de l'équilibre entre les besoins des organismes et les conditions du milieu (Chaker et Brinis, 2005). Selon (Rejeb et Ben Salem, 1993) les variétés de céréales résistantes au déficit hydrique se caractérisent par une stratégie regroupant en même temps, un ensemble des mécanismes d'adaptation. L'identification et l'analyse des différents mécanismes développés par la plante en relation avec la carence hydrique, permettent de mieux comprendre ce phénomène (tableau10) (Monneveux, 1989).

**Tableau 10 :** Paramètres phénologiques et morphophysologiques d'adaptation au déficit hydrique (Monneveux, 1991).

Paramètres d'adaptation	Exemples
Paramètres phénologiques	- Précocité.
Paramètres morphologiques Paramètres macromorphologiques Paramètres micromorphologiques	- extension du système racinaire - port et surface des feuilles - taille du chaume - longueur des barbes - enroulement des feuilles - densité du trichome - glaucescence et couleur des familles - présence de cires - densité et taille des stomates - compaction du mésophylle - épaisseur de la cuticule - nombre et diamètre des vaisseaux au xylème racinaire
Paramètres physiologiques	- effets stomatiques et non stomatiques du déficit hydrique sur la photosynthèse - réduction de la transpiration par fermeture des stomates - maintien d'un potentiel hydrique élevé - osmorégulation (accumulation d'ions minéraux, de proline, de sucres solubles)

### **I.8.1. Mécanismes d'adaptation de la plante au stress hydrique.**

#### **I.8.1.1. Mécanismes phénologiques d'adaptation.**

Les rôles de la phénologie dans la contribution à l'adaptation se matérialisent par le décalage du cycle de développement par rapport aux événements climatiques. La phénologie permet d'éviter la coïncidence des phases critiques de développement de cycle de la plante avec l'avènement des accidents climatiques (Brinis, 1995). L'esquive est une des stratégies d'amélioration variétale qui consiste à raccourcir le cycle d'une variété afin de lui permettre de parvenir jusqu'à la maturité durant une période relativement moins stressante. On réduit alors le risque d'une forte perte de rendement, en échange d'une réduction du potentiel, stratégie dite conservatrice (Amigues et *al.*, 2006).

La précocité au stade épiaison est une composante importante d'esquive des stress de fin de cycle chez le blé dur. L'adoption de variétés à cycle relativement court est nécessaire

dans les régions arides à semi-arides compte tenu de la distribution temporelle des précipitation (Mekhlouf et *al.*, 2006). La mise en place d'une stratégie d'esquive, selon Levitt (1980), consiste à inscrire le cycle de la culture à l'intérieur d'une période au cours de laquelle les potentiels initiaux sol et atmosphère du continuum sol-plante-atmosphère sont à l'optimum ; et permettent d'éviter une baisse du potentiel hydrique de la plante. Ceci est réalisé soit par la voie des techniques culturales (Choix de la date de semis), ou bien par la voie génétique (sélection de variétés précoces). De ce fait l'utilité de la sélection sur la base de la précocité au stade épiaison se justifie par le souci de donner à la plante un cycle de développement qui lui permet d'esquiver les contraintes climatiques tels que le froid tardif (Bouzerzour et Benmahammed, 1994), la sécheresse et les hautes températures de fin de cycle (Van Oosterom et *al.*, 1993). (Abbassenne et *al.*, 1998) recommandent que soient étudiés les mécanismes génétiques et physiologiques qui sont à la base du contrôle de la précocité à l'épiaison, pour faciliter le choix de génotypes appropriés dans la recherche d'une plus grande adaptation à la variabilité climatique de la région semi-aride.

#### **I.8.1.2. Mécanismes morphologiques d'adaptation.**

La stratégie de l'évitement permet à la plante de maintenir un potentiel hydrique élevé. L'évitement consiste à empêcher que la plante, soumise à des conditions hydriques défavorables, de subir un stress hydrique sévère. Ceci est obtenu par une réduction de la transpiration s'effectuant par la cuticule et les stomates incomplètement fermés (Belhassen et *al.*, 1995). Une cuticule cireuse et épaisse est un avantage marqué dans la réduction des pertes d'eau de la surface du limbe foliaire. Elle devient un mécanisme de survie très important sous conditions peu favorables à la réalisation d'un niveau de rendement acceptable (Araus et *al.*, 1991). (Slama et *al.*, 2005) mentionnent que l'évitement du déficit hydrique peut se traduire par des modifications morphologiques qui augmentent l'absorption d'eau. La croissance racinaire est souvent un bon indicateur de la capacité de la plante à s'adapter à la sécheresse. Les variétés adaptées possèdent plus de racines primaires et un grand volume racinaire (Johnson et *al.*, 1989). Les cultivars de blé à système racinaire extensif exploitent un grand volume de sol, absorbent une grande quantité d'eau, donnant un haut rendement. Les caractéristiques du système racinaire ne

jouent leur rôle dans la résistance à la sécheresse que si les racines sont bien développées, avant l'avènement du déficit hydrique (Rebetzke et *al.*, 2007). (Sarda et *al.*, 1992) observent qu'en présence du déficit hydrique, il y a diminution de la surface foliaire et du nombre de talles tendent à minimiser les pertes en eau en réduisant la transpiration (Slama et *al.*, 2005) avec un effet dépressif sur la photosynthèse nette (Sarda et *al.*, 1992). L'enroulement du limbe foliaire diminue la surface foliaire réceptrice de l'énergie lumineuse et permet à la plante de réduire sa transpiration. Toutefois, ce phénomène s'accompagne aussi d'une réduction de la photosynthèse, il n'a donc d'intérêt qu'en présence de déficit hydrique sévère (Slama et *al.*, 2005). La glaucescence, la pilosité des feuilles, la couleur des feuilles ou le ratio des chlorophylles a et b et la température de la feuille sont des caractéristiques indicatrices de la résistance au stress abiotiques (Slama et *al.*, 2005). L'architecture de l'épi prend de l'importance sous conditions stressantes ; puisque la présence des barbes dans ces conditions arrive à contribuer jusqu'à 15 % au remplissage du grain, moment où elles sont le seul organe qui reste encore photosynthétisant (Grignac, 1965). Les barbes améliorent le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Salma et *al.*, 2005). Selon (Blum, 1988) l'activité photosynthétique des barbes est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures comparativement à celle des glumes ou de la feuille étandard. Les blés barbus se révèlent plus résistants que les blés mutiques ou faiblement aristés lors d'un déficit hydrique (Grignac, 1965).

### **I.8.1.3. Mécanismes physiologiques d'adaptation.**

Parmi les différents sens que revêt la notion de la tolérance à la sécheresse le sens agronomique figure parmi les privilégiés et se définit comme étant l'aptitude à donner des rendements en conditions sèches assez appréciables par rapport à ceux obtenus en conditions humides (Brinis, 1995). On parle donc de tolérance à la sécheresse lorsqu'une plante résiste à un déficit hydrique, cette tolérance correspond à une capacité de la plante à demeurer fonctionnelle dans des conditions d'un manque d'eau. Au cours de cette période la plante maintient l'hydratation cellulaire et son métabolisme. La stratégie de la tolérance au déficit hydrique, est mise en œuvre par les plantes grâce à l'abaissement du potentiel hydrique qui maintient la turgescence (Sorrells et *al.*, 2000). Plusieurs

mécanismes intervenant dans la tolérance assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire. La réduction des pertes en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique. Cette diminution de la transpiration engendre une réduction de la photosynthèse. Les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau élevée et une plus grande capacité de survie (Araus et *al.*, 2002).

L'adaptation à des milieux aux régimes hydrique et thermique variables est en partie associée à l'ajustement osmotique (Richards et *al.*, 1997). Ce phénomène permet en effet, d'assurer la turgescence foliaire durant le déficit hydrique grâce à une diminution du potentiel osmotique par accumulation active de solutés (Gaudillière et Barcelo, 1990). Les solutés, sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés (proline, glycine- bétaine...etc), des sucres solubles et certains constituants inorganiques (Richards et *al.*, 1997).

Parmi les nombreux caractères physiologiques d'adaptations, il y a l'efficacité d'utilisation de l'eau, défini comme la capacité de la plante à produire une plus grande quantité de matière sèche par mm d'eau consommée (Ehdaie et *al.*, 1988), c'est un important caractère de tolérance à la sécheresse (Richards et *al.*, 2002). L'efficacité de l'utilisation de l'eau dépend toutefois non seulement des caractéristiques biologiques propres à l'espèce, mais aussi de la durée de la saison de culture, de la fertilisation, du rapport partie racinaire sur partie aérienne et de facteurs climatiques tels que le déficit de saturation de l'air (Angus et Herwaarden, 2001). Pour les plantes C3, les processus foliaire qui déterminent l'efficacité d'utilisation de l'eau, sont également ceux qui contrôlent la discrimination isotopique du carbone ( $\Delta$ ), lors de l'assimilation photosynthétique du CO<sub>2</sub>. La mesure de ( $\Delta$ ) est donc une mesure indirecte de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Araus et *al.*, 2003).

Les plantes fixant le plus de carbone par unité d'eau transpirée ont une concentration interne de CO<sub>2</sub> faible, une valeur de ( $\Delta$ ) faible et une composition isotopique riche en <sup>13</sup>C ( $\Delta$  peu négative) (Merah et *al.*, 1999).

L'ABA joue un rôle de médiateur dans les réponses au stress hydrique, principalement dans les mouvements stomatiques. Des travaux effectués au niveau moléculaire sur les effets de l'ABA et du stress hydrique confortent l'hypothèse selon laquelle cette hormone

joue un rôle clé dans la réponse au stress hydrique. L'ABA intervient dans la stimulation de la croissance racinaire, la réduction de la surface foliaire, la diminution de la radiation absorbée, l'abscission des feuilles et la fermeture stomatique (Cattivelli et *al.*, 1995). Ces mécanismes ont des effets bénéfiques sur le plan de l'économie en eau, mais accélèrent la sénescence et inhibent la photosynthèse et la croissance, ce qui contribue à réduire le rendement. L'identification de géotypes capables de maintenir une photosynthèse active sous contrainte hydrique repose sur une réduction des mécanismes contraignants induits par l'ABA (El Jaafari et *al.*, 1995).

### **I.9. Sélection pour l'adaptation aux stress abiotiques.**

Parmi les objectifs auxquels l'amélioration génétique des plantes répond figure celui d'adapter les variétés à la variabilité spatio-temporelle des conditions environnementales, pour qu'elles produisent plus (Doré et Varoquaux, 2006). La sélection peut cibler l'adaptation spécifique ou au contraire l'adaptation générale à des conditions de milieux variés (Annichiarico et *al.*, 2005). L'adaptation spécifique pourra être obtenue pour des stress particuliers, observés en l'occurrence dans des milieux particuliers. L'adaptation générale, ou adaptabilité, est conférée par une adaptation simultanée à un ensemble de contraintes du milieu, tels que le froid, le manque d'eau, le manque ou l'excès d'azote et les maladies (Brancourt-Hulmel, 2000). Le but ultime d'un programme de sélection est la production de variétés ayant un rendement élevé et stable (Hadj Youcef Taïbi et *al.*, 2003). L'amélioration du rendement passe par la caractérisation du germplasm disponible. En effet, l'identification des caractères morpho-physiologiques conduit à définir l'idiotype adéquat pour un milieu donné (Passioura, 2004).

L'adaptation du blé aux stress peut être améliorée en introduisant chez des variétés productives des caractères morpho-physiologiques de résistance. La variabilité génétique de ces caractères au sein du blé est souvent limitée. Les espèces sauvages apparentées aux blés constituent un important réservoir de gènes utilisables dans l'amélioration des formes cultivées. Les transferts les plus faciles sont ceux qui sont réalisés à partir d'espèces ayant au moins un génome homologue à celui du blé (El Jaafari et *al.*, 2000). Les croisements interspécifiques et l'introgession de caractères favorables, présents chez les espèces primitives, constituent une voie intéressante de recherche. L'utilisation des

espèces primitives tétraploïdes (génomes AB et AG, *Triticum dicoccum*, *Triticum polonicum* et *Triticum carthlicum*) apparaît particulièrement prometteuse pour l'amélioration génétique de la tolérance au stress chez le blé dur. Certains croisements réalisés avec des blés primitifs ont donné des résultats intéressants en zones sèches, tels que les croisements entre (Zenati x *triticum polonicum*, sébou x *Triticum polonicum* et Sahel x *Triticum discoccum*) (El Jaafari et al., 2000).

Face aux difficultés d'utilisation des << critères physiologiques de prédiction >> en sélection, le développement des outils de marquage moléculaire est susceptible d'apporter d'importants éléments de réponse, l'idée de base étant de rechercher des relations entre la présence de certains marqueurs et certains mécanismes physiologiques liés à la tolérance (Monneveux et This, 1995). L'utilisation des marqueurs est très utile pour les caractères difficilement mesurables, tels que le système racinaire et l'ajustement osmotique (El Jaafari et al., 2000). La mise en œuvre de cette démarche passe donc par une analyse du polymorphisme, soit au niveau des protéines, soit au niveau de l'ADN. L'analyse du polymorphisme de l'ADN est menée actuellement sur la base de trois techniques : *RFLP*, *RAPD* et ADN satellites (This et This, 1993). Les stratégies d'utilisation de marqueurs en vue de l'amélioration génétique de la tolérance à la sécheresse peuvent quant à elles être regroupées autour de trois axes : l'étude des mécanismes moléculaires de réponse au stress, la localisation de marqueurs de tolérance inductibles par le stress hydrique, et la recherche de *QTL* (locus contrôlant des caractères quantitatifs) (Monneveux et This, 1995). Des cartes génétiques avec la localisation des marqueurs et des *QTL* de résistance aux stress chez le blé dur, sont rapportées par divers auteurs. Ainsi des marqueurs et des *QTL* associés à la biomasse racinaire ont été cartographiés sur les chromosomes 4Bp et 5Ap et pour la discrimination isotopique sur les chromosomes 1Bq et 6Bq (Quarrie et al., 1999). (Yang et al., 2007) ont cartographié les marqueurs moléculaires et les *QTL* contrôlant la capacité de stockage et de translocation des sucres solubles stockés dans le col de l'épi. Ainsi des marqueurs et des *QTL* associés au rendement et à des caractères de résistance aux stress deviennent de plus en plus disponibles chez les blés et le riz. Ces derniers pourraient servir à assister l'introgression de caractères importants en matière de résistance au stress (El Jaafari et al., 2000).

*Chapitre II :*

*Matériel et méthodes*