

Introduction.

Depuis sa découverte et sa domestication par les cultivateurs des premières civilisations, le blé a toujours été au cœur d'enjeux politiques, économiques et sociaux de premier rang (Roudart, 2006). Le blé est aujourd'hui considéré parmi les récoltes les plus avancées dans le monde, avec une production annuelle excédant les 606 millions de tonnes pendant la dernière décennie (FAO, 2009). Cette importance s'explique par deux aspects différents, l'un économique et l'autre culturel (Hawkes, 2004). Pendant le siècle passé la production du blé avait augmenté d'une manière générale. Ce phénomène est une réflexion de l'apparition de nouvelles espèces résistantes et à haut rendement et d'agricultures basées sur des méthodes pratiques et efficaces (Nesbitt, 1999). On distingue deux espèces cultivées de blé : Le blé tendre (*Triticum aestivum*) (AABBDD, $2n = 42$), dont le grain après broyage et tamisage fournit une farine panifiable et le blé dur (*Triticum durum* Desf.) (AABB, $2n = 28$), qui est une culture d'hiver typiquement méditerranéenne, essentiellement cultivé pour la semoulerie, en vue de la fabrication des pâtes alimentaires, couscous et pain (Bataillon et *al.*, 2006).

En Algérie, une grande partie des terres situées dans les régions arides et semi-arides est occupée par les céréales dont les rendements restent faibles et irréguliers. La culture de blé dur, y occupe une superficie importante, plus d'un million d'hectares (Benlaribi, 1990). Cette culture est conduite sous conditions pluviales. Elle est soumise à la variabilité climatique qui se traduit par des contraintes hydriques et thermiques erratiques, notamment dans l'étage bioclimatique semi-aride qui se caractérise par de larges fluctuations spatio-temporelles des quantités de pluies (200 à 600 mm/an) et des températures (Benseddik et khelloufi, 2000). De ce fait, les stress abiotiques sont fréquents et plus particulièrement lorsque le cycle de la culture tire à sa fin (Bahlouli et *al.*, 2005). Les stress environnementaux, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang et *al.*, 2003). En Algérie, la production nationale en blé dur est encore faible (Allaya, 1998). La cause principale de cette faiblesse est le bas niveau de productivité (le rendement) obtenu, soit 9 à 11 qx/ha (Hamadache et *al.*, 2002). Cette faible productivité est elle-même due à des contraintes abiotiques surtout le stress hydrique (Kara et *al.*, 2000). Sous ces conditions contraignantes, le sélectionneur est à la recherche de génotypes qui possèdent

un haut potentiel et la régularité de rendement (Brancourt-Hulmel et *al.*, 2003). Actuellement, les programmes modernes d'amélioration du blé, s'intéressent surtout à la qualité du grain et aux propriétés culturales de la plante comme l'amélioration génétique de la tolérance au stress hydrique, le rendement et l'aptitude de récolte (El Mourid et *al.*, 1996). Face au fléau de la sécheresse, de nombreux chercheurs ont axé leurs travaux, soit sur la sélection de variétés adaptées aux régions à forte contrainte hydrique, soit par une amélioration génétique qui reste, sans doute, le moyen le plus efficace, ou par une étude approfondie des différents mécanismes d'adaptation dont beaucoup restent encore non expliqués ou tout au moins mal connus. De par leur diversité et leur complexité, seule une partie a été abordée (Gorham, 1993).

La présente contribution a pour but d'une part d'étudier l'aspect relatif des capacités endogènes des semences de deux variétés de blé dur : (V1) : SIGUS et (V2) : (Gsb/1/4/D68-1-93A-1A/RuFF/Fg/3/Mt15/5/Wdz6/Gi/4), à démontrer leur vigueur par l'utilisation de test topographique au tetrazolium en tenant compte de la taille des semences, et d'autre part d'évaluer l'effet du stress hydrique sur quelques paramètres et marqueurs physiologiques et biochimiques qui sont souvent impliqués dans les mécanismes d'adaptation avec contraintes abiotiques tels que la biomasse, le statut énergétique, le statut hydrique, la proline, les sucres solubles et l'accumulation des protéines totales. Ainsi que l'analyse des paramètres importants qui déterminent la viabilité de semences comme la germination standard s'est effectuée en tenant compte de la grosseur des semences des géotypes étudiés. L'objectif étant d'amener un peu plus de clarté sur quelques modes d'expressions physiologiques et d'examiner les différences de ces paramètres entre les deux variétés de blé dur étudiées.

Les études qui suivent ont été menées au laboratoire de l'amélioration génétique des plantes, de la faculté des sciences de la nature à l'université de Badji Mokhtar - Annaba. Ce mémoire est divisé en trois parties. La première est consacrée aux données bibliographiques, qui s'articulent autour de quelques informations sur le blé dur, le stress hydrique, la physiologie des semences, l'adaptation au déficit hydrique et la sélection pour améliorer l'adaptation au déficit hydrique chez le blé. La deuxième partie décrit le matériel végétal et les méthodes expérimentales employées. La présentation et la discussion des résultats sont données dans la troisième partie.

Chapitre I :

Revue bibliographique

CHAPITRE .I. Revue bibliographique.

I.1. Importance du blé dur.

I.1.1. Importance alimentaire.

Les céréales à pailles sont des monocotylédones de la famille des graminacées par ordre d'importance, le riz, le blé, le maïs et les pommes de terre sont les principaux aliments de base dans le monde (Walter, 1984). Le blé dur (*Triticum durum*. Desf.) est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité (Roudart, 2006) à raison de 75 % de la production, destiné aussi à l'alimentation des animaux à raison de 15 % de la production et à des usages non alimentaires (Feillet, 2004). La semoule issue des grains de blé dur est à l'origine de produits alimentaires très divers : Pâtes alimentaires, du couscous et à bien d'autres produits comme le pain, le frik, et divers gâteaux (Troccoli et al., 2000). La paille est utilisée comme litière et comme aliment pour les animaux (Doré et Varoquaux, 2006). Le blé dur à une grande valeur nutritionnelle, suite à sa richesse en protéines et la présence du gluten, qui donne aux pâtes alimentaires un meilleur terme à la cuisson (Hébrard, 1996), il renferme en plus d'acides aminées, des lipides, des glucides, quelques sels minéraux et des vitamines (tableau 1) (Autran et Boudret, 1975).

Tableau 1 : Composition qualitative pour 100 g de grains entiers du blé dur (Hébrard, 1996).

Constituants.	Quantité.	Constituants.	Quantité.
Eau (g)	13	Ca (mg)	35
Energie (kj)	1383	Mg (mg)	100
Energie (kcal)	331	P (mg)	390
Glucides (g)	63	Na (mg)	5
Lipides (g)	2,5	K (mg)	-
Protides (g, N x 6, 25)	14	Fe (mg)	4,5
Fibres alimentaires (g)	9,5	Vit B1 (mg)	0,5
Vit B2 (mg)	0, 09	Vit PP (mg)	6
Vit E (mg)	3	Biotine (mg)	0,01
Acide folique (mg)	0,04		

I.1.2. Importance économique en Algérie et dans le monde.

La céréaliculture constitue en Algérie la principale activité, notamment dans les zones arides et semi arides (Cadi, 2005). Le blé dur occupe une place centrale dans

l'économie algérienne. Il couvre $1,5 \times 10^6$ ha sur les $3,0 \times 10^6$ ha consacrés à la céréaliculture (Mazouz, 2006). La production algérienne de blé dur est très instable d'une année à l'autre à cause des conditions climatiques très variables (irrégularités des pluies, sécheresse...etc) (tableau 2). Si la production nationale de blé a dépassé la barre d'un million de tonnes plusieurs fois depuis l'indépendance (exemple 1,1 million de tonnes dont 0,7 million de blé dur au cours des années 80) (Ighit, 1996), elle demeure tout de même loin du niveau réel de la consommation qui a augmenté progressivement avec la croissance démographique. En effet, la production n'a guère évolué en fonction des besoins (Ighit, 1996).

Tableau 2 : Evolution de la production de blé dur en Algérie dans les 5 dernières années exprimée en (qx) (D.S.A. Annaba, 2011).

Années	2006	2007	2008	2009	2010
Blé dur	213080	133300	298500	69200	148000

Actuellement, le pays se classe au premier rang mondial pour la consommation de blé avec une moyenne dépassant largement les 200 Kg/hab/an (tableau 3) (Faostat, 2005). Les rendements de la céréaliculture algérienne sont très bas, comparativement à la moyenne mondiale qui est de 29 qx/ha (Faostat, 2005).

Tableau 3 : Consommation moyenne (kg/hab/an) algérienne de céréales entre 1961 - 2005 (Faostat, 2005).

Années	1961	1970	1980	1990	2000	2003	2005
Consommation	110	120	182	193	190	201	215

Le rendement de blé dur en Algérie est faible et irrégulier, il est de l'ordre d'une moyenne de 10 qx/ha avec de fortes variations interannuelles (tableau 4) (MADR, 2006).

Tableau 4 : Evolution des rendements (qx/ha) du blé dur (MADR, 2006).

Campagne	1999 - 2000	2000 - 2001	2001 - 2002	2002 - 2003	2003 - 2004	2004 - 2005	Moyenne 1999 - 2005
Blé dur	8,9	11,1	11,7	14,2	15,3	15	11,5

En Algérie la production de blé dur couvre près de 41 % des besoins (Mazouz, 2006), la faiblesse de la production, dont les causes sont multiples, associée à une Forte demande alimentaire, font que le pays se présente comme un gros importateur potentiel. En effet, l'Algérie a importé sur la période (1988 - 1997), 2,3 MT/an de blé dur, soit le tiers de l'offre mondiale. L'union européenne est le principal fournisseur de l'Algérie (ADE, 1999). La quantité des blés importées lors de la campagne (2005-2006) a atteint 5,5 MT par 510 millions de dollars (Kellou, 2008).

Le blé dur représente environ 80 % des superficies cultivées en blés dans le monde dont 70 % sont localisée en conditions méditerranéennes. La Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et les pays d'Afrique du Nord, sont en effet, parmi les principaux producteurs, avec une production de 8,08 MT par an, moyenne de la période (1994 - 2007) (tableau 5) (Faostat, 2007). Le CIC (2002) estime que la superficie moyenne consacrée annuellement à la culture du blé dur dans le monde est de 18 millions d'hectare, pour une production annuelle moyenne de 27,5 millions de tonnes.

Tableau 5 : Production mondiale de blé dur (MT) (Faostat, 2011).

Production	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Algérie	0,46	1, 50	0, 90	0, 49	1, 22	0, 95	1, 81	1, 82	1, 00	1,00	1, 30	2, 30	1, 10	1, 49
Maroc	0,88	1, 54	0, 80	0, 43	1, 04	1, 03	1, 77	2, 03	0, 75	1, 20	1, 50	2, 60	4, 80	4, 90
Tunisie	0,80	1, 10	1, 14	1, 10	0, 94	0, 37	1, 31	1, 40	1, 15	1, 10	1, 60	0, 86	1, 40	0, 80
Syrie	1,90	2, 60	1,00	1, 10	2, 40	2, 30	2, 30	2, 10	2, 10	2, 10	2, 50	3, 00	2, 69	2, 09
Turquie	2,20	2, 40	1, 60	2, 00	1, 60	2, 30	2, 30	2, 40	2, 30	2, 30	2, 70	10, 4	12,30	11, 2
UE	6,70	8, 72	7, 20	9, 07	7, 53	9, 52	8, 34	11,86	17, 3	17, 6	18, 3	75, 6	66, 4	60, 2
Inde	4, 80	5, 66	5, 80	6, 00	10, 2	12, 4	14, 8	16, 2	16, 2	16, 2	19, 1	26, 2	26, 8	23, 2
Etats Unis	6,39	9, 76	18, 0	19, 9	22, 7	21, 8	2 6,3	24, 5	25, 6	23, 0	26, 0	38, 0	40, 4	40, 2
Monde	25,6	31, 1	23, 7	26, 6	24, 2	26, 8	28, 6	33, 1	26, 2	26, 0	33, 2	174,4	184,5	153,7

I.2. Spéciation et origine du blé.

I.2.1. Classification de blé.

Le blé est le nom commun utilisé pour l'ensemble des espèces des deux genres *Triticum L.* et *Aegilops L.* Le premier comprenant des formes cultivées, domestiquées et apparentées et le deuxième regroupe seulement des espèces sauvages.

Les espèces de *Triticum* sont annuelles, principalement des herbes. Appartenant à la famille de gramineae (= poaceae) (annexe 1) qui compte plusieurs espèces répondues pratiquement sur toute la surface des continents (Caligari, et Brandham, 2001) ; comprenant les récoltes de céréales comme l'orge, le blé, le maïs et le riz, celles-ci ont plutôt une récente ascendance (Donnars, et Sarazin, 2007). A l'intérieur de la famille d'herbe, le blé est placé dans la sous-famille de pooideae et la tribu de triticeae (Bonjean, (Sd)). Les *Triticum L.* montrent de différents niveaux de ploïdie : diploïdes ($n = 7$, $n = 14$), Tétraploïdes ($2n = 28$) et hexaploïdes ($2n = 42$), les deux derniers sont des allopolyploïdes (Goncharov, 2005). Selon Mori et al., (1997), Le genre *Triticum L.* est classé en quatre groupes : « Engrain » (AA, $2n = 14$), « Amidonnier » (AA BB, $2n = 28$), *T. timopheevie* (AA GG, $2n = 28$) et *T. aestivum* (blé tendre) (AA BB DD, $2n=42$) (Yamane et Kawahara, 2005).

Le genre *Triticum* contient des espèces diploïdes et des espèces polyploïdes. Les génomes haploïdes sont au nombre de deux, baptisés par A (A et A^b/A^m) et D. Ajoutant les deux génomes B et G rencontrés chez les blés polyploïdes de nouveau, appelés ainsi parce que leurs ancêtres diploïdes ne sont pas encore identifiés définitivement (Huang et al., 2002).

On suppose que le genre *Triticum L.* comporte plus de 10 espèces distribuées en Europe, en Méditerranée et en Asie occidentale (Yamane et Kawahara, 2005).

Le nombre exact d'espèces n'est pas définitivement déterminé (tableau 6) puisqu'il existe de nombreuses propositions de classification dont les unes considèrent certains taxons comme des espèces alors que les autres les considèrent comme des sous-espèces (Khalighi et al., 2008). En effet, la taxonomie de blé est un sujet qui a engendré beaucoup de polémique et de confusion, dues à la présence de genres isolés qui sont incomplètement divergés, les complications augmentent davantage par le dispositif polyploïdique. (Petersen et al. 2006). Un autre point compliquant la taxonomie de blé est que le genre *Triticum ssp.* semble constituer un groupe paraphyletique (Ozkan et al, 2003). Prenant le blé *Triticum aestivum* comme exemple, deux de ses trois génomes sont provenus des espèces d'*Aegilops L.*, y compris le matériel génétique non nucléaire. Ceci suggère que la nomenclature conventionnelle puisse être quelque peu anthropocentrique. En fait, beaucoup de taxonomies ont essayé de combiner les deux genres (Petersen et al., 2006).

Tableau 6 : Nomenclature des blés cultivés actuels et de leurs espèces apparentes les plus directes (d'après Van Slageren, 1994 *in* Bonjean, (sd)).

Espèces et sous-espèces	Noms communs
<i>Triticum monococcum</i> L.	
ssp. <i>aegilopoides</i> (Link) Thell.	Engrain sauvage
ssp. <i>monococcum</i>	Engrain cultivé ou Petit Épeautre
<i>Triticum urartu</i> Tum ex. Gand.	Pas de nom commun (forme sauvage)
<i>Triticum timopheevii</i> (Zhuk.) Zhuk.	T. <i>timopheevii</i> sauvage
ssp. <i>armeniacum</i> (Jakubz.) van Slageren	T. <i>timopheevii</i> cultivé
ssp. <i>timopheevii</i>	
<i>Triticum turgidum</i> L. (Thell.)	Amidonnier sauvage
ssp. <i>dicocoides</i> (Körn ex. asch. & Graebn.) Thell.	
ssp. <i>dicoccon</i> (Shrank) Thell.	Amidonnier cultivé
ssp. <i>paleocolchicum</i> (Men.) A. Löve & D. Löve	Bé de Géorgie
ssp. <i>parvicoccum</i> * Kislev	Pas de nom commun
ssp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	Blé dur
ssp. <i>turgidum</i>	Blé poulard
ssp. <i>polonicum</i> (L.) Thell.	Blé de Pologne
ssp. <i>turanicum</i> (Jakubz.) A. Löve & D. Löve	Blé Korassan
ssp. <i>carthlicum</i> (Nevski.) A. Löve & D. Löve	Blé de Perse
<i>Triticum zhukovskyi</i> Men & Er.	Pas de nom commun
<i>Triticum aestivum</i> L.	
ssp. <i>spelta</i> (L.) Thell.	Grand Épeautre
ssp. <i>macha</i> (Dek. & Men.) MK	Pas de nom commun
ssp. <i>aestivum</i>	Blé tendre ou Froment
ssp. <i>compactum</i> (Host) MK	Blé compact ou Blé hérissé
ssp. <i>sphaerococcum</i> (Percival) MK	Blé sphérique ou Blé indien

* Cette espèce décrite par Kislev en 1980, est aujourd'hui éteinte.

I.2.2. Origine du blé dur.

I.2.2.1. Origine géographique du blé dur.

Les recherches archéologiques ont montré que la domestication des différentes espèces de blé par l'homme du néolithique s'est faite à l'intérieur du centre de répartition géographique des ancêtres sauvages du blé dans le croissant fertile. Il y a plus de 10 000 ans (Brown *et al.*, 1999). Les blés sauvages tétraploïdes, (comme (l'*Emmer*) l'Amidonnier) leurs grains, rassemblés lors du battage, sont entourés par une coque (*hull*) d'où leur nom : blé coque (*hulled*) (Smith, 1996). Sont, largement répandus au Proche-Orient (Bozzini, 1988). Comparativement aux blés diploïdes, leurs grands épis et leurs

gros grains, les rendaient beaucoup plus intéressants pour la domestication (Feldman, 2001). La culture du blé dur, est apparue entre 9000 et 7000 ans avant J.C. dans la région qui s'étend sur la Palestine, la Syrie, la Turquie, l'Iran et l'Iraq (Dubcovsky et Dvorak, 2007). Elle a commencée à se répandre au-delà du croissant fertile au cours de la période néolithique, pour atteindre la mer Egée, le sous-continent indien, l'Afrique et l'Europe, selon les mouvements migratoires des peuplades d'antan (Wayne, 1995).

I.2.2.2. Origine génétique des blés cultivés.

La domestication et la culture des différentes espèces de blé ont été un élément fondateur des premières civilisations humaines. Actuellement, deux espèces de blés sont encore cultivées : le blé dur utilisé pour les pâtes ou bien blé à *macaroni* et le blé tendre pour la fabrication du pain. Le blé diploïde ($2x, 2n = 14$), (AA) ou engrain ou petit épeautre, n'est cultivé que sur de très petites surfaces dans le monde (Fuller, 2007). Ces différentes espèces ont été générées par des événements successifs de polyploïdisation survenant lors de croisements interspécifiques entre trois espèces ancestrales diploïdes (figure1).

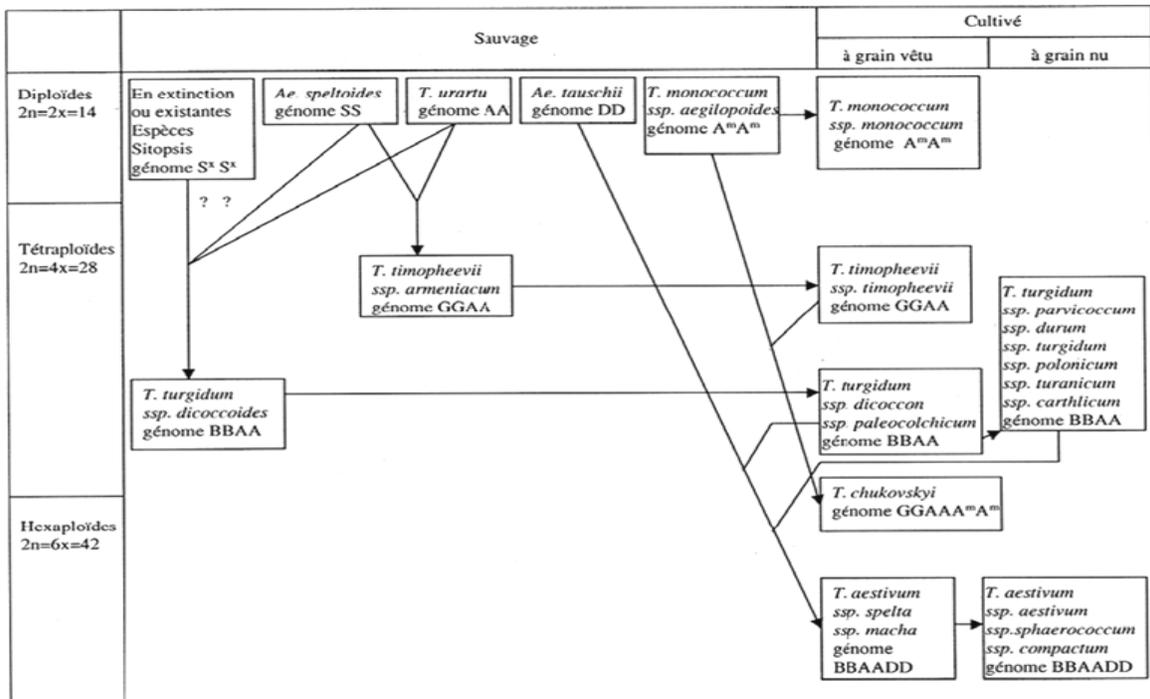


Figure 1 : Phylogénie de blé (Feldman, 2001).

Le premier événement, impliquant les deux espèces *Triticum urartu* (AA) et *Aegilops speltoides* (SS) a eu lieu, il y a environ 500 000 ans et a conduit à l'apparition du blé dur *Triticum turgidum* ou bien l'Amidonier sauvage *Triticum dicoccoides* (AA BB) (Yeves et De Buyser, 2000). Le deuxième événement de polyploïdisation s'est déroulé lors de la domestication, il y a environ 9 000-12 000 ans, par la contribution du génome (D) d'*Aegilops Tauschii* (= *Aegilops sauarosa* L.) à la création du premier blé hexaploïde cultivé (*Triticum aestivum*) (Doussinanlt et al., (sd)) en se croisant avec une autre espèce tétraploïde *Triticum dicoccum*, un blé primitif (AA BB) qui a été le donateur maternel. Mais cette fusion n'a pas été la dernière. De plusieurs hybridations ou introgressions récentes ont été également postulés ou prouvés (Huang et al., 2002).

I.3. Biologie, croissance et développement de blé dur.

I.3.1. Description générale de la plante du blé dur.

La plante de blé dur (*Triticum turgidim* ssp. durum), il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne (Bozzini, 1998) et comme toutes les céréales, c'est un système vivant qui peut être divisé en deux parties : Une souterraine assurant la communication sol/plante, c'est le système racinaire, et une partie aérienne qui permet les échanges plante-atmosphère, notamment les processus de photosynthèse et de transpiration (figure 2) (Soltner, 1990).

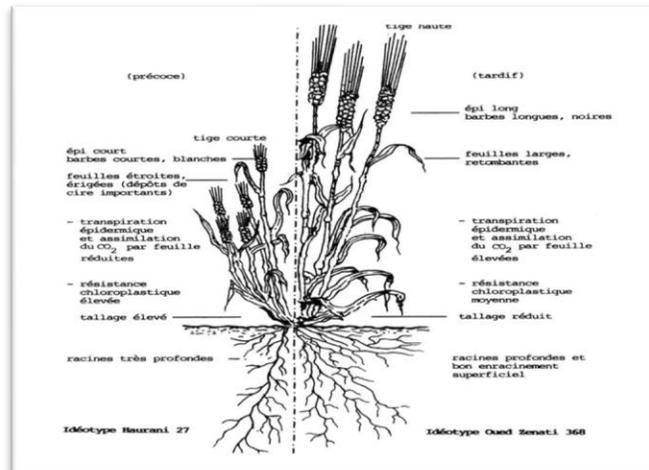


Figure 2 : Représentation schématique d'une plante de blé dur (Ali Dib et al., 1992).

Le blé possède un système racinaire assez développé par rapport à celui du maïs ou des graminées prairiales (Soltner, 1990). Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent (Clarke et *al.*, 2002). Outre leur rôle d'ancrage de la partie aérienne de la plante, les racines permettent de puiser l'eau dans une partie du sol (la réserve utile) pour la restituer dans l'atmosphère par transpiration. Si l'eau disponible diminue, la succion du sol augmente et les racines ont de plus en plus des difficultés à extraire l'eau. Le volume occupé par les racines d'une plante dans le sol a une grande importance pour l'absorption de l'eau et l'élaboration de la sève. L'espace racinaire varie selon la nature et la structure du sol, et selon le type de plantes et les contraintes agro-environnementales dans lesquelles celles-ci évoluent (Soltner, 1990).

Le système aérien est constitué par les talles, tiges cylindriques, dressées habituellement creuses et subdivisées en entre-nœuds (Clarke et *al.*, 2002). Le chaume (talle) se forme à partir de bourgeons axillaires des nœuds à la base de la tige principale, ou brin-mâitre. Les feuilles se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille (limbe) se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes).

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre-nœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati, situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur (Bozzini, 1988).