



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mohamed Kheider -Biskra  
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Agronomiques



# Cours de

# **CEREALICULTURE II**

Destinés aux Etudiants de Master 1 Production Végétale

Filière : Sciences Agronomiques

**Préparé par :**

**Dr. RAZI Sabah**

Année universitaire  
2017-2018

# SOMMAIRE

	PAGE
<b>INTRODUCTION</b> .....	01
<b>CHPAITRE 1 GENERALITES SUR LES CEREALES</b> .....	03
1. DEFINITIONS.....	03
2. SYSTEMATIQUES ET TAXONOMIE.....	03
3. STRUCTURE GENERALE DES GRAINS .....	04
4. PRINCIPALES CEREALES CULTIVEES.....	06
5. UTILISATION DES CEREALES .....	06
6. VALEUR NUTRITIONNELLE DES CEREALES.....	07
7. DESCRIPTION DES CEREALES.....	10
7.1 APPAREIL VEGETATIF .....	10
7.1.1 SYSTEME AERIEN.....	10
7.1.2 SYSTEME RADICULAIRE.....	12
7.2 APPAREIL REPRODUCTEUR.....	13
7.2.1 L'INFLORESCENCE.....	13
7.2.2 LA SEMENCE.....	14
8 BIOLOGIE DES CEREALES.....	15
8.1 LA PERIODE VEGETATIVE.....	15
8.2 LA PERIODE REPRODUCTRICE OU« MONTEE »... ..	16
8.3. LA PERIODE DE MATURARTION.....	17
<b>CHAPITRE II ETUDES DES CEREALES CULTIVEES</b> .....	19
1. LE SORGHO.....	19
1.1 ORIGINE ET UTILISATION.....	19

1.2 DESCRIPTION.....	24
1.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES.....	26
1.3.1 CLIMAT.....	26
1.3.2 BESOINS EN EAU .....	27
1.3.3 SOL .....	27
1.4 TECHNIQUES CULTURALES.....	28
1.4.1 PLACE DANS LA ROTATION.....	28
1.4.2 PREPARATION DU SOL.....	28
1.4.3 SEMIS.....	28
1.4. 4 ENTRETIEN .....	29
1.4.5 RECOLTE .....	31
2. LE SEIGLE .....	31
2.1 ORIGINE ET UTILISATION.....	31
2.2 DESCRIPTION.....	32
2.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES.....	33
2.3.2 CLIMAT.....	33
2.3.2 BESOINS EN EAU .....	33
2.3.3 SOL .....	33
2.4 TECHNIQUES CULTURALES.....	34
2.4.2 PLACE DANS LA ROTATION.....	34
2.4.2 PREPARATION DU SOL.....	34
2.4.3 SEMIS.....	34
2.4.4 ENTRETIEN .....	35

2.4.5 RECOLTE .....	36
3. LE MAÏS .....	36
3.1 ORIGINE ET UTILISATION.....	36
2.3 DESCRIPTION.....	37
3.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES.....	40
3.3.1 CLIMATS.....	40
3.3.2 BESOINS EN EAU .....	40
3.3.3 SOL .....	40
3.4 TECHNIQUES CULTURALES.....	41
3.4.1 PLACE DANS LA ROTATION.....	41
3.4.2 PREPARATION DU SOL.....	41
3.4.3 SEMIS.....	41
3.4. 4 ENTRETIEN .....	41
3.4.5 RECOLTE .....	42
4. L'ORGE .....	42
4.1 ORIGINE ET UTILISATION.....	42
4.2 DESCRIPTION.....	43
4.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES.....	45
4.3.1 CLIMAT.....	45
4.3.2 BESOINS EN EAU .....	45
4.3.3 SOL .....	46
4.4 TECHNIQUES CULTURALES.....	47
4.4.1 PLACE DANS LA ROTATION.....	47
4.4.2 PREPARATION DU SOL.....	47
4.4.3 SEMIS.....	47

4.4.4 ENTRETIEN .....	48
4.4.5 RECOLTE .....	49
5. AVOINE.....	49
5.1 ORIGINE ET UTILISATION.....	49
5.2 DESCRIPTION.....	50
5.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES.....	51
5.3.1 CLIMAT.....	51
5.3.2 BESOINS EN EAU .....	53
5.3.3 SOL .....	53
5.4 TECHNIQUES CULTURALES.....	53
5.4.1 PLACE DANS LA ROTATION.....	53
5.4.2 PREPARATION DU SOL.....	54
5.4.3 SEMIS.....	54
5.4.4 ENTRETIEN .....	55
6.4.5 RECOLTE .....	55
6. LE BLE DUR.....	56
6.1 ORIGINE ET UTILISATION.....	56
6.2 DESCRIPTION.....	56
6.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES.....	57
6.3.1 CLIMAT.....	57
6.3.2 BESOINS EN EAU .....	58
6.3.3 SOL .....	58
6.4 TECHNIQUES CULTURALES.....	59
6.4.1 PLACE DANS LA ROTATION.....	59
6.4.2 PREPARATION DU SOL.....	59

6.4.3 SEMIS.....	59
6.4.4 ENTRETIEN .....	60
6.4.5 RECOLTE .....	60
7. LE BLE TENDRE .....	61
7.1 ORIGINE ET UTILISATION.....	61
7.2 DESCRIPTION.....	61
7.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES.....	62
7.3.1 CLIMAT.....	62
7.3.2 BESOINS EN EAU .....	63
7.3.3 SOL .....	63
7.4 TECHNIQUES CULTURALES.....	63
7.4.1 PLACE DANS LA ROTATION.....	63
7.4.2 PREPARATION DU SOL.....	63
7.4.3 SEMIS.....	64
7.4.4 ENTRETIEN .....	64
7.4.5 RECOLTE .....	65
8. LE TRITICALE... ..	65
8.1 ORIGINE ET UTILISATION.....	65
8.2DESCRIPTION.....	65
8.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES.....	66
8.3.1 CLIMAT.....	66
8.3.2 BESOINS EN EAU .....	66
8.3.3 SOL .....	66
8.4 TECHNIQUES CULTURALES.....	67
8.4.1 PLACE DANS LA ROTATION.....	67

8.4.2 PREPARATION DU SOL.....	67
8.4.3 SEMIS.....	67
8.4.4 ENTRETIEN .....	67
8.4.5 RECOLTE .....	68
LISTE DES REFERENCES .....	69

## INTRODUCTION

Les céréales sont des plantes herbacées annuelles (**Adas, 2006**) de la famille de l'herbe (une famille de Poaceae, également connue comme Gramineae monocotylédones), qui ont habituellement de longues minces tiges, comme le blé, le riz, le maïs, le sorgho, le millet, l'orge et le seigle, dont les grains amylacés sont utilisés comme nourriture (**Sarwar et al., 2013**).

Les céréales constituent 45% des apports énergétiques dans l'alimentation humaine (**Clerget, 2004**). Elles sont des aliments de base, et sont des sources de nutriments dans les pays développés et en développement, elles sont la source alimentaire la plus importante (**FAO, 2002**), et sont une source importante d'énergie, de glucides, de protéines et de fibres, et contiennent une variété de micronutriments tels que la vitamine E les vitamines B, le magnésium et le zinc, et apportent également des quantités significatives de calcium et de fer, comme elles peuvent également contenir une gamme de substances bioactives dont les avantages potentiels pour la santé suscitent un intérêt. Il existe une évidence qui suggère que la consommation régulière des céréales, et spécialement du grain entier, peut jouer un rôle dans la prévention de maladies chroniques, telles que les maladies coronaires, le diabète, et le cancer du colon (**McKevith, 2004**). Dans le monde environ 70% des surfaces ensemencées sont consacrées à la culture de céréales. Celles-ci constituent toujours la principale denrée car elles peuvent croître dans les sols et sous les climats les plus variés. Le riz est la céréale la plus populaire en Orient et dans une partie de l'Asie, tandis que le blé est à la base du régime alimentaire de l'Europe, de l'Amérique du Nord, de l'Afrique du Nord et d'une partie de l'Asie dont 250 millions d'indiens, 200 millions de Chinois et un tiers de la population japonaise. Près de 35% des peuples consomment le blé et autant le riz. En 1992, la production mondiale s'est élevée à environ 550 millions de tonnes de blé, soit 50 millions de tonnes de plus que le riz. Suivent le maïs dans les Amériques centrale et du Sud et au Mexique, et les diverses sortes de millet dont le sorgho dans une partie de l'Afrique (**Boudreau & Menard, 1992**).

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales, jachère



comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 million d'ha. Parmi ces surfaces, 70% est destinée à la culture du blé, l'orge, tandis que l'avoine n'occupe qu'une faible superficie (**Belaid, 1968**). Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures. Elle apparait donc comme une spéculation dominante. Elle est présente dans tous les étages bioclimatiques, y compris dans les zones sahariennes (**Djermoun, 2009**).

En matière d'emploi, plus de 500 000 emplois permanents et saisonniers sont procurés par le système céréalier (ministère de l'Agriculture).

La consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205 kg/hab/an (**Chehat, 2007 cité par Djermoun, 2009**).

Les céréales et leurs dérivés fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire. C'est ainsi, au cours de la période 2001-2003, les disponibilités des blés représentent un apport équivalent à 1505,5 Kcal/personne/jour, 45,533g de protéine /personne/j et 5,43g de lipide/personne /J (**Observatoire méditerranéens CEHEAM/IAMM cité par Djermoun, 2009**).

Les produits céréaliers représentent en Algérie, plus de 40% de la valeur des importations des produits alimentaires. Et occupent le premier rang (39,22 %), devant les produits laitiers (20,6%), le sucre et sucreries (10%) et les huiles et corps gras (10%) (**Djermoun, 2009**).

- De 1995 à 2005, une moyenne annuelle de 4244903 tonnes de blés est absorbée par le marché algérien, dont 70,44% de blé dur, soit 2990265 tonnes représentant une valeur de 858 millions de dollars, dont 60,36% de blé dur, soit 578 millions (**Chehat, 2007 cité par Djermoun, 2009**).

Vue leurs importance économique, il est primordial de connaitre ces plantes, leurs morphologie, leur exigences écologiques et les techniques culturales. Le présent cours apporte des connaissances sur les principales céréales cultivées (Origine et utilisation sur les céréales, description générale). Il est scindé en deux grands chapitres :

-Un premier chapitre présentant des Origine et utilisation sur les céréales.

-Un deuxième chapitre qui présente quelques céréales cultivées.

## CHAPITRE I ORIGINE ET UTILISATIONSUR LES CEREALES

### 1. DEFINITIONS

Les céréales sont des plantes herbacées annuelles produites pour leurs graines. Le terme céréale est dérivé du mot latin 'cereal' signifiant «grain» qui est botaniquement un type de fruit appelé «caryopse», composé de l'endosperme (albumen), du germe embryon (ou germe), qui contient le matériel génétique d'une nouvelle plante (**McKevith, 2004**).

Une céréale peut être définie comme un grain ou une graine comestible de la famille des graminées (**Bender & Bender, 1999**). La plupart des céréales appartiennent à la famille des Gramineae (ou Poaceae). Ce sont : le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées : blé, orge, avoine, seigle; les autres à la sous-famille des Panicoïdées : maïs, riz, sorgho, millet. Ces grains sont cultivées pour leurs valeurs nutritive élevées, dont l'albumen amylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques (**Moule, 1971**).

La céréaliculture est une étude qui se préoccupe de tous les aspects techniques de la production de céréales (**Sarwar et al., 2013**).

### 2. SYSTEMATIQUE

La plupart des céréales appartiennent à la famille des **Graminées** (ou **Poacées**) (**Moule, 1971**), qui sont caractérisées par des fleurs ayant à leurs bases des glumelles, et les inflorescences des glumes, ovaire uniloculaire, et le fruit est un caryopse. Ils appartiennent à l'ordre des Poales, qui sont des plantes herbacées angustifoliées à inflorescences le plus souvent compactes, dont la plus petite fleur présentant un périanthe petit et sépaloides (**Botineau, 2010**).

Ces graminées sont représentés par : le blé tendre, le blé dur, l'orge, l'avoine, le seigle, la maïs, le riz, le sorgho, et le millet (**Moule, 1971**). Les unes appartiennent à la sous-famille des **Pooideae** et les autres à celle des **Panicoïdeae** (**Prat, 1960 ; Bouchenak-Khelladi et al., 2010**). Les **Pooideae** ou **Festicoideae** sont représentés

par : Le blé, Orge, l'avoine, le seigle; et les **Panicoideae** par le maïs, le riz, le sorgho, et le millet. Cependant, le Sarrasin (ou blé noir), est une céréale qui appartient à une autre sous-famille, celle des **Polygonacées** (Moule, 1971).

La classification des graminées est complexe et ramifiée, elle comprend plusieurs sous-familles divisées en tribus regroupant plusieurs genres. Le tableau montre la position des principales espèces cultivées.

**Tableau 1.** Classification des céréales cultivées (Poulain, 2012).

Sou- famille	Tribu	Espèce cultivée
Ehrhartoideae	Oryzeae	Riz
Panacoideae	andropogoneae	Maïs, sorgho, canne à sucre
	Paniceae	Mil, millet
Pooideae	Triticeae	Blés, orge, seigle
	Festuceae	Ray-grass, dactyle, fétuque,
	Aveneae	Avoine

### 3. STRUCTURE GENERALE DES GRAINS

Les grains de céréales se développent à partir de fleurs ou de fleurons et, bien que les structures des différents grains de céréales soient différentes, il existe des caractéristiques typiques.

L'embryon (ou germe) est une structure à paroi mince contenant la nouvelle plante. Il est séparé par le scutellum (qui est impliqué dans la mobilisation des réserves alimentaires du grain pendant la germination) de la partie principale du grain, l'endosperme qui est composé de cellules à paroi mince, emballées avec un tégument des grains (**Figure 1**). L'endosperme est entouré par l'aleurone, constitué d'une ou trois couches cellulaires (chez le blé, le seigle, l'avoine, le maïs et le sorgho en ont un, le riz et l'orge ont trois). Les couches externes du grain sont le péricarpe (dérivé de l'ovaire de la fleur) qui entoure le tégument (le testa). Les structures extérieures à parois épaisses forment le son (McKevith, 2004).

Les grains se composent de plusieurs parties principales qui sont:

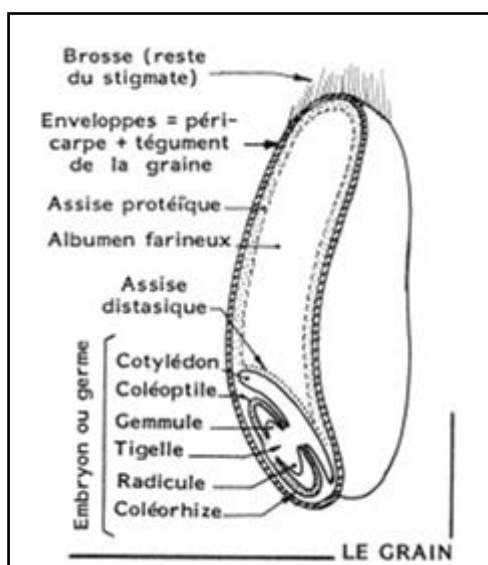
- **Le péricarpe (Sarwar, 2009).** ou tégument du fruit est formé de trois assises de cellules de:
  - *l'épicarpe*, constitué de cellules protectrices de forme allongée, sensiblement rectangulaire;
  - *le mésocarpe*, fait d'une ou de deux couches de cellules parenchymateuses à parois épaisses et d'une couche de grandes cellules allongées dites transversales, orientées perpendiculairement aux cellules de l'épicarpe;
  - *l'endocarpe*, assise de cellules tubulaires, disposées dans le sens de la longueur du grain.
- **Le tégument séminal (Testa)**, vestige du tégument interne de l'ovule est représenté par une assise de deux couches de cellules aplaties; la couche interne est fortement pigmentée chez les grains roux foncés.

L'ensemble du péricarpe et de tégument s'appelle le **son**

- **La bande hyaline**, d'aspect transparent est formée par les cellules de l'épiderme du nucelle et par les cellules membraneuses de l'assise protéique sous-jacente.
- **La couche à aleurone** première assise constitutive de l'albumen, à grosses cellules protéiques de forme cubique, à angle arrondi.
- **L'albumen farineux (albumen ou endosperme)**, masse de cellules courtes, de largeur à peu près constante, contenant une grande quantité de grains d'amidon et de gluten. Lors d'un lavage à l'eau de cette masse amyliacée, les grains d'amidon sont rapidement entraînés. Il ne reste que le gluten, substance de nature protéique, d'aspect gris-jaunâtre, de consistance molle et élastique, jouant un rôle important en panification.

**L'embryon (le germe)**, germe (embryon): c'est la plus petite partie du grain (composée de vitamine E, folate, thiamine, phosphore, magnésium (**Sarwar, 2009**), il est lui-même constitué : d'une radicule, protégée par une sorte de capuchon, la coléorhize et comportant déjà, outre la racine principale, les ébauches de la première et deuxième paire de racines, d'une tigelle court-nouée, d'une gemmule formée d'un *coléoptile*, pré-feuille protectrice des premières feuilles déjà différenciées par le

méristème apical de la plantule, d'un cotylédon, le *scutellum*. L'épiblaste serait l'homologue d'un second cotylédon avorté (Moule, 1971).



**Figure 1.** Coupe longitudinale de grain de Blé (Soltner, 1998).

Lorsque les grains de céréales germent, les jeunes plantules utilisent les nutriments fournis par l'endosperme jusqu'au développement des feuilles vertes qui permettent à la photosynthèse de débiter (FAO, 1991).

#### 4. PRINCIPALES CEREALES CULTIVEES

Il existe dans le monde plusieurs céréales cultivées sont les plus importantes sont par ordre d'importance : le riz, les blés (tendre et dur), la maïs, et l'orge, le sorgho (FAO, 1999).

Leur classification et destination sont représenté par le tableau 2

#### 5. UTILISATION DES CÉRÉALES

Les céréales constituent de loin la ressource alimentaire la plus importante à la fois pour la consommation humaine et pour l'alimentation du bétail, et sont cultivées principalement pour leur grain, et aussi pour leur paille (litière et fumier, alimentation) (Tableau 2); également elles sont fréquemment cultivées pour récolte en vert (en feuilles ou en épis), en culture pure ou en association avec une légumineuse (vesce-avoine, par exemple).

**Tableau 2.** Principales céréales cultivées dans le monde (Anonyme, 2003).

Famille	Sous-famille	Genre	Espèce	Sous-espèce	Variété (1)	Nom commun	Destination traditionnelle	
							Graines	Pailles
Graminées	Festucoïdées	<i>Triticum</i>	<i>T. aestivum</i> L.	-	H-P	Froment ou Blé tendre	Alimentation animale ou humaine (panification)	Fourrage, litières
			<i>T. durum</i> L.	-	H-P	Blé dur	Alimentation humaine (semoule)	Idem
		<i>Hordeum</i>	<i>H. vulgare</i> L.	<i>hexastichum</i>	H	Escourgeon O. 8 rangs	Alimentation animale ou humaine (bière)	Idem
				<i>distichum</i>	H-P	O. 2 rangs		
		<i>Avena</i>	<i>A. sativa</i>	-	H-P	Avoine	Alimentation animale	Idem
		<i>Secale</i>	<i>S. cereale</i>	-	-	Seigle	Alimentation animale (3/4) ou humaine (pain)	Idem
		<i>Triticum x Secale</i> (2)				Triticale	Alimentation animale	Idem
		<i>Zea</i>	<i>Z. mays</i> L.	-	-	Maïs	Alimentation animale	Ensilage (plante entière)
		<i>Oryza</i>	<i>O. sativa</i> L. <i>O. blaberrina</i> Stend (4)	-	-	Riz	Alimentation humaine	Fourrage, litière
		<i>Sorghum</i> (5)	<i>S. dura</i> Stopf. <i>S. subglabrescens</i> Beauv. <i>S. coffrorum</i> Beauv. <i>S. bicolor</i> (L.) Moench	-	-	Sorgho grain	Alimentation animale	Ensilage (plante entière)
		<i>Panicum</i>	<i>P. miliacum</i> L.	-	-	Sorgho grain Millet commun	Alimentation humaine	Fourrage et construction
		<i>Setaria</i>	<i>S. italica</i> Beauv.	-	-	M. des oiseaux	Alimentation animale	Fourrage
		<i>Pennisetum</i>	<i>P. typhoides</i> Stapf & Hubb.	-	-	Mil	Alimentation humaine	

(1) Suivant la place du cycle, on distingue :

- les céréales de printemps (**P**) : semis au printemps, récolte en juillet-août ;
- les céréales d'hiver (**H**) : semis en automne, récolte en juillet-août

(2) Obtenu par croisement de seigle et de blé . (3) Espèce la plus répandue, originaire d'Asie

(4) Espèce cultivée dans l'Ouest africain (5) Un certain nombre d'espèces et de variétés de *Sorghum* ne sont pas reprises ici, car non cultivées spécifiquement pour leurs graines (sorgho à sucre, à balai...) (Anonyme, 2003).

## 6. VALEUR NUTRITIONNELLE DES CEREALES

Tous les grains de céréales ont des valeurs énergétiques élevées (et composés principalement d'amidon, mais aussi de lipide et de protéines) et contiennent des hydrates de carbone, principalement des amidons (65 à 75% du poids total), des protéines (6 à 12%) et des lipides (1 à 5%). Ainsi que des traces de minéraux et de vitamines (Tableaux 3, 4 et 5) (McKevith, 2004).

**Tableau 3.** Composition en acides aminés des grains de céréales (Macrae *et al.*, 1993 cité par McKeivith, 2004).

Acide aminés (g/ 100 g protéines)	Blé dur	Riz		Maïs		Orge	Avoine	Seigle	Sorgho	
		Brun	Millet	Normal	Lysine élevée				Normal	Lysine élevée
Phénylalanine	4.6	5.2	5.2	4.8	4.3	5.2	5.4	5.0	5.1	4.9
Histidine	2.0	2.5	2.5	2.9	3.8	2.1	2.4	2.4	2.1	2.3
Isoleucine	3.0	4.1	4.5	3.6	3.4	3.6	4.2	3.7	4.1	3.9
Leucine	6.3	8.6	8.1	12.4	9.0	6.6	7.5	6.4	14.2	12.3
Lysine	2.3	4.1	3.9	2.7	4.3	3.5	4.2	3.5	2.1	3.0
Méthionine	1.2	2.4	1.7	1.9	2.1	2.2	2.3	1.6	1.0	1.6
Threonine	2.4	4.0	3.7	3.9	3.9	3.2	3.3	3.1	3.3	3.3
Tryptophan	2.4	1.4	1.3	0.5	0.9	1.5	-	0.8	1.0	0.9
Valine	3.6	5.8	6.7	4.9	5.6	5.0	5.8	4.9	5.4	5.1

**Tableau 4.** Teneurs en acides gras des céréales (Ministère de l'agriculture, des pêches et de l'alimentation, 1998 cité par McKeivith, 2004).

Teneur en acide gras (g/100g d'aliments)	Orge cru	Farine d'avoine à cisson rapide, cru	Farine de blé, blanche	Farine de seigle	Riz blanc, cru
Lipides total	1.7	9.2	1.2	2.0	3.6
Acides gras saturés	0.29	1.61	0.16	0.27	0.85
Acide gras Cis-monounsaturated	0.14	3.34	0.13	0.21	0.91
Acide gras polyinsaturée cis Total Cis	0.77	3.71	0.51	0.95	1.29

**Tableau 5.** Teneur en vitamines des céréales (mg/100g) (Agence des normes alimentaires et Institut de recherche alimentaire, 2002 cité par McKeivith, 2004).

Vitamine	Vitamine E	Thiamine	Riboflavine	Niacine équivalent (mg)	Vitamine B6 (mg)	Folate (mg)
Farine de blé, blanche simple	0.30	0.31†	0.03	3.6†	0.15	22
Farine de blé complète	1.40	0.47	0.09	8.20	0.50	57
Riz, blanc facile à cuisine, cru	(0.10)	0.41	0.02	5.8	0.31	20
Riz brun, cru	0.80	0.59	0.07	6.80	Non estimée	49
Popcorn, simple	11.03	0.18	0.11	1.7	0.20	3
Avoine, cuit rapidement, cru	1.50	0.90	0.09	3.4	0.33	60
Orge cru	0.40	0.12	0.05	4.8	0.22	20
Farine de seigle complète	1.60	0.40	0.22	2.6	0.35	78

Les grains de céréales complets sont une source alimentaire riche en plusieurs vitamines, minéraux et élément phyto-chimiques essentiels. Permettent de diminuer les niveaux de cholestérol sanguin. Elles contiennent de nombreux composés phytochimiques différents qui ont été associés à des avantages significatifs pour la santé. Ces composés phytochimiques comprennent: (1) les lignanes: qui peuvent réduire le risque de maladie coronarienne et régresser ou ralentir les cancers. (2) l'acide phytique: Réduit l'indice glycémique des aliments, ce qui est important pour les personnes atteintes de diabète, et protège contre le développement des cellules cancéreuses dans le côlon. 3) Les saponines, les phytostérols, le squalène, l'oryzanol et les tocotriénols diminuent le cholestérol sanguin (**Sarwar, 2009**).

(4) Les composés phénoliques: ont des effets antioxydants (**Sarwar, 2009**). Mais le processus de mouture prive les grains de nutriments importants, notamment les fibres alimentaires, les composés phénoliques, les vitamines et les minéraux bénéfiques pour la santé (**Sarwar, 2013**).

Le blé est considéré comme une bonne source de protéines, de minéraux, de vitamines du groupe B et de fibres alimentaires, un excellent aliment pour la santé. Ainsi, il est devenu la céréale principale, étant plus largement utilisé pour la fabrication du pain que toute autre céréale en raison de la qualité et de la quantité de sa protéine caractéristique appelée gluten. Le gluten fait de la pâte à pain, colle entre eux et lui permet de retenir le gaz. Le blé a plusieurs vertus médicinales; l'amidon et le gluten dans le blé apportent de la chaleur et de l'énergie, les couches internes du son, les phosphates et autres sels minéraux, le son externe, le fourrage grossier, la partie indigeste facilitant le mouvement des intestins, le germe, les vitamines B et E de blé aide à construire et réparer les tissus musculaires. Le germe de blé, qui est éliminé dans le processus de raffinage, est également riche en vitamine E essentielle, et son manque peut conduire à une maladie cardiaque. La perte de vitamines et de minéraux dans la farine de blé raffinée a entraîné une prévalence généralisée de la constipation et d'autres troubles digestifs et des troubles nutritionnels. Le blé entier, qui comprend le son et le germe de blé, offre donc une protection contre les maladies telles que la constipation, l'ischémie (**Sarwar, 2013**).



## 7. DESCRIPTION DES CEREALES

### 7.1 APPAREIL VÉGÉTATIF

#### 7.1.1 SYSTEME AERIEN

Il est formé d'un certain nombre d'unités biologiques (**Figure 2**), les talles partant d'une zone située à la base de la plante et dite le plateau de tallage. Après le développement complet de la plante chaque talle est formée d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (**Moule, 1971 ; Anonyme, 2003**).

La tige est formée d'entre-noeuds séparés par des noeuds plus ou moins saillant, zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-noeuds et se différencient les feuilles (ce noeud est un point d'attache d'une feuille). Chaque noeud est donc le point d'attache d'une feuille. La tige est cylindrique, non ramifiée. La tige forme la paille (**Moule, 1971 ; Poulain, 2012 ; Anonyme, 2003**).

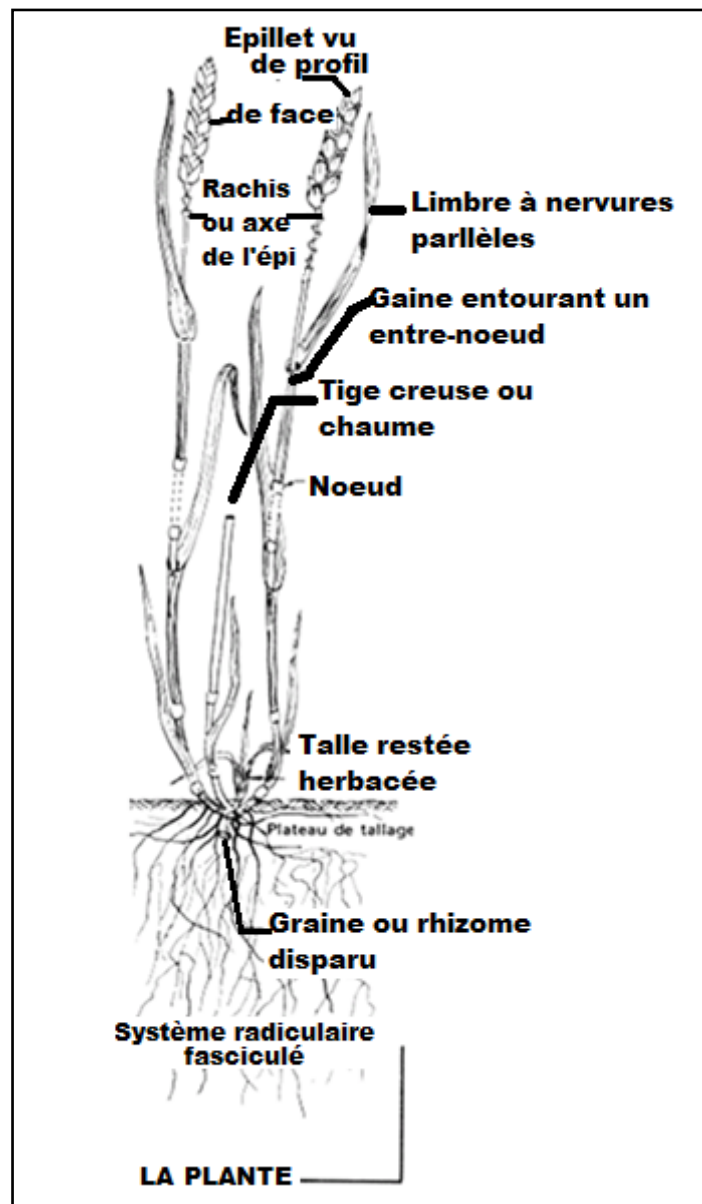
Il existe types de pailles :

- Des pailles creuses : orge, avoine;
- Des pailles plus ou moins creuses : blé d'hiver (caractère variétal);
- Des pailles pleines, lorsque la moelle est persistante : blé dur, maïs, sorgho (**Moule, 1971**).

Les feuilles sont alternes et disposées sur les deux rangs le long de la tige. Les nervures sont toute parallèles. Chaque feuille comprend deux parties : une portion inférieure enveloppant l'entre-noeud correspondant (la gaine); et une portion supérieure (le limbe). Les gaines, attachées au niveau des noeuds, sont emboîtées les unes dans les autres et forment un tube cylindrique entourant la tige qui se déboîte au fur et à mesure de la croissance des entre-noeuds. A la jonction du limbe et de la gaine, existe une petite membrane non vasculaire, plus ou moins longue et dentelée ; la ligule. De chaque côté de celle-ci, à la base du limbe se trouvent deux stipules plus ou moins embrassantes, glabres ou velues, les oreillettes (**Anonyme, 2003**). Ce sont les oreillettes ou stipules. Ainsi :

- **Le blé** possède une ligule et des oreillettes velues;
- **L'orge**, une ligule et des oreillettes glabres, très embrassante;
- **L'avoine, le sorgho**, une ligule sans oreillettes;
- **Le seigle** une ligule très courte et pratiquement pas d'oreillettes;
- **Le millet**, une ligule réduite à l'état d'écaille, sans oreillettes

(Moule, 1971).



**Figure 2.** Description d'une plante de céréales (Soltner, 2005).

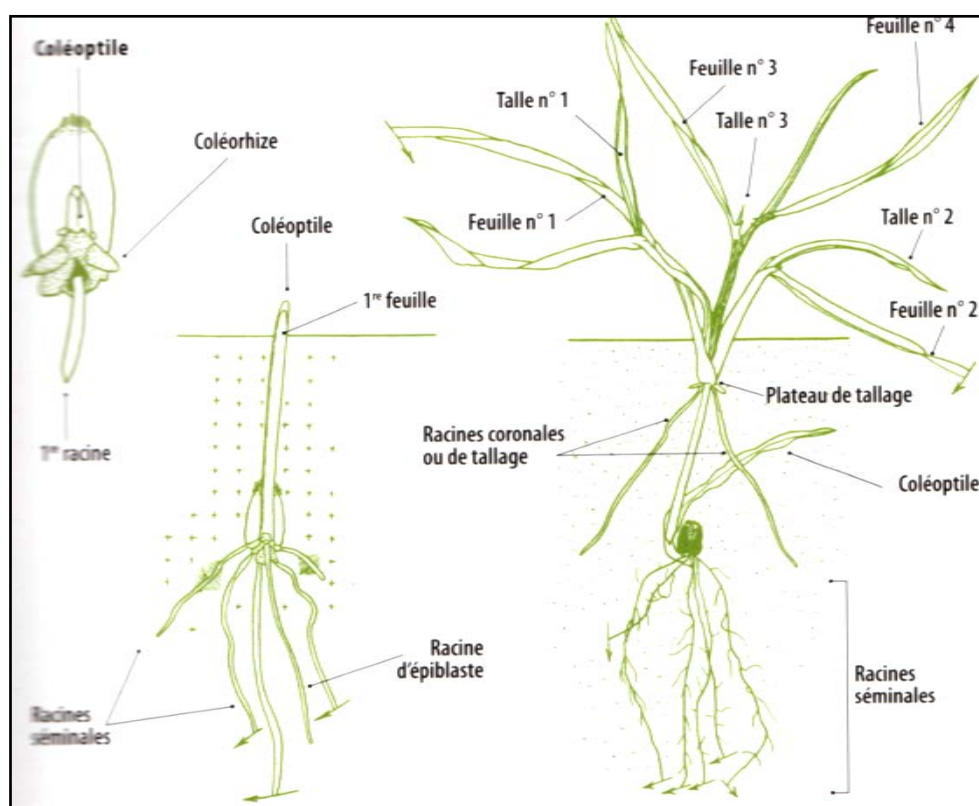
### 7.1.2 SYSTEME RADICULAIRE

Toute céréale dispose, au cours de son développement, de deux systèmes racinaires successifs .

- Le système de racines primaires ou séminales, fonctionnel de la levée jusqu'au début du tallage. Ce système est constitué d'une racine principale et de deux paires de racines latérales, et répondent aux premiers besoins alimentaires de la jeune plante.

- Le système de racines secondaires ou de tallage (ou coronales) apparaissant au moment où la plante émet ses talles (tallage).

Ce système remplace alors progressivement le système racinaire primaire. Son importance et sa profondeur variant avec l'espèce. Ces racines partent de la même zone, le plateau de tallage, pour former un chevelu racinaire fasciculé dense qui assure l'alimentation en eau et en éléments minéraux (**Figure 3**) (**Poulain, 2012**).



**Figure 3.** Système racinaire d'une céréale (**Poulain, 2012**).

## 7.2 APPAREIL REPRODUCTEUR

### 7.2.1 L'INFLORESCENCE

L'inflorescence est constituée d'unités caractéristiques, les **épillets**, constituée d'une ou plusieurs fleurs en grappe (de 1 à 5 fleurs), protégée chacune par une paire de glumelles (inférieure et supérieure), chaque épillet est lui-même inclus entre deux bractées appelées glumes (inférieure et supérieure) (**Poulain, 2012**).

L'inflorescence est de trois types:

- **Un épi** : où les épillets s'insèrent directement sur l'axe (blé, orge, seigle).
- **Une panicule** : où les épillets les épillets sont portés par de ramification de l'axe, (avoine, riz, sorgho).
- **Une panicule spiciforme** : intermédiaire entre les deux, où les épillets sont portés par de très courtes ramifications de l'axe (fléole, crételle) (**Moule, 1971**).

Les fleurs sont sans pétales ni sépales (**Poulain, 2012**), et elles sont attachées sur le *rachillet*, rameau partant de l'axe principal (rachis) de l'inflorescence (**Moule, 1971**).

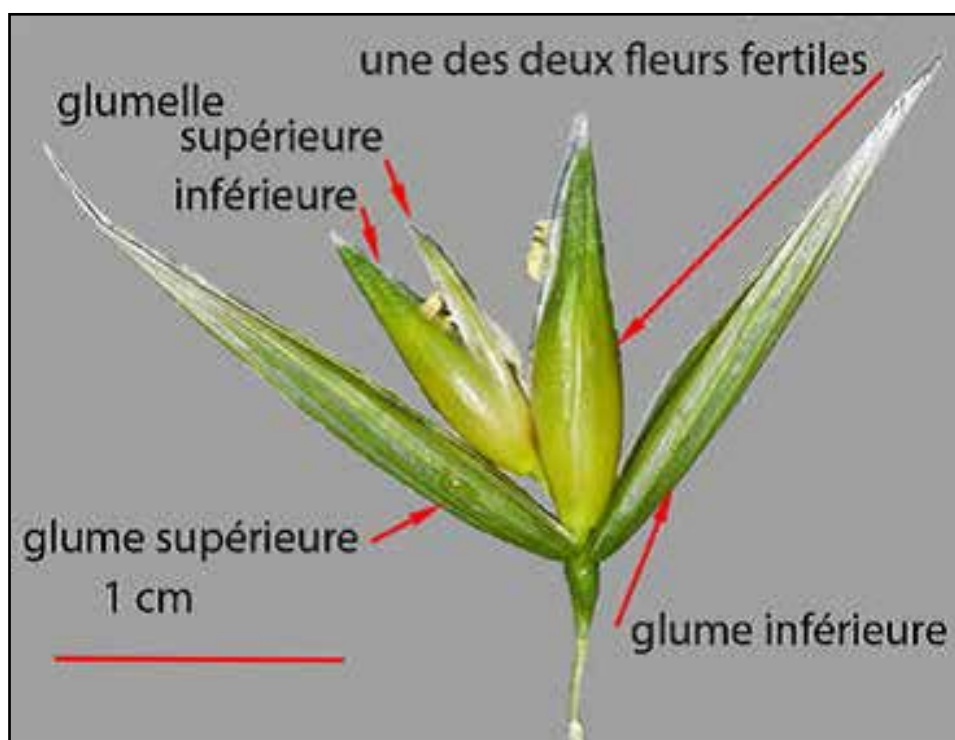
Chaque fleur comprend typiquement :

- Trois étamines à anthères en forme d'X;
- Un ovaire formé d'un seul carpelle, glabre ou velu, enfermant un ovule;
- Deux petites écailles à la base de l'ovaire, les glumellules qui, en se gonflant, font entrouvrir les glumelles à la floraison.

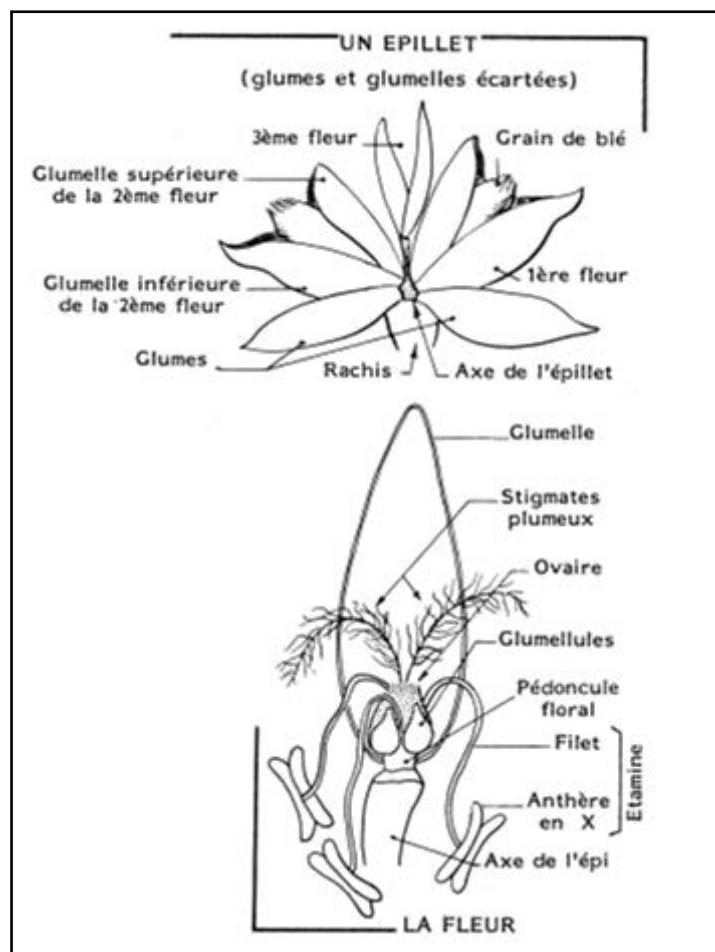
Le nombre de fleurs fertiles par épillet varie selon l'espèce. Chez le blé, il est de 2 à 4; chez l'avoine, 1 à 3; et chez l'orge, 1 seule fleur est fertile (**Figure 4**) (**Moule, 1971**).

### 7.2.2 LA SEMENCE

Au cours de son développement, la graine se soude à la paroi de l'ovaire pour donner un fruit sec indéhiscent ; le caryopse, à maturité, celui-ci se libère des glumes et des glumelles ; il s'agit de graines nues (blé, maïs, etc). Il peut aussi se souder aux glumelles et parfois même aux glumes, donnant de ce fait des semences vêtues (orge, avoine, riz, etc) (Poulain, 2012) (Figures 4 et 5)



**Figure 4.** L'épillet, La glume est l'enveloppe de fleurs de graminées (ne doit pas être confondue avec le son qui est l'enveloppe du caryopse grain et non de la fleur) (Henrotte, 2016).



**Figure 4.** Appareil reproducteur et grain de blé (Soltner, 1998).

## 8. BIOLOGIE DES CÉRÉALES

Le cycle de développement d'une céréale comprend trois grandes périodes :

- *La période végétative* (de la germination au début de la montée);
- *La période reproductrice* (du début de la montée à la fécondation);
- *La période de maturation* (de la fécondation à la maturité complète du grain).

### 8.1 LA PÉRIODE VÉGÉTATIVE

La germination d'une céréale se traduit par la sortie des racines séminales de la *coléorhize* et, à l'opposé, par la croissance d'une pré-feuille, le *coléoptile*. Celui-ci sert de manchon protecteur et perforateur du sol pour *la première feuille* qui sera

fonctionnelle et percera le sommet de la coléoptile peu après l'apparition de ce dernier au niveau du sol.

Dès que la première feuille a percé l'extrémité de la coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche, qui correspond à la levée.

Cette première feuille fonctionnelle s'allonge, puis apparaît une deuxième, puis une troisième, puis une quatrième feuille. Chacune d'elles est imbriquée dans la précédente, partant toutes d'une zone proche de la surface du sol et constituée de l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds : le plateau de tallage.

La future tige qui portera ces feuilles constitue le maître brin, mais à leurs aisselles des bourgeons donnent naissance à de nouvelles tiges, constituent ainsi le tallage, ramification originale dont toutes les tiges, appelées talles, s'insèrent au même niveau.

La première talle (t1) apparaît généralement à l'aisselle de la première feuille lorsque la plante est au stade « 4 feuilles ». Cette talle est constituée d'une *préfeuille* entourant la *première feuille* fonctionnelle de la talle, qui elle-même encapuchonne les autres. Elle s'insère sur le nœud d'où part la première feuille.

Par la suite apparaissent les talles de 2e, 3e, 4e feuilles formées à partir des bourgeons ayant pris naissance à l'aisselle des feuilles correspondantes. Ces talles de 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, et 4<sup>ème</sup> feuilles sont dites *talles primaires*.

Cependant chaque talle primaire va émettre des *talles secondaires* susceptibles elles-mêmes d'émettre des talles tertiaires : l'aptitude à émettre en plus ou moins grand nombre des talles secondaires et tertiaires est une caractéristique spécifique et aussi variétale (Moule, 1971).

## **8.2 La PERIODE REPRODUCTRICE OU « MONTEE »**

La période reproductrice débute par la différenciation et l'élongation des entre-nœuds de la tige principale (allongement du maître brin), les gaines des différents nœuds sont emboîtées les unes dans les autres, entourant la future tige, et se déboitent au fur et à mesure de l'élongation des entrenœuds (**Figure 6**).

Les apex se transforment en jeunes inflorescences qui s'élèvent dans les gaines, c'est la montaison. Le stade marquant le début de la formation des ébauches d'épillets a été appelé : stade d'initiation florale. Par la suite les autres ébauches d'épillets apparaîtront successivement (**Moule, 1971**).

On assiste à la différenciation des *pièces florales* :

- Glumelles inférieures, puis supérieures;
- Organes sexuels, étamines, stigmate
- Méiose pollinique

D'autre part, les apex des talles différencient également des ébauches d'épillets, puis des pièces florales et parallèlement montent. Cependant, seules les 3 ou 4 premières talles donneront des épis, constituant ce que l'on appellera le tallage-épi (toujours inférieur au tallage herbacé).

L'inflorescence monte donc en grossissant dans le cornet de gaines des différentes feuilles, ces gaines se déboitant elles-mêmes peu à peu au fur et à mesure de l'allongement des entre-noeuds caulinaires.

Peu avant la sortie de l'inflorescence de la gaine de dernière feuille celle-ci en distend les parois : c'est le stade du gonflement.

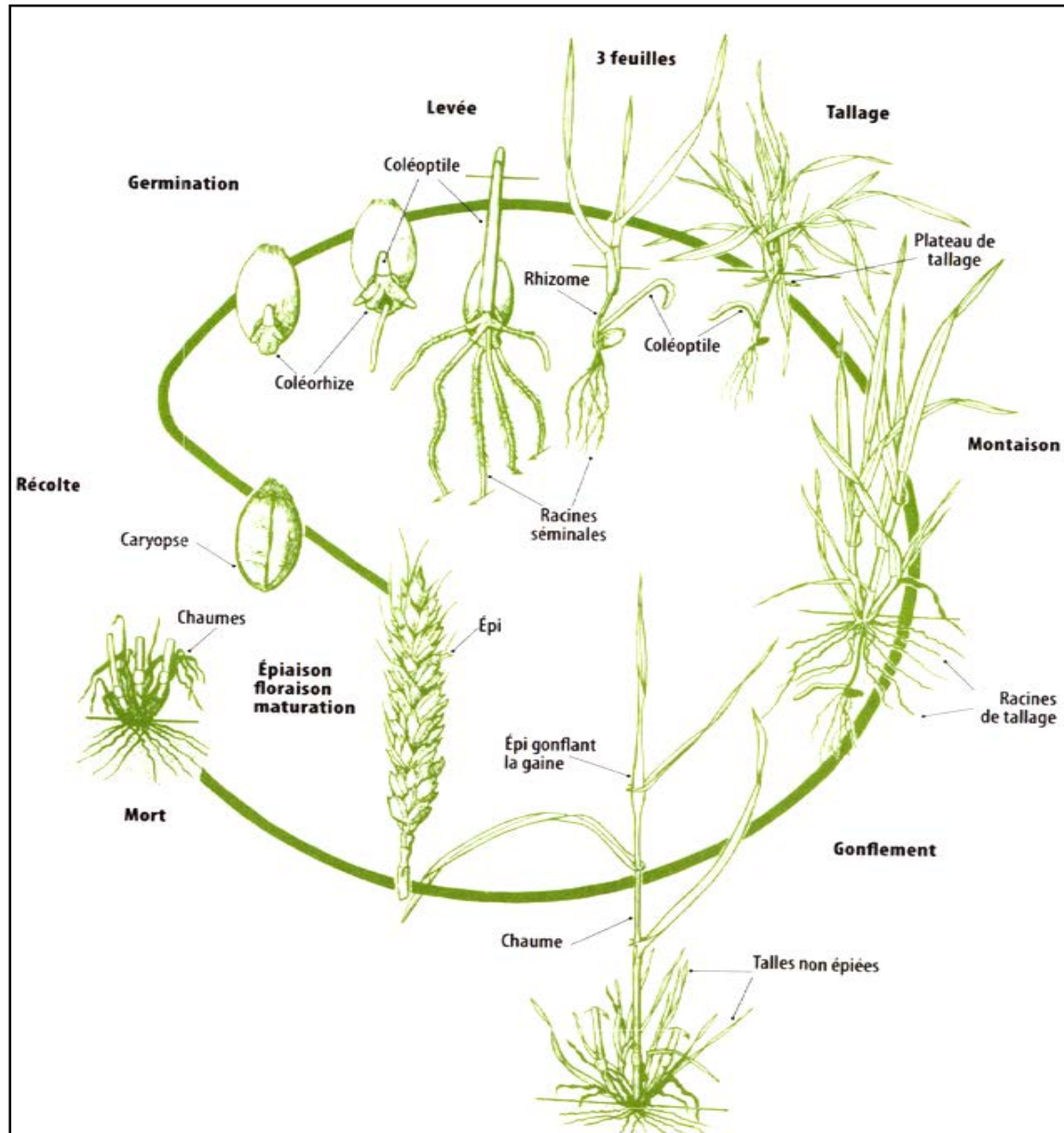
C'est généralement aux approches de ce stade que se réalise la méiose pollinique.

Peu après la méiose, l'inflorescence sort de la gaine de dernière feuille : c'est l'épiaison notée au stade 50 % d'épis sortie. La fécondation suit de quelques jours l'épiaison (**Moule, 1971**).

### **8.3 LA PERIODE DE MATURATION**

Durant cette période les substances de réserve (amidon, matières protéiques) et migrent et s'accumulent dans l'albumen; qui passe par les stades « grain laiteux », grain pâteux et grain dur. La maturité est enfin atteinte (**Figure 6**) (**Poulain, 2012**).





**Figure 6.** Cycle biologique d'une céréale (Poulain, 2012).

## CHAPITRE II ETUDE DES CEREALES CULTIVEES

### 1. LE SORGHO

**Nom scientifique :** *Sorghum bicolor* (L) Moench (Nombre de chromosomes  $2n=20$ )  
(Brink & Belay, 2006).

**Noms vernaculaires :** Sorgho, sorgho rouge (cultivars tinctoriaux), sorgho des teinturiers (cultivar tinctoriaux) (Brink & Belay, 2006), mil à gros grain, gros mil, douro, dari (Poulain, 2012).

**Tribu :** *Andropogoneae* (Poulain, 2012).

#### 1.1 ORIGINE ET UTILISATION

Sorghum, *Sorghum bicolor* (L) Moench, vient en cinquième position après le riz, le blé, la maïs, et l'orge. Il constitue le principal aliment de grain pour 750 million de population qui vit dans la région semi aride tropicale de l'Afrique, de l'Aise et l'Amérique latine (FAO, 1999).

Le sorgho *Sorghum bicolor* est une céréale annuelle, d'origine tropicale, de la famille des Graminées. Il est cultivé dans les zones semi-arides d'Afrique et d'Asie. Il constitue une source d'alimentation pour des millions de personnes (FAO, 1999), et elle très répandue à l'état sauvage sous les climats tropicaux et subtropicaux.

Depuis des siècles, cette plante est connue de peuples africains et d'Asie pour ses graines indispensables à leur alimentation. Pendant l'Antiquité, le sorgho était déjà connu à Rome à l'époque de l'empereur Pline. Aujourd'hui, le sorgho est cultivé sur tous les continents.

Le sorgho est une plante qui est intéressante pour sa résistance à la sécheresse. Des variétés sont sélectionnées en fonction de ces contraintes climatiques (Akanvou *et al.*, 2007).

La majorité des surfaces cultivées en sorgho se situe sur le continent africain (Nigéria, Ethiopie, Soudan et Egypte) et asiatique (principalement en Inde) (Anonyme, 2008).

En Europe, la culture de sorgho se cantonne traditionnellement dans le bassin méditerranéen. Mais avec l'apparition de nouvelles variétés, l'aire de culture de cette plante s'est largement développée ces dernières années (**Anonyme, 2008**).

Il existe plusieurs races de sorgho, qui peuvent être classées sur la base de la structure de l'épillet sessile (forme du grain) et du type de l'inflorescence. Les auteurs distinguent cinq (05) races principales : *Bicolor*, *Guinea*, *Caudatum*, *Durra* et *Kafir*, ainsi que dix (10) races intermédiaires issues d'hybridations entre les principales races deux à deux.

L'espèce *S. bicolor* est elle-même scindée en trois sous-espèces : ssp. *bicolor* (sorghos cultivés), ssp. *arundinaceum* (sorghos sauvages), ssp. *drumondii* (sorghos adventices, issus d'hybridation entre les formes sauvages et cultivées).

Les sorghos cultivés sont monoïques et préférentiellement autogames. Ils présentent eux aussi une grande diversité phénotypique. Une classification simplifiée a été proposée par **Harlan & Dewet (1972)** à partir de critères morphologiques (structure de l'épillet, forme de la panicule, les caractères de l'épillet étant considérés comme les plus stables donc peu soumis aux effets de l'environnement).

**La race *bicolor*** est cultivée dans toute l'Afrique et très répandue en Asie. Elle est la plus primitive. Les grains sont petits, allongés et enveloppés dans des glumes adhérentes ; les panicules sont lâches. Ces caractères sont proches de ceux rencontrés chez les sorghos sauvages (**Deu & Hamon, 1994**).

**La race *caudatum*** est essentiellement rencontrée en Afrique du Centre et de l'Est. Elle est caractérisée par un grain dissymétrique (en forme de carapace de tortue). La forme de la panicule est très variable (**Deu & Hamon, 1994**).

**La race *durra*** est la race principale en Inde ; elle se retrouve en Afrique de l'Est. Elle est bien adaptée à la sécheresse. Les grains sont gros et globuleux, les panicules compactes sont souvent portées sur un pédoncule croisé (**Deu & Hamon, 1994**).

**La race *kafir*** est présente surtout en Afrique du Sud, où l'agriculture a été introduite plus tardivement. Elle est probablement d'origine récente. Les grains sont symétriques, les panicules denses sont en forme cylindrique (**Deu & Hamon, 1994**).

**La race *guinea*** est typique de l'Afrique de l'Ouest mais elle est aussi répandue en Afrique du Sud. Ces sorghos sont adaptés aux zones humides. Les grains sont symétriques et présentent une rotation entre les glumes à maturité ; les panicules sont lâches. Les sorghos de cette race présentent une grande variabilité morphologique ; ils ont fait l'objet de nombreuses classifications fondées sur la taille des grains et le rapport entre la taille des grains et celle des glumes. Trois ou quatre sous-races, dont la sous-race *margaritifera* (grains petits et vitreux), sont actuellement distinguées. (**Deu & Hamon, 1994**).

**Les races intermédiaires** sont des hybrides biraciaux aux caractères intermédiaires de ceux des races principales, prises deux à deux à savoir *Guinea-Caudatum* ; *Guinea-Durra* ; *Guinea-Bicolor* ; *Guinea-Kafir* ; *Caudatum-Bicolor* ; *Caudatum-Durra* ; *Kafir-Caudatum* ; *Durra-Kafir* ; *Durra-Bicolor* ; *Kafir-Bicolor* (Chantereau, 1994) (**Figures 7, 8 et 9**).

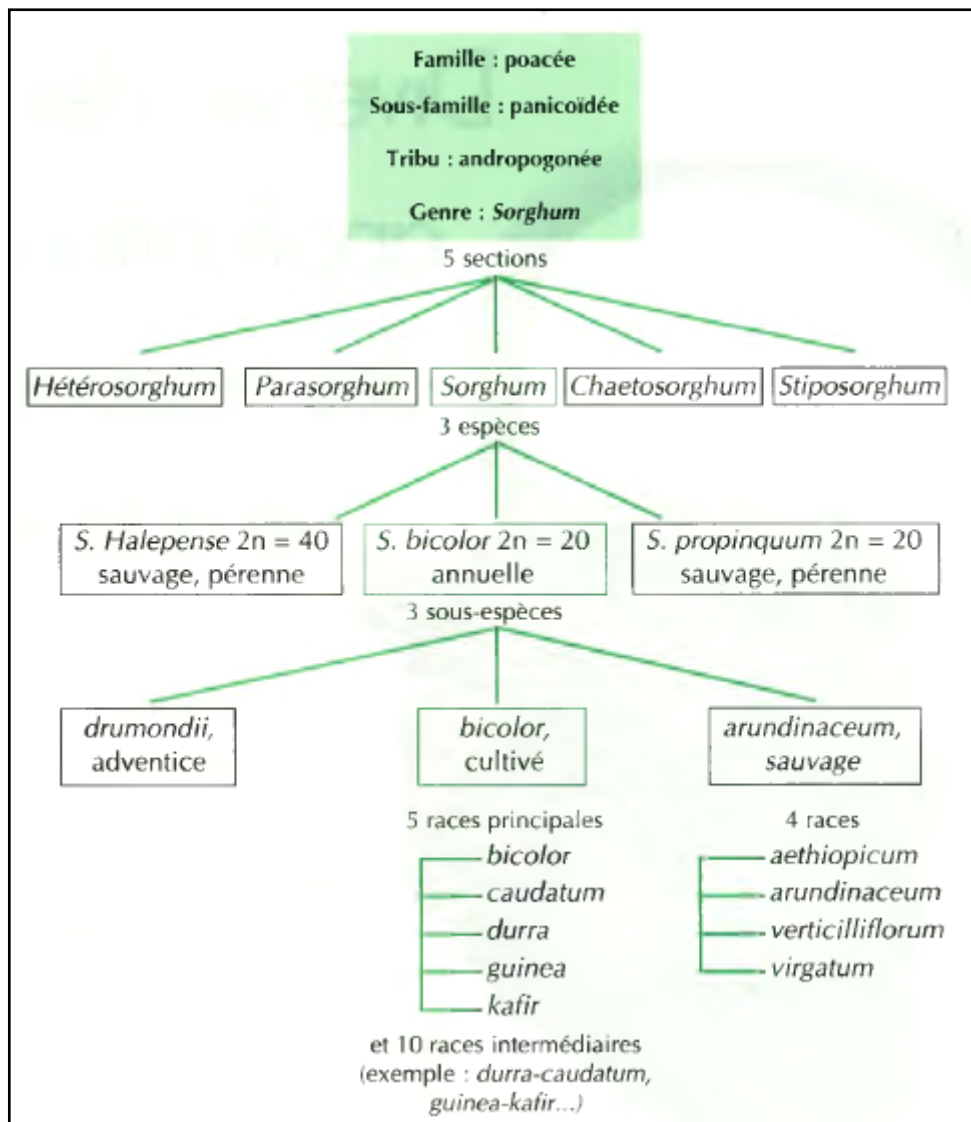


Figure 7. Systématique du sorgho (Deu & Hamon, 1994).

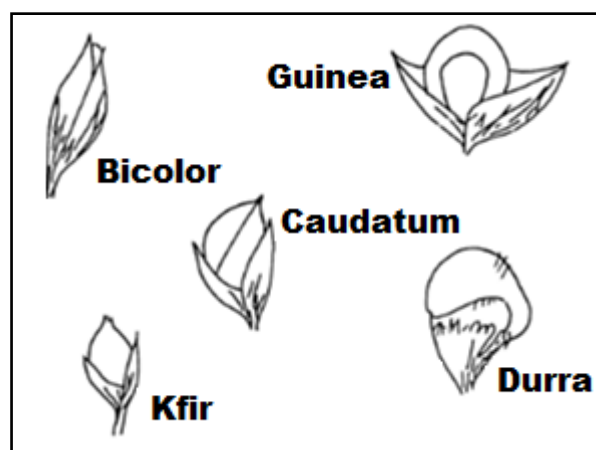
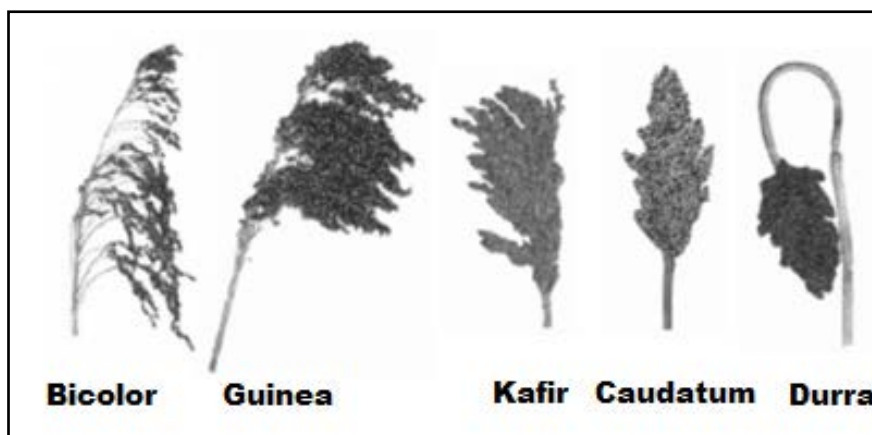


Figure 8. Classification des sorghos selon le type d'épillet (House, 1987).



**Figure 9.** Classification des sorghos selon la forme des panicules (Clerget, 2004).

Les sorghos sont classés aussi suivant leurs usages, il existe les sorghos fourragers qui sont des plantes vivaces destinées à l'alimentation animale, les sorghos grains dont on cultive de nombreuses variétés pour l'alimentation humaine (ou animale), les sorghos sucriers dont le jus est consommé par de nombreuses personnes, les sorghos papetiers, les sorghos à sirop et à sucre et les sorghos à balai (Deu & Hamon, 1994).

L'étude quantitative de 135 variétés cultivées a l'aide de 26 caractères morpho-physiologiques a permis un classement en trois groupes dont les comportements en culture sont distincts :

- *durra*, sorghos rustiques adaptés aux zones sèches ;
- *guinea* et *bicolor*, sorghos rustiques adaptés aux zones humides ;
- *caudatum* et *kafir*, cultivars à fort rendement, en zone intermédiaire (Chantereau *et al.*, 1989)

Cette organisation concorde avec la classification raciale, bien qu'elle soit moins discriminante. Il existe aussi des classifications enzymatique et moléculaire (Chantereau *et al.*, 1989).

Les principaux composants du grain sont le péricarpe (revêtement extérieur), le testa entre le péricarpe et l'endosperme (qui peut être présent ou non), l'endosperme et l'embryon. L'endosperme peut être corné (vitreux) ou farineux, et le testa peut contenir des tanins qui affectent la qualité nutritionnelle du grain. Malgré cet effet

nutritionnel négatif, les variétés à haute teneur en tanin continuent d'être cultivées en raison de leur résistance aux oiseaux et aux insectes et d'un potentiel de maltage plus élevé que les variétés à grains blancs. Les effets négatifs des tanins sur la valeur nutritive peuvent être partiellement surmontés par le retrait du testa par décorticage mécanique, ou par traitement alcalin au niveau du village (traditionnellement en utilisant de la cendre de bois) (**Chantereau & Nicou, 1994**).

Le sorgho peut être utilisé pour l'alimentation animale, les résidus de récolte (tiges, feuilles) fournissent un complément de fourrage pour le bétail et la production de sirop, de sucre, et d'amidon. Les grains, riches en protéines, sont transformés pour l'alimentation humaine ; les tiges servent de combustible et de matériau de construction (**Deu & Hamon, 1994**).

## 1.2 DESCRIPTION

Les sorghos ont une structure qui est globalement similaire à celle des autres céréales.

La tige (chaume) elle est plane, et peut atteindre 5 m de haut (**Brink & Belay, 2006**) et 1 à 5 cm d'épaisseur, et elle se ramifie parfois au-dessus de la base. Les nœuds sont glabres ou présentent des poils couchés. Les entre-nœuds sont glabres (**Doggett, 1988**).

Le sorgho grain mesure 60 à 120 cm de hauteur (**Carter et al., 1989**) possède des panicules courtes, elles-mêmes composées de ramifications courtes, alors que le sorgho fourrager est plus haut que le premier et peut mesurer plus de 150 cm, est généralement plus feuillu et parvient à maturité plus tardivement (**Harlan & De Wet, 1972 ; Espinoza & Kelley, 2004**). Le sorgho du Soudan et les hybrides sorgho-Soudan donnent des plantes de hauteur intermédiaire entre celles du sorgho grain et du sorgho fourrager (**Figure 9**).

Le *S. bicolor* est une espèce annuelle en C<sub>4</sub>, ou une graminée vivace à courte durée de vie et compte généralement une génération par saison de végétation. Il peut produire des talles (tiges adventices issues de la base de la plante), mais ne produit pas de rhizomes. Avec ses feuilles lous, droites et plates, le sorgho ressemble au maïs, mais elles sont plus étroites (12 à 30mm), aigues au sommet, avec une ligule courte et ciliée

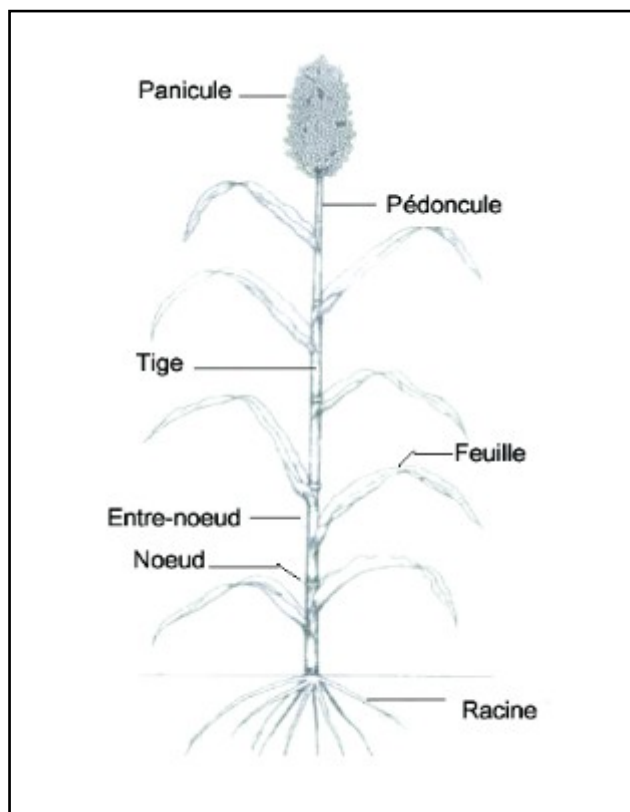
(**Poulain, 2012**), qui est longues de 1 à 4 mm. Le limbe des feuilles mesure 5 à 100 cm de longueur et 5 à 100 mm de largeur (**Figure 10**) (**Doggett, 1988**).

L'inflorescence est une panicule terminale de 20 à 40 cm de longue compacte (**Poulain, 2012**). Les ramifications principales de la panicule sont composées et se terminent par des grappes comprenant 2 à 7 paires d'épillets. Les épillets sessiles sont bisexués et longs de 3 à 9 mm. Les glumes (bractées) sont coriaces à membraneuses et glabres à densément hirsutes ou pubescentes. La carène des glumes est généralement ailée. Les lemmes supérieures sont non aristées à pourvues d'une arête géciculée et tordue mesurant 5 à 30 mm. Les anthères sont longues de 2 ou 3 mm, et les pédicelles, de 1 à 3 mm. Les épillets pédicellés mesurent 3 à 6 mm de longueur et sont généralement plus courts que les épillets sessiles. Les épillets pédicellés peuvent être staminés ou stériles (**Doggett, 1988**).

Le système racinaire est développé et peut atteindre 90 cm de profondeur et s'étalent latéralement jusqu'à 1,5cm (**Brink & Belay, 2006**), avec de nombreux poils radiculaires (presque deux fois plus que le maïs par exemple). Au moment de la germination apparait la racine primaire ou embryonnaire. Plusieurs racines de ce type se développent (**House, 1987**). Par la suite, les racines primaires meurent. Des racines adventives peuvent apparaitre plus tard sur les nœuds inférieurs et peuvent être nombreuses si le plant n'est pas en bonnes conditions. Ces racines ne sont pas fonctionnelles quant à l'alimentation en eau et en aliments.

Le sorgho cultivé produit de gros caryopses qui sont souvent exposés à maturité. La teneur en protéines des caryopses varie de 7,3 à 15,6 %, leur teneur en fibre, de 1,2 à 6,6 %, leur teneur en lipides, de 0,5 à 5,2 %, et leur teneur en amidon, de 55,6 à 75,2 % (**Doggett, 1988**).





**Figure 10.** Plante de sorgho (Trouche *et al.*, 2009).

## 1.1 EXIGENCES ECOLOGIQUES

### 1.1.1 CLIMAT

Les sorghos peuvent supporter des températures supérieures à 38°C, mais les vents secs associés à la chaleur pendant la pollinisation réduisent les rendements. Les meilleurs rendements sont réalisés lorsque les températures sont de 24-27 °C; dans de nombreuses régions semi-arides des pays en développement, les températures typiques vont de 20 à 38°C avec des précipitations annuelles allant de 300 à 750 mm (FAO, 1999).

Le sorgho exige alors une température de 25°C pour produire le maximum de graines. Il ne supporte pas le climat froid et croît lentement dans des températures moins de 20°C (House, 1985 cité par Wang *et al.*, 2014), mais il peut germer à une température de 12°C. il peut se développer dans la latitude de 40° dans les deux cotés de l'équateur (Maison, 1985 ; Wang *et al.*, 2014).

Les sorghos à grains sont généralement cultivés dans des régions trop sèches ou trop chaudes pour une production de maïs réussie (des régions qui ne conviennent pas à la culture du maïs).

### 1.1.2 BESOIN EN EAU

Les besoins en eau pour le sorgho varient entre 350 et 700 mm selon la durée du cycle de croissance (le cycle de croissance court est de 90 jours; tandis que le cycle de croissance long est plus de 130 jours) (**FAO, 1999**).

Le sorgho tolère l'asphyxie racinaire et il peut pousser dans des zones à fortes précipitations. Il est largement cultivé dans les régions tempérées et sous les tropiques jusqu'à 2300 m d'altitude (**Brink & Belay, 2006**).

Le sorgho est adapté aux climats plus secs et résiste longtemps au stress hydrique, il est appelé « plante chameau » (**Saouli, 2005**) ; cette résistance est due à plusieurs facteurs:

- La capacité de rester en dormance pendant la sécheresse et de reprendre ensuite la croissance (**Bennet et al., 1990**).
- Les feuilles s'enroulent pour qu'elles réduisent la surface des feuilles exposées à la transpiration (**Bennet et al., 1990**).
- Le système racinaire est profond (**Saouli, 2005**).
- Les feuilles et les tiges contiennent une abondance de revêtement cireux qui les protège du dessèchement (**FAO, 1999**).
- Les stomates sont plus petits et moins nombreux que chez le maïs (**Saouli, 2005**).

### 1.1.3 SOL

Le sorgho préfère un sol sablo-argileux, fertile et bien drainé (**Akanvou et al., 2007**), il est bien adaptée, aux vertisols lourds répandus dans les régions tropicales vu qu'il tolère l'asphyxie, mais les sols sableux légers lui conviennent aussi (**Brink & Belay, 2006**). Il peut tolérer un large intervalle de textures de sol (**FAO, 1999**) et pH ; de 5 à 8,5 (**Brink et Belay, 2006**). Le sorgho est adapté aux sols pauvres et peut produire du grain sur des sols où beaucoup d'autres cultures échoueraient (**Brink &**

**Belay, 2006**), comme il résiste à la salinité, il est considéré comme culture de dessalage (**Saouli, 2005**).

## 1.4 TECHNIQUES CULTURALES

### 1.4.1 PLACE DANS LA ROTATION

Le sorgho est une plante estivale, elle peut succéder à une trèfle incarnate ou une vesce d'hiver, ou tout autre plante libérant le sol au début de l'été ou à la fin du printemps, leur production est plus élevée si elle sont proche d'une fumure ou d'une tête de rotation (**Pousset, 2014**).

### 1.4.2 PREPARATION DU SOL

Le sorgho s'adapte facilement à tous les sols. Le labour doit être d'environ à environ 20-25 cm de profondeur (**Akanvou et al., 2007**), il faut aussi une bonne imbibition et un bon enrobage des graines pour germer (**Saouli, 2005**). Il est simplement nécessaire de préparer finement le lit de semences. Pour cela après le bêchage, il est recommandé de passer le croc pour émietter les mottes de terre (**Anonyme, 2008**).

### 1.4.3 SEMIS

Pour fixer une date de semis, il faut prendre en compte les conditions locales (date d'arrivée et quantité des pluies) (**Brocke et al., 2008**). En effet, la date optimale pour le semis du sorgho cultivé varie selon la température du sol, la température de l'air, le taux d'humidité du sol et les prévisions météorologiques à court terme (**FAO, 1999**). En climats tempérés, le semis est réalisé au printemps ou au début de l'été, tandis que dans les climats tropicaux il est réalisé durant la saison humide, de façon à ce que l'humidité soit présente durant la croissance des plantes, mais limitée au moment de la récolte (**Doggett, 1988**). Les graines du sorgho cultivé germent lorsque la température du sol est supérieure à 12 °C (**Poulain, 2012**). Toutefois, il est recommandé de semer le sorgho cultivé lorsque la température du sol, à la profondeur d'ensemencement, atteint 10°C durant trois journées consécutives et que les prévisions météorologiques sur cinq jours sont convenables (**Anda & Pinter, 1994**).

La période propice au semis s'étend de mi-juin à mi-juillet (**Brocke et al., 2008**). Le semis se réalise en mai-juin dans un sol suffisamment réchauffée (**Anonyme, 2008**). Mais il est réalisé vers la mi-mars selon **Saouli (2005)** en région saharienne ; le sorgho doit être semé tardivement car les plantules ont une forte sensibilité au froid (**Saouli, 2005**).

Les semences de sorgho cultivé sont semées à des profondeurs de 2,5 à 7,5 cm; il est recommandé de semer à une profondeur élevée dans les sols qui sèchent rapidement (**Cothren et al., 2000**). Les graines sont déposées dans un sillon profond de 2cm. Pour que chaque plante puisse se développer (**Anonyme, 2008**).

Il faut prévoir 10 à 15 kg de semences par hectare (**Akanvou et al., 2007**), et il ne faut dépasser 20kg/ha en aucun cas (**Saouli, 2005**). Réaliser le semis sur des billons ou à plat. Semer en ligne, en poquets, avec un écartement de 80 cm entre les lignes et de 50 cm entre les poquets. Semer 5 à 10 graines par poquet (**Akanvou et al., 2007**). Une fois les graines recouvertes, il faut tasser le sol (à l'aide du dos du râteau par exemple). Il faut aussi arroser (**Anonyme, 2008**).

#### 1.4.4 ENTRETIEN

Pendant la préparation du sol, il faut apporter un engrais de fond (NPKSB 15 15 15 6 1) à la dose de 150 kg par hectare. Apporter 50 kg d'urée par hectare 45 à 50 jours après le semis ; l'appliquer à 5 cm, au moins, des plants. A défaut d'engrais minéral, apporter du fumier de ferme à la dose de 15 tonnes par hectare (**Akanvou et al., 2007**).

Il faut Respectez la fertilisation minérale recommandée pour chaque région, selon **Saouli (2005)**, il faut apporter :

- Avant le semis : 100U de phosphore, 100U de potassium.
- Au semis : 40U d'azote.
- Après chaque coupe : 40U d'azote.

Pour obtenir des rendements optimaux dans des conditions de bonne fertilité du sol, une variété à cycle de croissance court a besoin de 500 à 600 mm de pluie bien

répartie, et 650 à 800 mm pour une variété de cycle de croissance moyenne; et 950-1100 mm pour une variété à cycle de croissance long (FAO, 1999).

Le sorgho est sensible à la concurrence des plantes adventices. Il faut désherbez et binez régulièrement entre les pieds (Akanvou *et al.*, 2007 ; Anonyme 2008).

Il faut faire des sarclages : un Premier: 10 à 15 jours après la levée, un deuxième: 15 jours après le premier (Brocke *et al.*, 2008).

Il faut buttez aussi à la montaison (vers le 45<sup>ème</sup> jour après le semis) pour éviter la verse et retenir l'eau dans le champ (Brocke *et al.*, 2008).

Démarrer à 3 plants par poquet 2 à 3 semaines après le semis (Brocke *et al.*, 2008). Et repiquer les pieds issus du démariage dans les poquets vides après une bonne pluie (30 à 40 mm) (Akanvou *et al.*, 2007).

Les maladies les plus importantes sont les moisissures des graines (*Fusarium* sp.), le mildiou (*Sclerospora sorghi*) et la pourriture charbonneuse (*Spacelotheca* sp.).

En cas d'attaque Il faut traiter les semences avec un mélange insecticide-fongicide, et utiliser les variétés améliorées tolérantes, et si l'attaque est sévère, il faut faire appel à un traitement phytosanitaire (Brocke *et al.*, 2008).

Les insectes ravageurs sont les foreurs de tiges, les pucerons qui s'attaquent aux feuilles et la cécidomyie (mouche) des fleurs. La lutte chimique ne se justifie que dans les cultures intensives. Les méthodes de lutte contre les insectes sont généralement basées sur des techniques culturales :

- élimination des résidus de récolte,
- semis groupés
- rotation avec le coton ou des légumineuses (Akanvou *et al.*, 2007).

Le sorgho à de faibles besoins en eau, il est connu pour sa résistance à la sécheresse, il n'est pas nécessaire de l'arroser pendant son cycle de végétation

(**Anonyme, 2008**). Il reste sensible à un déficit hydrique entre le gonflement et la floraison, mais cette période critique est très courte (25 jours) (**Anonyme, 2012**).

### 1.5.5 RECOLTE

Récolter le sorgho à la maturité physiologique (lorsque les 2/3 des feuilles de la plante sont jaunes), environ 45 jours après la floraison (**Akanvou et al 2007**).

Dans les pays en développement, presque tout le sorgho est récolté à la main. La panicule est coupée à partir du pédoncule lorsque le taux d'humidité est d'environ 16 à 20%. Chez d'autres communautés, les tiges sont coupées et stockées pour être utilisées comme aliment de fourrage en saison sèche, ou pour la confection clôtures (**FAO, 1999**).

## 2. LE SEIGLE

**Noms vernaculaires ;** Seigle (**Brink & Belay, 2006**).

**Nom scientifique :** *Secale cereale* L. (Nombre de chromosomes :  $2n = 14$ )

**Tribu :** *Triticeae* (**Poulain, 2012**).

### 2.1 ORIGINE ET UTILISATION

Le seigle est une espèce annuelle, diploïde ( $2n = 14$ ) ayant un port ressemblant à celui du blé mais qui, contrairement aux autres céréales majeures, est principalement, bien que non exclusivement, de fécondation croisée (allogame).

On ne connaît pas exactement le centre d'origine du seigle, mais son centre de diversité actuel se trouve dans les régions montagneuses de l'Afghanistan, de l'Iran et du Proche-Orient. Si le grain de seigle est utilisé pour l'alimentation humaine, au niveau mondial il est plus important pour l'alimentation animale. On en fait du pain, des gâteaux, des biscuits salés, etc. Le grain entier ou brisé peut servir à la fabrication du pain ; pour les gâteaux, le grain doit être moulu (**Brink & Bealy, 2006**).

## 2.2 DESCRIPTION

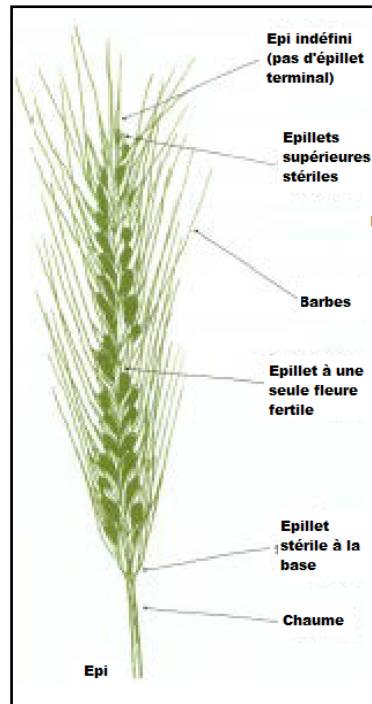
A maturité le port du seigle peut atteindre 1,80 m, bien que des variétés à croissance végétative plus réduite aient été sélectionnées au cours des dernières décennies. La croissance est déterminée et les épis sont produits de façon synchronisée à l'apex des chaumes fertiles (**FAOSTAT, 2001**). Le seigle est généralement plus robuste et plus grand que l'avoine et l'orge. Sur terre fertile, il peut atteindre 5 pieds (152,4 cm) de hauteur et même plus. La tige se termine par une tête ou épi. Ses racines partent dans toutes les directions et peuvent descendre à une profondeur de 6 pieds (**Ministère de l'Agriculture de Canada, 1975**).

La tige (chaume) érigée, mince, creuse sauf aux nœuds, glabre mais pubescente à proximité de l'épi, produisant des talles et des racines à la base; système racinaire étendu, pénétrant jusqu'à 2 m de profondeur.

Les feuilles sont alternes molles, planes, assez larges, à ligule courte et tronquée (**Clerget, 2011**).

Les épillets sont alternes (**Brink & Belay, 2006**), solitaires et dans chaque creux de l'axe de l'épi et ils sont serrés contre lui. Ils forment un épi cylindrique (**Clerget 2011**), de 7- 15 cm de long, argue, très barbu (**Brink & Belay, 2006**). Ils contiennent de deux à quatre fleurs, les deux fleurs de la base étant les seules fertiles. Les glumes sont courtes et pliées. Les glumelles sont presque égales et la glumelle inférieure est toujours longuement aristée (**Clerget, 2011**).

Un seul épillet, inséré à chaque nœud du rachis, contient 3 fleurs dont seulement deux sont en général fertiles. Environ 20 à 30 épillets forment l'épi. Les fleurs sont hermaphrodites et d'une structure semblable à celles du blé et de l'orge, mais les glumelles s'entrouvrent à l'anthèse et les étamines deviennent exposées ce qui facilite la fécondation croisée. La fleur présente trois étamines et les stigmates sont directement portés par le carpelle (**Clerget, 2011**). Les caryopses, plus allongés et plus étroits que ceux de l'orge et le blé, sont fortement invaginés sur leur longueur (**Figure 11**) (**FAOSTAT, 2001**) oblongs, poilus au sommet, libres à la base. Il n'y a plus qu'une seule espèce de seigle qui soit encore cultivée : *Secale cereale* L. (**Clerget, 2011**).



**Figure 11.** Epi de seigle (Poulain, 2012)

## 2.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES

### 2.3.1 CLIMAT

Cette espèce possède une photosynthèse en C3 et est parmi les céréales majeures des régions tempérées, celle qui est adaptée aux conditions climatiques et édaphiques les plus extrêmes. Les graines peuvent germer à des températures de 1°C et la plante arrive à produire ses graines à des températures aussi basses que 12°C.

### 2.3.2 BESOIN EN EAU

Le seigle tolère la sécheresse. La floraison est favorisée par un temps sec et ensoleillé. Des pluies incessantes, une humidité élevée et des températures basses freinent la pollinisation, ce qui empêche en partie la formation des grains (**Brink & Belay, 2006**).

### 2.3.3 SOL

Le seigle est unique parmi les céréales principales pour son adaptation aux sols acides de type podzolique possédant des pH entre 3.8 et 4.5. Son système racinaire, très développé et très ramifié, peut atteindre plus de 2 m de longueur ce



qui permet à la plante de croître sur des sols sablonneux et dans des habitats relativement secs (**FAOSTAT, 2001**).

La culture du seigle peut se pratiquer sur des sols bien aérés de tous types dont le pH est de 5-7,5, mais c'est principalement sur des sols légers sableux et tourbeux qu'il est cultivé (**Brink & Belay, 2006**). C'est une plante très rustique (**Clerget, 2011**).

De toutes les céréales, c'est le seigle qui peut être cultivé sur les terres les plus pauvres; celles qui ne sont pas assez bonnes pour le seigle ne se prêtent généralement pas à d'autres cultures (**Poulain, 2012**).

Toutes ces particularités font du seigle une céréale adaptée à des conditions climatiques et édaphiques qui sont défavorables à la croissance du blé. Il n'est donc pas étonnant que le seigle ait été considéré "le blé des pauvres" dans les régions les plus septentrionales de l'Europe et dans les régions où la pluviométrie est limitée (**FAOSTAT, 2001**).

## **2.4 TECHNIQUES CULTURALES**

### **2.4.1 PLACE DANS LA ROTATION**

Il trouve bien sa place en paille secondaire, en faisant succéder une légumineuse ou une culture de fin de rotation (sarrasin, tournesol) car il épuise le sol. Pas de retour sur lui-même ni sur triticale dans les 7 ans à suivre (Ergot) (**Anonyme, 2015**).

### **2.4.2 PREPARATION DU SOL**

Préparer le sol à l'automne ou au printemps au moyen de la charrue, de la déchaume use ou de la herse (**Ministère de l'agriculture de Canda, 1975**).

### **2.4.3 SEMIS**

Le moment le plus favorable au semis du seigle d'hiver se situe habituellement entre la mi-septembre et la mi-octobre. Les graines peuvent se semer manuellement à la volée, mais elles ont besoin d'être recouvertes pour permettre une germination

correcte. Les conditions les plus favorables sont obtenues en plantant par un semoir mécanique à une profondeur homogène de 2-4 cm sur des lignes espacées de 10-25 cm. Les densités de semis varient de 100-150 kg/ha, pour obtenir une densité optimale de 200-300 plantes/m<sup>2</sup> (**Brink & Belay, 2006**).

Le seigle de printemps demande d'être semé le plus tôt possible, si nécessaire même en hiver si les conditions du sol sont réunies pour préparer le lit de semis.

Le seigle de printemps, qui ne talle pas beaucoup, exige une densité de semis plus importante (150- 200 kg/ha) que le seigle d'hiver, et demande à être semé le plus tôt possible, si nécessaire même en hiver si les conditions du sol sont réunies pour préparer le lit de semis (**Brink & Belay, 2006**).

#### 2.4.4 ENTRETIEN

La quantité d'engrais nécessaire est en grande partie liée au rendement espéré ; environ 20 kg d'azote, 4 kg de phosphore et 13 kg de potassium sont absorbés du sol pour chaque tonne de grain produit. Près de 75-80% d'azote et de phosphore sont exportés par les grains, tandis que 75% de potassium reste dans la paille. L'azote est souvent le nutriment le plus limitant pour le rendement. Pour des rendements supérieurs à 5 t/ha, il est préférable de fractionner l'apport d'azote (**Brink & Belay, 2006**).

Après un hiver rigoureux, ayant soulevé la terre et déchaussé les seigles, un croskilling ou un roulage peuvent s'imposer. Le désherbage doit s'effectuer dans les mêmes conditions qu'un blé (**Moule, 1971**). Mais le seigle reste très compétitif, il limite l'infestation des mauvaises herbes annuelles habituelles (**Roux, 2014**).

Le seigle est tolérant aux maladies, mais il peut être attaqué, après la germination par la fusariose (*Fusarium nivale*) qui peut provoquer des pertes en plantes considérables, et la rouille brune (*Puccinia recondita*) peut endommager gravement les feuilles et les tiges. La maladie la plus remarquable est l'ergot (*Claviceps purpurea*) (**Brink & Belay, 2006**).

### 2.4.5 RECOLTE

Le seigle est récolté lorsque la teneur en humidité du grain est inférieure à 15%. La récolte peut s'effectuer à la main ; on peut utiliser les mêmes méthodes que celles utilisées pour le sorgho et les millets pour la moisson, le battage, le ramassage et le stockage. Pour moissonner mécaniquement, il vaut mieux attendre que la teneur en humidité doit descendre en dessous de 16% (**Brink & Belay, 2006**).

## 3. Le MAÏS

**Noms vernaculaires :** Maïs (**Brink & Belay, 2006**). Millette, blé de Turquie, blé d'hiver.

**Nom scientifique:** *Zea mays* L. subsp. *Mays* (Nombre de chromosomes  $2n = 20$ ).

**Tribu :** *Andropogoneae* (**Poulain, 2012**).

### 3.1 ORIGINE ET UTILISATION

La culture du maïs a probablement commencé en Amérique centrale, notamment au Mexique, d'où elle s'est propagée jusqu'au Canada en direction du nord, et jusqu'en Argentine vers le sud (**FAO, 1999**).

Le maïs, est une plante monoïque cultivée comme une plante annuelle mais qui peut se comporter sous certaines conditions comme une plante bisannuelle. Elle se reproduit par fécondation croisée (allogame) contrairement à la plupart des autres céréales.

Sur le plan botanique, le maïs (*Zea mays*), de la famille des graminées, est une haute plante annuelle au système racinaire fibreux abondant. Il s'agit d'une espèce à pollinisation croisée, où les inflorescences femelles (épis) et mâles (panicules) occupent des endroits distincts sur la plante. Les épis, souvent à raison d'un par tige, sont les structures où se développent un nombre variable de rangées (de 12 à 16) de grains, qui fourniront de 300 à 1000 grains pesant entre 190 et 300 g par 1000 grains. Le poids dépend de facteurs génétiques, environnementaux et agronomiques. Le grain représente environ 42 pour cent du poids sec de la plante. Les grains sont le plus souvent de couleur blanche ou jaune, mais on en trouve également de noirs, de rouges

et de mélangés. Il existe un certain nombre de types de grains, que distinguent des différences tenant aux composés chimiques qui y sont emmagasinés (**Poulain, 2012**).

La fixation du carbone chez le maïs est effectuée par le système photosynthétique en. Ce type de photosynthèse confère au maïs une plus grande efficacité pour fixer le CO<sub>2</sub> atmosphérique comparé aux autres céréales majeures (**FAOSTAT, 2001**).

En fonction de la texture de l'albumen du grain on distingue plusieurs sous-espèce de maïs, dont : Le maïs denté, le maïs pop corne, le maïs doux et le maïs **circoux**. Après le blé et le riz, c'est la céréale la plus répandue dans le monde(**Poulain, 2012**).

Le maïs fournit des éléments nutritifs aux humains et aux animaux et sert de matière première à l'industrie pour la fabrication d'amidon, d'huile et de protéines, de boissons alcooliques, d'édulcorants alimentaires et, plus récemment, de carburant (**Poulain, 2012**).

### 3.2 DESCRIPTION

La hauteur du maïs varie de moins de 0,6 m chez certains génotypes à plus de 5,0 m (dans les cas extrêmes) chez d'autres. La tige est unique et grosse (3 à 4cm de diamètre), remplie de moelle (**Poulain, 2012**), cylindrique, solide et clairement divisée en nœuds et entre-nœuds. Il peut avoir huit à 21 internodes. Les entre-nœuds directement au-dessous des quatre premières feuilles ne s'allongent pas, tandis que ceux situés en dessous des sixième, septième et huitième feuilles s'allongent respectivement à environ 25, 50 et 90 mm. Les talles peuvent se développer à partir de nœuds situés sous la surface du sol (**du Plessis, 2003**).

Les feuilles sont alternes simples, gaine se chevauchant, munie d'auricules à l'extrémité; ligule d'environ 5 mm de long, incolore; limbe linéaire lancéolé, de 30-150 cm x 5- 15 cm), acuminé, bords lisses, nervure médiane prononcée (**Brink & Belay, 2006**) et tombante (**Poulain, 2012**), de texture coriace, voir même abrasive chez certaines variétés (**FAOSTAT, 2001**), parallèles. Les feuilles sont insérées

alternativement aux nœuds des chaumes par la gaine dans la zone de la ligule (**FAOSTAT, 2001**).

La plante de maïs développe deux sortes d'inflorescences. Les épis femelles sont insérés latéralement le long des chaumes. Ils présentent un rachis fortement condensé sur lequel s'insèrent plusieurs rangées de fleurs femelles par groupe de deux pour chaque épillet dont la structure n'est pas évidente (**FAOSTAT, 2001**).

Inflorescence males et femelles séparées sur la même plante; inflorescence male : panicule terminale atteignant 40 cm de long, contient de nombreuses fleurs mâles protégées par des glumelles membraneuses bien développées (**Figure 12**) (**FAOSTAT, 2001**), à rameaux latéraux pourvus d'épillets de 8-13 mm de long, disposés en paires, l'un sessile et l'autre courtement pédicelle, chacun des épillets avec 2 glumes et 2 fleurs dont chacune comporte une lemme ovale, une mince paléole, 2 lodicules charnues et 3 étamines ; inflorescence femelle: épi modifié, généralement 1-3 par plante, situé à *l'aisselle* des feuilles et dispose à mi-hauteur de la tige, se composant d'un axe épais et spongieux (la "rafle") garni d'épillets sessiles disposés en paires sur 8- 20 rangs longitudinaux et enfermés par 8-13 feuilles modifiées (spathes), épillet à 2 glumes et 2 fleurs, fleur inférieure stérile, constituée uniquement d'une lemme et d'une paléole courtes, fleur supérieure munie d'une lemme et d'une paléole courte et larges, d'un ovaire supérieur unique surmonté d'un style et d'un stigmate longs et filiformes ("soie") atteignant 45 cm de long et dépassant de l'extrémité de l'inflorescence, l'ensemble étant réceptif sur presque toute sa longueur (**Brink & Belay, 2006**) (**Figure** ). La partie supérieure de l'inflorescence qui est entourée par plusieurs feuilles modifiées (**Figure 12**) (**FAOSAT, 2015**).

Le fruit est un caryopse (grain), habituellement obovale et en forme de coin, de couleur variée, allant du blanc au presque noir, en passant par le jaune, le rouge et le violet ; grains réunis en nombre allant jusqu'à 1000 sur une inflorescence (l'épi), celle-ci étant enfermée dans des feuilles modifiées de 45 cm X 8 cm (**Brink & Belay, 2006**). Les grains ne peuvent pas se ressemer sans intervention humaine et le maïs n'existe pas à l'état sauvage (**Poulain, 2012**).

Le système racinaire constitue de racines adventives qui se développent à partir des nœuds inférieurs de la tige à proximité de la surface du sol, appelé racines d'ancrage

(Poulain, 2012), et se limitent généralement aux premiers 75 cm du sol, mais dont certaines racines pénètrent parfois jusqu'à plus de 2 m de profondeur (Brink & Belay, 2006 ; du Plessis, 2003).

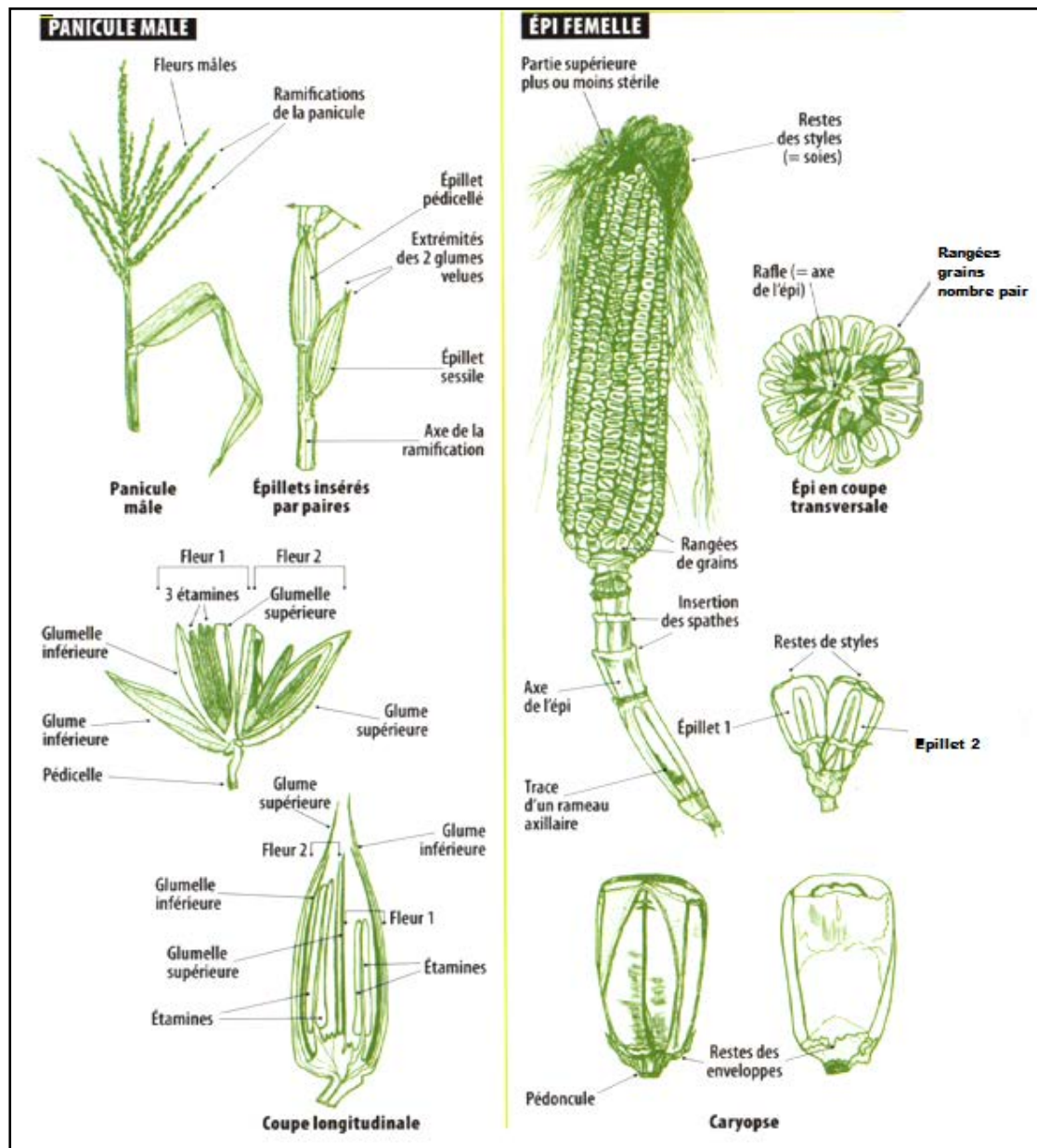


Figure 12. Appareil reproducteur du maïs (Poulain, 2012).

### 3.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES

#### 3.3.1 CLIMAT

L'origine d'évolution du maïs se fit dans les régions subtropicales (et tropicales en altitude). Cette plante, du fait de sa photosynthèse en C4 est très productive dans les régions à haut taux d'ensoleillement et de températures élevées pendant la période de croissance. Le maïs est une culture par temps chaud et n'est pas cultivé dans les zones où la température moyenne quotidienne est inférieure à 19 °C ou où la moyenne des mois d'été est inférieure à 23°C (**du Plessis, 2003**).

Les variétés cultivées au sud du Canada complètent leurs cycles de croissance et de reproduction en 3 à 4 mois. Par comparaison les variétés cultivées dans les basses terres des régions subtropicales le font en 5 à 7 mois (**FAOSTAT, 2001**).

La température de germination est de 8 à 12°C et 18°C pour la floraison. Le maïs craint les températures élevées durant la phase de floraison (il ne faut pas que la température dépasse 30°C) (**Saouli, 2005**).

#### 3.3.2 BESOIN EN EAU

Il est moins résistant à la sécheresse que le sorgho, le mil et l'éleusine. Sous les tropiques, il pousse mieux *là ou il* tombe 600-900 mm de précipitations bien réparties pendant la saison de croissance. Il est particulièrement sensible à la sécheresse et à des températures élevées au moment de la floraison (**Brink & Belay, 2006**). Un rendement de 3 152 kg / ha nécessite entre 350 et 450 mm de pluie par an à maturité (**du Plessis, 2003**).

#### 3.3.3 SOL

Le maïs peut se cultiver sur toutes sortes de sols, mais ce sont les sols profonds, bien drainés et bien aérés, contenant suffisamment de matière organique et bien approvisionnés en nutriments qui lui réussissent le mieux. On peut le cultiver sur des sols dont le pH est de 5-8, mais l'idéal est 5,5- 7. Il ne tolère pas l'asphyxie racinaire et il est sensible à la salinité (**Brink & Belay, 2006**).

Il préfère les sols qui s'y prêtent à l'irrigation. Le maïs améliore la structure du sol par l'effet mécanique de ses puissantes racines et par les apports de matière organique de ses résidus de récolte (tiges et racines) (**Saouli, 2005**).

### **3.4 TECHNIQUES CULTURALES**

#### **3.3.1 PLACE DANS LA ROTATION**

La pratique de rotation avec des légumineuses est indispensable pour maintenir la fertilité des sols tout en réduisant les besoins en engrais chimiques ou organiques (**FAOSTAT, 2001**). La culture du maïs est exigeante et appauvrit les sols lorsqu'elle est pratiquée de façon continue (**FAOSTAT, 2001**). Le maïs est une plante sarclée qui peut venir en tête de rotation. La culture de légumineuses (améliorante) est un bon précédent de maïs (**Saouli, 2005**).

#### **3.4.2 PREPARATION DU SOL**

Il faut créer un bon lit de semence pour une levée rapide et régulière (**Saouli, 2005**).

#### **3.3.2 SEMIS**

La profondeur de semis doit être de 3 à 5cm. Date de semis est à partir de 15 mars au 15 avril à une dose de 100.000 grains/ha, soit 25 à 3 kg/ha avec 40 cm entre ligne et 25cm entre grains (**Saouli, 2005**).

#### **3.4.4 ENTRETIEN**

Il faut apporter 200U/ha d'azote (fractionner ; 50U/ha au semis, 60U/ha au stade 8 feuilles, 70U/ha au stade montaison et 20U/h au stade floraison), et en fumure de fond apporter 80U/ha d'acide phosphorique et 210U/ha de potasse (**Saouli, 2005**).

Les besoins de la plante varient de 6000 m<sup>3</sup> à 9000 m<sup>3</sup>, la période critique est 15 jours avant et après la floraison, période dans laquelle se détermine le nombre de grains par épi (**Saouli, 2005**).

Il faut lutter contre les adventices de cette plante et les ravageurs et les maladies, comme il faut lutter contre les maladies et les ravageurs (**Brink & Belay, 2006**).



### 3.4.5 RECOLTE

Pour la production de grains, l'humidité doit être de 30 à 35%. Pour la production de fourrage en vert, il faut récolter au stade grain laiteux (**Saouli, 2005**).

## 4. L'ORGE

**Nom vernaculaire :** Escourgeon (orge d'hiver à 6 rangs), paumelle (orge à 2 rangs)

**Nom scientifique** *Hordeum vulgare* L. (Nombre de chromosome n= 42)

**Tribu :** *Triticeae* (**Poulain, 2012**).

### 4.1 ORIGINE ET UTILISATION

L'orge est la quatrième céréale la plus cultivée dans le monde, elle est la céréale la plus ancienne, présente déjà au Néolithique (7000 ans avant J.C.), elle descend d'un ancêtre sauvage rencontrée au Proche et Moyen-Orient. Les orges à deux rangs sont les premiers à apparaître après sont apparus les orges à 6 rangs par une simple mutation lors des processus de domestication (**Poulain, 2012**).

C'est la céréale la plus étendue dans le monde depuis les tropiques jusqu'à la zone arctique (Canada, Suède), et supportes les températures élevées, et aussi l'altitude (Himalaya) (**Poulain, 2012**).

Contrairement au blé, où l'on retrouve plusieurs niveaux de ploïdie, l'orge spontanée et l'orge cultivée sont des espèces diploïdes possédant le même nombre (*Triticeae*) que le blé, est placée dans la sous-tribu *Hordeinae* du fait de différences au niveau de la structure de ses épis (**FAOSTAT, 2015**) (**Figure 13, 14**).

L'orge a été domestiquée en Asie occidentale avant 7000 av. J.-C. Sa culture s'est répandue dans le nord de l'Afrique et a remonté le Nil jusqu'à atteindre l'Ethiopie, où elle est devenue l'une des céréales les plus importantes (**Brink & Belay, 2006**).

A l'échelle mondiale et par ordre d'importance, l'orge est utilisée en alimentation du bétail, pour le maltage (notamment en brasserie) et en alimentation humaine (**Brink & Belay, 2006**).

## 4.2 DESCRIPTION

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une plante annuelle, autofécondée très semblable au blé dans la morphologie de ses organes végétatifs et floraux (FAOSTAT, 2015). Elle est de 60 cm à 1 m de haut, à tige plus fine que le blé, avec tallage supérieure à celui du blé, système racinaire plus superficielle.

Le feuillage est de couleur vert pale, plus au moins jaunâtre, est constitué de feuilles larges, plates longues, aigues au sommet, sans poiles ni sur le limbe ni sur la gaine, elles présentent une ligule bien développée et de grandes oreillettes glabres, plus au moins anthocyanées qui entourent la tige.

L'inflorescence est un épi retombant à maturité, constitué d'épillets uniflore insérées par trois à chaque article de rachis, alternativement de part et de d'autre de l'axe, les trois fleurs son fertiles dans le cas de l'escourgeon ou orge à 6 rangs et seule la fleure centrale est fertile dans le cas de l'orge à 2 rangs, où les deux fleures latérales son présentent mais stériles (Figures 13 et 14).

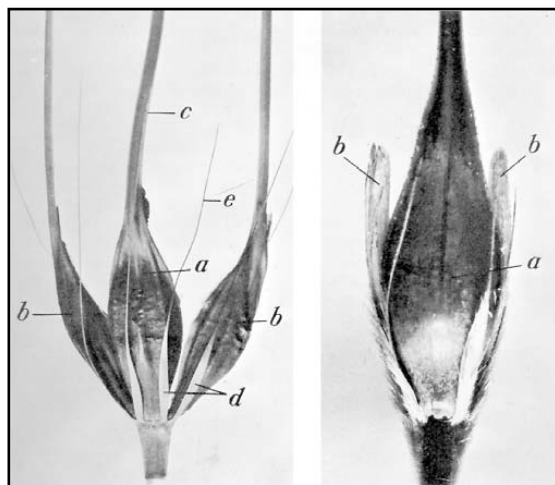
Les glumes ont réduite et étroites, et les glumelles inférieures sont prolongées par une barbe plus ou moins épineuses, éliminé par le battage. Chez les orges à 2 rangs, les épillets latéraux n'ont pas de barbe.

Les grains issus après battage sont vêtus des glumelles qui adhèrent au caryopse. Chez l'orge à 6 rangs, les grains latéraux sont un peu plus petits que les graines centrales (Poulain, 2012).

Contrairement à l'épi de blé (et ceux d'autres genres de la sous-tribu *Triticinae*) qui n'a qu'un seul épillet inséré à chaque noeud du rachis, l'épi d'orge comportent deux épillets par nœud. Chaque épillet d'orge produit une seule fleur fertile, contrairement aux épillets de blé qui peuvent produire de 3 à 5 fleurs chacun. Cependant l'orge et le blé sont génétiquement assez proches pour permettre la production d'hybrides intergéniques sous conditions expérimentales, bien que la fertilité des plants hybrides obtenus soit très réduite.



**Figure 13.** Epi d'orge, A : orge à six range, B : orge à deux rangs (Moule, 1971).



**Figure 14.** Orge. Gauche: Épillet d'orge à 6 rangées, droite: épillet d'orge à 2 rangées. A- Caryopse central; B.- Caryopses latéraux; C.- Pointe; D- Glumes; E.- Pointe de la glume (Moule, 1971).

### **4.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES**

#### **4.3.1 CLIMAT**

Considérant l'origine de l'orge et ses caractéristiques de croissance, les conditions écologiques propices à sa culture devraient être relativement similaires à celles décrites pour le blé. Cependant, cette espèce possède un potentiel d'adaptation supérieur à celui du blé, comme le démontrent les nombreuses variétés issues des programmes de sélection et d'amélioration génétique plus récents (**FAOSTAT, 2015**).

La culture de l'orge se fait autant dans les régions froides délimitées aux latitudes 55- 65°N que dans les régions tropicales et sub-tropicales en altitude qui possèdent une saison sèche prolongée. L'orge est ainsi cultivée dans des pays comme le Canada, la Finlande, la Russie et la Suède. L'orge est plus tolérante aux conditions extrêmes de température que le blé (**FAOSTAT, 2015**). De nombreuses variétés hâtives d'orge ont été sélectionnées pour être cultivées dans les régions tempérées. Cet avantage prévaut en haute altitude dans les régions tropicales et subtropicales où des variétés peuvent être cultivées avec succès jusqu'à près de 3 500 m d'altitude dans les Andes, en Afrique de l'Est et dans les régions montagneuses de l'Asie du sud. Des variétés résistantes à la sécheresse et aux températures élevées ont aussi été développées pour les régions semi-désertiques d'Afrique du Nord et de l'Est, d'Asie centrale, de Chine, du Pakistan, d'Inde et d'Australie.

De façon similaire aux autres céréales originaires des régions tempérées, la culture de l'orge n'est pas favorisée sous des conditions des climats tropicaux chauds et humides (**FAOSTAT, 2015**).

#### **4.3.2 BESOINS EN EAU**

Le stress hydrique qui parvient à n'importe quel stade de la culture d'orge peut causer des chutes irréversibles de la croissance et du développement de l'orge pouvant causer des chutes de rendement. La sévérité de la chute de rendement dépend du moment pendant lequel la culture a subi le stress, de la durée, et de sa sévérité. La chute de rendement qui s'en suit peut être due à une réduction du tallage, la réduction du nombre de grains, et du poids de 1000 grains (**Alaoui, 2003**).

Les besoins en eau d'irrigation pour l'orge dépendent de la variété, des conditions climatiques (température et pluviométrie) et du rendement objectif. Pour atteindre un rendement optimum, l'orge a besoin d'une quantité d'eau comprise entre 390 et 430 mm. Pendant les premiers stades de croissance, la culture d'orge utilise une quantité d'eau comprise entre 1 et 3 mm/jour et qui puisse atteindre 7 à 8 mm/jour pendant la phase de feuille étandard. Dans des sols adaptés à l'irrigation, l'orge développe un système racinaire actif sur environ 1 m de profondeur. Environ 70 % des besoins de la culture en eau proviennent des premiers 50 cm du système racinaire, cependant, la culture peut prélever l'eau à une profondeur d'environ 1,0 m (**Alaoui, 2003**).

### 4.3.3 SOL

La production d'orge est optimisée sur des sols alcalins à légèrement acides à texture moyenne et bien drainés mais produit peu sur des sols sablonneux, pauvres et fortement acidifiés ( $\text{pH} < 4.7$ ) (**FAOSTAT, 2015**).

Les terres lourdes, humides, tourbeuses sont défavorables. Par contre s'accommode très bien des terres légères, peu profondes, sur sous-sol calcaire (rendzines). Ceci explique la localisation très ancienne de cette culture en Champagne, Berry, Gâtinais. Il lui faut cependant, comme le blé, un sol bien rassis (**Moule, 1971**).

Cette espèce est aussi tolérante à la salinité. Certaines variétés, comme la variété "Mariout", sont cultivées dans le delta du Nil et dans les sols salins de diverses régions du monde où les concentrations de sels dépassent les 3500 ppm (équivalents  $\text{Na}^+$ ) (**FAOSTAT, 2015**).

#### **4.4 TECHNIQUES CULTURALES**

##### **4.5 4.4.1 PLACE DANS LA ROTATION**

L'orge peut venir après le blé ou se succéder à elle même pendant 2 à 3 ans. L'orge de printemps vient après une plante sarclée récoltée tard : maïs ou betterave, ou choux fourragers. L'orge d'hiver suit les récoltes précoces: colza, protéagineux, ou même maïs ou betterave fourragères lorsqu'ils libèrent le sol avant 15 octobre. De printemps ou d'hiver, les orges libèrent le champ plus tôt que les autres céréales d'où leur intérêt comme précédent de la luzerne et du colza que l'on doit implanter tôt, avant fin septembre pour qu'ils résistent au gelées d'hiver (**Soltner, 2005**).

##### **4.3.2 PREPARATION DU SOL**

Les méthodes de culture sont semblables à celles utilisées pour le blé et l'évolution des techniques de préparation des sols, semences, irrigation, moisson, etc., a été similaire à celle développées pour le blé au cours des derniers 10 000 ans (**FAOSTAT, 2015**).

Les exigences de l'orge en ce qui concerne le lit de semences sont identiques à celles du blé : surface légèrement motteuse, absence de creux ou de zones excessivement tassées (**Gautier, 1991**).

L'orge nécessite comme le blé un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 20 à 25 cm, avec une structure fine à la surface (**Saouli, 2005**). L'orge, exige un lit de semence normalement rassis en profondeur. La séquence de travail de sol à recommander dépend de la nature de la culture précédente (**Alaoui, 2003**).

##### **4.3.3 SEMIS**

La période de semi d'orge d'hiver est de fin octobre au début novembre. D'une façon générale, les meilleurs rendements et la meilleure qualité sont obtenus pour des orges semées précocement. Il faut utiliser des semences sélectionnées et traitées de faculté germinatives de 95 à 98% (Saouli, 2005). A une profondeur de 4 à 5cm, et une dose de 150 à 160 kg/ha (**Alaoui, 2003**).

Les orges de printemps doivent être semées le plus tôt possible, en mars à dose assez faible (90 à 120 kg par hectare selon la qualité du terrain et la richesse du sol). En régions froides, on ne sème qu'en avril en raison des gelées printanières. Le retard dans le semis se traduit par une baisse de rendement. L'enterrage de semences d'orge ne doit pas être trop profond (2 à 4 cm) (**Henri, 1968**).

Le cycle d'orge dure 11 mois, il est récolter un peu plus tard que le blé tendre (**Poulain, 2012**).

#### 4.3.4 ENTRETIEN

Il faut apporter 4 qx de Triple superphosphate (TSP) comme fumure de fond et 4 à 6 qx d'urée comme fumure d'entretien, il faut apporter ces fertilisant avec l'eau d'irrigation (**Saouli, 2005**). L'orge, exporte 2,5 – 3 kg/q d'azote par quintal de récolte, 1 à 1,5 kg/q de phosphore par quintal de récolte et 2 à 3 kg/q de phosphore par quintal de récolte.

L'orge résiste mieux à la sécheresse que le blé en raison de système racinaire un peu profond, il lui faut au moins 500 mm d'eau pour atteindre le rendement économique (**Saouli, 2005**).

Il faut lutter contre les mauvaises herbes par :

La lutte mécanique ; dès le mois de septembre, irriguer les parcelles pour favoriser la germination des mauvaises herbes et du précédent cultural, après leur levée, procéder à leur enfouissement (**Saouli, 2005**).

La lutte chimique, en utilisant les désherbants polyvalents (**Saouli, 2005**). En effet, l'orge est une plante à forte capacité compétitive, mais une bonne conduite du désherbage permet d'améliorer les rendements en quantité et en qualité. Ce sont les espèces automnales et hivernales qui posent le plus de problème à l'orge. Par conséquent, un désherbage précoce est nécessaire. Les produits recommandés sont les même que ceux utilisés pour le désherbage du blé dur et blé tendre (**Alaoui, 2003**).

En cas de maladies, il ne faut pas tarder à appliquer le fongicide adéquat Le charbon couvert, le charbon nu, et l'helminthosporiose sont les maladies foliaires les

plus courantes chez la plupart des variétés d'orge. En présence d'une maladie, il ne faut pas succéder à une culture d'orge une autre orge, pour minimiser les risques de perte de rendements (**Alaoui, 2003**).

Pour atteindre un rendement optimum, l'orge a besoin d'une quantité d'eau comprise entre 390 et 430 mm. Pendant les premiers stades de croissance, la culture d'orge utilise une quantité d'eau comprise entre 1 et 3 mm/jour et qui puisse atteindre 7 à 8 mm/jour pendant la phase de feuille étendard (**Alaoui, 2003**).

#### 4.4.5 REOLTE

La récolte se fait quand le grain est cassant sous la dent, à 14 ou 15 % d'humidité (**Marguerie, 2017**).

### 5. L'AVOINE

**Nom vernaculaire :** Avoine, avoine cultivée (**Brink & Belay, 2006**).

**Nom scientifique :** *Avena sativa* L. (Nombre de chromosome  $2n = 42$ ) (Moule, 1971).

Tribu : *Aveneae* (**Poulain, 2012**).

#### 5.1 ORIGINE ET UTILISATION

**Poulain (2012)** a mentionné que l'avoine est originaire d'Asie Mineure. Tandis que **Brink & Belay (2006)** ont mentionné qu'il est connue seulement à l'état cultivée et son origine exacte n'est pas clairement connue. Des grains d'avoine ont été découverts en Egypte. Le plus ancien grain d'avoine a été découvert en Égypte dans les vestiges de la 12e Dynastie, autour de 2000 avant J.-C., et devait probablement provenir de plantes sauvages, puisque l'avoine n'était pas encore cultivée à cette époque (**Anonyme, 2009**).

La plupart des botanistes s'accordent à diviser le genre *Avena* en deux sous-groupes d'espèces :

- les *Euavena* ou avoines annuelles, cultivées ou sauvages, à glumes multinervées.



- les *Avenastrum* ou avoines vivaces, exclusivement sauvages, à glumes à 1-3 nervures.

Toutes les avoines cultivées appartiennent donc au groupe *Euavena* qui comprend de nombreuses espèces.

L'avoine est utilisée en alimentation humaine et animale depuis l'antiquité. Le grain de l'avoine rentre dans la composition de toutes sortes de produits alimentaires, comme des céréales de petit: déjeuner, des bouillies, des biscuits sucrés ou salés, des pains, des petits pains et des amuse-gueules, des boissons, des protéines texturées et des aliments pour bébé. On considère le grain d'avoine comme une bonne source potentielle d'huile de table (**Brink & Belay, 2006**).

## 5.2 DESCRIPTION

L'avoine est une graminée annuelle érigée atteignant 2 m de hauteur (**Brink & Belay, 2006**). Au stade herbacé, l'avoine cultivée se distingue des autres céréales par :

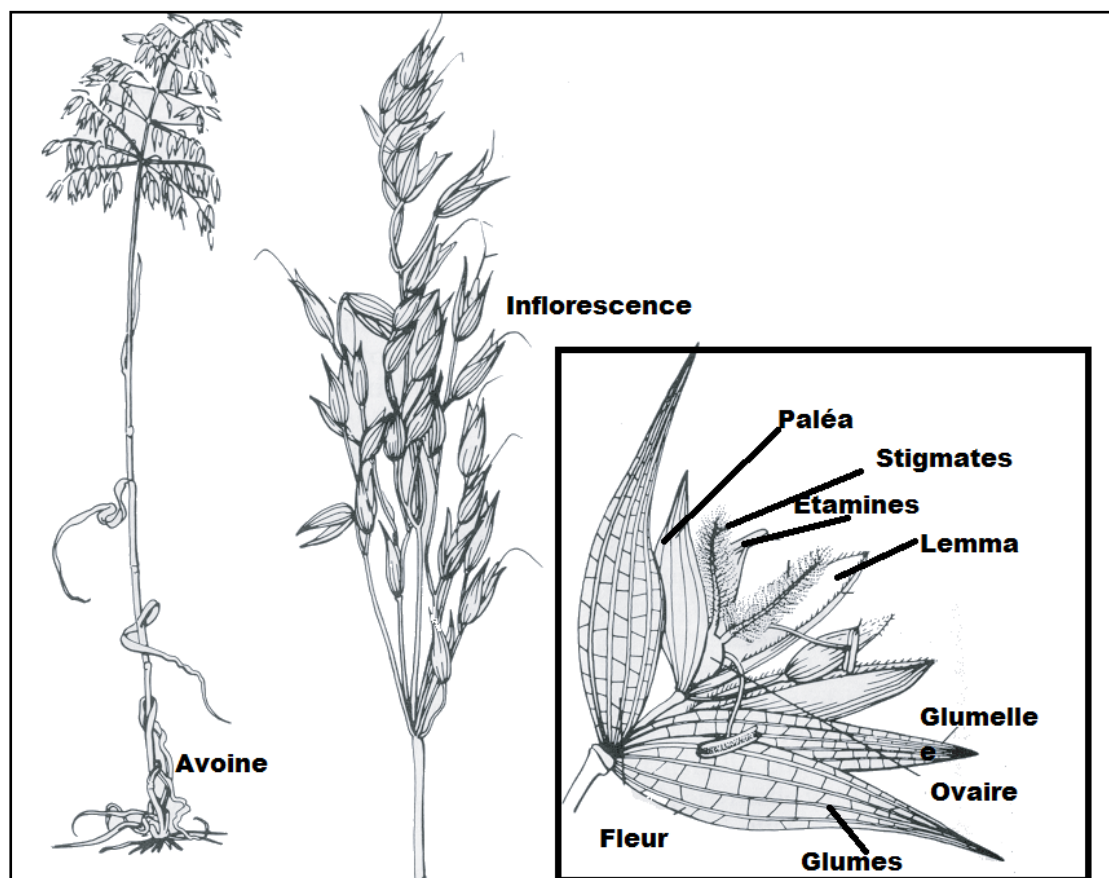
- un feuillage d'un vert bleuté assez foncé, très différent du vert clair de l'orge (**Moule, 1971**). Les Feuilles sont alternes, simples; gaine longue et lâche, arrondies sur le dos; ligule obtuse, membraneuse, de 3-5 mm de long; limbe linéaire, aplati, de 10 à 45 cm x 0,3- 1,5(-2) cm.
- la présence, à la base des limbes, d'une ligule sans oreillette;
- un tallage plus faible que celui de l'orge (a type et stade de développement équivalent);
- un système racinaire fibreux (**Brink & Belay, 2006**), pseudo fascicule, plus profond que celui de l'orge et du blé (**Moule, 1971**).

L'inflorescence est une panicule, c'est-à-dire une grappe d'épillets portés par de longs pédoncules ou racèmes disposés en demi-verticilles (**Moule, 1971**).

L'épillet à pédicelle mince, retombant, de 1,5-3,5 cm de long, habituellement a 2- 3 fleurs (**Figure 15**) (**Brink & Belay, 2006**).

Ces fleurs donnent par autofécondation quasi absolue deux à trois grains. Le grain est formé d'un caryopse velu ou amande et des deux glumelles non adhérentes

de la fleur qui lui a donné naissance. A maturité, ces glumelles sont soit blanches, soit colorées en noir, jaune, gris ou roux. La glumelle inférieure de chaque grain peut porter une arête. La base du grain, après séparation de l'axe de l'épillet, laisse apparaître une plage plus ou moins large ou cicatrice. Enfin, l'entre-noeud du rachillet reste attaché au grain qui lui est juste inférieur forme la baguette (Moule, 1971).



**Figure 15.** Plant, inflorescence et fleur d'avoine (Simpson & Ogorzaly 1995).

Le cycle de développement de l'avoine est identique dans ses grandes lignes, à celui du blé ou de l'orge. La durée entre la floraison et la récolte est d'environ 60 jours au nord-ouest de l'Europe. La durée totale de la culture est de 3 à 6 mois en Ethiopie et au Kenya, et de 6 à 11 mois dans les régions tempérées (Brink & Belay, 2006).

### 5.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES

#### 5.3.1 CLIMAT

L'avoine se cultive surtout sous les climats frais et humides des régions froides tempérées ; c'est principalement une culture de printemps et dans une certaine mesure,

d'automne (**Brink & Belay, 2006**), comme c'est une plante rustique, on peut la trouver jusqu'à 1500m d'altitude (**Poulain, 2012**).

Les variétés d'avoine présentent une sensibilité différente au froid, aussi distingue-t-on, comme pour l'orge, des variétés de printemps a cycle végétatif court qui permettent la culture dans les contrées a climat rigoureux, et les variétés d'automne qui, supportant les froids moyens (jusqu'a -10°C environ), sont préférées dans les régions a hiver plus doux et a été précoce, en raison de leur maturité hâtive et de leur meilleur rendement (**Gautier, 1991**).

Le zéro de germination de l'avoine est très voisin de 0°C. La durée semis levée est cependant généralement plus grande que celle du blé ou de l'orge, en raison de la présence des glumelles et de leur plus grande épaisseur. Le seuil thermique des dégâts foliaires après gel hivernal est comme chez le blé et l'orge, voisin de -8°C. Le seuil thermique de mortalité est de l'ordre de -10 °C sans endurcissement pour les variétés de printemps et -14°C pour les variétés les plus résistantes au froid (grises ou noires d'hiver) (**Moule, 1971**). C'est généralement une plante de jours longs (**Brink & Belay, 2006**).

On distingue les avoines d'hiver et les avoines de printemps :

- Les avoines d'hiver ont des besoins modérés et variétaux en températures vernalisantes. Ces besoins modérés en vernalisation sont corrélatifs d'une aptitude assez médiocre a l'endurcissement et, par voie de conséquence, d'une résistance au froid plus faible que chez le blé ou l'orge.

- Les avoines de printemps n'ont de leur coté, aucun besoin de vernalisation pour monter (**Moule, 1971**).

L'avoine est, d'autre part, une espèce de jour long : la durée de la phase levée-épiaison décroît constamment avec l'allongement du jour jusqu'a un minimum caractéristique de la variété (**Moule, 1971**).

### 5.3.2 BESOINS EN EAU

Les besoins en eau des avoines cultivées sont très élevés, et sont supérieurs à ceux du blé ou de l'orge (1,5 fois ceux du blé environ). L'avoine cultivée exige une maturité sans chaleurs excessives : il y a échaudage physiologique dès que la température dépasse un certain seuil voisin de 28°C (seuil plus faible que chez le blé) (**Moule, 1971**).

### 5.3.3 SOL

L'avoine pousse bien sur toutes sortes de types de sols, à condition que le drainage soit suffisant. Elle pousse sur des sols sableux, à fertilité faible, ou très acides (pH jusqu'à 4, 5), mais c'est sur les sols limoneux bien drainés et fertiles qu'elle réussit le mieux (**Brink & Belay, 2006**).

Traditionnellement, l'avoine est considérée comme la céréale la moins exigeante, quant au sol (nature physique, acidité, fertilité) Cependant, c'est en sols de limons, profonds, bien alimentés en eau, légèrement acides que l'avoine donne, comme le blé, ses meilleurs rendements (**Moule, 1971**).

L'avoine doit sa réputation de céréale « peu exigeante en engrais » à son système racinaire plus profond et plus développé que celui du blé ou de l'orge, ce qui lui permet de mieux utiliser les reliquats de fumure (**Moule, 1971**).

## 5.4 TECHNIQUES CULTURALES

### 5.4.1 PLACE DANS LA ROTATION

En raison de son aptitude à exploiter les reliquats de fumure, l'avoine de printemps, est cultivé après un blé, voir après le seigle (**Pousset, 2014**). Cependant une variété très productive, résistante à la verse peut venir directement derrière un fourrage, voire une plante sarclée, ou en tête d'assolement, sur retournement de prairie par exemple (**Moule, 1971**).

### 5.4.2 PREPARATION DU SOL

Il ne faut pas abuser de la rusticité de l'avoine céréale et préparer d'autant mieux le sol que, soit par sa faible profondeur ou sa texture ou en raison des conditions de l'année, ses réserves en eau seront limitées (**Moule, 1971**).

Cependant, les conditions optimales de germination, puis de croissance de l'avoine sont les mêmes que celles de l'orge ou du blé :

Il faut pratiquer un déchaumage, un labour d'automne, des façons superficielles de printemps, doivent être les mêmes et être réalisées de façon aussi soignée que pour l'orge de printemps (**Saouli, 2005**). Les céréales de printemps ne se prêtent pas, comme le blé d'automne, à la réduction de travail du sol, en raison de leur plus grande sensibilité à la sécheresse et de la difficulté pour les racines à explorer un terrain dont l'ameublissement n'est que superficiel (**Gautier, 1991**).

### 5.4.3 SEMIS

Pour les variétés d'automne, ce sera fin septembre, début octobre (plus tôt que le blé) (**Gautier, 1991**) afin qu'elle ait le temps de prendre assez de force avant les froids.

Pour celles du printemps, elles seront semées en février-mars, suivant les contrées, dès que l'on peut travailler convenablement la terre. Un proverbe dit "*Avoine de février remplit le grenier*" (**Pousset, 2014**). Elle résiste, en effet mieux, à l'envahissement des mauvaises herbes et à la sécheresse si elle est semée de bonne heure. Le rendement est d'autant plus faible que les semences sont tardives.

Il faut utiliser à l'hectare, 120 à 130 kg de semence certifié, si elle provient directement de la récolte fermière, traitée contre les maladies cryptogamiques transmises par le grain. Peuplement souhaitable 200-250 pieds au mètre carré pour l'avoine d'hiver, 300 à 350 pour le semis de printemps (**Gautier, 1991**).

#### 5.4.4 ENTRETIEN

En réalité ses besoins en éléments fertilisants ne sont pas très inférieurs à ceux du blé, seuls limités, du point de vue azote, par le niveau de résistance à la verse de la variété.

Pratiquement : 70 à 80 kg de  $P_2O_5$  et  $K_2O$ , 35 à 70 kg d'azote a l'hectare (suivant la variété et le précédent) constitueront des apports normaux (**Moule, 1971**).

La fumure phosphatée et potassique est de préférence enfouie à l'automne. On utilise le superphosphate et le chlorure de potassium ou un engrais composé correspondant.

La fumure Azoté est tout entière appliquée au printemps : en couverture, le plus tôt possible, pour l'avoine d'hiver, au semis pour celle de printemps. Il faut épandre, suivant le précédent cultural ou l'épuisement du sol, l'azote sous forme ammoniac-nitrique. Il faut tenir compte également de la résistance à la verse de la variété (**Gautier, 1991**).

Les travaux en cours de végétation ne diffèrent pas de ceux du blé : roulage pour l'avoine d'hiver si c'est nécessaire, traitement chimique contre les mauvaises herbes (**Gautier, 1991**).

#### 5.4.5 RECOLTE

A maturité, l'avoine s'égrène facilement. La date choisie pour la moisson doit concilier ce défaut avec la nécessité de ne récolter qu'un grain bien sec, dont la conservation ne présente pas trop de difficultés (**Moule, 1971**).

Les rendements sont très variables selon les conditions atmosphériques de l'année, la nature du sol et sa richesse en éléments fertilisants. Ils vont de 30 à 40 q et plus par hectare (**Gautier, 1991**).

## 6 LE BLE DUR

**Noms vernaculaires :** Blé dur (**Brink & Belay, 2006**).

**Nom scientifique :** *Triticum durum* Desf. (Nombre de chromosomes  $2n=28$ ).

Synonymes : *Triticum dicoccon* Schrank (178H), *Triticum turgidum* L.

**Tribu:** *Triticeae*

### 6.1 ORIGINE ET UTILISATION

La forme sauvage du blé dur est *T. turgidum* subsp. *dicocoides* (körn.) Thell.; elle est localisé dans le croissant fertile. Elle est apparue il y a 200.000 ou 300.000 ans à la suite du croisement entre un blé sauvage (*T. urartu* Tum) et *Ægilops speltoides* Tausch. Et a donné naissance à de nombreuses sous-espèces, dont l'amidonnier *T. turgidum* L. subsp. que les Romains ont longtemps cultivé (« farine » vient du mot latin *far* qui désignait la forme non barbue de l'amidonnier), et le blé dur. Ces espèces ont été domestiquées dès le X<sup>e</sup> millénaire avant J.-C. On trouvait le blé dur dès le VII<sup>e</sup> millénaire en Turquie et en Syrie, puis en V<sup>e</sup> millénaire en Grèce et dans l'ouest de la Méditerranée. Il n'est arrivé en Egypte que vers 3000 av. J.-C. (**Poulain, 2012**).

*Triticum durum* se subdiviser en trois sous-espèces : *méditerranée*, *syriacum*, et *européum*, correspondant chacune a un centre de diversification déterminé (Afrique du Nord, Moyen Orient et sud de l'URSS) et comprenant elles-mêmes un certain nombre de formes (d'après le type d'épi, la pilosité du feuillage, le port du tallage, etc.) (**Moule, 1971**).

### 6.2 DESCRIPTION

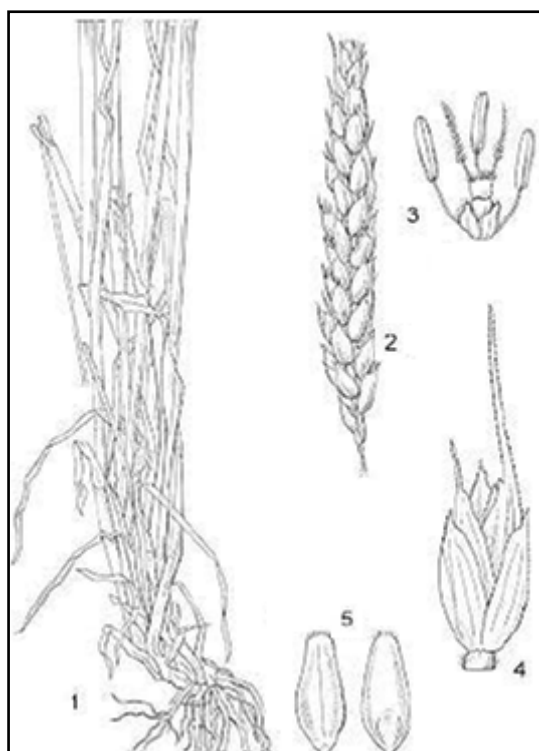
C'est une graminée annuelle, souvent fortement touffue, atteignant 170 cm de hauteur (**Brink & Belay, 2006**). L'appareil végétatif à tallage faible (souvent un seul épi par plante), a chaume long et souple, sensible a la verse (**Moule, 1971**).

L'inflorescence est un épi plus ou moins compact composé d'épillets uniques polyflores de 1 à 5 fleurs), plus longs que large, disposés en alternance sur deux rangées de part et d'autre du rachis. Les glumelles sont peu ventrues et tronquées à l'extrémité ; la glumelle inférieure se prolonge par une arrête de 10 cm environ,

parfois colorée (noire, brune, rousse), donnant un épi barbue (**Figure 16**) (**Poulain, 2012**).

Le grain est très gros (45-60 mg), de section sub-triangulaire, très riche en albumen, de texture vitreuse (**Moule, 1971**).

Le blé dur est cultivé essentiellement pour la *semoulerie* en vue de la fabrication des pâtes alimentaires : l'albumen vitreux des *T. durum* leur confère, en effet, un rendement en semoule très supérieur à celui des blés tendres (**Moule, 1971**). La paille de blé dur sert aussi bien à l'alimentation du bétail qu'à sa litière ; on l'emploie également pour couvrir des toits (**Brin & Belay, 2006**).



**Figure 16.** Blé tendre : 1. Inflorescences; 2. Epi 3. Fleur, 4. Épillet, 5. Grains (**Moule, 1971**).

## 6.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES

### 6.3.1 CLIMAT

Le zéro de germination du blé est comme celui du blé tendre très voisin de 0°C. La somme des températures nécessaire à la levée est voisine pour un semis à 4



cm) de 24<sup>0</sup>C, donc légèrement supérieure à celle observée chez le blé tendre (**Moule, 1971**).

Ultérieurement, la vitesse de formation d'une ébauche de feuilles est relativement constante; elle demande une somme des températures voisine de 50<sup>0</sup>C, sans différences variétales.

Les températures critiques minimales sont par ailleurs voisines de celles des blés tendres : un blé dur de type « printemps » accuse des dégâts foliaires vers -8 OC. Par contre, les blés durs se montrent particulièrement *résistants aux hautes températures* au cours de la maturation : en l'absence de sécheresse, des températures de l'ordre de 31-32<sup>0</sup>C ne causent aucune perturbation (Grignac).

En effet, 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 (**Allaoui, 2005**).

### 6.3.2 BESOIN EN EAU

Le blé dur est plus adapté que le blé tendre aux régions où la pluviométrie annuelle moyenne est faible, c'est le cas du Proche-Orient, de l'Afrique du Nord et de certaines régions d'Europe méditerranéenne. Pour produire une récolte acceptable, Il faut au moins 250 mm d'eau (**Moule, 1971**).

Jusqu'à la fin du tallage les besoins en eau sont relativement faibles. De plus, l'humidité excessive du sol est néfaste à l'installation du système racinaire en profondeur. Par contre, au cours de la phase de montaison et jusqu'à la floraison les besoins en eau de la culture sont considérables et peuvent s'évaluer à 180 mm (entre mars et mai). Après la floraison, le blé devient très résistant à la sécheresse (comme aux fortes températures).

### 6.3.3 SOL

Les sols qui conviennent le mieux à la production de blé dur sont ceux qui sont bien aérés, bien drainés, profonds, et comportent au moins 0,5% de matière

organique. Le pH optimal du sol est de 5,5- 7,6. Le blé dur est sensible à la salinité du sol (**Brink & Belay, 2006**).

Le blé dur exige un sol sain, 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 se ressuyant mal, le rend plus sensible aux maladies cryptogamiques telles que les piétins et les fusarioses (**Alaoui, 2003**).

## **6.4 TECHNIQUES CULTURALES**

### **6.4.1 PLACE DANS LA ROTATION**

Du point de vue agronomique, le blé dur devrait normalement succéder à une tête d'assolement, à l'exception du maïs (Fusariose). Pour des raisons économiques, il a souvent la même place que l'orge de printemps derrière un blé tendre d'hiver dont on a pris soins de détruire les pailles. Cependant il ne faut pas semer un blé dur derrière un blé tendre (**Moule, 1971**).

### **6.4.2 PREPARATION DU SOL**

Les séquences de travail du sol à adopter doivent être fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente (**Alaoui, 2003**). Toutefois, en raison de sa sensibilité à l'excès d'eau, il faut exclure les sols lourds, se ressuyant mal au printemps. En zone méridionale, on effectue un labour d'été qui est repris par des façons superficielles. En zone nord après un labour d'automne ou d'hiver, la terre, une fois ressuyée, sera reprise de façon à être ni trop motteuse, ni creuse en profondeur (**Moule, 1971**).

### **6.4.3 SEMIS**

Les dates de semis doivent être raisonnées de façon à ce que la culture arrive au stade plantule au moment où les températures sont à leurs valeurs minimales. De la fin septembre au début décembre (**Alaoui, 2003**).

Les semis doivent s'effectuer à raison de 200 à 250 plantes au mètre carré, fournissant environ 300 épis au mètre carré (**Moule, 1971**).

#### 6.4.4 ENTRETIEN

Une récolte de 30 q de grains et de 54 q de paille exporte environ 30 kg de  $P_2O_5$  et 54 kg de  $K_2O$  : les blés durs ont des besoins en  $P_2O_5$  comparables à ceux des blés tendres, plus élevés cependant en  $K_2O$  car ils produisent plus de paille que le blé tendre pour un même poids de grain.

Pour l'Azote, On peut estimer les exportations par quintal de grain à 13 % d'eau, à 4 kg d'azote soit : 1 kg de plus que pour le blé tendre (**Moule, 1971**).

La fumure de fond est constituée de 80 kg 0 120 kg/ha d'acide phosphorique et de 120 à 150 kg/ha de potasse.

La fumure azotée, est généralement apportée en deux fois : au début du tallage (fin janvier) : 40 kg/ha et au début de la montée (au stade 10 cm d'élongation du maître brin) : 40 kg/ha.

C'est à la phase de 1 cm à la floraison que le blé a les besoins en eau les plus importants, l'irrigation se fait par aspersion ou submersion. Toutefois, les engrais peuvent être apportés avec les eaux d'irrigation (**Saouli, 2005**).

En raison de sa faible capacité de tallage, le blé dur est peu concurrentiel à l'égard des adventices. Le désherbage doit donc être, si possible, précoce et durable (**Moule, 1971**). La rotation des céréales avec des cultures nettoyantes, comme les légumineuses alimentaires, la betterave à sucre, et le tournesol, l'utilisation des semences certifiées et propres, parmi d'autres techniques permettent de réduire leur impact sur la culture. La lutte chimique est aussi conseillée comme moyen de lutte sûre et efficace. Les produits suivants sont recommandés pour les céréales d'automne (**Alaoui, 2003**).

#### 6.4.5 RECOLTE

Le grain de blé dur est mur lorsqu'il casse sous la dent, Un taux d'humidité de 15%, une hygrométrie de l'air ambiant inférieure ou égale à 70% et une température de l'air et du grain de 10 °C sont indiqués pour une bonne conservation (**Alaoui, 2003**).

## 7 LE BLE TENDRE

**Nom vernaculaire :** Blé tendre, blé, froment (**Brink, et Belay, 2006**).

**Nom scientifique :** *Triticum aestivum* L. (synonyme : *T. vulgare* Villars.) (2 n = 42).

**Tribu :** *Triticeae*

### 7.1 ORIGINE ET UTILISATION

Le blé tendre appartient au genre *Triticum* espèce *T. aestivum* L (syn. *Triticum vulgare*, Villars.). Le genre *Triticum* comporte de nombreuses autres espèces, chacune d'elles étant composée d'un grand nombre de variétés botaniques (**Moule, 1971**).

Le blé tendre a pris naissance dans le couloir qui s'étend de l'Arménie au Transcaucasie, jusqu'au zones côtières du sud-ouest de la mer Caspienne en Iran. C'est l'hybridation d'une espèce sauvage *d'Aegilops (Aegilops touschii* Coss) avec l'amidonnier, un type ancien de blé cultivé appartenant à *Triticum turgidum*. L .qui a donne naissance aux blés hexaploides (**Brink & Belay, 2006**).

Le blé tendre est utilisé pour la fabrication du pain, en pâtisseries, des biscuits, des pates, d'huile et de gluten le son et la paille sont utilisés dans l'alimentation de bétail et de volaille le germe de blé est un complément alimentaire l'homme. Il est aussi utilisé comme combustible et pour la fabrication de colles et de papier (**Brink & Belay, 2006**).

### 7.2 DESCRIPTION

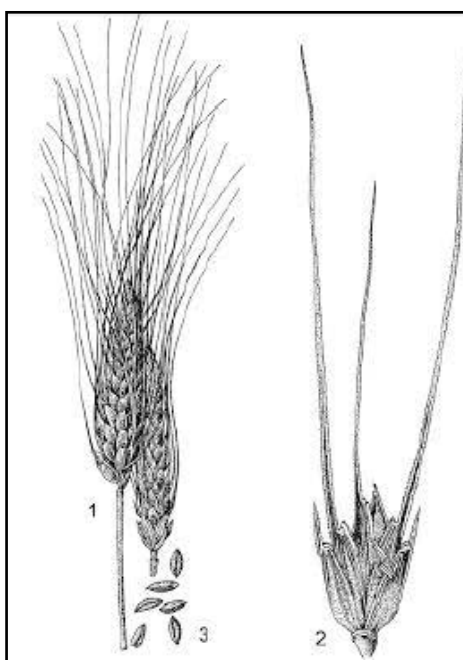
Le blé tendre est une graminée annuelle, en touffe, atteignant 150 cm de hauteur, et 2- 5(-10) talles (**Brink & Belay, 2006**).

Les feuilles dont les limbes portent à leur jonction avec la gaine, des oreillettes velues et une ligule. Les chaumes d'abord sont remplis d'un parenchyme médullaire, devenant plus ou moins creux en vieillissant, porteur de 7 à 8 feuilles; épi blanc, parfois roux, dont le rachis porte alternativement à droite et à gauche un épillet, 12 à 15 en général (grande culture) ou plus 18-22 (pépinière); chaque épillet, parfois aristé,

comporte 2 à 3 fleurs fertiles, autogames : la fécondation a lieu avant l'apparition des anthères à l'extérieur (**Figure 17**).

Le système racinaire est fasciculé, peu développé et peut atteindre 25 cm de profondeur.

Le grain est un caryopse nu, blanchâtre ou plus ou moins roux, de forme ovoïde, pesant de 40 à 50 mg. Sa radicule est plus ou moins externe (caractère variétal); l'extrémité distale est velue (brosse) (**Moule, 1971**).



**Figure 17.** Blé dur. 1'inflorescences; 2, épillet; 3, grains (**Moule, 1971**).

### 7.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES

#### 7.3.1 CLIMAT

La germination du blé tendre a lieu à des températures comprises entre 1-37°C, la fourchette optimale se situe entre 12- 25°C. La fourchette optimale de températures pour sa croissance est de 10-24°C, avec des minima de 10-24°C et des maxima de 30- 32°C. Une température moyenne d'environ 18°C est optimale en termes de rendement.

Le blé ne pousse pas bien très sous des climats très chauds où l'humidité relative est élevée (**Brink & Belay, 2006**).

Le zéro de germination du blé est de 0°C, la température optimale de germination se situant vers 20-22°C (**Moule, 1971**).

### **7.3.2 BESOINS EN EAU**

Le blé tendre exige au moins 250 mm d'eau pendant la saison de croissance; on peut le cultiver dans des régions recevant entre 250-750 mm de pluie par an (Brink et Baley, 2006). Dès la germination, l'eau peut constituer un facteur limitant important de la croissance du blé, à partir de la phase reproductrice, l'eau peut encore constituer un facteur limitant (**Moule, 1971**).

Deux périodes critiques principales sont :

- 20 jours qui précèdent l'épiaison;
- au moment de la maturation, tout particulièrement pendant le palier hydrique (**Moule, 1971**).

### **7.3.3 SOL**

Les sols qui conviennent le mieux à la production de blé tendre sont ceux qui sont bien aérés, bien drainés, profonds et comportant au moins 0,5% de matière organique. Le pH optimal du sol se situe entre 5,5 et 7,5. Le blé est sensible à la salinité du sol (**Brink & Bailey, 2006**).

## **7.4 TECHNIQUES CULTURALES**

### **7.4.1 PLACE DANS LA ROTATION**

La place du blé tendre dans la rotation est assez variable. Le meilleur précédent est finalement constitué par une plante sarclée (ou une jachère) (**Moule, 1971**).

### **7.4.2 PREPARATION DU SOL.**

Il faut rechercher une terre non creuse, pas trop fine en surface (petites mottes). Pour cela, d'une façon générale, derrière plante sarclée (betterave) on effectue un labour peu profond à moyen, suivi d'un croskillage et d'un hersage. Par contre,

lorsque le précédent est un *fouillage* (prairie) le labour est obligatoirement profond. Il doit être fait deux ou trois mois au moins avant le semis (**Moule, 1971**).

### 7.4.3 SEMIS

Une densité trop forte (cas encore fréquent) est un facteur de verse, de piétin et un gaspillage de semences.

Pour un blé d'hiver, la densité optimale est de l'ordre de 250 plantes au mètre carré ce qui correspond à une dose de 90 à 130 kg/ha. Pour un blé de printemps, la densité optimale se situe à 300 - 350 plantes au mètre carré.

Pratiquement en sols de limons, une profondeur de semis de 1 à 2 cm suffit; en sols légers, s'asséchant en surface, le semis pourra être un peu plus profond et atteindre 3 à 4 cm au maximum.

### 7.4.4 ENTRETIEN

La fumure organique sous forme de fumier, même bien décomposé, est à proscrire.

Les pailles sont favorables au transport et au développement des piétins. Le blé dès le début du tallage a besoin d'azote immédiatement assimilable. Cependant, l'enfouissement d'un *engrais vert* (crucifères d'été, collets de betterave) est nécessaire.

La fumure phosphopotassique est généralement enfouie au labour, à l'automne, sous forme de *scories* et de *chlorure de potassium* à raison de 70 à 120 kg/ha de chaque élément selon la richesse du sol. Eventuellement, la fumure phosphatée peut être apportée, partie à l'automne sous forme de scories, partie au printemps sous forme de superphosphate de chaux, épandu en couverture (**Moule, 1971**).

Il faut protéger le blé tendre contre les mauvaises herbes. Dès le mois de septembre, irriguer les parcelles pour favoriser la germination des graines de mauvaises herbes et du précédent culturale, après la levée, procéder à leur enfouissement. Il faut aussi utiliser les produits de désherbage (**Saouli, 2005**).

Il faut toutefois veiller à ne pas trop irriguer le blé, car il est sensible à l'asphyxie racinaire en début de croissance. Le calendrier d'irrigation est basé sur des stades de croissance prédéfinis ou des évaluations de la diminution de l'humidité du sol (**Brink & Bailey, 2006**).

#### 7.4.5 RECOLTE

La récolte se fait aujourd'hui dans la quasi-totalité des cas, à la moissonneuse batteuse, à sur-maturité. L'humidité du grain optimale se situe à 14-15 %; une aération est nécessaire lors du stockage (**Moule, 1971**).

### 8. LE TRITICALE

**Nom scientifique** : *x Triticosecale* Wittm

**Nom vernaculaire** : *Triticale*

**Tribu** : *Triticeae* (**Poulain, 2012**).

#### 8.1 ORIGINE ET UTILISATION

Le triticale peut être octoploïde ( $2N = 56$ ) ou hexaploïde ( $2N = 42$ ) selon le blé avec lequel le croisement est réalisé (**Kavanagh & Hall, 2015**).

C'est une plante annuelle créée par l'homme (**Saouli, 2005**), et obtenue par un croisement entre le blé (*Triticum*) et le seigle (sécalle), très productives, qui a un large spectre d'adaptation ; enfin, elle s'adapte aux sols acides et à différentes conditions du milieu (milieu aride), sa valeur alimentaire est élevée et fait de lui un excellent fourrage ou aliment concentré (**Saouli, 2005**).

Le triticale est cultivé actuellement pour la production de grain pour l'alimentation animale. C'est une espèce cultivée qui serait originaire d'Eurasie (**Yatskievych, 1999**).

#### 8.2 DESCRIPTION

Ce genre regroupe les hybrides entre blés et seigles, obtenus artificiellement depuis le XIXe siècle et dont des variétés fertiles sont commercialisées depuis les



années 1980. Cette céréale est en vogue dans les régions d'élevage du fait de son fort potentiel de rendement, de sa rusticité et de sa valeur alimentaire pour le bétail. Elle est aussi parfois panifiée. Il s'agit d'une plante robuste et de grande taille. Ses épis sont plus longs que ceux du blé, et plus larges que ceux du seigle.

Toutefois il est difficile de donner des critères précis pour le différencier des genres *Triticum* et *Secale* du fait de sa grande variabilité aussi bien quant à la taille, la présence ou non de barbes, la pilosité, etc., d'autant qu'il peut aussi bien être issu d'un croisement seigle × blé tendre que seigle × blé dur ou triticales × blé. Un caractère pourtant semble relativement constant : la largeur des glumes avoisine la moitié de celle des lemmes. Il s'agit d'un groupe d'hybrides. Les espèces décrites sont controversées, il est probablement plus pertinent, pour l'instant, de s'en tenir au genre.

### **8.3 EXIGENCES ECOLOGIQUES**

#### **8.3.1 CLIMAT**

Le croisement de blé et de seigle a donné au triticales son potentiel d'adaptation à différentes conditions climatiques (**Arseniuk, 2015**).

#### **8.3.2 BESOINS EN EAU**

En générale, le triticales résiste mieux à la sécheresse que l'orge, le blé et l'avoine. D'autre part, les conditions météorologiques humides près de la maturité causent souvent des problèmes de germination sur pied (**Arseniuk, 2015**).

Une pluviométrie supérieure ou égale à 300 mm, assure une bonne production. En irriguée, le triticales donne d'excellents résultats (**Saouli, 2005**).

#### **8.3.3 SOL**

En plus de la tolérance au gel, le triticales résiste bien aux sols acides légers, à la salinité, aux sols pollués avec les ions aluminium toxiques et le bore.

Il s'adapte mieux que les autres céréales aux sols à pH élevé (sols alcalins). Il tolère également le pH bas (sols acides), pousse bien sur les sols sodiques (**Arseniuk, 2015**).

Il se développe mieux lorsqu'il est cultivé dans des sols légers ou des sols sablonneux. Certaines variétés peuvent tolérer l'engorgement d'eau tandis que d'autres réussissent bien dans les sols secs (**Clark, 2007**).

Les sols limono-argileux sont conseillés pour les différents types de production. Cette culture s'adapte aux sols à faible pH, à faible capacité de rétention (**Saouli, 2005**).

## **8.4 TECHNIQUES CULTURALES**

### **8.4.1 PLACE DANS LA ROTATION**

Il peut être placé dans la rotation comme le seigle (**Pousset, 2014**).

### **8.4.2 PREPARATION DU SOL**

Comme pour les autres céréales, il faut pratiquer un déchaumage, un labour et les façons superficielles (**Saouli, 2005**).

### **8.4.3 SEMIS**

Le triticale peut être semé de la mi-novembre au fin novembre (**Saouli, 2005**). Cependant, il est préférable de le semer entre le 15 et le 30 octobre, car cette époque de semis permet d'obtenir de meilleurs rendements dans des conditions pédoclimatique optimales. Une date de semis plus précoce favoriserait l'enherbement. Pour pallier aux défaillances de germination et de levée, il est recommandé de semer le triticale à 140-160kg/ha pour la production de grain. On peut aller jusqu'à 180 kg/ha pour la production de fourrage (**Saouli, 2005**).

### **8.4.4 ENTRETIEN**

Les doses de fertilisant recommandées sont les mêmes que pour le blé (**Saouli, 2005**). Le triticale grâce à son système racinaire peut utiliser la réserve du sol en fertilisant facilement, il n'a pas de grandes exigences, mais donne une meilleure production en cas de fertilisation (**FAO, 2004**).

Pour la fumure de fond : apportée la fumure phospho-potassique : 4 qx TSP. En sols non dépourvus de potasse, il faut apporter 2 qx de K<sub>2</sub>O (50%).

Pour la fumure d'entretien : apportée l'urée à une dose de 4.5 qx/ha fractionné en trois apports (levée-tallage-montaison) (**Saouli, 2005**).

Le triticales, bien qu'il soit généralement plus résistant que d'autres espèces de céréales, il est sensible à certaines maladies. L'ergot, le charbon, l'antracnose et diverses rouilles des feuilles et aussi aux attaques de nématodes et d'acariens (Arseniuk, 2015).

Pour la production des grains, il est nécessaire de lutter chimiquement avec les mêmes produits et aux mêmes doses et périodes que pour les blés (Saouli, 2005).

#### **8.4.5 RECOLTE**

En foin ou ensilage, il faut récolter au stade laiteux-pâteux. Deux coupes peuvent être envisagées si la culture est irriguée (plein tallage, laiteux-pâteux).

Pour le grain, la récolte est à effectuer à maturité complète (Saouli, 2005). Les rendements oscillent de 50 à 60 qx/ha (Saouli, 2005).

---

## LISTE DES REFERENCES

- Adas B.P., 2006. Cereals. Pesticide Residue Minimisation. Crop Guide. Food Standards Agency. UK. 53p.
- Akanvou L., Paul K. Akanza et Marboua Béninga., 2007. Bien cultiver le sorgho Centre National de Recherche Agronomique. Cote d'Ivoire. 4p.
- Alaoui S.B., 2003. Référentiel pour la Conduite Technique de la Culture du blé dur (*Triticum durum*). Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Maroc. pp.24-34 [http://www.fellah-trade.com/ressources/pdf/ble\\_dur.pdf](http://www.fellah-trade.com/ressources/pdf/ble_dur.pdf)
- Anda A., Pinter L., 1994. Sorghum germination and development as influenced by soil temperature and water content. *Agronomie Journal*. 86: 621-624.
- Anonyme, 2008. Fiche technique Sorgho, cultivons la diversité des plantes cultivées, gnis. 2p.
- Anonyme, 2003. Les Céréales Département AGER. INA. P-G. Maison. 86p.
- Anonyme, 2009. L'avoine fleurie *Avena sativa*. Guide de production sous régime biologique. Filière des plantes médicinales biologiques du Québec. 30p.
- Anonyme, 2012. Comment cultiver le Sorgho. Semences du Provence. N°1 du Sorgho, 8p.
- Anonyme, 2015. Seigle *Secale cereale* L. Fiche Technique Grandes Cultures Biologiques. Agricultures et Territoires/ SEDARB. 3p.
- Arseniuk E., 2015. Triticale Abiotic Stresses—An Overview. In: Eudes F. (eds) *Triticale*. Springer, Canada. pp.69-81.
- Balaid D., 1986. Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Alger. pp.3-9.
- Bender D.A., Bender A.E., 1999. Benders' Dictionary of Nutrition and Food Technology, 7th eds. Woodhead Publishing, Abington.

- Bouchenak-Khelladi Y., Salamin N., Savolainen V., Forest F., van der Bank M., Chase –M.W., Hodkinson T.R. 2008. Large multi-gene phylogenetic trees of the grasses (*Poaceae*): Progress towards complete tribal and generic level sampling. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 47: 488-505.
- Botineau M., 2010 - Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Ed. Lavoisier Libraire. Tec & Doc. Paris. 1403p.
- Boudreau A. Menard G., 1992. Le blé éléments fondamentaux et transformation. LA Presse de Université Laval. Quebec. 161p.
- Brink M., Belay, G. 2006. Céréales et légumes secs. Ed. PROTA, Wageningen, Pays-Bas.327p.
- Brocke K. vom, Barro-Kondombo C., Trouche G., Kambou D., Palé G., Compaoré D.. 2008 Production de semences de sorgho en milieu paysan au Burkina Faso. Ed. Cirad. 17p.
- Chanterreau J., Nicou R., 1991. *Le sorgho*. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris. 160p.
- Clark A., 2007. Managing Cover Crops Profitably. 3rd ed. Handbook Series Book 3. MD: Sustainable Agriculture Network. Beltsville, 244p.
- Chanterreau J., Arnaud M., Ollitrault P., Nabayaogo P., Noyer J.L., 1989. Étude de la diversité morpho-physiologique et classification des sorghos cultivés. *Agronomie Tropicale*. 44, pp.223–232.
- Chanterreau J., Nicou R., 1994. The Tropical Agriculturalist. Sorghum. Ed. Macmillan Press Ltd, London. 98p.
- Clerget B. 2004. Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest. Thèse de Doctorat. Institut National Agronomique Paris Grignon, France. 114p.
- Carter P. R., Hicks D.R., Oplinger E.S., Doll J.D., Bundy L.G., Schuler R.T., and Holmes B.J., 1989. Grain sorghum. *Alternative field crops manual*. University

of Wisconsin-Extension Cooperative Extension, Madison, and University of Minnesota: Center for Alternative Plant and Animal Products and the Minnesota Extension Service, Minneapolis, MN.

- Clerget Y., 2011. Biodiversité des céréales Origine et évolution. Montbéliard. 17p.
- Cothren J.T., Matocha J.E., Clark L. E., 2000. Integrated crop management for sorghum. pp.409-441 in Smith C.W., Frederiksen R.A., eds. Sorghum: Origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Deu M., Hamon P., 1994. Diversité des sorghos : application a la gestion des ressources génétiques et a la sélection Agriculture et développement, 3: 25-31
- Djermoun A, 2009. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie. 1 :45 à 53.
- Doggett H., 1988. Sorghum (2<sup>nd</sup> ed.). London: Longman Scientific and Technical. UK. p.125.
- Du Plessis J., 2003. Maize production. Department of Agriculture. South Africa. 38p.
- Espinoza L., Kelley J., 2004. Sorghum Production Handbook. Ed. Cooperative Extension Service University of Arkansas. 75p.
- FAO (Food and Agriculture Organisation), 1991. Cereal and Grain legume Seed Processing. Technical guide. FAO Plant Production and Protection Series No 21. FAO, Rome.
- FAO (Food and Agriculture Organisation), 1999. Sorghum: Post-harvest Operations.33p
- FAO (Food and Agriculture Organisation), 2002. World Agriculture: Towards 2015/2030. Summary Report. FAO, Rome.

- FAO (Food and Agriculture Organisation), 2003. Food Outlook. N°. 4. FAO Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture. Food and Agriculture Organisation, Rome.
  - FAO (Food and Agriculture Organisation), 2004. Triticale improvement and production. Rome, Italy. 172p.
  - FAOSTAT, 2001. <http://www.fao.org/faostat/fr/>
  - FAOSAT, 2015. <http://www.fao.org/faostat/fr/>
  - Gautier J., 1991. Notions d'agriculture. Ed. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 575p.
  - Harlan J.R., De Wet J.M.J. 1972. Une classification simplifiée des sorghos cultivés. Crop Science, 9(2): 172-176.
  - Henrotte B., 2016. Transformation des céréales. Itinéraires Bio Biowallonie, N° 26. p7.
  - House L.R., 1987. Manuel pour la Sélection du Sorgho (2<sup>ème</sup> ed). ICRISAT: Patancheru; International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 229p.
  - Kavanagh V. & Hall L., 2015. Plant Biology and Breeding In: Eudes F. (eds) Triticale. Springer, Canada. pp.69-81.
  - Marguerie M., 2017. Culture de l'orge en bio. Fiche technique. Alpe, côte d'Azure.7p.
  - McKeivith B., 2004. Nutritional aspects of cereals. Nutrition Bulletin, 29(2), 111-142
  - Ministère de l'Agriculture de Canda, Ottawa 1975. Céréales secondaire ; orge, seigle, avoine. Agriculture Canada. Publication 1410. 12p.
- [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2015/aac-aafc/A53-1410-1975-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2015/aac-aafc/A53-1410-1975-fra.pdf)
- Moule C., 1971. Céréales. La Maison rustique. Paris. 235p.

- Poulain D., 2012. Reconnaître facilement les champs, découvrir, repérer, identifier, connaître. Ed Delachaux et Niestlé. Paris. 222p.
- Pousset J., 2014. Assolements et rotations. Ed. France agricole, choisir, répartir, ordonner et associer les cultures. Paris. 359p.
- Prat H., 1960. Vers une classification naturelle des Graminées. Bulletin de la Société botanique de France, 107(1-2), 32-79.
- Roux G., 2014. Seigle ou triticale d'automne suivi d'une implantation de prairie à même le seigle. Rapport du Programme Prime-Vert, Sous-VOLET 3.1 - Approche Régionale. Quebec. 12p.
- Saouli N., 2005. Recueil des fiches techniques ITDAS Technique de développement de l'agriculture saharienne. Biskra. 189p.
- Sarwar M., 2009. Evaluating wheat varieties and genotypes for tolerance to feeding damage caused by *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Pak. J. Seed Technol. 2(13-14): 94-100.
- Sarwar M.H., Sarwar, M. F., Sarwar, M., Qadri, N. A., Moghal, S., 2013. The importance of cereals (Poaceae: Gramineae) nutrition in human health: A review. Journal of cereals and oilseeds, 4(3): 32-35.
- Simpson B.B., Ogorzaly M.C., 1995. Economic Botany : Plants of our world. McGraw Hill, Inc., New York. 2<sup>ème</sup> édition. pp.172-177; 500, 655.
- Soltner D., 1998. Les grandes productions végétales céréalières, plantes sarclées-prairies 16<sup>ème</sup> Ed, collection sciences techniques agricoles.463p.
- Soltner D., 2005. Les grandes productions végétales céréalières, plantes sarclées-prairies. 20<sup>ème</sup> Ed, collection sciences techniques agricoles.464p.
- Trouche G., Hocdé H., Aguirre S., Ortega Sequeira, I., 2009. Agricultores, sorgo y cambio climático en el norte de Nicaragua. Revista de Agroecología (marzo), 12-13.



- Wang K., Qui F., Dela, P.M.A., Zhuang J., Xie, 2014. Genetic diversity and structure of improved indica rice germplasm. *Plant Genetic Resources*. 12:248-254.
- Yatskievych G., 1999. Steyermark's flora of Missouri: volume 1. Missouri Department of Conservation, Jefferson City. 9p.