

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

FACULTE : Sciences

DEPARTEMENT : SNV

N° :



DOMAINE : SNV

FILIERE: Sciences Biologiques

*OPTION : Biodiversité et Physiologie
Végétale*

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par: CHEKHMA Madjida, HACHIMI Fatima Zahra et AIB Yasmine

Intitulé

**Monoculture et culture en association
(Céréales - légumineuses) : Fertilisation minérale et biologique**

Soutenu devant le jury composé de:

ADOUI Nabila	Maitre de Conférences-B-	UMB-Msila	Présidente
BENDERRADJI Laid	Professeur	UMB-Msila	Encadreur
GHADBANE Mouloud	Maitre de Conférences -A-	UMB-Msila	Examineur

Année universitaire : 2019 /2020

Remerciements

Louanges à Allah Miséricordieux qui nous a éclairé la voix de la science et de la connaissance.

Nos vifs remerciements s'adressent à notre encadreur *Mr. BENDERRADJI Laid* qui nous a fait l'honneur de nous diriger et nous guider avec patience tout au long de la réalisation de ce travail, pour ses encouragements, sa disponibilité constante et surtout ses conseils qui nous ont été d'une précieuse aide.

Nous adressons un grand remerciement pour les membres du jury, *Mme ADOUI Nabila* et *Mr. GHADBANE Mouloud* qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Nos sincères remerciements vont à tous les enseignants de la spécialité « BPV » du Département SNV, université de M'sila.

Nous remercions aussi profondément tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration directe ou indirecte de ce travail.

Notre sympathie pour tous les camarades de la promotion Biodiversité et Physiologie Végétale 2020.

Septembre 2020

DEDICACES

- A tout au début, je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir donné du courage et de patience afin de réaliser ce modeste travail que je dédie à
- A mes chers parents : Thameur et Khadra, qui m'ont fourni au quotidien un soutien, et pour leur éducation et sacrifices. Que Dieu les protège et les garde pour nous.
- A mes belles sœurs Hind, Khaoula et Aya qui m'ont épaulées au quotidien.
- A mes formidables frères : Hatem, Idris et Abdou qui ravivent ma vie par leurs joies et présences
 - A : Nassima
 - A : Amar et Hassen
- A mes merveilleux neveux : Mohamed et Ibrahim, Ahmed et Karam
- A mes cousins : Mohamed Chekhma (Housseem) et Mohamed Chekhma
- A mes trinôme du projet : Fatima et Yasmine, ainsi qu'à leurs familles.
 - A ma chère copine Sarra
- A mes adorables amies qui m'ont tant fait rire et remontées
 - A toute la promotion de BPV
 - A toute ma famille proche et loin que soit
- Et pour toutes les personnes qui m'ont soutenu jusqu'à la fin.

Madjida

DÉDICACES

Tout d`abord louange à « ALLAH » qui nous a guidé sur le droit chemin tout au long

De ce travail et nous a inspiré les bons pas et les bons réflexes.

Sans sa miséricorde, ce travail n`aurait pas abouti.

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents et mes grands parents

Pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices, leur tendresse, leur amour infini ;

Je souhaite qu`ils trouvent en ce modeste travail le témoignage de ma reconnaissance et toute
mon affection,

A mes chères sœurs :Hadjer, Sara

Que dieu les protège.

Je souhaite tout le bonheur durant leur vie ;

A tout mes cousine ; Yasmine ; Imane ; Khadidja ; Rawaa, Bayan,

A tous les enseignants du primaire jusqu`à l`université particulièrement les enseignants

A tous mes amis ; Ainsi qu`à tous les étudiants de la promotion biodiversité et physiologie
végétale 2019/2020

Fatima Zahra

DÉDICACE

A celle qui attend mon retour a chaque jour

A celles qui m'a comblée d'affection, d'amour et de tendresse,

Et qui a veillé a calte de mon berceau

Pour consoler mes cris de douleurs, et qui n'a jamais cessé de le

Faire.

Ma mère

A celui qui fait le plus brave des hommes, m'ouvrant ses bras

Dans les sombres moments et

M'aidant à aller de l'avant vers le meilleur, et qui ma tant

Soutenu moralement et

Matériellement Mon père. Mes beaux parents

A mes très chères sœurs

Je les souhaite une bonne réussite.

A tous mes amis de la promotion BPV,

Yasmine

Liste des Abréviations

- % : Pourcentage
- T : Tonne
- g : Gramme
- mg : Milligramme
- Kg : Kilogramme
- Ha : Hectare
- Q: Quintal
- mm : méli mètre
- cm : centimètre
- atm : atmosphère
- FOA : Food and Agriculture Organisation
- RAC : Réseau Action Climat
- APG : Angiosperme Phylogénie Group
- ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures
- UNIVIA : L'Interprofession des Huiles et Protéines Végétales
- LPC bio : Légume plein champ bio
- APABA : Association pour la Promotion de l'Agriculture biologique en Aveyron
- FRAB : Fédération Régional d'Agriculture Biologique
- CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
- FiBL: German: Forschungs institut für Biologischen Landbau = Institut de Recherche en Agriculture Biologique
- APM : Africain papier Mills
- SAU : Superficie Agricole Utile
- MADR : Ministère de l'agriculture et du développement rural
- LER : Land Equivalent Ratio
- CAH : Complexe Argilo-Humique
- P₂O₅ : Phosphore pentoxyde
- NH₃ : Ammoniaque
- Ca : Calcium
- Mg : Magnésium

- **Zn** : Zinc
- **Fe** : Fer
- **N** : AZOTE
- **P** : Phosphore
- **K** : Potassium
- **Kcal** : Calorie
- °C : Degré Celsius
- **T °**: Température
- **pH** : Potentiel hydrogène
- **N** : Nord
- **S** : Sud
- **A.J.-C** : Avant la naissance
- **Vitamine B1** : Thiamine
- **Vitamine B2** : Riboflavine
- **Vitamine B6** : Pyridoxine
- **Vitamine B9** : Acide folique
- **Vitamine C** : Acide ascorbique

Liste des Figures

Figure 1 : Stades de développement des graminées

Figure 2 : Description schématique d'une graminée

Figure 3 : Structure du grain de céréale

Figure 4 : Cycle de développement de blé

Figure 5 : Rythme de développement de blé

Figure 6 : Morphologie de blé dur

Figure 7 : Morphologie de blé tendre

Figure 8 : Description schématique de la partie reproductrice de blé tendre

Figure 9 : Cycle de développement de l'orge

Figure 10 : Phase de développement de l'orge

Figure 11 : Diversité de productions au sein des légumineuses à graines

Figure 12 : Nodosité sur des racines de légumineuses

Figure 13 : Consommation humaine mondiale de légumineuses par habitant

Figure 14 : Différentes types de variétés chez l'haricot sec

Figure 15 : Cycle de développement d'un *Phaseolus vulgaris* L.

Figure 16 : Différentes types de variétés chez la lentille

Figure 17 : Cycle de développement d'une *Lens culinaris*

Figure 18 : Différentes types de variétés chez le pois chiche

Figure 19 : Cycle de développement d'un *Cicer arietinum* L.

Figure 20 : Saisonnalité du pois chiche

Figure 21 : Dates d'apport des engrais

Figure 22 : Quantités d'engrais à apporter par hectare

Figure 23 : Boucle du fonctionnement de la « relation sol-plante »

Figure 24 : Evolution de la production des céréales à l'échelle nationale

Figure 25 : Carte des zones de céréaliculture à l'échelle nationale

Figure 26 : Evolution de production céréalière internationale

Figure 27 : Evolution de la production de blé dur et tendre en fonction de la pluviométrie

Figure 28 : Cycle simplifié de l'azote dans un sol cultivé

Figure 29 : Schéma conceptuel illustrant la compétition entre la céréale et la légumineuse pour l'utilisation de l'azote minéral du sol et en parallèle la complémentarité de niche à travers l'utilisation du (N₂) atmosphérique exclusivement par la légumineuse.

Figure 30 : Répartition de l'azote acquis dans la biomasse aérienne de la céréale en culture pure, la culture associée et la légumineuse pure, en distinguant l'azote issu de l'azote minéral du sol (N) minérale de celui issu du (N₂) atmosphérique via la fixation symbiotique (N₂ fixé)

Figure 31 : Complémentarité protéique de l'association céréales-légumineuses à graines

Figure 32 : Schéma explicatif à l'indice LER

Figure 33 : Diversité des réponses à l'association blé dur-lentille

Figure 34 : Comparaison des rendements entre cultures (pures et associées) en agriculture biologique.

Figure 35: Teneur en protéines des différentes associations et du blé seul

Figure 36 : Schéma de transfert de l'Azote (N) entre légumineuses et céréales

Figure 37 : Quantité d'azote transféré du pois au blé (Quantité énorme en cas ces racines entremêlées ou mélangées)

Figure 38 : Quantité d'azote transféré entre pois et blé selon leur stade de développement

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Composition nutritionnelle des céréales (pour 100g des grains)

Tableau 2 : Structure des grains des céréales (% grain entier)

Tableau 3 : Classification des légumes secs

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Liste des Abréviation.....	V
Liste des Figures.....	VII
Liste des tableaux.....	IX
Sommaire.....	X
Introduction.....	1

Chapitre I. Céréales et légumineuses

I. 1. Généralité sur les céréales (graminées).....	3
I. 2. Historique de céréaliculture.....	3
I. 3. Importance et utilisation des céréales.....	4
I. 4. Biologie des céréales (Phases de développement).....	4
I. 5. Exigences édaphiques, fertilisation et caractérisation des céréales	5
I. 6. Composition et structure des grains de céréales.....	8
I. 7. Céréales cultivées.....	9
I. 7. 1. Blé (<i>Triticum</i> sp.).....	9
I. 7. 1. 1. Description botanique.....	10
I. 7. 1. 2. Cycle de développement.....	10
I. 7. 1. 3. Classification et description botanique du nlé dur (<i>Triticum durum</i>).....	13
I. 7. 1. 3. 1. Systématique du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf.).....	14
I. 7. 1. 3. 2. Utilisation.....	14
I. 7. 1. 3. 3. Origine et répartition géographique.....	14
I. 7. 1. 3. 4. Exigence pédoclimatique.....	14
I. 7. 1. 4. Blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>).....	15
I. 7. 1. 4. 1. Classification et description botanique.....	15
I. 7. 1. 4. 2. Systématique de blé tendre (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	16
I. 7. 1. 4. 3. Utilisation.....	16
I. 7. 1. 4. 4. Origine et répartition géographique.....	16
I. 7. 1. 4. 5. Exigence pédoclimatique.....	17
I. 7. 1. 5. Orge (<i>Hordeum vulgare</i> L.).....	17
I. 7. 1. 5. 1. Classification et description botanique.....	17
I. 7. 1. 5. 2. Systématique de l'orge (<i>Hordeum vulgare</i> L.).....	18

I. 7. 1. 5. 3. Cycle de développement de l'orge.....	18
I. 7. 1. 5. 4. Utilisation.....	19
I. 7. 1. 5. 5. Origine et répartition géographique.....	20
I. 7. 1. 5. 6. Exigence pédoclimatique.....	20
I. 8. Généralité sur les légumineuses.....	21
I. 8. 1. Caractères généraux des légumineuses.....	21
I. 8. 2. Classification botanique.....	23
I. 8. 3. Intérêt des légumineuses.....	23
I. 8. 4. Utilisation des légumineuses.....	24
I. 8. 5. Espèce : <i>Phaseolus vulgaris</i> L. / (Haricot).....	25
I. 8. 5. 1. Description botanique	25
I. 8. 5. 2. Origine et répartition géographique	25
I. 8. 5. 3. Exigences climatiques.....	26
I. 8. 5. 4. Valeur nutritionnelle.....	26
I. 8. 5. 5. Cycle de vie.....	26
I. 8. 6. Espèce (<i>Lens culinaris</i> Medik) / Lentilles.....	27
I. 8. 6. 1. Description botanique.....	27
I. 8. 6. 2. Origine et répartition géographique.....	27
I. 8. 6. 3. Exigences pédoclimatiques.....	28
I. 8. 6. 4. Valeur nutritionnelle.....	28
I. 8. 6. 5. Cycle de vie.....	28
I. 8. 7. Espèce <i>Cicer arietinum</i> L. / Pois Chiche.....	29
I. 8. 7. 1. Description botanique.....	29
I. 8. 7. 2. Origine et répartition géographique.....	30
I. 8. 7. 3. Exigences pédoclimatiques.....	30
I. 8. 7. 4. Valeur nutritionnelle.....	30
I. 8. 7. 5. Cycle de vie.....	30

Chapitre II. Fertilisation minérale

II. 1. Notion de fertilisation.....	32
II. 2. Différents types de fertilisation minérale.....	32
II. 2. 1. Fertilisation azotée.....	32
II. 2. 2. Fertilisation Phospho-Potassique.....	32
II. 2. 3. Engrais.....	33

II. 2. 4. Différents types des engrais.....	33
II. 2. 5. Fonction et rôle des engrais minéraux.....	34
II. 2. 6. Engrais composés.....	35
II. 2. 7. Engrais organiques.....	35
II. 2. 8. Fumier.....	36
II. 2. 9. Lisier.....	36
II. 3. Sol et plante.....	36
II. 3. 1. Définition du sol.....	36
II. 3. 2. Relation « Sol-plante ».....	37
II. 4. Intégration de cultures fixatrices d'azote.....	38
II. 5. Effets de la fertilisation minérale.....	38

Chapitre III. Culture associée et fertilisation biologique

III. 1. Céréaliculture et culture légumière.....	39
III. 1. 1. Production nationale et internationale de céréales et légumineuses.....	39
III. 1. 2. Gestion de l'eau et relation entre production des blés et pluviométrie.....	41
III. 1. 3. Monoculture céréalière et culture associée aux légumineuses.....	42
III. 1. 3. 1. Monoculture.....	42
III. 1. 3. 2. Culture légumière et abondance en Azote.....	43
III. 1. 3. 3. Culture associée aux légumineuses.....	44
III. 1. 3. 4. Intérêts potentiels des associations.....	46
III. 1. 3. 5. Avantages et inconvénients de la culture associée.....	47
III. 1. 3. 6. Etude comparative entre les deux cultures.....	47
III. 1. 3. 6. 1. Rendement.....	48
III. 1. 3. 6. 2. Teneur en protéines.....	49
III. 1. 3. 7. Mécanismes de transfert de l'azote entre légumineuses et céréales	49
III. 1. 3. 8. Rôle des associations dans la fertilisation biologique.....	51
Conclusion.....	52
Références bibliographiques.....	54
Résumés.....	65

Introduction

L'agriculture a été le tournant à partir duquel les sociétés civilisées modernes ont commencé. Les modes de vie des groupes humains sont passés de ceux basés sur la chasse primitive et aveugle à des méthodes agricoles. En raison du nombre croissant de personnes et du besoin de ressources fiables pour répondre aux besoins de ce nombre de personnes, on pense également que les changements climatiques survenus à la fin de la période glaciaire ont joué un rôle de premier plan dans la transformation vers l'agriculture, les céréales et les légumineuses figuraient parmi les plus anciennes espèces végétales cultivées, il y a environ 11300 ans (**Abu Hassan, 2018**). Comme les céréales sont une composante majeure de l'alimentation des humains et des animaux du monde entier. Si l'on considère les zones couvertes, alors le blé est la plante la plus cultivée sur Terre.

Les légumineuses sont l'une des plus grandes familles de plantes à fleurs appartenant à la famille des Fabacées. Ils jouent un triple rôle en protégeant le sol de la dégradation, en contrôlant les mauvaises herbes et en améliorant et en conservant la fertilité du sol en fixant l'azote dans l'atmosphère. En produisant des céréales et des fourrages de haute qualité, la culture de légumineuses peut augmenter le revenu global d'un agriculteur en réduisant les charges d'engrais, en particulier grâce à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Ces légumineuses affectent positivement la fertilité des sols grâce à la symbiose de la fixation de l'azote avec les souches de rhizobium. Ils jouent donc un rôle essentiel dans la rotation des cultures. En outre, les agriculteurs exercent une forte pression pour que les propriétés foncières répondent aux besoins de la population croissante. Il en résulte des niveaux inférieurs d'azote dans le sol. Une alternative à la restauration de la fertilité est la fixation biologique de l'azote par symbiose racinaire avec les légumineuses (**Kouame et al., 2019**), Elle est également considérée comme une espèce intéressante en agriculture biologique car elle permet de fixer l'azote dans l'air, introduisant ainsi de grandes quantités d'azote dans les systèmes agricoles à moindre coût, et ainsi ce procédé fournit l'équivalent d'un quart des engrais chimiques utilisés dans tous les types de production. Cette capacité à fixer l'azote leur est conférée par leur association avec des bactéries du genre *Rhizobium* via la formation de nodules (**Schneider et Huyghe, 2015**). Pour atteindre les meilleurs rendements, il faut satisfaire les besoins des cultures en éléments fertilisants (biologique ou minérale) par des apports d'engrais en quantités suffisantes et au moment opportun.

Depuis quelques années, divers organismes de recherche et de développement se penchent sur les associations de cultures, en particulier celles qui combinent céréale(s) et

légumineuse(s). Les connaissances progressent sur les diverses questions posées : Quels sont les bénéfices agronomiques de ces associations ? Quelle est la qualité des produits récoltés et pour quels débouchés ? Comment les intégrer aux systèmes de production en place ? Mais aussi quelles sont les limites de telles cultures, notamment vis-à-vis des filières qui les valorisent (**Fontaine, et al, 2013**).

Cette étude vise à découvrir l'effet de la fertilisation biologique et minérale sur les caractéristiques morpho-physiologiques et biochimiques des céréales et déterminer l'efficacité de cette fertilisation pour l'objectif de trouver des systèmes de culture durables afin de produire des rendements de blé réguliers et de bonne qualité avec une teneur en protéines satisfaisante. Notre démarche repose sur une valorisation optimale des ressources naturelles en azote provenant de la minéralisation du sol et de la fixation symbiotique (**Justes et al., 2009**).

I. 1. Généralité sur les céréales (graminées)

Les céréales constituent 45% des apports énergétiques dans l'alimentation humaine. Il existe trois groupes de céréales majeures qui correspondent à 75% de la consommation céréalière mondiale. Un premier grand groupe de céréales est formé par le blé, l'orge, le seigle et l'avoine, ce groupe, émerge dans le croissant fertile, berceau des civilisations occidentales qui ont donc leur point de départ au Moyen Orient et au Proche Orient. Un deuxième grand groupe est formé par le maïs qui est originaire d'Amérique centrale, il est à la base des civilisations amérindiennes. Le maïs a été importé en Europe par les explorateurs du Nouveau-Monde à la fin du XV^{ème} siècle. Un troisième grand groupe est ordonné autour du riz, qui est une plante originaire des régions chaudes et humides de l'Asie du Sud-est. Sa domestication s'est faite de façon synchrone avec la domestication du blé plus à l'Ouest. Le riz est à la base des civilisations orientales (**Clerget, 2011**).

Les céréales représentent la base de l'alimentation humaine mais également animale. Elles apportent l'énergie nécessaire au travail musculaire ainsi qu'au fonctionnement plus général de l'organisme. Chaque continent a sa céréale adaptée au climat et au sol, et donc facile à cultiver par les paysans ou les particuliers, pour vivre et pour se nourrir (**Anonyme, 2020**).

Par définition, une céréale est une plante cultivée principalement pour ses grains utilisés pour l'alimentation humaine et animale. La plupart des céréales appartiennent à la famille des poacées (anciennement graminées). On y associe aussi certaines plantes d'autres familles botaniques, comme le sarrasin (polygonacées), le quinoa ou l'amarante (chénopodiacées) qui sont en fait des pseudo-céréales. (**Henrotte, 2016**). Les céréales présentent l'ensemble des plantes cultivées en vue d'obtention du grain à l'albumen (**Belaid, 1986**).

I. 2. Historique de céréaliculture

La céréaliculture est très ancienne, on trouve des traces de blé, de seigle, d'avoine, et d'orge à 6 rangs dès le Néolithique. Le riz, le millet, le sorgho, le blé étaient cultivés 2700 ans avant notre ère en Chine; les Égyptiens de l'ancienne Égypte connaissaient le blé et le sorgho.

Les céréales ont d'autre part joué un rôle capital dans le développement de l'humanité, la plupart des civilisations se sont développées autour d'une céréale: les civilisations asiatiques, autour de la culture du riz; les civilisations précolombiennes, autour du maïs; les civilisations babyloniennes et égyptiennes, autour du blé. Les céréales ont une grande importance économique parce qu'elles apportent sous un petit volume, une matière

première très riche en calories, facilement transportable et conservable, c'est alors un aliment concentré (**Moule, 1971**).

I. 3. Importance et utilisation des céréales

Les céréales, socle historique de la diète méditerranéenne, occupent encore aujourd'hui une place prépondérante à la fois dans la production agricole et agroalimentaire de l'Algérie et dans la consommation alimentaire des ménages (**Rastoin et Benabderrazik, 2014**). D'après (**Abecassis et Vermeersch, 2006**), à l'aube du 21^{ème} siècle, les céréales servent à l'alimentation des animaux avant de nourrir les hommes. Les principaux usages des grains et graines sont les suivants :

- alimentation animale: graines (et pailles) de céréales et de légumineuses, issues de mouture, tourteaux d'oléo-protéagineux ;
- alimentation humaine ;
- farine, pain et biscuit (blé tendre), semoule, pâte alimentaire, couscous et blé précuit (blé dur), polenta (maïs), riz blanc ou étuvé;
- boissons: bière (malt et orge), whisky, gin.....
- huiles de table (colza, tournesol) ;
- ingrédients alimentaires: amidonnerie et glutennerie (blé, maïs) ;
- industries non alimentaires: biocarburants, industrie chimique (glucides, lipides).

Dans le monde entier, les céréales sont le premier produit alimentaire, ainsi le monde entier dépend des céréales. En Suisse, les habitants produisent principalement du blé, alors qu'en Afrique, c'est le millet. En Asie, c'est le riz et en Amérique du Sud c'est le maïs, céréale qui vient en tête des quantités produites dans le monde devant le riz et le blé (**Iseli-Trösch, 2019**).

I. 4. Biologie des céréales (Phases de développement)

Le cycle de développement d'une céréale comprend trois grandes périodes, à savoir, la période végétative qui va de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale, c'est-à-dire au début de la montaison, la période reproductrice allant du début de la montaison à la fécondation et la période de maturation allant de la fécondation à la maturité complète du grain (Figure1).

❖ Période végétative

Celle-ci comprend elle-même trois phases :

- Phase semis-levée;
- Phase levée-début tallage;

- Phase début tallage début montée (stade A).

❖ **période reproductrice ou de la « Montée »**

Celle-ci comporte 3 phases principales :

- Phase de formation des ébauches (primordiales) d'épillets.
- Phase de spécialisation florale.
- Phase méiose fécondation.

❖ **Période de maturation**

Durant cette période les substances de réserve (amidon, matières protéiques) s'élaborent et migrent dans l'albumen; parallèlement l'embryon se forme. Cette période comprend trois phases principales:

- Phase de multiplication cellulaire intense (12-15 jours chez le blé) durant laquelle il y a accroissement du poids d'eau et de matière sèche dans le grain. A la fin de cette phase, l'amande encore verte a pris sa forme définitive; l'albumen est devenu laiteux (stade laiteux).
- Phase d'enrichissement en glucides et protides (10 - 12 jours chez le blé) au cours de laquelle le poids d'eau dans le grain demeure sensiblement constant (palier de poids d'eau).
- Phase de dessiccation durant laquelle: il y a seulement diminution rapide du poids d'eau. Le grain devient alors successivement demi dur, puis dur; à sur maturité, il est devenu cassant (stade propice au battage immédiat) (**Moule, 1971**).

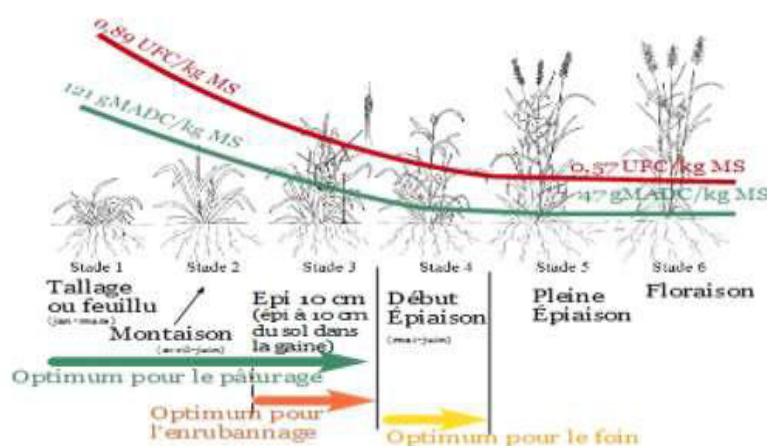


Figure 1: Stades de développement des graminées (Martin & Rosset, 2012)

I. 5. Exigences édaphiques, fertilisation et caractérisation des céréales

Le blé atteint les rendements les plus élevés sur des sols à bon pouvoir absorbant, bien pourvus en chaux, telles les terres argilo-calcaires du bassin parisien. En terres peu profondes,

il y a des risques de sécheresse aux périodes critiques (épiaison); à l'opposé, l'orge s'accommode très bien des terres légères, peu profondes, sur sous-sol calcaire.

Les céréales sont en forte besoins globaux de l'Azote pour la forme des plantes (élément constitutionnel), et qui joue un rôle fondamental comme fumier, c'est un facteur indispensable contre les maladies (fusariose, piétins), ainsi et à cause de sa libération rapide et son rythme d'absorption, il favorise le tallage chez le blé, l'orge et l'avoine. L'alimentation de la céréale en cet élément accroît non seulement le rendement mais encore la résistance aux accidents climatiques, froids et verse en plus de la précocité de maturité (nette action du phosphore, en particulier, sur l'avance de maturité chez le maïs) en plus de la qualité de récolte (**Moule, 1971**).

Les Poacées c'est la famille du blé, d'orge, du riz, du maïs (en général 15 céréales de cette famille), parmi toutes celles du règne végétal, les céréales occupent une place à part, non seulement par le nombre de ses espèces, mais encore par son ubiquité, sa répartition et son intérêt économique pour l'être humain.

Si les Poacées ne sont pas la première famille en nombre d'espèces, elles le sont probablement en termes d'impact écologique, de biomasse et de productivité agricole (**Dupont et Guignard, 2015**).

Les Poacées, plus communément connue sous le nom de Graminées, sont des plantes monocotylédones et herbacées. Une des particularités de cette famille est la multiplication végétative par tallage. Les graminées sont une famille botanique très importante pour le monde agricole car elle représente un grand nombre de genre et d'espèces mais surtout parce qu'elle compose, dans la très grande majorité des cas, l'essentiel de la flore prairial (**Crémer, 2014**).

✓ **Appareil végétatif**

Les Poacées sont des plantes herbacées et généralement de faible dimension. Annuelles, celles-ci sont pourvues de nombreuses racines, dites fasciculées qui prennent naissance à la base de la tige ou vivaces, qui présentent une souche ou un rhizome souvent se ramifie et chaque année donne naissance à de nouvelles tiges aériennes.

La tige aérienne porte le nom de chaume, elle est creuse et cylindrique ; sa cavité est interrompue régulièrement, au niveau des nœuds, par des diaphragmes. La tige présente cependant à l'état jeune, une moelle formée d'un tissu lâche. Dans beaucoup de genres tropicaux, cette moelle persiste et s'accroît en même temps que la tige s'agrandit (**Dupont et Guignard, 2015**).

La feuille, constitue le principal appareil de photosynthèse de la plante, et d'un point de vue agricole, Elle est composée de deux parties, la gaine et le limbe. La gaine commence au nœud et enferme plus ou moins la tige sur une certaine longueur. Elle peut être fendue ou soudée. Souvent, la base de la gaine est soudée alors que sa partie supérieure est fendue. Le limbe est détaché de la tige et forme avec elle un angle variable.

Les racines des graminées sont fasciculées et peuvent être très denses. Elles apparaissent généralement au niveau du plateau de tallage mais, dans certaines conditions, elles peuvent apparaître au niveau des nœuds (Crémer, 2014).

✓ **Appareil reproducteur**

Les fleurs, sont généralement hermaphrodites, portées sur la rachéole et sont constituées des organes sexuels, de deux bractées, la glumelle inférieure ou lemme et la glumelle supérieure aussi appelée paléole et de deux lodicules ou glumelles situés à la base des organes sexuels. Ces derniers sont constitués des étamines et des ovaires surmontés des styles et des stigmates. Dans certaines espèces, des éléments, comme la glume supérieure, sont absents. Parfois, certaines fleurs sont stériles ou uniquement mâles. Chez d'autres espèces, le lemme peut être aristée. Si la reconnaissance de plante nécessite l'observation de la structure de l'épillet, il est fortement conseillé de se munir d'une loupe pour le manipuler. (Crémer, 2014).

Le fruit des Poacées est typique, c'est un caryopse, c'est-à-dire un akène dont l'enveloppe est intimement soudé au tégument de la graine.

La graine contient un albumen amylicé très abondant (broyé, le caryopse donne la farine, de couleur blanche, à l'origine du mot albumen) et limité extérieurement par une assise à gluten de nature protéique (Figure 2) (Dupont et Guignard, 2015).

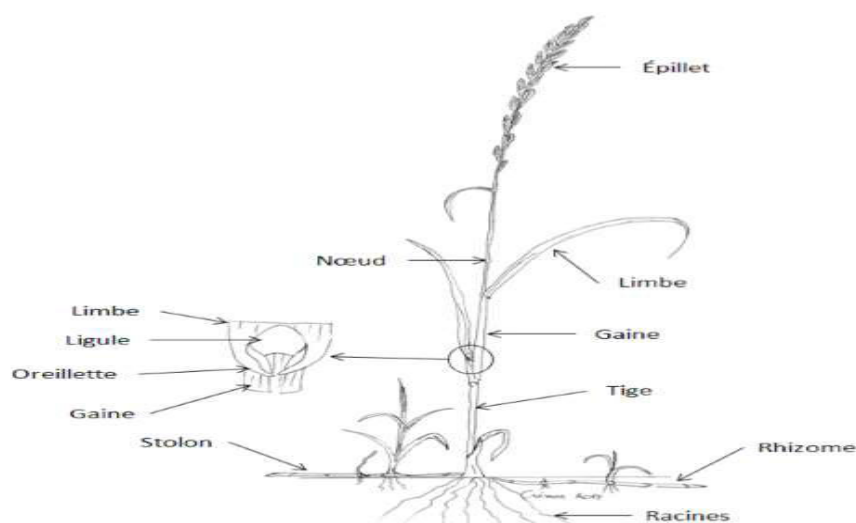


Figure 2: Description schématique d'une graminée. (Sébastien, 2014)

I. 6. Composition et structure des grains de céréales

On constate une grande analogie dans la composition chimique de grain entier de diverses céréales avec quelques différences (**Tableau 1**). Dans toutes les espèces, le grain est essentiellement glucidique avec 60 à 75 % de glucides digestibles (amidon principalement). Les céréales apparaissent ainsi comme des aliments essentiellement énergétiques : 330 à 385 k cal / 100g. Le taux de fibre diététique est variable (2 - 30 %), il dépend notamment de la taille du grain. La teneur en protéines est de 6 à 18 % dans les cas extrêmes mais se situe le plus souvent entre 8 et 13 %. Les lipides sont relativement abondants mais ils sont extrêmement intéressants par la forte proportion des acides gras polyinsaturés.

Les céréales sont peu minéralisées dont la teneur en phosphore est élevée, celle du calcium est faible à l'exception du maïs jaune qui contient des caroténoïdes actifs, les céréales sont pauvre en vitamine (A) & (C), mais les germes sont riches en vitamine (E) et les vitamines du groupe (B) (à l'exception de la vitamine (B12) (Tableau 1) (**Favier, 1989**).

Tableau 1: Composition nutritionnelle des céréales (pour 100g de grains)

Composants	Blé	Orge	Mais
Protéines (g)	10.7	9.91	3.27
Lipides (g)	1.99	1.91	1.35
Glucide (g)	75.4	77.72	18.7
Fibre diététique (g)	12.7	15.6	2
Calcium (mg)	34	29	2
Fer (mg)	5.37	2.50	0.52
Phosphore (mg)	200	221	89
Sucre (g)	0.85	0.80	6.26
Eau (g)	10.4	10.09	76
Vitamine B1 (mg)	0.410	0.191	0.055
Vitamine B9 (ug)	41	23	/
Vitamine B6 (mg)	0.378	0.260	0.093
Calorie	340	352	86

Source : (FAO, 2020)

Pour la structure de grains d'une céréale, les couches externes (péricarpe et testa) sont caractérisées essentiellement par leur teneur non négligeable en protéines (7%), lipides (2%), minéraux et vitamines du groupe B., fibre (ou glucides pariétaux ou glucides indigestibles, à savoir la cellulose, l'hémicelluloses, la lignine qui n'est pas un glucide proprement dit).

La couche d'aleurone est extrêmement riche du point de vue nutritionnel, bien qu'elle constitue seulement 6 % du poids du grain, elle contient à elle seule 16 à 20% des protéines du grain entier, 31% des lipides, 58% des minéraux, 32% de la thiamine (vitamine B1), 37, 82% des autres vitamines du groupe B (B2, B5, PP, acide pantothénique).

L'albumen est la partie du grain la plus importante en volume et en poids (60 à 90%). L'albumen contient principalement de l'amidon; ses teneurs en protéines, lipides, minéraux et vitamines sont plus faibles que celles du germe et des enveloppes. De plus, la qualité nutritionnelle de ses protéines est inférieure à celle des protéines des parties périphériques du grain (Tableau 2, Figure 3) (Favier, 1989).

Tableau 2 : Structure de grains des céréales (% grain entier).

	Blé	Orge	Maïs	Riz
Albumen	82	82	83	90
Germe scutellum	3	10	11	4
Enveloppes couche à aleurone	15	8	6	6

Source : (Miche, 1980)

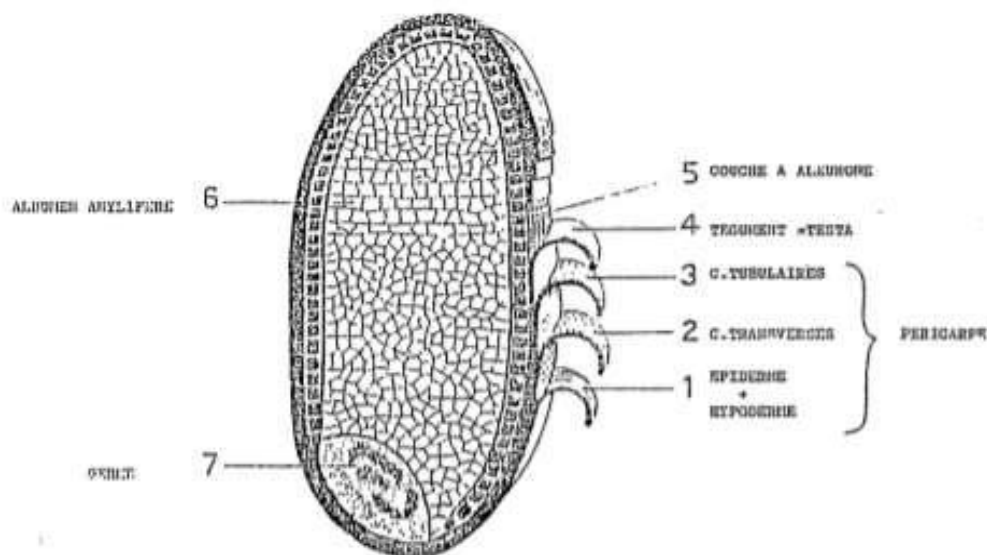


Figure 3: Structure du grain de céréale (Adrian et Jacquot, 1964)

I. 7. Céréales cultivées

Les cinq céréales les plus cultivées dans le monde sont dans l'ordre: le maïs, le blé dur, le blé tendre, le riz, l'orge et le sorgho.

I. 7. 1. Blé (*Triticum* sp.)

Historiquement c'est une des premières céréales cultivées dans le monde. Au point de vue quantitatif, c'est la 3^{ème} céréale la plus cultivée avec environ 600 millions de tonnes/ an. Le blé est une plante de la famille des poacées (graminées) de hauteur variable (0.5-1m) selon les variétés, il est constitué d'un thalle à la base duquel poussent plusieurs tiges (chaumes), portant des feuilles au bout desquelles se trouve l'épi regroupant les grains. Ces épis sont différents selon les variétés et présentent des «barbes» (Erhart, 2016).

D'après (Henrotte, 2016), le terme blé a longtemps été utilisé pour désigner l'ensemble des céréales, mais à partir du XIX^{ème} siècle qu'il a été appliqué au froment. Le blé est classé en 2 grandes catégories, à savoir, le blé tendre (*Triticum aestivum* L., ou *Triticum vulgare*), qui au vu de multitude de cultivars existants, peut être cultivé dans toutes les zones tempérées du globe et le blé durs, caractérisé par la dureté des grains et le faible taux en gluten avec une teneur élevée en amidon, adapté aux pays chauds. Il est utilisé pour la production de pâtes alimentaires.

I. 7. 1. 1. Description botanique

Le blé est une plante herbacée annuelle, monocotylédone, produit un fruit sec indéhiscent (caryopse). Ses tiges sont creuses (chaumes) munies de nœuds d'où partent des feuilles alternes formées d'un pétiole engainant et d'un limbe à nervures parallèles. L'appareil reproducteur est un épi constitué d'un rachis où s'attachent des épis plus petits (épillet renferment 1 à 3 fleurs chacun). Les deux bractées membraneuses concaves (glumes situées à la base de chaque épillet). Certaines glumes sont munies d'une arête appelée communément « barbe ». Deux glumelles (adhérentes au grain ou pas) entourent chaque fleur. Les glumes et glumelles forment les « balles » et ne doivent pas être confondues avec le «son» qui correspond à l'enveloppe du grain. Le grain de blé est un fruit sec indéhiscent à une seule graine dont le tégument adhère à la paroi du fruit, qu'on appelle caryopse (Codou-David, 2018). Le blé est très nutritif grâce à ses sucres lents faciles à conserver lorsqu'il a été récolté par une journée sèche, il est la deuxième céréale la plus consommée par l'homme (Pollet, 2013).

I. 7. 1. 2. Cycle de développement

*** Période végétative**

Durant laquelle la plante installe ses capteurs foliaires et racinaires pour intercepter le rayonnement et absorber l'eau et les éléments minéraux. (Labidi, 2016). La germination débute une fois la graine est semée. Les semences commencent à s'imbiber lentement d'eau, imprégnée et entre en vie active. La radicule s'allonge pour donner naissance aux racines primaires ou racines séminales. Au même moment, la coléoptile s'allonge et perce le sol pour laisser sortir les jeunes feuilles en croissance contribuant à la photosynthèse. Le tube formé par les trois feuilles s'allonge sous le sol et de nouvelles racines, dites secondaires ou adventives, font leur apparition. Quelque temps après, les réserves de la semence épuisées, les racines primaires meurent et la plantule est complètement sevrée et elle va commencer à taller. A ce moment, la quatrième feuille va bientôt apparaître et la talle principale ou maître brin est ainsi formée. (Crémer, 2014).

**** Levée**

Cette période est caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement (**Giban et al., 2003**).

**** Tallage**

A l'aisselle de la première feuille s'est développé un bourgeon, ou méristème. Celui va donner naissance une nouvelle talle, ou talle primaire. Une talle est composée bien évidemment de feuilles et de racines. Il y a un méristème à la base de chaque feuille et, chacun de ceux-ci va redonner naissance à une talle. A la base des feuilles des talles primaires se développent des bourgeons qui donneront naissance à des nouvelles talles...etc. C'est la multiplication par tallage (stade 1), une des particularités des graminées qui les rendent si indispensables en prairie. Le nombre de talle peut donc augmenter de manière exponentielle. Cependant, la population de talle dans une prairie est un équilibre entre celles qui meurent et celles qui apparaissent. Cet équilibre dépend, entre autre, des tendances saisonnières, des conditions climatiques, de la luminosité, de la compétition entre talles... etc. Pourtant, le principal facteur de la mort massive des talles est la phase reproductive (**Crémer, 2014**).

*** Période reproductive**

Durant laquelle la plante met en place ses organes reproducteurs. À l'issue de cette dernière, le nombre potentiel de grains est fixé (**Labidi, 2016**).

**** Montaison**

Stade repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin maître atteint 1cm de hauteur. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui se gonfle (**Giban et al., 2003**).

**** Epiaison**

C'est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille (**Giban et al., 2003**).

**** Floraison**

C'est la sortie des premières étamines hors des épillets au milieu de l'épi sur 50% des épis la formation du grain se fait quand les grains du tiers moyen de l'épi parviennent à la moitié de leur développement. Ils se développent en deux stades, à savoir, le stade laiteux où le grain vert clair, d'un contenu laiteux atteint cette dimension définitive (grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin) et le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement (grain a perdu son humidité et l'amidon a été constitué).

*** Période de maturation du grain**

Appelée aussi remplissage du grain, qui requiert de la chaleur et un climat sec, durant laquelle, le grain profite des assimilés provenant de la remobilisation et des dernières feuilles photosynthétiquement actives, puis se déshydrate partiellement (Figure 4) (Labidi, 2016).

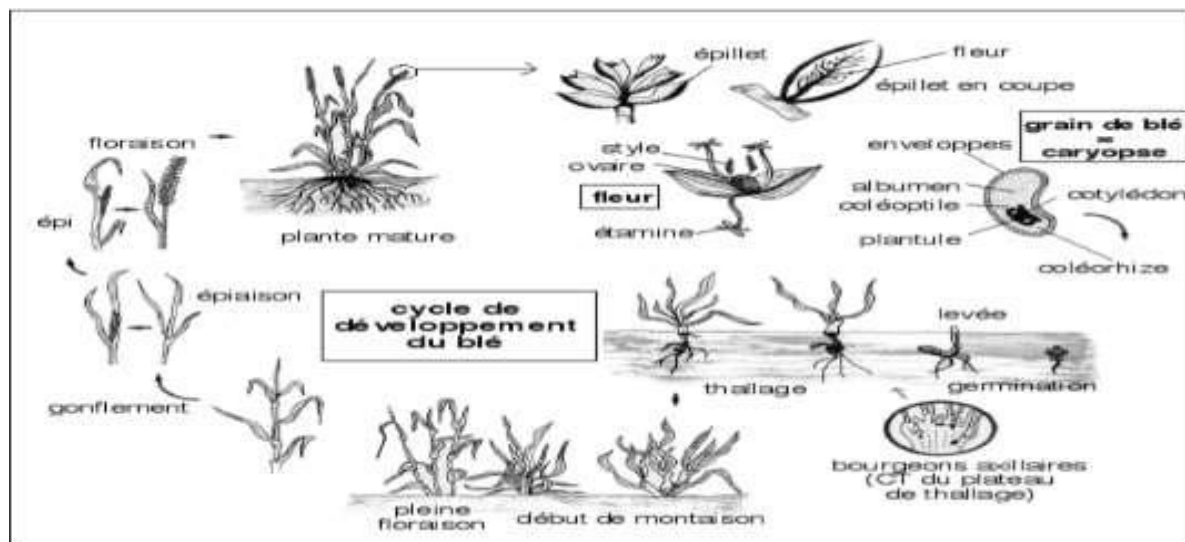


Figure 4: Cycle de développement de blé (Erhart, 2016)

On distingue dans la vie du grain de blé, depuis les semailles jusqu'à la récolte, deux phases, la première reproduite dans le schéma ci-dessous (Figure 5), par le trait (A-B), est appelée phase végétative, la seconde (C - D), phase reproductive. Ces deux phases sont séparées par une période (B - C), "virage" correspondant au début de la formation de l'épi, dont l'évolution ultérieure constitue la phase reproductive. Cette période (B- C) est très courte et peut être négligée.

Les blés durs présentent d'une façon constante une phase végétative courte et une phase reproductive longue et on les considère pour cela comme précoces tardifs. Au contraire, les blés tendres ont, en général, une phase végétative longue et une phase reproductive courte dont on les considère alors comme tardifs-précoces (Lommez et Leondurand, 1965)

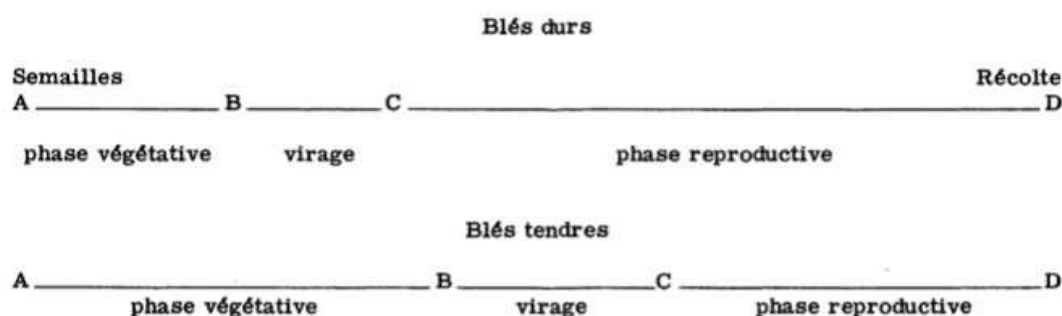


Figure 5: Rythme de développement de blé (Lommez et Leondurand, 1965)

I. 7. 1. 3. Classification et description botanique du Blé dur (*Triticum durum*)

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est une monocotylédone de la famille des Graminées, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum*. En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre (*Triticum aestivum* L.), a nombre chromosomique ($2n = 2X = 28$) (Blés tétraploïdes) et grains durs et vitreux. (Codou-David, 2018). Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (Bozzini, 1988). Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entre-nœuds (Clarke et al., 2002). Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale. Le nombre de brins dépend de la variété. L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre-nœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur (Figure 6).



Figure 6: Morphologie de blé dur (<https://www.arvalis-infos.fr>)

I. 7. 1. 3. 1. Systématique du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Le blé dur appartient au **Règne** plantae, **Embranchement** des angiospermes, **Sous embranchement** des spermaphytes, **Classe** des monocotylédones, **Ordre** des glumiflorales, **Super ordre** des comméliniflorales, **Famille** des graminée (Poaceae), **Sous Famille** des pooideae, **Tribu** des Triticeae, **Sous tribu** des Triticinae, **Genre** *Triticum*, **Espèce** : *Triticum durum* (**Feillet, 2000**)

I. 7. 1. 3. 2. Utilisation

Le blé dur (*Triticum durum*), consommé entier ou plus ou moins concassé, est utilisé pour faire de la semoule et des pâtes alimentaires de toutes sortes, complètes ou raffinées, il est très riche en gluten (**Erhart, 2016**).

I. 7. 1. 3. 3. Origine et répartition géographique

Les blés sauvages tétraploïdes sont largement répandus au Proche-Orient, où les humains ont commencé à les récolter dans la nature (**Bozzini, 1988**) comparativement aux blés diploïdes, leurs grands épis et leurs gros grains les rendaient beaucoup plus intéressants pour la domestication. On croit que le blé dur provient des territoires actuels de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran (**Feldman, 2001**). Cependant, (**Codou-David, 2018**), affirme que cette espèce cultivés dans les régions chaudes et sèches comme le Sud de la France ; Non panifiable et utilisé pour la fabrication de semoule et de pâtes alimentaires.

I. 7. 1. 3. 4. Exigence pédoclimatique

Le blé dur est plus adapté que 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. Dans les tropiques, la culture du blé dur réussit mieux en altitude, ou bien pendant les mois les moins chauds de l'année. En Ethiopie, la production de blé dur est concentrée sur les hautes terres du centre, du Nord et du Nord-ouest, à 1800-2800m d'altitude. Pour produire une récolte acceptable, il faut au moins 250mm d'eau. 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 à 7,5. Le blé dur est sensible à la salinité du sol. Une carence en azote et en micronutriments peut constituer un facteur limitant sur les vertisols. On peut aussi faire pousser du blé dur sur des sols légers (andosols), mais dans ce cas, il faut utiliser des cultivars à tige raide et courte, résistants aux maladies. (**Belay, 2006**).

I. 7. 1. 4. Blé tendre (*Triticum aestivum*)

I. 7. 1. 4. 1. Classification et description botanique

Le blé tendre (*Triticum aestivum*) est une monocotylédone de la famille des Graminées, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum*. En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la première plus importante du genre *Triticum* avec un très grand nombre de variétés. A nombre chromosomique ($2n = 4 X = 42$ Chromosomes = blé hexaploïde) (Figure 7) (Codou-David, 2018).

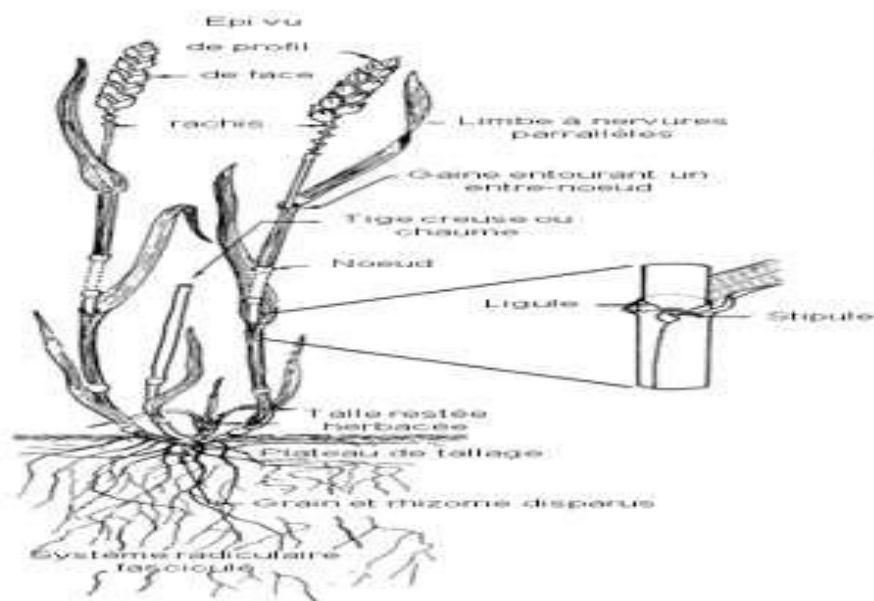


Figure 7: Morphologie du blé tendre (Soltner, 1988)

Selon (Lersten, 1987), le *T. aestivum* est une graminée annuelle ou annuelle hivernale, de hauteur moyenne. Les feuilles ont un limbe plan, et l'inflorescence est un épi terminal, à fleurs parfaites. L'état végétatif de la plante se caractérise par la présence d'un plateau de tallage, dont les bourgeons axillaires se transforment en tiges feuillées. Les tiges, appelées chaumes, possèdent cinq à sept nœuds ainsi que trois ou quatre feuilles véritables. La feuille la plus haute, ou dernière feuille, sous-tend l'inflorescence. Chaque chaume produit un épi composé, dont les ramifications sont les épillets. Les épillets sont portés par le rachis, ou axe principal de l'épi, et séparés par de courts entre-nœuds. Chaque épillet est un axe reproducteur condensé, sous-tendu par deux bractées stériles appelées glumes. Les glumes enveloppent les deux à cinq fleurs, portées chacune par un court pédicelle appelé rachéole. La fleur possède trois étamines se terminant chacune par une grande anthère; le pistil comprend un seul ovaire, un seul ovule et deux styles se terminent chacun par un stigmate plumeux et ramifié (Figure 8).

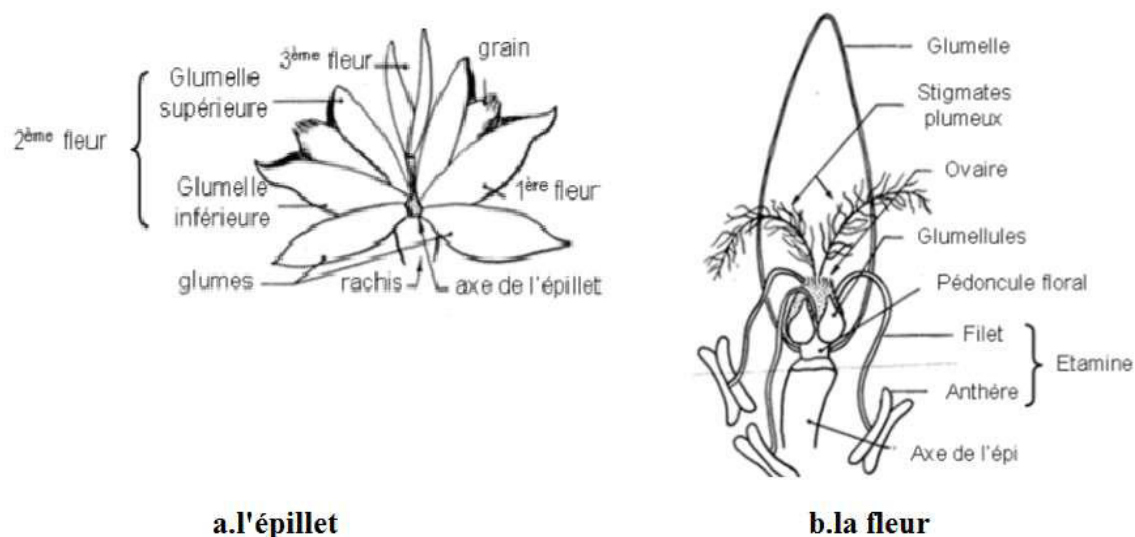


Figure 8: Description schématique de la partie reproductrice du blé tendre (Soltner, 1988)

I. 7. 1. 4. 2. Systématique de blé tendre (*Triticum aestivum*)

Le blé dur appartient au **Règne** plantae, **Embranchement** des angiospermes, **Sous embranchement** des spermaphytes, **Classe** des monocotylédones, **Ordre** des glumiflorales, **Super ordre** des comméliniflorales, **Famille** des graminée (Poaceae), **Sous Famille** des pooideae, **Tribu** des Triticeae, **Sous tribu** des Triticinae, **Genre** *Triticum*, **Espèce** : *Triticum aestivum* (Feillet, 2000)

I. 7. 1. 4. 3. Utilisation

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.), autrement appelé froment est utilisé pour faire de la farine qui servira à fabriquer les pains (panification) et les produits de biscuiterie (pâtisserie, viennoiserie). Le blé tendre peut aussi être utilisé à des fins non alimentaires tels que la production de bioéthanol. A l'échelle mondiale, La France est largement majoritaire (95%) de la production mondiale du blé tendre (Erhart, 2016).

I. 7. 1. 4. 4. Origine et répartition géographique

L'origine du blé est difficile à préciser à cause de la diversité des opinions taxonomiques. Cependant, (Feldman, 1976) et la plupart des chercheurs estiment que les cultivars de blé modernes sont issus de l'engrain (*T. monococcum*.) et de l'amidonnier (*T. turgidum*). L'engrain sauvage est apparu dans le sud-est de la Turquie « croissant fertile », où il croît encore aujourd'hui. Les blés tendres appartiennent à une espèce unique : *Triticum aestivum* L. Le grand nombre de variétés différentes (plus de 20000) explique qu'ils puissent être cultivés sous des climats très variés (à l'exception des climats équatoriaux trop humides).

Ils ont en effet besoin d'une période sèche en fin de cycle végétatif pour parvenir à maturité. Les blés tendres fournissent après broyage puis tamisage une farine panifiable (Codou-David, 2018).

I. 7. 1. 4. 5. Exigence pédoclimatique

S'il est possible de cultiver le blé tendre depuis le cercle arctique jusqu'à proximité de l'équateur, les latitudes où il pousse le mieux se situent entre (30-60°N et 27-40°S). La fourchette optimale de températures pour sa croissance est de 10-24°C, avec des minima de 3-4°C et des maxima de 30-32°C. Une température moyenne d'environ 18°C est optimale en termes de rendement. Des températures supérieures à 35°C interrompent la photosynthèse et la croissance, et à 40°C la chaleur tue la plante. Le blé tendre exige au moins 250mm d'eau pendant la saison de croissance ; on peut le cultiver dans des régions recevant entre 250–750mm de pluie par an. La sensibilité à la longueur du jour diffère d'un génotype à l'autre, mais la plupart sont des plantes de jours longs à réaction quantitative; la floraison est plus précoce en jours longs, mais aucune longueur de jour spécifique n'est requise pour l'initiation florale. 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 (Belay, 2006).

I. 7. 1. 5. Orge (*Hordeum vulgare* L.)

I. 7. 1. 5. 1. Classification et description botanique

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) Est une plante annuelle, autofécondée très semblable au blé dans la morphologie de ses organes végétatifs et floraux. 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 chromosomique ($2n=14$). Cette espèce, bien qu'appartenant à la même tribu (Triticeae) que le blé, est placée dans la sous-tribu Hordeinae du fait de différences au niveau de la structure de ses épis. 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 nœud 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'hybride inter génique sous conditions expérimentales, bien que la fertilité des plants hybrides obtenus soit très réduite. Les variétés d'orge sont regroupées d'après les caractéristiques de leurs épis, en orges à six rangs et en orges à deux rangs. Les orges à six rangs comportent des épillets fertiles regroupés par trois sur chaque plan de l'axe vertical de

l'épi. Les deux épillets latéraux des orges à deux rangs sont stériles et ne produisent qu'un seul caryopse par groupes de trois épillets. Dans ce dernier cas, l'épi apparaît comme un épi distique quand on l'observe sur le plan transversal. Autrement, les caractéristiques végétatives et florales de l'orge sont similaires à celles du blé (**Leonard et Martin, 1963**).

Il y a une grande diversité d'orges cultivées. Les quatre principales espèces sont :

- la paumelle, aux grains disposés sur deux rangs dans l'épi que l'on trouve presque partout en France : *Hordeum distichum* L.
- l'orge pyramidale, aux grains également disposés sur deux rangées qui est cultivée de façon plus localisée : *Hordeum zeocriton* L.
- l'orge carrée, dont les grains sont disposés sur quatre rangées et que l'on cultive presque partout en France : *Hordeum vulgare* L.
- l'orge à six rangs, dont les grains sont répartis sur six rangées dans l'épi: (*Hordeum hexastichum* L.) Elle est de moins en moins cultivée. C'était pourtant l'espèce ancestrale cultivée dans l'Antiquité dans le Croissant fertile (**Clerget, 2011**).

- D'un point de vue nutritionnel, l'orge renferme des polysaccharides, des protéines, des lipides et des vitamines B et E. Elle contient les acides aminés essentiels, des oligo-éléments intéressants (Sélénium, Phosphore, Fer, Zinc, Cuivre, Magnésium) mais également du gluten.

I. 7. 1. 5. 2. Systématique de l'orge (*Hordeum vulgare* L.)

Règne plantae, Embranchement des angiospermes, Sous **embranchement** des spermaphytes, Classe des monocotylédones, Ordre des glumiflorales, Super ordre des comméliniflorales, Famille des graminées (Poaceae), Sous Famille des pooideae, Tribu des Triticeae, Sous tribu des Hordeinae, Genre *Hordeum*, Espèce : *Hordeum vulgare* L., (**Feillet, 2000**).

I. 7. 1. 5. 3. Cycle de développement de l'orge

Le cycle de développement de l'orge répond à un déroulement bien précis. La culture de cette plante offre l'opportunité d'observer chacune de ces étapes, à savoir, le semis des graines en automne dans un sillon puis recouvertes de terre ; Au contact de l'humidité du sol, la graine germe, c'est la germination. Une radicule se développe dans le sol pour former les racines. Puis la coléoptile sort de la graine pour se diriger vers la surface du sol. Après quelques jours, une plantule sort du sol, c'est la levée ; pendant l'automne et l'hiver, c'est la période du tallage, les pousses vont se développer pour former des touffes ; au printemps, la plante commence à grandir, c'est la montaison ; au sommet de la plante apparaît aux mois d'avril et mai la fleur de l'orge, c'est l'épiaison; après avoir été pollinisées, les fleurs vont

donner naissance à des grains. Du juin à juillet, les grains vont grossir pour arriver à maturité, c'est alors le temps de la moisson (Figure 9 & 10) (Anonyme, 2008).



Figure 9: Cycle de développement de l'orge

Phases de développement de l'orge d'hiver									
	Installation - env. 6 mois						Construction - env. 2 mois		
Phase de développement									
							Formation de l'épi		
							Stockage de		
				Tallage			Élongation de la tige		
	Production du feuillage								
	Croissance racinaire								
Croissance	GS00	GS10			GS21		GS30	GS31	GS37-39
Heure	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai

Figure 10: Phase de développement de l'orge (Yara, 2020)

I. 7. 1. 5. 4. Utilisation

L'homme n'intervient également ici qu'au niveau de la sélection pour privilégier les espèces les plus faciles à cultiver, les plus résistantes, les plus productives, les plus rentables. Avec l'orge, les Celtes fabriquaient une boisson fermentée appelée cervoise. Autrefois avec

de la farine d'orge, on fabriquait aussi un pain de mauvaise qualité. Maintenant cette farine est essentiellement réservée à l'alimentation animale. La culture de l'orge se maintient cependant à un niveau élevé (plus de 140 millions de tonnes par an dans le monde), car l'orge germée ou malt est maintenant beaucoup utilisée en brasserie pour la fabrication de la bière. On trouve aussi de l'orge dans la préparation du whisky. Dépouillés de leurs enveloppes, les grains d'orge servent aussi à préparer du gruau (semoule), des potages, des tisanes, du sucre d'orge (Clerget, 2011).

I. 7. 1. 5. 5. Origine et répartition géographique

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. On ne sait pas exactement quand l'orge est arrivée en Ethiopie, mais cela fait au moins 5000 ans qu'elle y est cultivée. L'orge a gagné le sud de l'Espagne vers 4000–5000 av. J.-C. et elle a atteint l'Europe du Nord et centrale, ainsi que l'Inde, vers 2000–3000 av. J.-C. En Chine, elle est arrivée en 1000–2000 av. J.-C. Au Sahara, elle était cultivée dans les oasis en 100–300 av. J.-C., mais il semble qu'elle n'ait pas migré plus au sud en Afrique de l'Ouest avant le XVI^{ème} siècle après J.-C. Christophe Colomb l'a introduite dans le Nouveau Monde. De nos jours, c'est la céréale dont l'aire de culture couvre les zones écologiques les plus diverses, depuis 70°N en Norvège jusqu'à 44°S en Nouvelle-Zélande. En Ethiopie, au Tibet et dans les Andes, sa culture se pratique sur les flancs des montagnes à des altitudes bien supérieures à celles des autres céréales. Pour ce qui est de l'Afrique tropicale, on la trouve surtout en Afrique de l'Est. En Afrique de l'Ouest, l'orge est une culture de saison froide du Sahel et du nord du Nigeria. A Madagascar, elle se cultive pendant la saison sèche (Ceccarelli et Grando, 2006).

I. 7. 1. 5. 6. Exigence pédoclimatique

L'orge croît sous des conditions de photopériode, de température et de précipitations très variables, mais elle est mieux adaptée aux climats tempérés. Elle supporte les températures élevées sous des climats secs et l'humidité sous des climats frais, mais elle est mal adaptée aux climats chauds et humides, avant tout en raison de sa sensibilité aux maladies. L'orge d'hiver nécessite une vernalisation par une période de basses températures (de 03-12°C). L'orge est adaptée à des précipitations annuelles allant de 200mm à plus de 1000mm. Elle échappe à la sécheresse, en raison de sa maturité précoce, davantage qu'elle ne la tolère. Ce sont les limons ou les sols légèrement argileux bien drainés et fertiles qui conviennent le mieux à la production d'orge. L'orge supporte mieux les sols alcalins que les

autres céréales, mais elle ne tolère pas les sols acides ; un pH de 6,0–8,5 est généralement acceptable. Elle est très sensible à l'asphyxie racinaire. Certains cultivars sont capables de faire face à une salinité du sol atteignant 1% (Ceccarelli et Grando, 2006).

I. 8. Généralité sur les légumineuses

Les légumineuses, avec 19500 espèces répandues dans le monde entier (Dupont et Guignard, 2015), sont des plantes dicotylédones qui représentent la troisième famille des plantes compte tenant des nombres d'espèces après les composées (Astéracées) et les orchidées (Schneider et al., 2015) et la deuxième famille en importance économique après les Poacées (Alain, 2018).

Les légumineuses regroupent trois familles, à savoir, les Fabaceae (Papilionaceae), les Mimosaceae et les Caesalpinaceae (Klein et al., 2014). Elles se présentent sous toutes les formes végétatives, de la plus petite herbe aux très grands arbres des régions tropicales (APM, 2015). Une des particularités des légumineuses est de pouvoir fixer l'azote atmosphérique grâce à une symbiose avec des bactéries qui sont logées dans des nodosités fixées sur les racines, il s'agit des bactéries fixatrices de l'azote de l'air, du genre rhizobium, d'où leur importance économique pour leur richesse en matières azotées (APM, 2015). Cette propriété est très importante et largement utilisée en agriculture (Figure 11) (Crémer et Knoden, 2014).



Figure 11: Diversité de productions au sein des légumineuses à graines (Rac et Solagro, 2016).

I. 8. 1. Caractères généraux des légumineuses

*** Appareil végétatif**

**** Les feuilles**

Généralement alternes, composées pennées, souvent trifoliolées parfois unifoliolées (Spichiger et al., 2004) stipulées, peuvent évoluer vers une feuille simple ou vers une feuille

composée pennée; en particulier, la foliole terminale se transforme parfois en vrille et les stipules peuvent devenir plus importantes que les feuilles, (Dupont et Guignard, 2015), Ce que les plantes parfois grimpantes, d'où la présence de vrilles qui sont des tiges modifiées.

**** Les racines**

Les racines des légumineuses sont composées d'une racine principale de type pivotant et de racines latérales portant les nodosités formées par les bactéries fixatrices de l'azote atmosphérique (Figure 12) (Profert, 2018).



Figure 12: Nodosité sur racines des légumineuses (Crémer et Knoden, 2014)

*** Appareil reproducteur**

**** Fleur**

Les fleurs en forme de papillons (papilionacés) pour la plupart des espèces cultivées (Schneider et al., 2015), groupées en grappes plus ou moins allongées. Le calice, gamosépale, a cinq (05) dents qui se groupent parfois en deux (02) lèvres (Genêt). La corolle, très zygomorphe, est dite « papilionacée ». L'androcée compte dix (10) étamines libres chez les Faboïdées les plus primitives comme le Sophora ou le plus souvent, soudées entre elles par leur filet, sauf une, comme chez le Haricot (plus fréquent) ou encore toutes soudées comme chez les Genêts. Le gynécée est représenté par un carpelle allongé, pluri-ovulé et surmonté d'un style de forme variable.

**** Fruit**

Sec défini par une double ouverture : ventrale (le long de la ligne de suture du carpelle, comme pour un follicule) et dorsale (au niveau de la nervure principale de la feuille carpellaire). La gousse peut chez quelques espèces, se transformer secondairement.

**** Graines**

Résultant d'un ovule courbe, sont elles-mêmes arquées. Elles sont exalbuminées et riches en amidon, matières protéiques (aleurone) et huile ; selon les genres, c'est l'une ou

l'autre de ces réserves qui domine (ex. : Amidon chez les Pois, Haricot, Fève, Lentille : Huile chez l'Arachide ; Protéines chez le Soja) (Dupont et Guignard, 2015).

I. 8. 2. Classification botanique

D'après le (APG, 2003), Le haricot, la lentille et le pois chiche appartiennent aux Règne : Plantae ; Classe Dicotylédones ; Sous-classe : Rosidea ; Ordre : Fabales ; Famille : Fabaceae ; Sous-famille : Faboideae.

Ils se différencient par leurs genres : ce que le haricot appartient au genre *Phaseolus*, la lentille de genre *Lens* et le genre *Cicer* pour le pois chiche (Tableau 3).

Tableau 3: Classification des légumes secs (FAO, 1994)

Code FAO	Produit	Notes ¹
176	Haricots (secs)	Cette catégorie générale comprend les espèces suivantes: 1) haricot commun (<i>Phaseolus vulgaris</i>), 2) haricot de Lima (<i>Phaseolus lunatus</i>), 3) haricot d'Espagne (<i>Phaseolus coccineus</i>), 4) haricot tépari (<i>Phaseolus acutifolius</i>), 5) haricot adzuki (<i>Vigna angularis</i>), 6) haricot velu de la Basse Nubie (<i>Vigna radiata</i>), 7) haricot urd (<i>Vigna mungo</i>), 8) haricot riz (<i>Vigna umbellata</i>) et 9) haricot mat (<i>Vigna aconitifolia</i>).
191	Pois chiches	Cette catégorie ne comprend que le pois chiche (<i>Cicer arietinum</i>).
187	Pois (secs)	Cette catégorie ne comprend que le pois (<i>Pisum sativum</i>).
195	Niébé (sec)	Cette catégorie ne comprend que le niébé (<i>Vigna unguiculata</i>).
201	Lentilles	Cette catégorie ne comprend que la lentille (<i>Lens culinaris</i>).
197	Pois d'Angole	Cette catégorie ne comprend que le pois d'Angole (<i>Cajanus cajan</i>).
181	Fèves	Cette catégorie ne comprend que la fève (<i>Vicia faba</i>).
210	Lupins	Cette catégorie comprend plusieurs espèces appartenant au genre <i>Lupinus</i> L.
205	Vesces	Cette catégorie ne comprend que la vesce commune (<i>Vicia sativa</i>).
203	Pois bambara	Cette catégorie ne comprend que le pois bambara (<i>Vigna subterranea</i>).
211	Légumes secs, NDA ²	Cette catégorie générale comprend des espèces qui revêtent une importance mineure au niveau international: 1) dolique d'Égypte (<i>Lablab purpureus</i>), 2) pois sabre (<i>Canavalia ensiformis</i>), 3) pois ailé (<i>Psophocarpus tetragonolobus</i>), 4) guar (<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>), 5) pois mascate (<i>Mucuna pruriens</i>) et 6) pois tubéreux africain (<i>Sphenostylis stenocarpa</i>).

1. Les noms scientifiques proviennent de la base de données taxonomiques actualisée Tropicos (MBG, 2016).

2. «Non désigné ailleurs».

(Snapp et al., 2018)

I. 8. 3. Intérêt des légumineuses

Les légumineuses alimentaires constituent une très importante source de protéines végétales qui peut corriger le déficit en protéines animales. En plus de leur importance dans le régime alimentaire des êtres humains, elles ont un intérêt particulier dans le concept de l'agriculture durable dans la mesure où leur introduction dans l'assolement instaure la rotation des cultures, la diversification des productions et la protection de l'environnement contre la pollution par les engrais azotés, les pesticides et les désherbants chimiques. L'introduction de ces espèces dans un système de culture est impérativement tributaire de l'amélioration de leurs performances agronomiques (Benmebark et al., 2013).

Les légumineuses ou légumes secs, comme on les surnomme la viande du pauvre (**Ait Saada et al., 2016**) sont des aliments qui se décomposent en trois grandes catégories: les lentilles (verte, corail, noires, etc.), les haricots (blancs, rouges, noirs, fèves, etc.) et les pois secs (pois chiches, pois cassés, etc.). Les arachides font également partie des légumineuses. Ces aliments ont des propriétés digestives en raison de leur richesse en fibres. Elles exercent également une action coupe-faim tout en étant pauvres en matières grasses et en ayant un faible index glycémique (**Pillou, 2014**).

I. 8. 4. Utilisation des légumineuses

La présence et l'utilisation des légumineuses dans les systèmes agricoles peuvent être des défis majeurs de la durabilité de systèmes de production agricole et de systèmes agroalimentaires en contribuant à la production de la matière première en quantité et qualité suffisante pour assurer la performance économique et la satisfaction sociale des acteurs de la production et de la transformation, et pour répondre aux attentes des consommateurs; en assurant l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de gaz polluants; en agissant sur la réduction des produits phytosanitaires et des pertes de phosphore et nitrates; en donnant un point fort pour le maintien de la biodiversité au sein des écosystèmes naturels et cultivés et en continuant à l'amélioration du bilan environnemental des industries de l'aval et de la sécurité des approvisionnements (**Schneider et al., 2015**).

Parmi leurs bienfaits des légumineuses, c'est le stockage pour très longtemps sans qu'elles perdent de leur valeur nutritive, dont beaucoup de légumineuses s'adaptent à la sécheresse et aux environnements marginaux (Figure 13) (**Loke et al., 2016**).

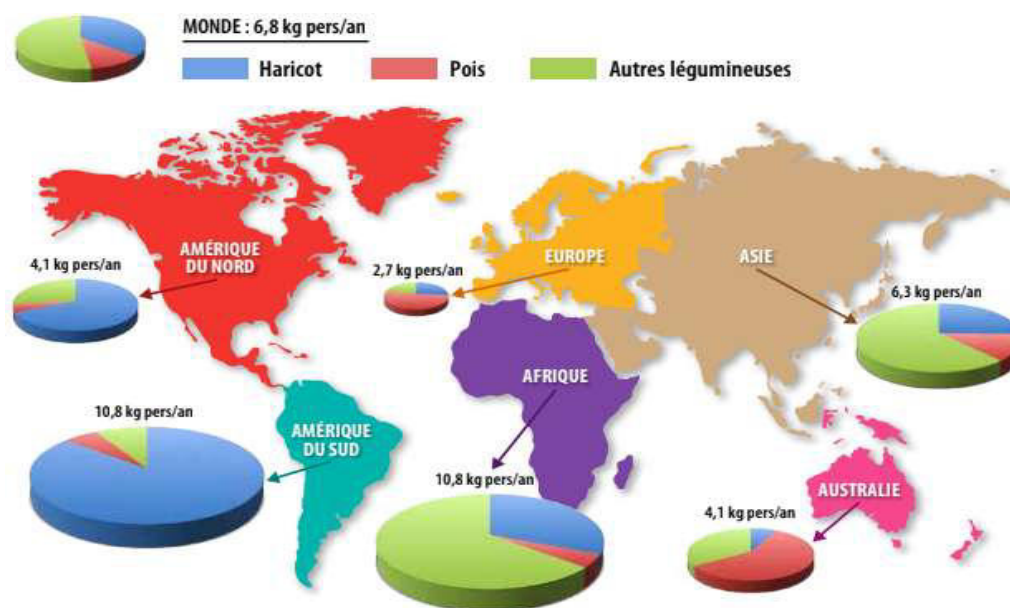


Figure 13: Consommation humaine mondiale de légumineuses par habitant (FAO, 2011)

I. 8. 5. Espèce : *Phaseolus vulgaris* L. / (Haricot)

I. 8. 5. 1. Description botanique

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) à $2n = 22$ chromosomes, est l'espèce économiquement la plus importante avec plus de 90% de la production mondiale (Silué et al., 2010). C'est une plante herbacée annuelle, grimpante, rampante, ou plus ou moins érigée et buissonnante, légèrement pubescente à racine pivotante bien développée, a nombreuse racines latérales et adventives ; la tige atteignant 3m de long, anguleuse ou presque cylindrique. Les feuilles alternes, simples et opposées, à 3 folioles ; stipules triangulaire, petites ; pétiole atteignant 15-30cm de long. L'inflorescence est une grappe axillaire ou terminale atteignant 15-35 cm (Huignard, 2011).

La variabilité est très importante chez cette espèce, que ce soit au niveau morphologique (couleur, taille ; forme de la gousse et celles du gaine,...) ou au niveau physiologique (précocité et résistance aux maladies) ou encore pour l'architecture de la plante dont on peut distinguer jusqu'à 5 classes, du haricot à rames à croissance indéterminée au haricot nain à croissance parfaitement déterminée) (Figure 14) (Doré et Varoquaux, 2006).



Figure 14: Différentes types de variétés chez l'haricot sec (Coly, 2017)

I. 8. 5. 2. Origine et répartition géographique

La domestication du haricot commun serait intervenue dans deux centres distincts (Huignard, 2011). En Amérique centrale et en Amérique du Sud il y a plus de 6000 ans. Le haricot a été domestiqué au Mexique, au Pérou et en Colombie, puis introduit en Europe par Christophe. Il a été cultivé dans les pays tempérés, tropicaux et subtropicaux pour l'alimentation humaine (Caburet et Hekimian Lethève, 2003). Des écotypes à petits grains sont présents à l'état sauvage au Nord de l'Argentine et en Amérique Centrale. Des graines sèches furent introduites et semées au XVI Siècle en Espagne et *Phaseolus vulgaris* se diffusa ensuite en France (Messiaen et Seif, 2004). Les gousses immatures ne tardèrent pas à devenir un légume appréciés.

I. 8. 5. 3. Exigences climatiques

Le haricot est une plante sensible aux basses températures qui bloquent sa croissance (**Service Culture Conserves du Blaisois, 2013**); elle pousse convenablement à des températures situées entre 15 et 27°C et supporte des températures allant jusqu'à 29,5°C (**Salcedo, 2008**). La température optimale de croissance de la plante est de 25°C, le zéro végétatif (T° en dessous de laquelle la croissance de la plante s'arrête) est de 10°C. La germination commence à partir de 12°C (**Hallouin, 2012**). En général, le haricot commun exige une terre profonde, fertile, libre à légèrement compacte, ayant de bonnes propriétés physiques, un pH de 5,5-6,5 et une topographie plate ou onduleuse et bien drainée (**Salcedo, 2008**).

I. 8. 5. 4. Valeur nutritionnelle

Il existe plusieurs types de haricots. Les haricots blancs, noirs, rouges sont riches en zinc, en fer, en manganèse, en cuivre, en magnésium, en vitamines B, en calcium, que du bonheur. Il est souvent utilisé pour remplacer la viande, souvent comme accompagnement (**Coly, 2017**); Les haricots frais constituent une source de plusieurs nutriments tel que les vitamines C et K, le folate, le manganèse et le magnésium (**Cami, 2013**).

I. 8. 5. 5. Cycle de vie

Pour permettre la germination du haricot, la température du sol doit être supérieure à 12°C, la levée optimale se situant à des températures du sol de 22-30°C. Chez le haricot, la floraison débute généralement 28- 45 jours après le semis. L'autofécondation est la règle, mais il y a 1-3% d'allofécondation. Les haricots verts peuvent se récolter 25-30 jours après la floraison. Le remplissage des graines peut prendre 23-60 jours. La durée du cycle cultural varie de 60-90 jours pour les types déterminés, et peut atteindre 250-300 jours pour les types indéterminés grimpants (Figure 15) (**Wortmann, 2006**).

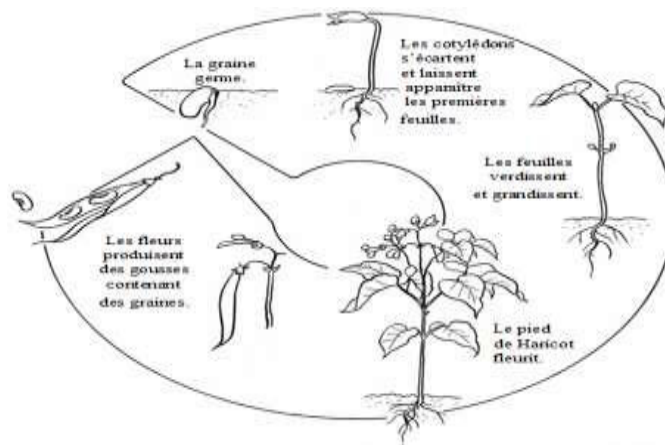


Figure 15: Cycle de développement d'un *Phaseolus vulgaris* L. (**Diaw, 2012**)

I. 8. 6. Espèce (*Lens culinaris* Medik) / Lentilles

I. 8. 6. 1. Description botanique

L'une des plus anciennes plantes cultivées par l'homme. Elle est également le plus riche en protéines après le soja, (Sheriff et Bouziane ; Stettler et Hiltbrunner, 2018) avec un nombre de chromosomes : $2n = 2x = 14$ (Hammouda et Khalfallah, 2015). C'est une Plante herbacées annuelle, érigée, vert pâle, atteignant 60-75cm de haut; tige carrée, fortement ramifiées; racine pivotante mince. Feuilles alternes, composées pennées à 15-16 folioles, oblongues, entières ou elliptiques; stipule entière, de 2.5-6mm de long ; folioles opposées ou alternes, entières. Inflorescence grappe axillaire. Fleurs bisexuées, papilionacées. Le fruit est une gousse rhomboïde, comprimée latéralement. Graines en forme lentille optique (Bejiga, 2006). Les lentilles peuvent être classées par taille des semences ou couleur du cotylédon (jaune, rouge ou vert) (Figure 16) (Bekkering, 2014).



Figure 16: Différentes types de variétés chez la lentille (Coach, 2014)

Une multitude de variétés de lentilles sont consommées à travers le monde, à savoir,

* **Lentilles vertes:** des graines petites et bombées de couleur brun-verte et bleutée, et à peau fine.

* **Lentilles Rouges ou brunes:** des graines petites, bombées, de couleur foncée.

* **Lentilles Blondes:** des graines larges et plates avec une peau généralement épaisse et de couleur pâle. Les deux premiers types sont abondamment commercialisés sous le nom de « lentille corail » ou de « lentille jaune » (Terres Univia, 2019)

La majeure partie du commerce mondial concerne les lentilles rouges, les plus consommées dans le monde (Bekkering, 2014).

I. 8. 6. 2. Origine et répartition géographique

La lentille (*Lens culinaris*) est originaire d'Asie centrale (Paquereau, 2013). Alors que la FAO est considérée la lentille comme originaire du Moyen-Orient ; Elle est une des plus anciens légumes secs cultivés en Asie occidentale, d'où elle s'est diffusée vers la

Méditerranée, en Asie, en Afrique et en Europe. Dans Antiquité, la lentille faisait régulièrement partie de l'alimentation des Grecs, des Juifs et des Romains, et c'était le plat de subsistance des pauvres, surtout en Egypte (**Bejiga, 2006**).

I. 8. 6. 3. Exigences pédoclimatiques

La lentille est résistante au gel et à un climat sec. En revanche, elle est sensible à la sécheresse prolongée. La culture est adaptée à de nombreux types de sol et n'a pas besoin d'un sol profond. Les sols argilo-sableux ou argilo-limoneux, à pH 7 sont les plus conseillés pour valoriser au mieux son potentiel. Mais les pH de la gamme 4,5-9 sont tolérés. Il faut cependant veiller à ce que le sol ressuyant et se réchauffant rapidement, ne soit pas trop caillouteux pour faciliter le triage (**Apaba & Frab, 2012 ; Soullignac et al., 2018**).

I. 8. 6. 4. Valeur nutritionnelle

Excellente source de vitamine A, elle fournit de la fibre, du potassium, des vitamines (B) et du fer. (**Belaid, 2016**). Les protéines végétales de haute valeur deviennent de plus en plus importantes, et notre autoapprovisionnement exige davantage de produits comme la lentille (**Hosh, 2017**).

I. 8. 6. 5. Cycle de vie

Lorsque les températures sont optimales, les graines de lentilles germent en 5 à 6 jours et la floraison débute entre la 6^{ème} et la 7^{ème} semaine après le semis effectué durant le mois de Mars à Avril, alors que la récolte a généralement lieu courant juillet, selon (**Riquet, 2019**). Le cycle de croissance est de 80 à 110 jours pour les cultivars à cycle court et de 125 à 130 jours pour les cultivars à cycle long (Figure 17) (**Bejiga, 2006**).

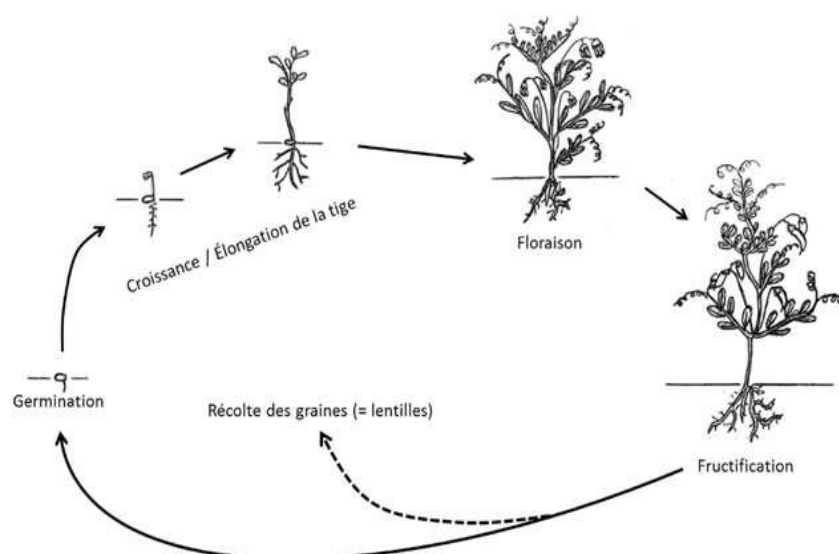


Figure 17: Cycle de développement d'une *Lens culinaris* (**Faucon et Regnault, 2014**)

I. 8. 7. Espèce *Cicer arietinum* L. /Pois chiche

I. 8. 7. 1. Description botanique

Cicer arietinum L., est la seule espèce cultivée du genre *Cicer* L. (Toker et al., 2014) ; avec un nombre de chromosomes déterminé comme $2n = 2x = 16$ (Winter, 2003), c'est la troisième légumineuse à grains la plus importante au monde après le haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) et le pois (*Pisum sativum*) (Sonia et al., 2003; Ahmad et al.,2005).

C'est une plante herbacée annuelle courte de 30 à 70 de haut, Cependant les types de haute taille mesurant plus de 1m sont cultivés dans certaines régions de Russie (Street et al., 2008). La plante possède une racine pivotante profonde avec plusieurs racines latérales et comprenant un système racinaire robuste. La tige est dressée, pubescente avec trois types de ramification à savoir: primaire, secondaire et tertiaire, et ramification de la base au niveau du sol qui donne à la plante un aspect buissonnant. Les feuilles sont composées de façon imparipennée avec 6-8 paires de folioles velues disposées de manière opposée ou alternée sur un rachis avec un petit pétiole. La forme des folioles est elliptique ou ovale avec des marges dentelées. Les fleurs sont portées séparément en grappes axillaires et sont pédicellées, bisexuées (Raina et al., 2019)

Les variétés sont regroupées en deux types: les « **kabuli** » à graines claires, assez grosses, lisses cultivées surtout dans les pays méditerranéens et les « **desi** » à graines plus petites et de couleur plus sombre fréquents en Inde, Afghanistan et Éthiopie (Pitrat et Faury, 2015), et un moins fréquent, le type **Gulabi** qui est généralement de couleur blanc crème, sans tanin, comme le Kabuli, mais plus petit, presque lisse et surtout le bec typique du pois chiche est très réduit, ce qui, une fois décortiqué, le fait ressembler à un pois jaune (Figure 18) (Terres Univia, 2019).



Figure 18: Différentes types de variétés chez le pois chiche (Acharya, 2007)

I. 8. 7. 2. Origine et répartition géographique

Les deux principaux centres d'origine du pois chiche sont l'Asie du Sud-ouest et la région méditerranéenne, alors que l'Éthiopie est un centre d'origine secondaire (**Tar'an, 2015**) et d'un origine de Sud-est de la Turquie et de la région nord de Syrie voisine d'après (**Gaur et al., 2014**); cultivé dans le sous-continent indien, en Asie de l'Ouest, Afrique du Nord, Éthiopie, Europe du Sud, au Mexique, en Australie, dans le Nord-ouest des Etats-Unis et dans les zones de sols bruns et bruns foncés des parties canadiennes (**Taleei et al., 2009**)

I. 8. 7. 3. Exigences pédoclimatiques

Sa croissance est favorisée si la température diurne se trouve entre 21 et 29°C, et la température nocturne entre 18 et 21°C. La T° idéale pour la germination est de 15°C, bien que pour le variété « desi », la germination peut commencer lorsque la température du sol atteint 5°C seulement. Le pois chiche est une culture relativement tolérante à la sécheresse (**Tar'an, 2015**). Le pois chiche supporte mal les zones humides (**Marguerie, 2017**) Il s'adapte aux sols assez lourds, pourvu qu'ils soient bien drainés. Comme pour les autres cultures, sa productivité sera plus faible dans les sols peu fertiles. Il tolère des pH de 6 à 9 (**Belaid, 2016**).

I. 8. 7. 4. Valeur nutritionnelle

Excellente source d'acide folique et potassium, bonne source de fer, magnésium, cuivre, zinc et phosphore ; il contient de thiamine, niacine, vitamine (B6) et calcium (**Anonyme, 2008**). L'I. T. G. C. a sélectionné de nouvelles variétés plus productives.

I. 8. 7. 5. Cycle de vie

Les semis apparaissent généralement de 7 à 15 jours après la plantation. La floraison débute après 30 à 60 jours. L'autofécondation est la règle, avec moins de 2% d'allofécondation. La durée de la récolte varie de 3 à 6 mois, mais le pois chiches est indéterminé par nature et peut continuer à croître tant que l'humidité ne limite pas. Le pois chiches est effectivement nodulé par *Mesorhizobium ciceri* et *Mesorhizobium mediterraneum* (Figure 19 & 20) (**Bejiga et Maesen, 2006**).

II. 1. Notion de fertilisation

La fertilisation est l'apport exogène d'éléments nutritifs pour les plantes, sous forme de matières minérales ou organiques. Elle vient en complément des ressources disponibles dans le sol, pour assurer une bonne production. Elle modifie les caractéristiques et le fonctionnement des sols (**Lecompte et Goillon, 2015**). D'après (**Dahan et al., 2016**), La fertilisation est une étape importante dans la production agricole. Elle doit être correctement évaluée pour se situer à l'optimum économique de la production. Cependant, il est nécessaire d'adapter le niveau de fertilisation au niveau de production permis par le potentiel génétique d'une espèce donnée.

Les progrès qu'a connu la nutrition des plantes concernent surtout dans les méthodes de diagnostic (analyses de sol et plantes), la compréhension des interactions entre les éléments minéraux, et les techniques de fertilisation de manière à répondre, le plus précisément possible, aux besoins des cultures en croissance tout en limitant les effets sur le milieu naturel.

II. 2. Différents types de fertilisation minérale

La fertilisation minérale a pour but d'apporter le complément nécessaire à la fourniture du sol en vue de répondre aux besoins physiologiques des plantes pour une croissance et un développement optimums (**Elalaoui, 2007**).

II. 2. 1. Fertilisation azotée

La fertilisation azotée des grandes cultures basées sur les besoins des plantes constitue donc, pour les exploitations spécialisées, un réel défi. Les légumineuses jouent à cet égard un rôle-clé en raison de leur capacité à fournir de l'azote directement (précédent cultural) ou indirectement (production animale et engrais de ferme). La fertilité des sols dépend en grande partie de l'azote et de l'humus. L'humus est le moteur de la fertilité et l'azote et les composés azotés sont le carburant des plantes. Tous deux sont étroitement liés et interagissent car pour créer de l'humus, il faut que l'offre en azote soit suffisamment élevée par rapport à la teneur en carbone. (**Jäger et al., 2013**).

II. 2. 2. Fertilisation Phospho-Potassique

Le blé dur et l'orge sont classés parmi les espèces peu exigeantes vis-à-vis de la fertilisation potassique, mais sont moyennement exigeant vis-à-vis de la fertilisation phosphatée. Le blé tendre est, quant à lui, peu exigeant vis-à-vis de la fertilisation potassique et phosphatée (**Bouas et al., 2015**).

II. 2. 3. Engrais

Les engrais, notamment ceux dits « chimique » (fabriqués par l'industrie chimique), sont étroitement associés, dans l'esprit du grand public comme dans celui la plupart des spécialistes, à l'image d'une agriculture moderne et performante. Distinguons bien l'engrais minéral et l'engrais chimique. Le premier est tout fertilisant non organique. Le second est issu des processus industriels. Les fertilisants chimiques (comme l'ammonitrate) appartiennent à la catégorie des engrais minéraux qui comportent également des produits naturels comme les phosphores de Gafsa. Autrement dit : un engrais minéral peut être naturel ou chimique mais tout engrais chimique est minéral. **(Pousset, 2008)**

Les engrais minéraux sont des engrais d'origine minérale destinés à favoriser la croissance des plantes cultivées. Ils sont produits par synthèse chimique, ou par l'exploitation de gisements naturels de phosphate et de potasse. **(Elalaoui, 2007)**.

II. 2. 4. Différents types des engrais

* **Engrais simples** : ne contenant qu'un seul élément nutritif, et peuvent être azotés, phosphatés ou potassiques.

** **Azote** : C'est un facteur déterminant du rendement **(ITGC, 2001)**. En effet ; c'est principalement l'azote qui détermine le développement de la plante et des racines et qui stimule l'absorption optimale des autres éléments nutritifs du sol **(N'Dayegamiye, 2007)**. Il est apporté par les déchets végétaux ou animaux et par les engrais (ammonitrate, urée...) **(ITGC, 2001)**.

** **Potassium** : C'est un facteur de croissance qui favorise le développement des racines en cours de végétation, facteur de précocité qui favorise la maturation **(ITGC, 2001)**, présent dans le sol sous une forme minérale ou adsorbée par le CAH ou en solution, il est relativement soluble d'où des pertes par lessivage de 10 à 40kg/ha, notamment en sol sableux et riche. Les quantités assimilées par les végétaux sont élevées (100 à 200kg par ha) favorisant des résidus riche en fin de campagne (80 kg /ha en grande culture allant jusqu'à kg /ha pour certains plants). **(Zella, 2015)**.

** **Phosphate** : Il régule les fonctions vitales de la croissance végétale, nécessaire à l'efficacité de la fumure azotée **(ITGC, 2001)**; participe dans la composition des nucléotides et coenzymes, il est assimilé par les racines sous une forme soluble dans la solution du sol. Or dans le réservoir sol, ces ions solubles sont rares, ils ne peuvent couvrir que 1 à 5 jour les besoins de croissance ; l'essentiel du phosphore prélevé est issu du

délestage de P₂O₅ adsorbé sur la matière organique ou complexe argilo humique du sol ; les quantités contenues dans les résidus végétaux sont faibles (Zella, 2015).

Le phosphore et le potassium se trouvent en réserve dans le sol en plus ou moins grande quantité. Il convient de restituer au sol ce que les plantes y puissent pour assurer leur croissance. (ITGC, 2001)

II. 2. 5. Fonction et rôle des engrais minéraux

* Azote

Permet la multiplication et l'élongation des feuilles et des tiges. Il a pour rôle l'augmentation de la masse végétative.

* Phosphore

Accroît la résistance au froid et aux maladies, c'est un facteur qualité.

* Potassium

Permet une économie d'eau dans les tissus de la plante. Il assure une meilleure résistance contre les maladies (Figure 21 & 22) (ITGC, 2001)

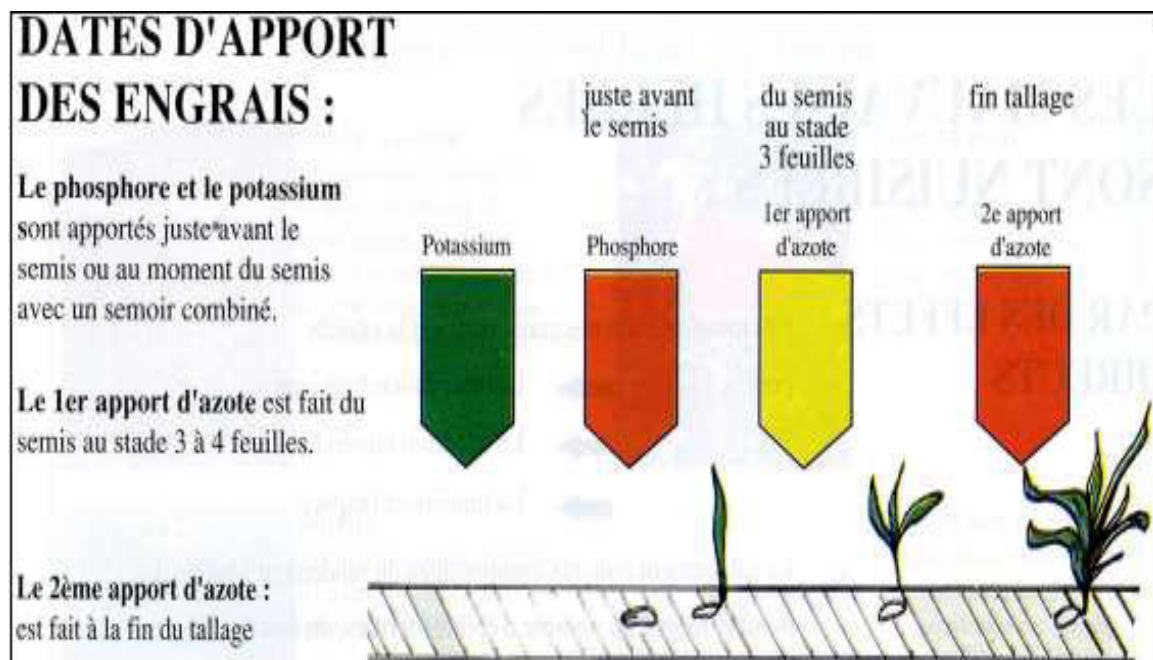


Figure 21: Dates d'apport des engrais (ITGC, 2001)

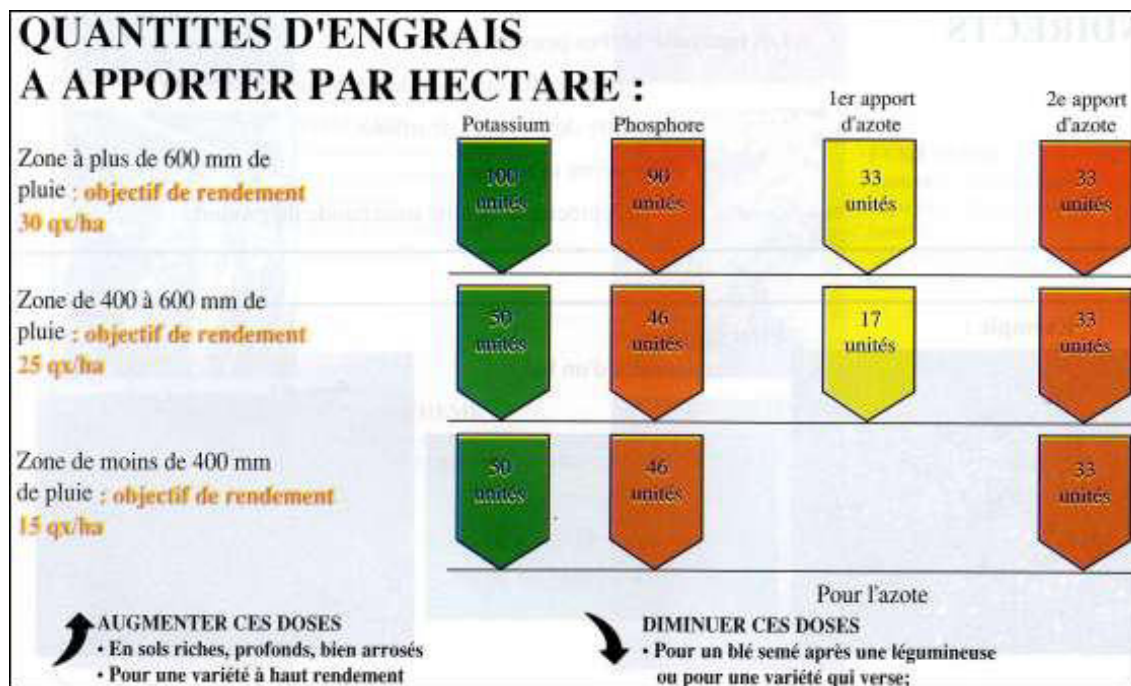


Figure 22: Quantités d’engrais à apporter par hectare (ITGC, 2001)

II. 2. 6. Engrais composés

Peuvent en contenir deux ou trois éléments nutritifs, et peuvent être binaires (lorsqu’ils contiennent deux élément N-P ou P-K) ou ternaires (NPK).

* **NPK** : Les composés NPK et les mélanges NPK sont des engrais multi-nutriments contenant un certain pourcentage des trois principaux éléments nutritifs, l’azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Ces produits sont destinés à faciliter la fertilisation complète d’une récolte d’une seule application. Les sources de matières premières de chaque nutriment peuvent varier en fonction du procédé de production finale de l’engrais NPK (Anonyme, 2020).

Pour une bonne utilisation des engrais, il faut considérer les quatre points suivants : Le choix d’une source d’engrais adéquate, bien calculer la dose et prendre en considération le rendement escompté et les fournitures du sol, apporter l’engrais à l’emplacement approprié dans les conditions climatiques et environnementales appropriées et choisir le moment d’apport opportun pour coïncider avec les stades de croissance où la demande en éléments nutritifs par les plantes est élevée (Dahan et al., 2016).

II. 2. 7. Engrais organiques

L’épandage de fumier et le compostage englobent toutes les sources d’éléments nutritifs d’origine végétale ou animale. (Liniger et al., 2011). Elle favorise les organismes

du sol de manière directe (apport de ressources énergétiques et d'éléments nutritifs durables) et de manière indirecte (meilleur développement de la plante et augmentation des résidus de récolte). Une bonne activité biologique améliore la fertilité du sol.

II. 2. 8. Fumier

De préférence de plus de 6 mois, il peut favoriser la présence des vers de terre et des oribates, mais peut aussi augmenter l'abondance de nématodes nuisibles aux cultures.

Les traitements antibiotiques reçus par les animaux d'élevage et présents dans le fumier réduisent le développement des bactéries dans le sol.

II. 2. 9. Lisier

A globalement les mêmes effets que le fumier, mais il ne doit pas être appliqué à fortes doses car il peut acidifier le sol, et ainsi être défavorable aux vers de terre (**Sebioref, 2017**).

II. 3. Sol et plante

II. 3. 1. Définition du sol

Le mot sol viendrait du latin *solum*, qui veut dire base (**Courtoux et Claveirole, 2015**), est un bien écologiquement vital qui renouvelle continuellement sa capacité de rendement (**Berner et al., 2013**).

*** Sol fertile**

Un sol fertile doit avoir une structure et une profondeur qui permettent aux plantes de développer leurs racines pour s'ancrer, retenir l'humidité et évacuer l'eau en excès. Sa composition doit permettre un bon approvisionnement en éléments nutritifs (N, P, K) en eau et en oligo-éléments. Sa couleur foncée traduit sa richesse en carbone.

Un sol fertile est un sol vivant, riche en vers de terre, champignons et bactéries, qui contribuent au recyclage de la matière organique et maintiennent une bonne porosité.

Un sol fertile permet enfin d'accueillir les auxiliaires de culture. (**Anonyme, 2013**).

*** Fertilité des sols**

Le scientifique **Ernst Klapp** avait défini dans les années soixante la fertilité du sol selon son expérience pratique comme « la capacité naturelle et durable d'un sol à assurer la production végétale ». Elle est donc la capacité du sol à fournir aux plantes ce dont elles ont besoin pour leur croissance sans recourir à des intrants et en fournissant des rendements stables. (**Berner et al., 2013**); Et par grand sens, elle n'est pas de définition très simple, « Capacité des sols à assurer la production de biomasse »

Ambiguïté entre les facteurs intrinsèques (naturels) et extrinsèques (techniques culturales).

Renvoie à des caractéristiques variées des sols:

**** Physique :** volume, structure, texture, porosité, conductivités hydraulique et thermique,

**** Chimique :** minéraux, matières organiques, pH, état d'oxydation, ...etc.

**** Biologique :** microfaune, macrofaune, microorganismes, biodiversité fonctionnelle, ...

II. 3. 2. Relation « Sol-plante »

Pour se nourrir, la plante a besoin d'un bon système de racines et de nutriments solubles, lesquels ne seront libérés que par une activité biologique adéquate. Le développement racinaire et l'activité biologique du sol nécessitent une bonne aération du sol en profondeur.

Une bonne aération ne se fait pas sans une bonne circulation de l'eau dans le sol. Le développement d'un bon système racinaire des plantes, d'une activité biologique importante dans le sol, d'une bonne circulation de l'eau et d'une bonne aération est impossible sans une structuration adéquate du sol en profondeur.

Ces constatations posent les bases de la fertilité des sols et sont autant, sinon plus importantes, que les quantités et les formes de fertilisants et amendements à apporter pour obtenir de bonnes et belles récoltes (Figure 23) (Petit et Jobin, 2005)

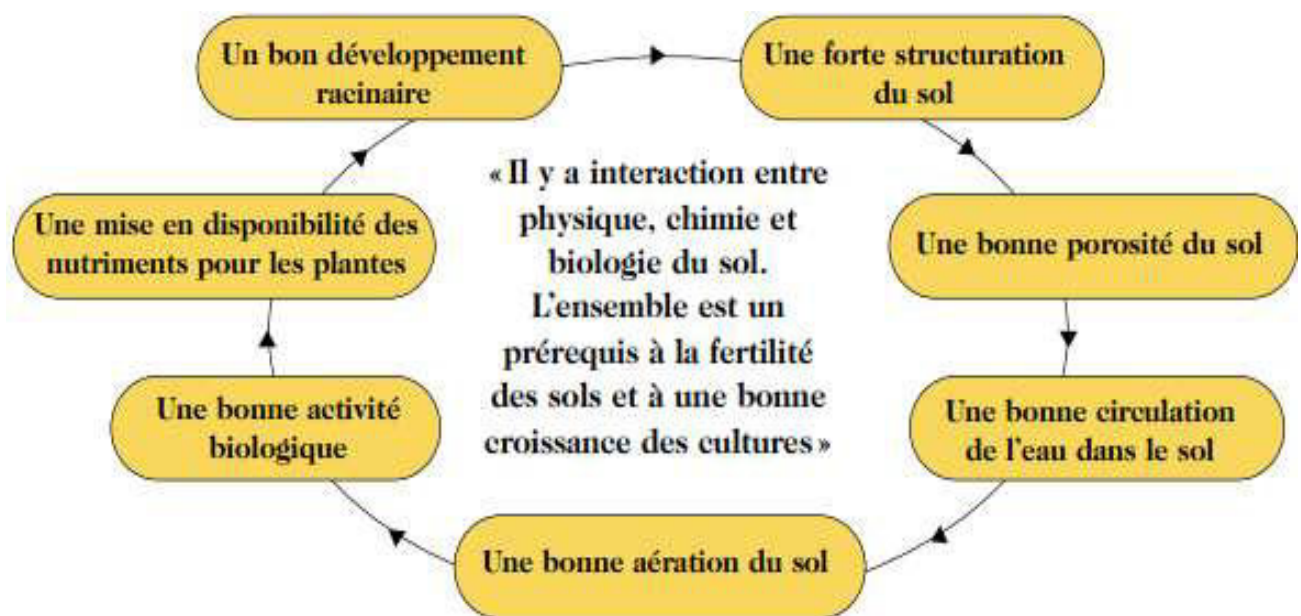


Figure 23: Boucle du fonctionnement de la « relation sol-plante » (Petit et Jobin, 2005)

II. 4. Intégration de cultures fixatrices d'azote

L'engrais vert ou les cultures de couverture sont des plantes légumineuses en cultures intercalaires ou plantées en rotation avec d'autres cultures et utilisées pour fixer l'azote dans le sol. Très souvent, l'engrais vert est incorporé dans le sol, ce qui n'est pas le moyen le plus efficace en raison de la décomposition et libération rapides des nutriments : il est souvent préférable de couper et semer directement dans les résidus. L'incorporation naturelle des cultures de couverture et des résidus de mauvaises herbes, de la surface du sol vers les couches plus profondes, par la micro- et macrofaune est un processus lent. Les éléments nutritifs peuvent être fournis aux cultures sur une plus longue période. De plus, le sol est recouvert par les résidus, le protégeant ainsi des impacts de la pluie et du soleil. (Liniger *et al.*, 2011).

II. 5. Effets de la fertilisation minérale

La fertilisation minérale augmente l'exsudation racinaire et les résidus de culture et peut ainsi favoriser l'activité microbienne de la rhizosphère, mais elle peut modifier les caractéristiques physico-chimiques du sol, ce qui a un effet défavorable sur les organismes qui y vivent. Il est à signaler que l'azote peut provoquer une acidification du sol qui est défavorable aux vers de terre, aux mille-pattes et à certaines populations de bactéries (bactéries fixatrices d'azote). L'azote peut aussi réduire les populations de nématodes fongivores et prédateurs et favoriser les nématodes nuisibles aux cultures. Cependant, les phosphates réduisent le nombre de champignons mycorhizogènes, alors que le soufre peut localement acidifier le sol et réduire la diversité microbienne et fongique ainsi que l'activité enzymatique, surtout lors d'applications répétées.

Les engrais organiques passent par une minéralisation qui rend les éléments minéraux disponibles pour la plante. Leur vitesse de libération explique les différences d'effets sur la biodiversité des engrais organiques et minéraux : ces derniers sont très rapidement disponibles et provoquent des "à coup" pouvant être toxiques (Sebioref, 2017)

III. 1. Céréaliculture et culture légumière

En Algérie vu les habitudes ancestrales de la population, la consommation de céréales et de légumineuses alimentaires demeure très importante, notamment en blé dur, blé tendre, orge, pois chiche et lentille.

Malgré les bonnes productions en blé de ces dernières années, en est loin d'arriver à l'autosuffisance alimentaire et le plus souvent on a recours à l'importation. Pour l'année 2014, les importations s'élèvent à environ 40 millions de quintaux en blé dur et blé tendre. Cette fluctuation est étroitement liée au climat semi-aride, au déficit hydrique et au non respect des techniques culturales. Ces facteurs sont décisifs sur l'importance et la qualité de la production.

Ainsi, la satisfaction du rendement est coordonnée par l'application rigoureuse de l'itinéraire technique de la culture ; regroupant la bonne préparation du sol, la meilleure date de semis, l'entretien de la culture, l'irrigation d'appoint durant le stress hydrique (Mars-Avril) et la bonne date de récolte (**Djane-Hamed, 2015**).

III. 1. 1. Production nationale et internationale de céréales et légumineuses

La filière céréales et dérivés constitue une des bases importantes de l'agro-alimentaire en Algérie. Importance qui résulte, notamment, de la place prépondérante qu'occupent les céréales et leurs dérivés dans l'alimentation humaine, notamment la semoule (couscous et pâtes) et la farine (pain), comme dans l'alimentation animale (sons et farines basses). (**Kherch Medjden et Bouchafaa, 2012**).

En Algérie, la production des céréales présente une caractéristique fondamentale depuis l'indépendance à travers l'extrême variabilité du volume des récoltes. Cette particularité témoigne d'une maîtrise insuffisante de cette culture et de l'indice des aléas climatiques. Cette production est conduite en extensif et elle est à caractère essentiellement pluvial. (**Kherch Medjden et Bouchafaa, 2012**). Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale.

Durant les deux périodes 2000-2009 et 2010-2017, la superficie des céréales occupe en moyenne annuelle 40% de la Superficie Agricole Utile (SAU). La superficie ensemencée en céréales durant la décennie 2000-2009 est évaluée à 3200930ha, desquelles, le blé dur et l'orge occupent la majeure partie de cette superficie avec 74% de la sole céréalière totale. Durant la période 2010-2017, cette superficie a atteint en moyenne 3385560ha, en évolution de 6% par rapport à la période précédente (2000-2009).

La production réalisée des céréales au cours de la période 2010-2017 est estimée à 41.2 Millions de quintaux en moyenne, soit un accroissement de 26% par rapport à la décennie 2000-2009 où la production est estimée en moyenne à 32.6 Millions de quintaux.

La production est constituée essentiellement du blé dur et de l'orge, qui représente respectivement 51% et 29% de l'ensemble des productions de céréales en moyenne 2010-2017 (Figure 24) (MADR, 2018).

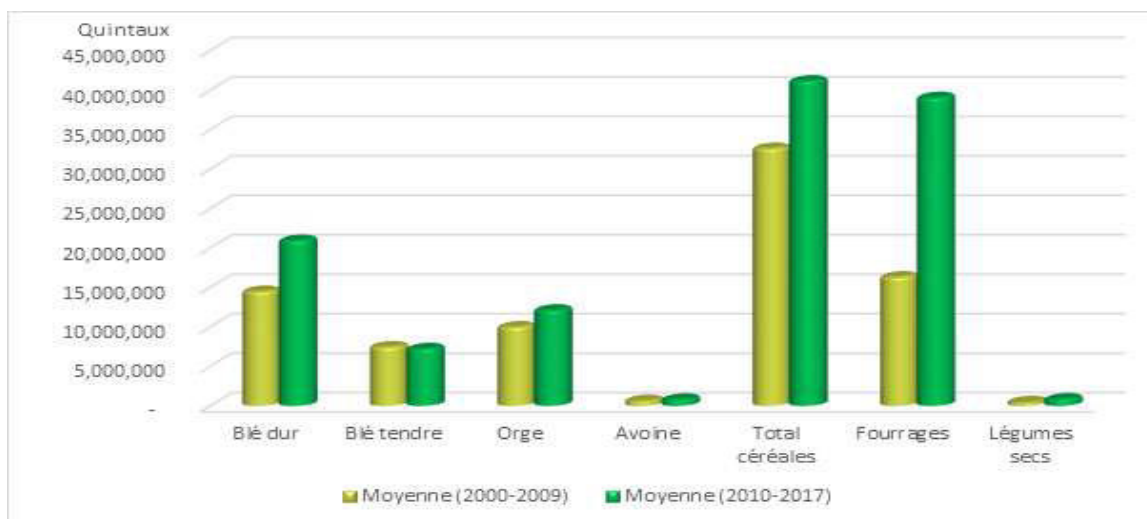


Figure 24: Evolution de la production des céréales à l'échelle nationale (MADR, 2018)

La production des céréales en 2017 par zone de tout le territoire national est illustrée dans ci-dessous (Figure 25), selon le ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR, 2018)

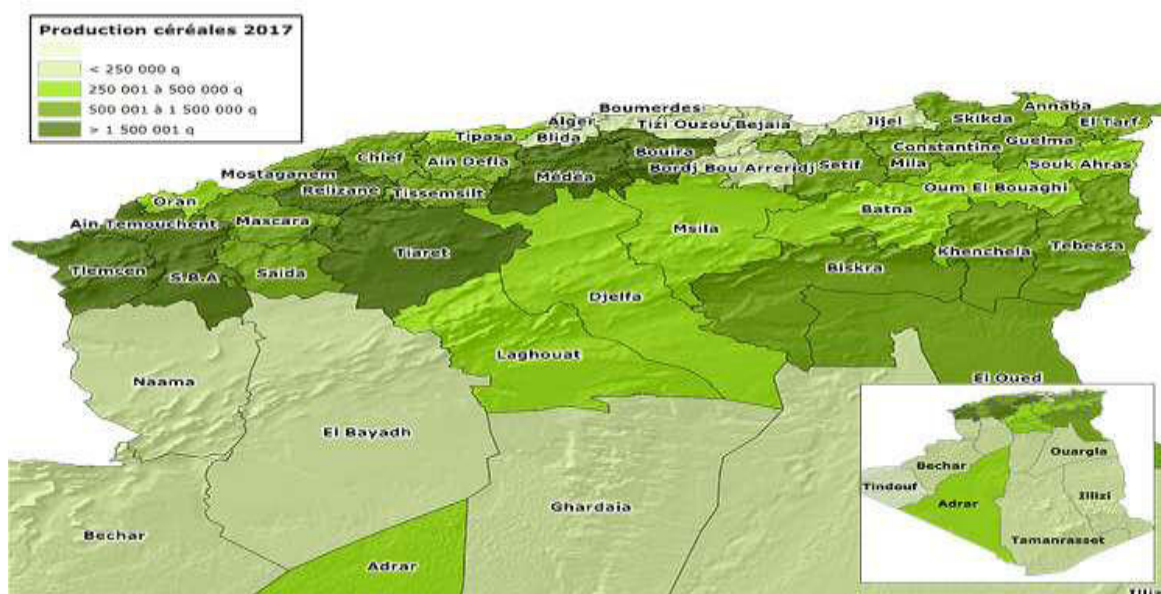


Figure 25: Carte des zones de céréaliculture à l'échelle nationale (MADR, 2018)

Alors que la production mondiale de céréales pour la dernière décennie (2010 - 2020) est illustré dans la figure ci-dessous (Figure 26) (France-Agri-Mer, 2017 ; Dubief, 2019 ; FAO, 2020).



Figure 26: Evolution de production céréalière internationale (utilisation et stocks)

III. 1. 2. Gestion de l'eau et relation entre production des blés et pluviométrie

L'insuffisance des précipitations en Algérie et leur irrégularité intra et interannuelle se traduisent souvent par la compromission d'importantes superficies céréalières et l'obtention de faibles niveaux de rendements (Figure 27) (Chadouli et Djane-Hamed, 2015).

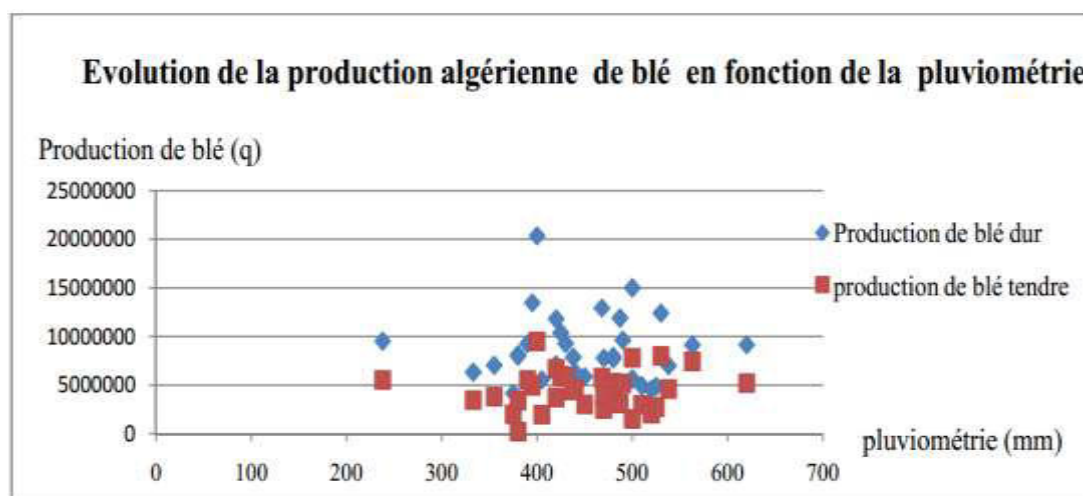


Figure 27 : Evolution de la production de blé dur et tendre en fonction de la pluviométrie

III. 1. 3. Monoculture céréalière et culture associée aux légumineuses

III. 1. 3. 1. Monoculture

La monoculture, est définie comme une végétation composée d'une seule espèce, le terme monoculture est utilisé pour décrire une situation ou un arrangement caractérisé par un faible niveau de diversité. Elle présente à la fois des avantages et des inconvénients liés à son utilisation (**Moran, 2020**).

*** Monoculture, gestion et cycle d'azote**

L'azote est l'un des nutriments essentiels à la croissance et au bon développement des plantes. Absorbé par la plante sous forme minérale (ammoniaque ou nitrate), il provient soit de la minéralisation de la matière organique, soit des engrais. La fertilisation des plantes par les engrais améliore leur croissance et augmente le taux de matière organique dans le sol, elle est le principal déterminant de l'activité biologique et influence les propriétés physiques et chimiques du sol (**Bossy, 2013**).

Dans une parcelle cultivée, la minéralisation de l'humus, de la biomasse microbienne, des résidus de culture et des produits résiduels organiques, ainsi la fixation symbiotique des légumineuses et la fixation de l'azote libre (N), en plus des apports d'azote minéral des engrais et des fertilisants organiques (fumiers, lisiers ...etc.) et les dépôts atmosphériques par voie sèche ou humide alimentent le stock d'azote minéral dans le sol (Figure 28) (**Anonyme, 2013**).

*** Avantages et inconvénients de la monoculture**

Il est difficile de parler des avantages et des inconvénients, car d'une part, c'est le moyen le plus efficace de répondre à la demande croissante de nourriture dans le monde, mais d'autre part, cette pratique peut entraîner la dégradation des sols et un problème environnemental qui se profile déjà à l'horizon. Il est plus facile pour les maladies et les ravageurs de se propager, et bien qu'il soit également plus facile d'appliquer les produits phytopharmaceutiques correspondants, il y a un plus grand risque que ceux-ci réapparaissent et même qu'ils génèrent une résistance. En plus, les aliments de la monoculture peuvent contenir un excès de produits chimiques toxiques. Aussi que rend le sol plus facilement fragilisé et érodé, ce qui affecte également l'écosystème naturel composé de micro-organismes, d'insectes ou de différentes espèces (**Franquesa, 2020**).

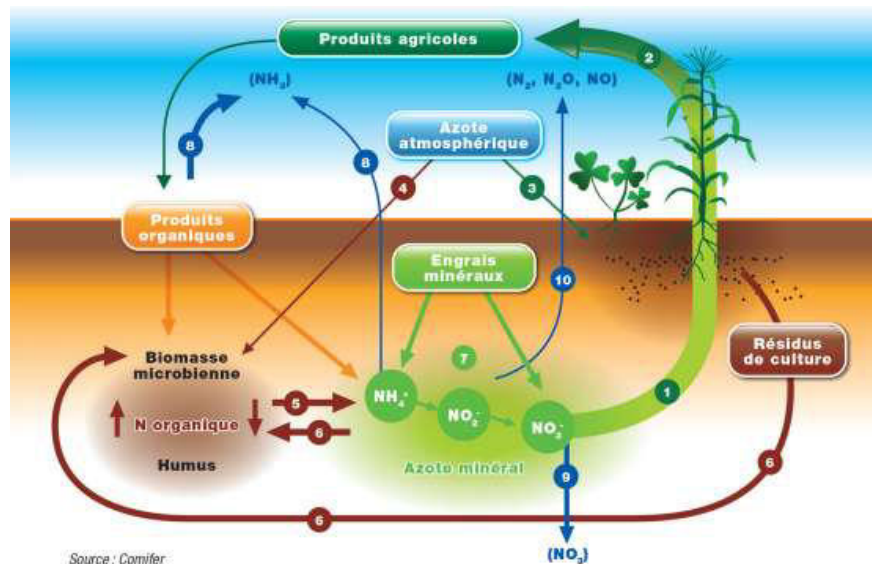


Figure 28: Cycle simplifié de l'azote dans un sol cultivé (Anonyme, 2013)

1. Absorption racinaire
2. Exportation par les récoltes
3. Fixation symbiotique
4. Fixation libre
5. Minéralisation
6. Organisation
7. Nitrification
8. Volatilisation
9. Lixiviation
10. Dénitrification

III. 1. 3. 2. Culture légumière et abondance en Azote

A l'exception des légumineuses qui bénéficient de l'azote de façon naturelle (grâce à ses nodules fixatrices), les légumineuses ont développé une stratégie d'acquisition de l'azote indispensable à leur croissance, en s'associant à des bactéries fixatrices d'azote qui forment sur les racines des nodosités caractéristiques. La bactérie utilise l'énergie et le carbone résultant de la photosynthèse de la plante et fixe l'azote atmosphérique, qui pourra être utilisé par la plante sous forme ammoniacale (Alabouvette et Cordier, 2018). Selon (Sierra et Tournebize, 2019), les différentes bactéries des genres *Rhizobium* et *Bradyrhizobium* ont la capacité de reconnaître la plante hôte, de pénétrer par les poils racinaires et de promouvoir la formation de nodosités au sein desquels la fixation d'N au lieu la formation des nodosités est le résultat d'un "dialogue moléculaire" entre la plante et la bactérie. Celle-ci "perçoit" des signaux chimiques sécrétés par les racines, ce qui induit l'expression de nombreux gènes bactériens permettant l'infection et le développement de la nodosité. La fixation étant inhibée par la présence d'oxygène, les bactéries internes à la zone active ont développé différentes stratégies afin de pouvoir l'utiliser pour la respiration du carbone apporté par la plante (source d'énergie), tout en protégeant le système enzymatique de la fixation. L'N fixé dans les nodosités sous la forme de NH_3 (ammoniac) est combiné avec le carbone apporté par la plante pour élaborer des molécules organiques qui sont par la suite transférées vers l'hôte via les tissus conducteurs de la racine et de la

nodosité. Les conditions optimales de cette fixation biologique sont 0.2-1.0atm de pression (pression atmosphérique) et 30-35°C de température. Ces valeurs sont à comparer avec celles de la fixation industrielle pour la fabrication d'engrais azotés : 250-1000atm et 450°C. Ainsi, la fixation industrielle nécessite de l'énergie provenant de ressources fossiles et rejette de grandes quantités de gaz à effet de serre.

Il est important de comprendre que l'apport de l'azote minéral, après la mise en place des nodosités, inhibe la fixation de l'azote à partir de l'atmosphère et peut ainsi limiter leur nombre et leur développement. Selon (**Bouas et al., 2015**). La fertilisation azotée, facteur décisif dans l'intensification de la production céréalière, est difficile à maîtriser en raison de la complexité des facteurs qui peuvent influencer sur son action; où le blé dur et l'orge sont classés parmi les espèces peu exigeantes vis-à-vis de la fertilisation potassique, mais sont moyennement exigeant vis-à-vis de la fertilisation phosphatée. Le blé tendre est, quant à lui, peu exigeant vis-à-vis de la fertilisation potassique et phosphatée (**Guennouni, 2017**).

III. 1. 3. 3. Culture associée aux légumineuses

La culture associée est une pratique agricole qui consiste à implanter dans une parcelle au moins deux espèces pendant une période significative de leur croissance. (**Bedoussac et Journet, 2017**). L'objectif de la culture en association est de profiter des capacités de fixation symbiotique de la légumineuse pour assurer la nutrition azotée de la céréale avec des apports minéraux réduits. La propagation des insectes et maladies dans ces mélanges d'espèces est également ralentie. Les travaux portent sur les règles de constitution du mélange de semences (proportion de chaque espèce) et sur le raisonnement de la fertilisation azotée (**Abecassis et al., 2011**).

*** Description et principe de la technique**

Les légumineuses établissent des relations symbiotiques avec des micro-organismes du sol (rhizobiums) capables de fixer l'azote atmosphérique grâce aux nodosités des racines, et ainsi apporter à la plante une partie de ses besoins en azote, Associées à des cultures non fixatrices d'azote, comme les céréales, les légumineuses mettent en place un processus de complémentarité de niche pour l'azote du milieu. Cette technique a montré ses performances en agriculture biologique, où l'apport d'azote est moins fréquent car il est plus coûteux (**Anonyme, 2016**).

*** Cas de blé - légumineuse**

Dans l'association de culture (blé-légumineuse), la légumineuse est semée en même temps que la céréale en tant que plante de service. Elle est détruite pendant la montaison dans l'objectif de restituer, par minéralisation des parties aériennes et du système racinaire, de l'azote à la céréale (**Corre-Hellou, 2013**). La légumineuse doit être suffisamment développée pour fournir une quantité significative d'azote après sa destruction sans pour autant exercer une concurrence trop importante pour l'eau et la lumière vis-à-vis du blé. (**Cohan, 2012**).

*** Compétitions et complémentarité**

Lorsque plusieurs espèces sont cultivées en association, elles entrent nécessairement en compétition pour l'accès à l'eau, à la lumière et aux éléments nutritifs, L'exemple de l'utilisation de l'azote dans un mélange céréale-légumineuse permet d'illustrer les phénomènes de compétition et de complémentarité qui interviennent dans ces systèmes complexes aussi bien pour les ressources du sol (eau et nutriments) que pour la lumière (Figure 29) (**Bedoussac et al., 2017**).

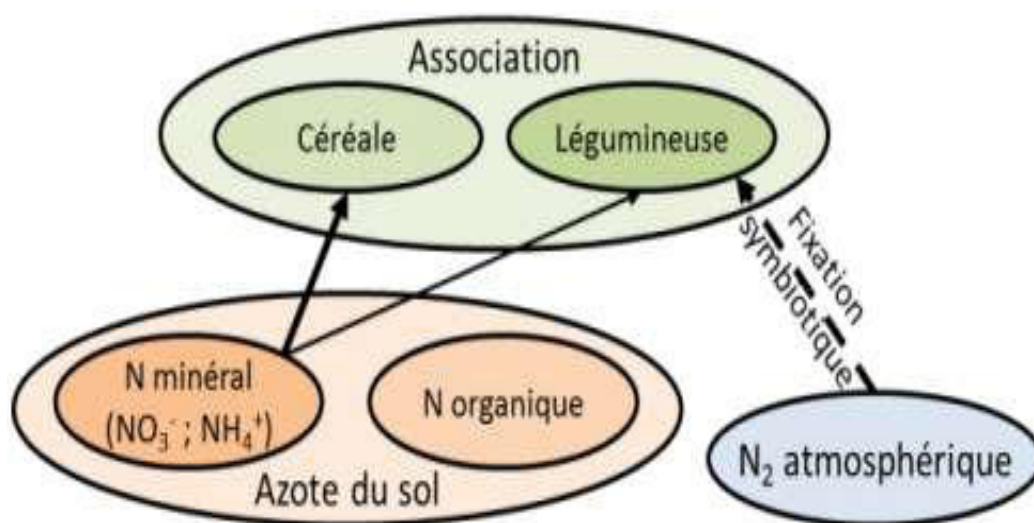


Figure 29 : Schéma conceptuel illustrant la compétition entre la céréale et la légumineuse pour l'utilisation de l'azote minéral du sol et en parallèle la complémentarité de niche à travers l'utilisation du (N₂) atmosphérique exclusivement par la légumineuse.

**** Compétition**

Lorsque les plantes associées utilisent les mêmes ressources abiotique, dans le même endroit et en même temps (compétition pour l'acquisition du (N) minéral du sol).

**** Complémentarité**

Lorsque les plantes utilisent une même ressource de façon différée (dans le temps ou l'espace) ou exploitent des formes biogéochimiques différentes (complémentarité de niche entre (N) minérale et (N₂))

➔ Plus de (N₂ fixé/plante mais moins de N₂ fixé/hectare) (Figure 30) (**Bedoussac et al., 2015**).

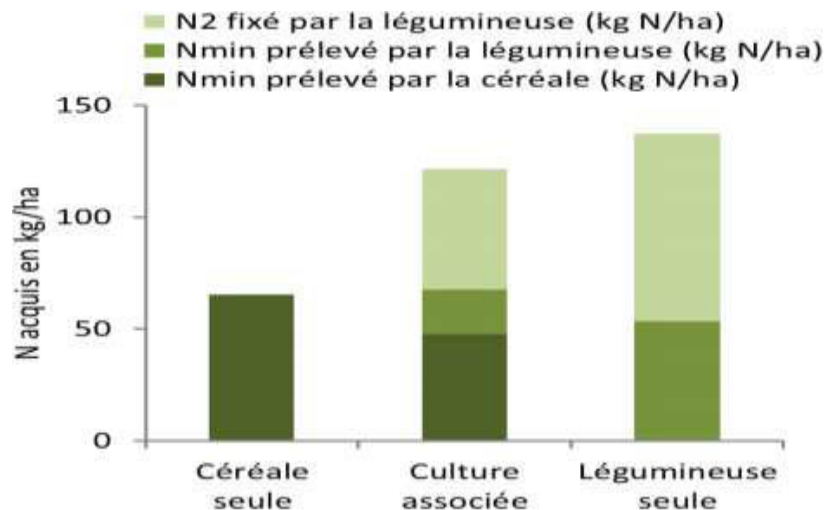


Figure 30: Répartition de l'azote acquis dans la biomasse aérienne de la céréale en culture pure, la culture associée et la légumineuse pure, en distinguant l'azote issu de l'azote minéral du sol (N) minérale de celui issu du (N₂) atmosphérique via la fixation symbiotique (N₂ fixé) (**Bedoussac et al., 2015**).

III. 1. 3. 4. Intérêts potentiels des associations

* Meilleure qualité de grains de blé : Difficile de faire de blé de bonne qualité sans apport d'azote organique.

* Meilleur rendement global par rapport aux cultures pures : Essentiellement en systèmes à bas niveau d'azote.

* Meilleure stabilité du rendement face aux aléas climatiques : Risque moindre et notamment pour les légumineuses à graines.

Réduction potentielle de certains bio-agresseurs : Facteurs biotiques souvent limitant de la production.

* Réduction des risques de lixiviation : Economie d'azote et moindres impacts sur l'environnement (Figure 31) (**Bedoussac et al., 2015**).



Figure 31: Complémentarité protéique de l’association céréales-légumineuses à graines (Rac et Solagro, 2016).

III. 1. 3. 5. Avantages et inconvénients de la culture associée

Malgré les coûts supplémentaires pour la séparation des graines, les associations permettent une amélioration de l’utilisation des ressources du milieu (notamment l’azote) et tout particulièrement lorsque les ressources sont limitantes. La culture en association permet ainsi d’accroître la production de biomasse et le rendement en grains mais également d’améliorer la teneur en protéines des grains de blé et de diminuer le taux de mitadin du blé dur par rapport aux cultures pures. (Bedoussac et al., 2011), Or les essais pratiques montrent que la culture de légumineuses à graines en association avec des céréales améliore notablement la sécurité du rendement (Fibl, 2013).

III. 1. 3. 6. Etude comparative entre les deux cultures

La performance des associations de cultures est généralement évaluée par le rendement, la biomasse, la qualité (taux protéique,...), le LER = Land Equivalent Ratio.

Le LER permet d’évaluer l’efficacité de l’association au cours de son cycle de développement. Il compare les rendements des cultures associées avec les rendements des cultures seules. Le LER correspond à la surface de cultures mono-spécifiques nécessaire pour obtenir le même rendement qu’en association (Figure 32). Il se calcule de la manière suivante :

$$LER = \frac{\text{Rendement céréale associée}}{\text{Rendement céréale seule}} + \frac{\text{Rendement légumineuse associée}}{\text{Rendement légumineuse seule}}$$

- Si LER=1, il n’y a aucune différence entre les deux modes de culture
- Si LER<1, il y a une perte de rendement en association
- Si LER >1, il y a un avantage productif des associations

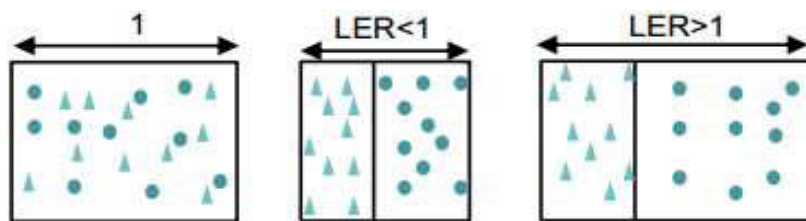


Figure 32: Schématisation explicative à l'indice LER (Hinsinger, 2012).

III. 1. 3. 6. 1. Rendement

Il y a une forte diversité des réponses des variétés de blés durs à l'association, comme le montre le graphique ci-dessous représentant les différences de rendement de 7 variétés de blés durs lorsqu'elles sont cultivées en culture pure ou associée à la lentille. Pour 2 variétés codées (N1 et N1823), l'association avec la lentille permet d'accroître le rendement de 3 à 5 qx/ha, alors que pour les autres, l'association est défavorable (Figure 33 & 34) (Desclaux, 2012)

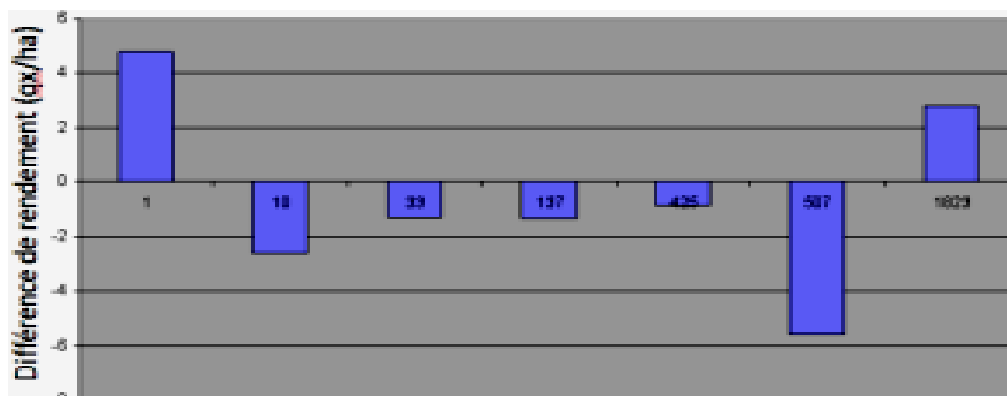


Figure 33: Diversité des réponses à l'association blé dur-lentille (Desclaux, 2012).

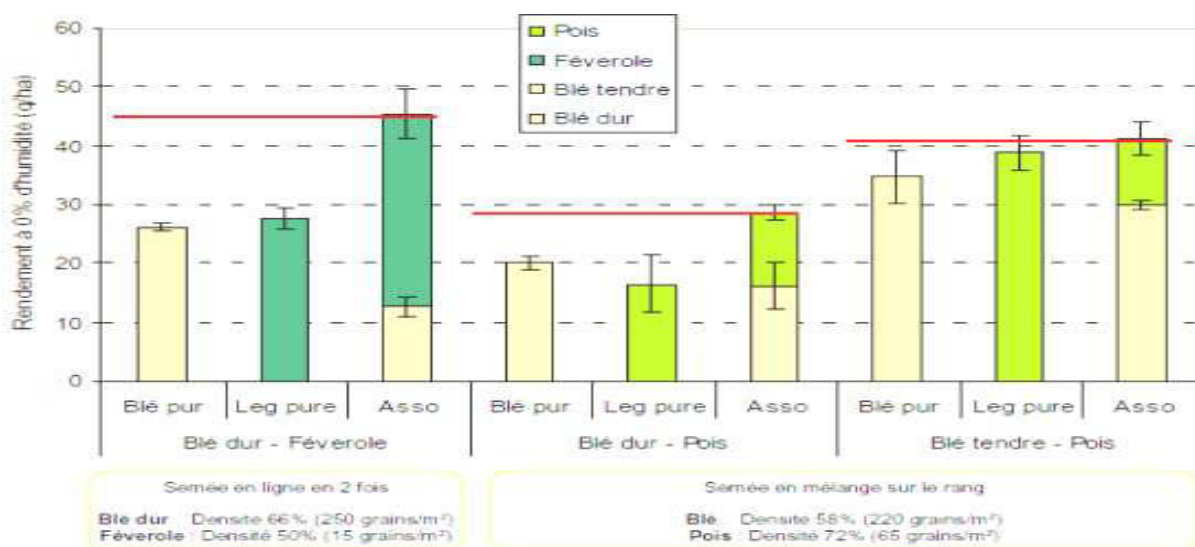


Figure 34 : Comparaison des rendements entre cultures (pures et associées) en agriculture biologique.

III. 1. 3. 6. 2. Teneur en protéines

Il est à noter que l’augmentation de la teneur en protéines du blé en association est d’autant plus forte que sa teneur en protéines en culture «pure» est basse. Cela confirme une fois de plus l’intérêt des associations dans les systèmes à bas intrants azotés pour lesquels la teneur en protéines du blé dur est a priori plus faible. Dès lors, plus la compétitivité de la céréale est élevée (ou celle de la légumineuse faible) moins la perte de rendement du blé et donc l’augmentation de sa teneur en protéines seront importantes (Figure 35) (**Bedoussac, 2012**)

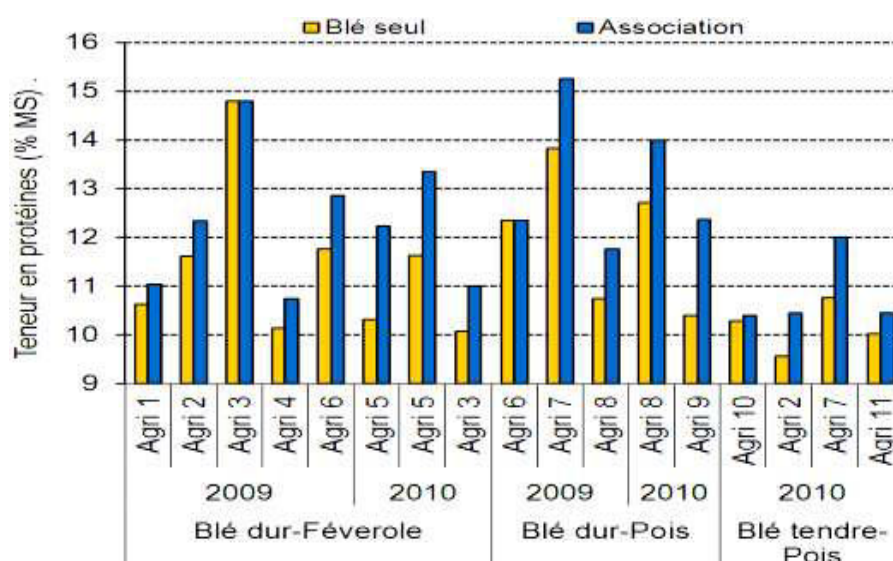


Figure 35: Teneur en protéines de différentes associations et du blé seul (**Bedoussac, 2012**)

III. 1. 3. 7. Mécanismes de transfert de l’azote entre légumineuses et céréales

Une quantité importante d’azote fixé par la légumineuse est transférée à la céréale pendant le temps de la culture associée. En effet, les légumineuses apportent au sol des composés organiques riches en azote tout au long de leur cycle par leurs racines. On peut supposer qu’une partie de cet azote peut être transférée à la céréale après minéralisation par les microorganismes du sol (Figure 36) (**Fustec, 2012**)

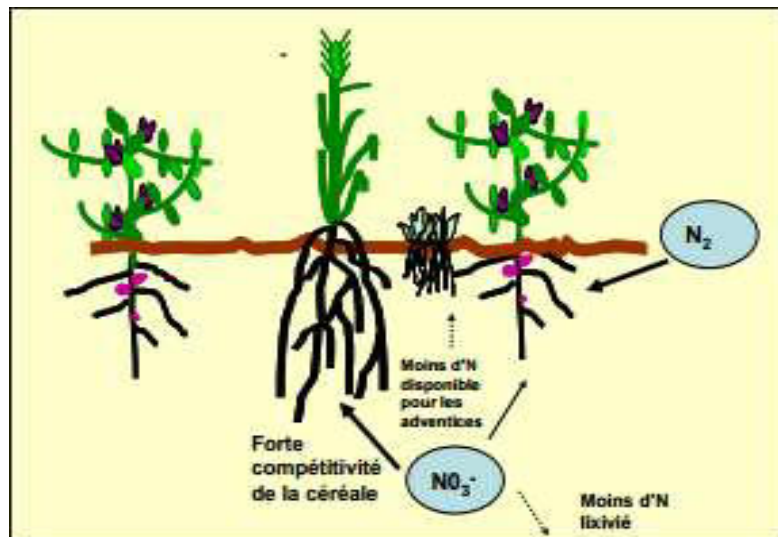


Figure 36: Schéma de transfert de l'Azote (N) entre légumineuses et céréales (Corre-Hellou, 2012).

L'enchevêtrement (l'obscurcissement) des racines est nécessaire pour favoriser les transferts d'azote entre le pois et le blé. En effet, les transferts sont négligeables lorsque les racines sont séparées par une toile ne laissant pas passer les racines. Donc, une forte corrélation entre la quantité d'azote contenu dans les racines du pois et la quantité d'azote transféré au blé dur (Figure 37).

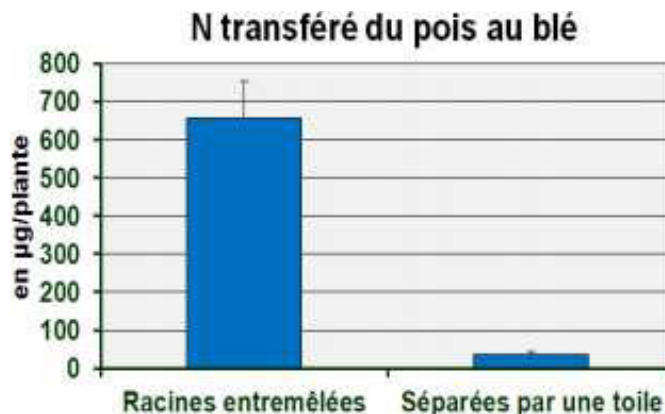
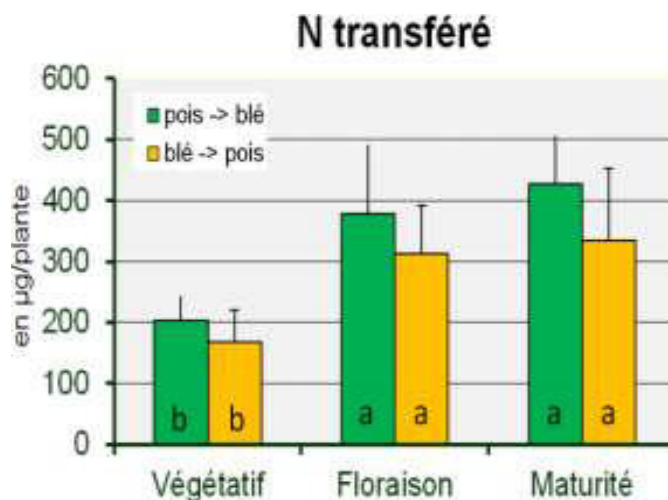


Figure 37: Quantité d'azote transféré du pois au blé (Quantité énorme en cas ces racines entremêlées ou mélangées (Fustec, 2012)

Au cours de la culture, les transferts du pois au blé dur s'amplifient du stade végétatif à la fin de la floraison du pois, puis se stabilisent jusqu'à maturité de la légumineuse. Cependant, des quantités similaires d'azote sont aussi transférées du blé au pois, et de ce fait, le bénéfice net de ces transferts pour le blé dur s'avère négligeable. Ainsi, de bonnes complémentarités, assurant un partage des ressources précoce et efficace

contribuent plus à la performance de l'association que les transferts d'azote entre plantes (Figure 38).



Différentes lettres indiquent une différence significative entre les stades

Figure 38 : Quantité d'azote transféré entre pois et blé selon leur stade de développement (Fustec, 2012).

III. 1. 3. 8. Rôle des associations dans la fertilisation biologique

Le rôle en culture en associations est de piéger le nitrate pour permettre d'augmenter le rendement et la teneur en protéines du blé lors des années pluvieuses. En culture associée, le rendement du blé est réduit mais la teneur en protéines est significativement augmentée et le rendement total (blé + légumineuse) est plus élevé. Ainsi, les cultures associées sont plus efficaces pour utiliser les ressources naturelles en azote. Il reste cependant à optimiser les itinéraires techniques de ces systèmes de culture et déterminer la place des associations au sein des rotations et analyser leur effet pour la gestion des bio-agresseurs (Justes et al., 2009).

Conclusion

Cette étude théorique a démontré que l'inclusion de légumineuses dans de multiples systèmes de culture, comme la culture des céréales ou la simple rotation des cultures, est importante pour la gestion des éléments nutritifs du sol, pour améliorer la structure du sol, et constitue généralement une étape importante vers des pratiques agricoles plus durables. Il est de la plus haute importance compte tenu de la nécessité d'intensifier la production alimentaire tout en faisant une meilleure utilisation des ressources naturelles et en renforçant la résilience au changement climatique.

Avec leur capacité à stabiliser l'azote dans l'atmosphère et à dissoudre le phosphore, les légumineuses contribuent naturellement à enrichir le sol en nutriments et à augmenter la productivité des cultures; Cela réduit le besoin d'engrais synthétiques, ce qui réduit les émissions de gaz à effet de serre et le risque de pollution des sols et de l'eau. L'inclusion des légumineuses dans le cadre de la rotation des cultures dans le système agricole réduit le risque d'érosion du sol en améliorant la structure du sol (stabilité globale du sol, aération du sol et sa capacité à retenir l'eau) et en soutenant la biodiversité du sol (les racines, par exemple, améliorent l'activité microbienne). De plus, les légumineuses aident à réduire les ravageurs et les maladies lorsqu'elles sont utilisées comme engrais vert ou comme ingrédient dans les cultures comme dans les cultures associées, qui consiste à cultiver deux cultures ou plus dans le même champ en même temps. **(FAO, 2017)**.

Outre les propriétés bien connues des légumineuses de fixation de l'azote atmosphérique et de libération de phosphore associé aux particules du sol, les légumineuses contribuent à augmenter la matière organique et l'activité des microorganismes du sol (tels que les bactéries et les champignons). Les légumineuses améliorent également la composition structurelle du sol et augmentent sa capacité à retenir l'eau. Elles aident également efficacement à réduire l'érosion du sol par le vent ou l'érosion hydrique en les utilisant comme cultures de couverture.

En raison de la grande diversité génétique des légumineuses, il est possible de choisir des variétés améliorées et de les sélectionner pour s'adapter à différentes conditions climatiques, ce qui est l'une de ses caractéristiques importantes pour l'adaptation au changement climatique, car davantage de variétés qui s'adaptent au changement climatique peuvent être extraites de cette grande diversité. Par exemple, des scientifiques de l'Institut international de recherche travaillent actuellement à la mise au point de variétés de

légumineuses capables de pousser à des températures supérieures à la plage normale pour la culture. L'importance de ce programme découle du fait que ces variétés améliorées de légumineuses seront d'une importance cruciale, en particulier pour la production agricole dans les régions pauvres du monde. Les légumineuses aident à atténuer les effets du changement climatique en réduisant la dépendance aux engrais chimiques synthétiques. Et cela, tout comme l'industrie des engrais se caractérise par être des industries à forte intensité énergétique, émet également des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, et donc un excès d'entre eux est nocif pour l'environnement. De plus, de nombreux types de légumineuses augmentent souvent les taux d'accumulation de carbone dans le sol plus que les céréales et les céréales. L'utilisation de légumineuses entraîne une diminution de l'utilisation d'engrais azotés et phosphatés. Augmenter l'efficacité du sol et augmenter sa fertilité grâce à l'approfondissement des racines des légumineuses à différents niveaux dans le sol, ce qui améliore la composition structurelle du sol. Les légumineuses revêtent une importance particulière pour les systèmes de production agro-écologiques. Les légumineuses sont des plantes à usages multiples, car elles peuvent être utilisées dans divers systèmes de production agricole tels que les systèmes de cycle agricole, comme cultures temporaires, la culture des pâturages et, bien sûr, comme cultures pour couvrir le sol. Cela peut réduire l'utilisation de pesticides. (Abu Batta, 2016)

Références bibliographiques

A

1. Abecassis J. Vermeersch G., 2006. Influence de l'évolution des technologies de production et de transformation sur la qualité des aliments, *Rapport de l'Académie des Technologies*, 47p.
2. Abecassis J., Bertrand M., Bonny S., Dedryver C.A., Georget M., Nolot J.M., Rolland B. et Rousset M., (2011). Voies d'amélioration des impacts environnementaux des systèmes céréaliers : une première synthèse à partir des travaux de l'INRA, *Innovations Agronomiques* 12, pp.53-72
3. Abu Batta F.W., 2016. Le rôle des légumineuses dans la réalisation d'un développement agricole durable, ASCO waleed@hortinstitute.com
4. Abu Hassan F., 2018. Rapport sur l'agriculture <https://mawdoo3.com/>
5. Ahmad F., Gaur P.M. et Croser J.S., 2005. Chickpea (*Cicer arietinum* L.), In: Ram J. Singh R.J. et Jauhar P.P. (Editeurs), Genetic Ressources, Chromosomes Engineering, and Crop Improvement, Volume 1, éd. CRC Press-Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, pp.187-218
6. Ait Saada D., Ait Chabane O., Boudroua K. et Selselet-Attou G., 2016. PLACE DES LEGUMES SECS DANS L'ALIMENTATION HUMAINE - ATOUTS NUTRITIONNELS ET IMPACTS SUR LA SANTE, Forum Régional pour le Développement des Légumineuses Alimentaires – Université de Mostaganem, Algérie, 5p.
7. Alabouvette C. et Cordier C., 2018. Fertilité biologique des sols: des microorganismes utiles à la croissance des plantes, « *Innovations Agronomiques* » 69, pp.61-70
8. Alain B., 2018. LES FABACÉES, éd. Université de Bordeaux, France https://www.canal-u.tv/video/universite_de_bordeaux/les_fabacees.45909
9. APABA et FRAB, 2012. La lentille, Midi-Pyrénées, France, 2p.
10. APG, 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II, *Botanical Journal of the Linnean Society*, London, Angleterre, 141, 399-436
11. APM., 2015. Les Fabacées, ces légumineuses méconnues !..., Puy Mézier <http://www.jardiniers-apm.com/>
12. Anonyme, 2008. Cultivons la diversité des plantes cultivées, Techniques de culture et activités pédagogiques, 51p. <https://www.gnis-pedagogie.org/>

13. Anonyme, 2008. Légumineuse Introduction, In : Fortin C. (Editeur) La mini-encyclopédie des aliments, éd. Québec, Amérique, pp.117-147
14. Anonyme, 2013. Calcul de la fertilisation azotée : Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales, *Groupe Azote*, éd. Comifer, Paris, France, 159p.
15. Anonyme, 2016. LES CULTURES ASSOCIEES L'association céréale-légumineuse, pp.26-27
16. Anonyme, 2020. Les céréales, culture essentielle de l'alimentation, Jardin & Binette <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1519-cereales-culture-essentielle-alimentation.html>
17. Anonyme, 2020. Les engrais NPK, ArrMaz <https://arrmaz.com/fr/industries/engrais/npk-melanges-npk/>

B

18. Bedoussac L., Journet E.P., Rouet P., Josse C., Ledoux S. et Justes E., 2011. Cultiver du blé (dur ou tendre) en association avec une légumineuse à graine : un moyen efficace pour accroître la production et la qualité des graines en agriculture biologique, Journée Technique Grande Culture biologique ITAB/ARVALIS – Institut du végétal, en collaboration avec l'INRA, Toulouse, France, 6p.
19. Bedoussac L., 2012. Les cultures associées céréales/légumineuses en agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France, PerfCom – ANR, 27p.
20. Bedoussac L., Triboulet P., Magrini M.B., Rambault G., Foissy D. et Corre-Hellou G., (2013). Conséquences de l'introduction des cultures associées céréale-légumineuse à graines dans les filières : Analyse du point de vue des agriculteurs et des coopératives, *Innovations Agronomiques* 32, pp.199-212
21. Bedoussac L. et al., 2015. Association de cultures : Leviers agronomiques pour la conception d'itinéraires techniques et retour d'expériences, Tech & Bio, 19p.
22. Bedoussac L. et Journet E.P., 2017. Culture associée <https://dicoagroecologie.fr/>
23. Bedoussac, L., Journet, E.P., Hinsinger P. et Justes E., 2017. Des cultures associées pour une gestion économe de l'azote et du phosphore dans les agroécosystèmes, 9p.
24. Bejiga G., 2006. *Lens* In : Brink M. et Belay G. (Editeurs), Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1, Céréales et Légumes secs. éd. Fondation Prota / Backhuys Publishers / CTA. Wageningen, Pays-Bas, pp.102-107
25. Bejiga G. et Van Der Maesen L.J.G., 2006. *Cicer* In : Brink M. et Belay G. (Editeurs), Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1, Céréales et Légumes secs, éd. Fondation Prota / Backhuys Publishers / CTA. Wageningen, Pays-Bas, pp.46-51

26. Bekkering E., 2014. Les légumineuses au Canada, *Un coup d'œil sur l'agriculture canadienne*, N° 007, Canada, 10p.
27. Belaid D., 1986. Aspects de la céréaliculture algérienne, éd. Office des Publications Universitaires, Alger, Algérie, 207p.
28. Belaid D., 2016. La production de pois-chiche en ALGERIE, *Collection Dossiers Agronomiques*, Algérie, 15p.
29. Belaid D., 2017. Lentille: méthode de culture, *Collection Brochures Agronomiques1*, Canada, 14p.
30. Belay G., 2006. *Triticum*, In : Brink M. et Belay G. (Editeurs), Ressource végétales de l'Afrique tropicale 1, Céréales et Légumes secs, éd. Fondation Prota / Backhuys Publishers / CTA. Wageningen, Pays-Bas, pp.199-212.
31. Benmbarek K., Boubaker M. et Hannachi C., (2013). Modélisation du rendement grain du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) du type « kabuli » sous les conditions édapho-climatiques du semi aride supérieur Tunisien, *Rev. Mar. Sci. Agron.Vét.* vol.2, pp.37-49
32. Berner, A. et al., 2013. Les principes de la fertilité des sols, Construire sa relation avec le sol, 1^{ère} éd. FiBL/ Bio Suisse, 32p.
33. Bossy D., 2020. Engrais : un atout pour les plantes, un fléau pour le sol <https://www.futura-sciences.com/>
34. Bozzini A., 1988. Origine Distribution and Production of *durum* wheat in the world, In: Fabriani G. et Lintas C. (Editeurs), *durum: Chemistry and Technology*, AACC (Minnesota), États-Unis, pp.1-16.
35. Bouas A., Helias R., Killmayer M. et Verdier J.L., 2015. Apports PK : à réaliser au plus tard à 3-4 feuilles <https://www.arvalis-infos.fr/>
- C**
36. Caburet A. et Hekimian Lethève C., 2003. AGRICULTURE SPECIALE Les plantes comestibles, Les légumineuses à grains In : Mémento de l'agronome, éd. CIRAD-GRET, France, pp.865-878
37. Cami P.H., 2013. Maïs et Légumineuses In : Tout sur les légumes L'Encyclopédie Visuelle des aliments Tome 1, éd. Québec Amérique, Canada, pp.191-198
38. Ceccagorelli S. et Grando S., 2006. *Hordeum*, In : Brink M. et Belay G. (Editeurs), Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1, Céréales et Légumes secs, éd. Fondation Prota / Backhuys Publishers / CTA. Wageningen, Pays-Bas, pp.92-97

- 39.** Chedouli A. et Djane-Hamed M., 2015. L'irrigation d'appoint du Blé, éd. ITGCN, El-Harrach, Algérie, 14p.
- 40.** Clarke J.M., Norvell W.A., Clarke F.R. et Buckley T.W., 2002. « Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. » In : Can J. (Editeur), *Plant Sci. /Revue canadienne de phytotechnie*, 82:27-33
- 41.** Clerget Y., 2011. Biodiversité des céréales origine et évolution, *Société d'Histoire Naturelle*, Pays de Montbéliard, 16p.
- 42.** Codou-David G., 2018. Blés anciens et modernes : une histoire de plus de 10 000 ans, *Revue scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature*, vol.27, 39p.
- 43.** Cohan J.P., 2012. Plante partenaire : Associer une légumineuse à un blé ne favorise au mieux que la protéine, *Perspectives Agricoles*, N°391, pp.56-60
- 44.** Coly J.M., 2017. Le haricot sec un allié pour la santé <https://www.lateranga.info/>
- 45.** Corre-Hellou G. et al., (2013). Association céréale-légumineuse multi service, *Innovations Agronomiques*, vol.30, pp. 41-57
- 46.** Courtoux A. et Claveirole C., 2015. La bonne gestion des sols agricoles : un enjeu de société, éd. Conseil économique, social et environnemental (CESE), Paris, France, 63p.
- 47.** Crémer S., 2014, Introduction à la reconnaissance des graminées, Fourrages-Mieux asbl, 6p.
- 48.** Crémer S. et Knoden D., 2014. Introduction à la reconnaissance des légumineuses, Fourrages-Mieux asbl, 6p.
- D**
- 49.** Dahan R., Kradi C., Mentag R., Bamouh A., ElAsri M., Mouaaïd A., Tirazi R. et Haddaskar E., 2016. Guide pratique pour le conseil agricole – Lentille Pois chiche Fève, éd. INRA, Maroc, 26p.
- 50.** Desclaux D., 2012. Les cultures associées céréales/légumineuses en agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France, PerfCom – ANR, 27p.
- 51.** Djane-Hamed M., 2015. La récolte des céréales et des légumineuses alimentaires, éd. ITGC, El-Harrach, Alger, 19p.
- 52.** Doré C. et Varoquaux F., 2006. Présentation de cinquante plantes cultivées, In : Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées, éd. INRA, Paris, p.336
- 53.** Dubief P., 2019. Des chiffres et des céréales, *Passion Céréales*, Paris, France, 39p.
- 54.** Dupont F. et Guignard J.L., 2015. Botanique Les familles de plantes, 16^{ème} éd. Masson, 388p.

E

55. Elalaoui A.C., 2007. Fertilisation minérale des cultures Les éléments fertilisants majeurs (Azote, Potassium, Phosphore), *Transfert de Technologie en Agriculture*, N° 155, Royaume du Maroc, 4p.

56. Erhart D., 2016. Le blé et le pain de la ferme de la souleuvre, éd. Fédération Artisans du Monde & Canopé, France, 20p.

F

57. FAO, (1970). Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique, FAO, Rome, Italie.

58. FAO, 2016. Tendances mondiales en matière de production, de consommation et de commerce des légumineuses, Rome, Italie <http://www.fao.org/pulses-2016/news/news-detail/fr/c/381532/>

59. FAO, 2017. Légumineuses et sols - promouvoir la coexistence grâce à la rotation des cultures, Rome, Italie <http://www.fao.org/pulses-2016/news/news-detail/fr/c/462421/#:~:text=L'introduction%20de%20%C3%A9gumineuses%20dans%20a%20rotation%20de%20cultures%20dans,comme%20l'activit%C3%A9%20microbienne%20de>

60. FAO, 2020. Situation alimentaire mondiale : Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr>

61. Favier J.C., 1989, Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations, In : Eurotext J.L. (Editeur), Céréales en régions chaudes, Paris, France, pp.285-297

62. Feillet P., 2000. Le grain de blé : composition et utilisation, éd. Inra, Paris, France, 308p.

63. Feldman M., 1976. « Taxonomic Classification and Names of Wild, Primitive, Cultivated, and Modern Cultivated Wheats », In: Simmonds N.W. (Editeur), Evolution of Crop Plants, London, Angleterre, pp.120-128

64. Feldman M., 2001. Origin of cultivated wheat, In: Bonjean A. et Angus W. (Editeurs.), The world wheat book: A History of Wheat Breeding, Andover, Angleterre, pp. 3-56.

65. FiBL, 2013. Les cultures associées de légumineuses à graines – un substitut partiel aux importations de soja, <https://www.bioactualites.ch/>

66. Fontaine L., Coulombel A., et Belleil A., 2013. Associations céréales/ légumineuses : des atouts agronomiques indéniables, *ALTERAGRI*, 26p.

67. FranceAgriMer, 2017. Céréales, *Conjoncture-Indicateurs de suivi*, N° 19, 4p.
68. Franquesa M., 2020. La monoculture, une pratique peu amicale pour la planète
<https://www.agroptima.com/>
69. Fustec J., 2012. Les cultures associées céréales/légumineuses en agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France, PerfCom – ANR, 27p.

G

70. Gaur P.M., Thudi M., Samineni S. et Varshney R.K., 2014. Advances in Chickpea Genomics, In: Gupta S., Nadarajan N. et Sen Gupta D. (Editeurs), *Legumes in the Omic Era*, éd. Springer, New York, pp.73-94
71. Giban M., Minier B., Malvosi R., 2003. Stades du blé, éd. ITCF, Paris, 68p.
72. Guennouni A., 2017. Céréales : Fertilisation de couverture des blés
<http://www.agri-mag.com/>

H

73. Hallouin I., 2012. Tout savoir sur la culture du Haricot sous abris et en plein champ, FICHE CULTURALE HARICOT, éd. Chambre d'agriculture des Bouches du Rhône, vol.2, France, 16p.
74. Hammouda D. et Khalfallah N., 2015. ÉTUDE COMPARATIVE DE LA CARYOMORPHOLOGIE CHEZ SIX GÉNOTYPES DU *LENS CULINARIS* MEDIK., *European Scientific Journal*, vol.11 (24), pp.214-225
75. Henrotte B., 2016. Transformation des céréales, *Itinéraires BIO*, Biowallonie, N°16, Namur, Belgique, 59p.
76. Hinsinger P. (2012). Les cultures associées céréales/légumineuses en agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France, PerfCom – ANR, 27p.
77. Hoch T., 2017. Gousses délicates : L'intérêt des lentilles, *Grandes cultures, Bioactualités*, N°9, 11p.
78. Huignard J. et Glitho I.A., 2011. Les Légumineuses alimentaires en Afrique, In : Huignard J., Glitho I.A. Monge J.P. et Regnault-Roger C. (Editeurs), *Insectes ravageurs des graines de légumineuses Biologie des Bruchinae et lutte raisonnée en Afrique*, éd. Quæ, Versailles Cedex, France, pp.17-24

I

79. Iseli-trösch K., 2019. Les céréales suisses, *Agence d'information agricole romande (AGIR)*, Lausanne, Suisse, 15p.
80. ITGC, 2001. La culture intensive du blé, El-Harrach, Algérie, 34p.

J

81. Jäger M., Clerc M., Dierauer H. et Tamarcaz J., 2013. Fertilisation en culture biologique, 1^{ère} éd. AGRIDEA, Lausanne, Suisse, 8p.

82. Justes E., Bedoussac L. et Prieur L., (2009). Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéines du blé en Agriculture Biologique au moyen de cultures intermédiaires ou de cultures associées, « *Innovations Agronomiques* » vol.4, pp.165-176.

K

83. Kherch-Medjden H. et Bouchafaa B., 2012. La politique céréalière en Algérie, 13p.

84. Klein H.D., Rippstein G., Huguenin J., Toutain B., Guerin H. et Louppe D., 2014. La diversité des plantes fourragères, In : Les cultures fourragères, éd. Quæ, CTA, *Presses agronomiques de Gembloux*, France, Pays-Bas, Belgique, pp.19-45

85. Kouame N., Kouassi N.J., Ayolie K. Yao K.B. et Yatty K.J., 2019. Influence de l'association culturale sur la capacité de nodulation de trois espèces légumineuses : Arachide, Niébé et Soja vert, *Journal of Applied Biosciences*, Côte d'Ivoire, vol.145, pp.14930-14937

L

86. Labidi A., 2016. La culture du blé dur: Besoins et contrainte, AgriMaroc, <https://www.agrimaroc.ma/la-culture-du-ble-dur-besoins-et-contraintes/>

87. Lecompte F. et Goillon C., 2015. Fertilité des sols et fertilisation en cultures maraîchères : enjeux agroécologiques, pratiques et outils. 4èmes rencontres du RED PACA: « *Réussir l'agroécologie en région méditerranéenne* », éd. INRA, Avignon, France, 15p.

88. Leonard W.H., Martin J.H., (1963). Cereal Crops, éd. MacMillan Company, New York, pp. 478-543.

89. Lersten N.R., 1987. Morphology and Anatomy of the Wheat Plant, In: Heyne E.G. (Editeur), Wheat and Wheat Improvement, *American Society of Agronomy*, Madison (WI). USA, pp.33-75

90. Liniger H., Mekdaschi Studer R., Hauert C. et Gurtner M., 2011. Bonnes pratiques de GDT adaptées à l'Afrique subsaharienne, La pratique de la gestion durable des terres, éd. TerrAfrica, Panorama mondial des approches et technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome, Italie, pp.64-29

91. Loke A., Baranda L.C et Lezcano S.C., 2016. Légumineuses, Des graines nutritives pour un avenir durable, FAO, 189p.

92. Lommez J.M.J. et Leondurand R., (1965). Economie de la production, transformation, et consommation du blé dur dans la CEE, Collection études série Agriculture 18, Services des publications des Communautés européennes, Bruxelles, Belgique, 238p.

M

93. MADR, 2018. Statistique Agricoles <http://madrp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/>

94. Marguerie M., 2017. Culture du pois chiche en bio, *Grandes cultures bio*, N°6, France, 3p.

95. Messiaen C-M. et Seif A.A., 2004. *Phaseolus*, In : Grubben G.J.H. et Denton O.A. (Editeurs), Ressources végétales de l’Afrique tropicale 2, Légumes, éd. Fondation Prota, Wageningen, Pays-Bas, pp.466-471

96. Moran J., 2020. Quels Sont Les Avantages Et Les Inconvénients De La Monoculture? <https://fr.ripleybelieves.com/>

97. Moule C., 1971. Céréales, Phytotechnie Spéciale II, éd. La maison rustique, Paris, 94p.

N

98. N'Dayegamiye A., Giroux M. et Gasser M.O., 2007. La contribution en azote reliée à la minéralisation de la MO: facteurs climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote, *Colloque sur l'azote*, éd. CRAAQ et OAQ, Canada, 11p.

P

99. Paquereau J., 2013. Légumes, In : Tronchet A. et Kuczynski F. (Editeurs), Au jardin des plantes de la Bible: botanique symboles et usages, éd. Institut pour le Développement Forestier (IDF), Paris, France, pp.162-199

100. Petit J. et Jobin P., 2005. La fertilisation organique des cultures : Les bases, éd. Fédération d’agriculture biologique du Québec (FABQ), Longueuil, Canada, 48p.

101. Pillou J.F., 2014. Légumineuses – Définition, éd. santé-médecine, *Journal des femmes* <https://sante-medecine.journaldesfemmes.fr/>

102. Pitrat M. et Faury C. 2015. Légumes graines et légumes gousses, In : Histoires de légumes: Des origines à l'orée du XXIe siècle, 2^{ème} éd. Quæ, Paris, France, pp.339-373

103. Pollet J.P., 2013. Les dessous de notre assiette, *Imagine*, N°96, 33p.

104. Pousset J., 2008. Fumure et fertilité, In : Agriculture naturelle : Face aux défis actuels et à avenir, pourquoi et comment généraliser une pratique agricole « naturelle » productive, 1^{ère} éd. Agridécisions, Paris, France, pp.161-179

105. Profert, 2018. Notice Technique des Légumineuses, 22p.

R

106. Raina A., Khan S., Wani M.R., Laskar R.A. et Mushtaq W., 2019. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cytogenetics, Genetic Diversity and Breeding, In: Al-Khayri J.M., Jain S.M. et Johnson D.V. (Editeurs), Advances in Plants Breeding Strategies: Legumes: Volume 7, éd. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp.53-111

107. Rastoin J.L. et Benabderrazik E., 2014. Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb : Pour un co-développement de filières territorialisées, « *Construire la Méditerranée* », éd. Ipemed, Paris, France, 136p.

108. Riquet G., 2019. Le cycle de la culture de la lentille <https://www.terresinovia.fr/>

S

109. Salcedo J.M., 2008. Directives pour la régénération: haricot commun, In: Dulloo M.E., Thormann I., Jorge M.A. and Hanson J., (Editeurs), Crop specific regeneration guidelines [CDROM]. CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Rome, Italie, 10p.

110. Schneider A. et Huyghe C., 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, éd. Quæ, Versailles Cedex, France, 515p.

111. Schneider A., Huyghe C., Maleplate T., Labalette F., Peyronnet C. et Carrouée B., 2015. Rôle des légumineuses dans l'agriculture française. In Schneider A. et Huyghe C. (Editeurs), Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, éd. Quæ, Versailles Cedex, France, pp.16-77

112. Sebioref, 2017. Fertilisation et organismes du sol Connaître la biodiversité utile à l'agriculture pour raisonner ses pratiques, N°7, 2p.

113. Service Culture Conserves du Blaisois, 2013. Cultiver des Haricots verts biologiques destinés à la transformation, *Repères techniques*, 6p.

114. Sheriff F. et Bouziane K., 2018. Les légumineuses, un marché en plein croissance, In : Cherif E. (Editeur), *Agroligne*, N°106, 50p.

115. Sierra J. et Tournebize R., 2019. Fixation symbiotique d'azote par les légumineuses en association, Résultats obtenus en Guadeloupe, éd. INRA, Petit-Bourg, Guadeloupe, France, 9p.

- 116.** Silués S., Jacquemin J.M. et Baudoin J.P., 2011. Utilisation des mutations induites pour l'étude de l'embryogenèse chez le haricot *Phaseolus vulgaris* L. et deux plante modèles, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. et *Zea mays* L., *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol.15 (1), pp.195-205
- 117.** Sonia, Singh R.P., Sharma K.K. et Jaiwal P.K., 2003. In vitro regeneration and genetic transformation of Chickpea, In: Singh R.P et Jaiwal P.K (Editeurs), *Applied Genetic of Leguminosae Biotechnology*, éd. Kluwer Academic Publishers, Great Britain, pp.69-87
- 118.** Soullignac V., 2018. Lentille <https://geco.ecophytopic.fr>
- 119.** Spichiger R.E., Savolainen V., Figeat M. et Jeanmond D., 2004. Botanique systématique des plantes à fleurs: une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérés et tropicales, 3^{ème} éd. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, p.204
- 120.** Stettler P. et Hiltbrunner J., 2018. Culture de lentilles en conditions biologique <https://www.bioactualites.ch/>
- 121.** Street K., Rukhkyan N. et Ismail A., 2008. Directives pour la régénération: pois chiche, In: Dulloo M.E., Thormann I., Jorge M.A. et Hanson J. (Editeurs), *Crop specific regeneration guidelines [CD-ROM]*. CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Rome, Italie. 11p.

T

- 122.** Taleei A., Kanouni H. et Baum M. 2009. Genetical Analysis of Ascochyta Blight Resistance in Chickpea, In : Ślęzak D. Arslan T. Song X. et Kim T. (Editeurs), *Bio-Science and Bio-Technology : International Conference, BSBT 2009 Held as Part of the Future Generation Information Technology Conference, FGIT 2009 Jeju Island, Korea, Proceedings*, éd. Springer, Berlin Heidelberg, Allemagne, pp.31-37
- 123.** Tar'an B., 2015. Pois chiche <https://thecanadianencyclopedia.ca/>
- 124.** Terre Univia, 2019. Cultures & Utilisations <http://www.terresunivia.fr/cultures-utilisation/produitsdebouches/produits-debouches>
- 125.** Toker C., Uzun B., Ceylan F.O. et Ikten C., 2014. Chickpea, In: Pratap A. et Kumar J. (Editeurs), *Alien Gene Transfer in Crop Plants, Volume 2: Achievements and Impacts*, éd. Springer, New York, Heidelberg, Dordrecht, London, pp.121-151

W

- 126.** Winter P., Staginnus C., Sharma P. C et Kahl G., 2003. Organization and genetic mapping of the chickpea genome, In: Jaiwal P.K. et Singh R.P. (Editeurs), *Improvement*

Strategies of Leguminosae Biotechnology, éd. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/
Boston/London, pp.303-351

127. Wortmann C.S., 2006. *Phaseolus*, In : Brink M. et Belay G. (Editeurs), Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1, Céréales et Légumes secs, éd. Fondation Prota/ Backhuys Publishers/ CTA. Wageningen, Pays-Bas, pp.150-171

Z

128. Zella L., 2015. Irrigation Eau, Sol et Plantes, éd. Office des publications Universitaire, Ben Aknoun, Alger, Algérie, 389p.

المخلص

من بين الممارسات الزراعية التي يسعى الإنسان إلى فهمها التخصيب، فهي عملية لتعيين عدة طرق لتناول المعادن التي يحتاجها النبات للتنمية السليمة والنمو، وهذه الأساليب تختلف تبعاً لنوع العنصر وجرعته وأيضاً وفقاً لمنهجية تكيفها كجزء من شبكة البحث والتطوير في قطاع الزراعة، تم إنجاز هذا العمل قصد تحليل تأثير نوعين من السماد البيولوجي (الجمع بين الحبوب و البقوليات (والسماد الازوتي (NPK) على نمو و مردود أصناف من الحبوب) قمح صلب، قمح لين، شعير (و البقوليات (عدس، حمص، بازلاء (في حالتها الزراعية الأحادية و الزراعة المشتركة، حيث تم التركيز على عدة مقاييس مورفولوجية زراعية و فيزيولوجية و كيميائية بهدف معرفة مدى استجابة النبات للتسميد البيولوجي و الازوتي NPK و بيان اثر كل منهما في تحسين الإنتاجية، وقد أثبتت بعض الدراسات الأثر الإيجابي للأسمدة البيولوجية من حيث قابلية امتصاص النبات للآزوت الطبيعي و تحسين المنتج الزراعي.

الكلمات المفتاحية: الحبوب، البقوليات، الأسمدة البيولوجية، الأسمدة الازوتية، الزراعة الأحادية، الزراعة المشتركة

Résumé

Parmi les pratiques agricoles qu'une personne cherche à comprendre se trouve la fertilisation, car il s'agit d'un processus d'identification de plusieurs méthodes de consommation des minéraux dont la plante a besoin pour un bon développement et une bonne croissance, et ces méthodes diffèrent selon le type et la dose de l'élément et aussi selon la méthodologie de leur adaptation dans le cadre du réseau de recherche et développement dans le secteur agricole, ce travail a été fait avec intention Analyse de l'effet de deux types de fertilisation biologique (céréales et légumineuses combinées) et fertilisation azoté (NPK) sur la croissance et le rendement des variétés de céréales (blé dur, blé tendre, orge) et de légumineuses (lentilles, pois chiches, petit pois) en cas de monoculture et de culture associée. Là où l'accent était mis sur plusieurs mesures morphologiques agricoles, physiologiques et chimiques dans le but de connaître l'étendue de la réponse de la plante à la fertilisation biologique et azotée NPK et de montrer l'effet de chacune d'elles sur l'amélioration de la productivité, et certaines études ont prouvé l'effet positif des engrais biologiques en termes d'absorption végétale d'azote naturel et d'amélioration de la production agricole.

Mots clés: céréales, légumineuses, fertilisation biologiques, fertilisation azotée, monoculture, Culture associée

Abstract

Among the agricultural practices that a person seeks to understand is fertilization, as it is a process of identifying several methods of eating the minerals that the plant needs for proper development and growth, and these methods differ according to the type and dose of the element and also according to the methodology of adapting them as part of the network of research and development in the agricultural sector, this work was done with intent Analysis of the effect of two types of biological fertilizer (combined grains and legumes) and nitrogen fertilizer (NPK) on the growth and yield of varieties of grains (hard wheat, soft wheat, barley) and legumes (lentils, chickpeas, peas) in the cases of monoculture and associated culture. Where the focus was on several agricultural, physiological and chemical morphological measures with the aim of knowing the extent of the plant's response to biological and nitrogen fertilization NPK and showing the effect of each of them in improving productivity, and some studies have demonstrated the positive effect of biological fertilizers in terms of plant absorption of natural nitrogen and improving agricultural production.

Key words: Cereals, legumes, biological fertilizers, nitrogen fertilizers, monoculture, associated culture