

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY Tahar, Saida



كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté de Science de la nature et de vie

قسم الفلاحة و علوم التغذية

Département d'agronomie et sciences de la nutrition

N° d'Ordre

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème

**Etude de l'effet de divers fertilisants sur la croissance de
l'orge *Hordume vulgare L***

Présenté par :

Melle : BENHAMOU Khadidja

Melle : TAMI Samah

Soutenu le : 26 juin 2024

Devant le juré composé de :

Président

Dr : MOUBAREK Mebarki

Examineur

Dr : SAIDI Abdelmoumen

Rapporteur

Dr : HENNI Mustapha

Année universitaire 2023/2024

Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect et l'expérience de ma profonde reconnaissance, je dédie cette réussite à ma famille bien-aimée.

À mon père, le grand homme :

Votre naïveté, votre patience, votre confiance et votre courage ont été un socle inébranlable pour moi. Vous devez être fier de voir ici les fruits de vos longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse ce travail porter ses fruits et vous honorer. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent que vous m'avez apportés.

À ma mère, source et symbole d'amour :

Votre bonté, votre générosité et vos prières ont été ma force tout au long de mon parcours.

À mon unique grand frère Hadj, et à mes sœurs Bochra et Farah :

Votre présence à mes côtés a été une bénédiction.

À ma grand-mère, un pilier de douceur et de sagesse :

Chaque moment passé avec vous a été un trésor inestimable. Votre amour et vos récits ont forgé ma vie. Merci d'être la colonne vertébrale de notre famille et pour votre amour généreux. Je vous aime au-delà des mots.

À mon petit prince Menouar : ton arrivée a été une source de pur bonheur.

A ma binôme khadidja

J'espère que ces mots expriment fidèlement la profondeur de mes sentiments envers chacun d'entre vous.

TAMI SAMAH

Dédicace

Je remercie tout d'abord le bon DIEU tout puissant qui m'a donné la force et le courage pour terminer ce travail.

Je dédie ce modeste travail à : A mon père Benameur qui fait tout son possible pour que je puisse réussir et je témoigne mon respect, ma profonde gratitude.

Ma mère que j'aime très fort et qui a toujours espérée ma réussite. Je prie le bon dieu de les protéger du mal. Merci pour votre patience.

A mes très chères Sœurs : amina, asma, A mon cher frère : mohamed. A toute la famille benhamou.

Et une dédicace spéciale à mes chères amies nihad et houda , A ma binôme Samah et sa famille. A tout ceux que j'aime et m'aime.

A tous mes enseignants et mes amies de la promotion biotechnologie végétale 2023/2024.

Benhamo khadidja



Remerciement

Tout d'abord, nous rendons grâce à Dieu le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé et la volonté nécessaires pour entamer et mener à bien ce mémoire.

Nos sincères remerciements s'adressent ensuite à Monsieur Mustapha Henni, notre directeur de mémoire, pour la qualité exceptionnelle de son encadrement. Nous le remercions pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité tout au long de notre travail sur ce projet. Son accompagnement a été inestimable dans la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble de nos professeurs, qui ont fait preuve d'une grande générosité et d'une infinie patience à notre égard, malgré leurs nombreuses charges académiques et professionnelles. Leur soutien et leurs précieux conseils ont grandement contribué à la richesse de ce travail.

Nous sommes profondément reconnaissants envers Monsieur Henni et tous nos enseignants pour leur dévouement et leur engagement à nos côtés. Leur implication a été un soutien inestimable dans l'accomplissement de ce mémoire.

Que Dieu les bénisse et les récompense pour leur générosité et leur précieuse contribution à notre réussite.

Liste des abréviations

ATP : Adenosine triphosphate

NPK: nitrogène phosphate potassium

IRDA: institut de recherche et de développement en environnement

bq : brasserie quantité

N/q: kilogramme d'azote par quintal

ANOVA : Analyse de la variance

Liste des tableaux

Tableau 1: Le matériel utilisé dans laboratoire :	45
Tableau 2 : Test ANOVA pour la hauteur des plantes	53
Tableau 3: Test ANOVA pour Nombre de pieds	55
Tableau 4: Test ANOVA pour Nombre de talles	56
Tableau 5: Test ANOVA pour Hauteur des épis	57
Tableau 6: Test ANOVA pour Hauteur de la barbe des épis	58
Tableau 7: Test ANOVA pour Hauteur de Nombre total d'épis	60
Tableau 8: Test ANOVA pour Nombre épillets/épi	61
Tableau 9: Test ANOVA pour Nombre de graines par épi	62
Tableau 10: Test ANOVA pour Poids de 1000 graines	63
Tableau 11: Test ANOVA pour rendement réel.....	64
Tableau 12: Test ANOVA pour rendement de la paille:	65

Liste des figures

Figure 1: Anatomie de l'orge à deux rangs (Mathias , 2016).	11
Figure 2: les deux types d'orge à deux et six rangs (SOLTNER, 1979)	12
Figure 3: Représentation du cycle de développement de l'orge <i>Hordeum vulgare</i> L (Soltner, 1998).	13
Figure 4: La profondeur d'enracinement des plantes, avec et sans fertilisation (FAO,2003).	19
Figure 5: Cycle de l'azote (Munroe, 2018).	26
Figure 6: Cycle simple de phosphore (Frossard et al., 2004).	30
Figure 7:(<i>Hordeum vulgare</i> L) variété Saida 183, (Photo personnel 2023).	39
Figure 8: Dispositif expérimental (Photo personnel 2023)	46
Figure 9: quantité NPK 15/15/15 pour bloc C (Photo personnel 2023)	47
Figure 10: quantité NPK 0/ 20/ 25 pour bloc D (Photo personnel 2023)	48
Figure 11: quantité urée 46 % pour bloc C (Photo personnel 2024)	48
Figure 12: Hauteur des plantes pour chaque type d'engrais.....	53
Figure 13: Nombre de pieds pour chaque type d'engrais	54
Figure 14: Nombre de talles pour chaque type d'engrais	55
Figure 15: Hauteur des épis pour chaque type d'engrais	57
Figure 16: Hauteur de la barbe des épis pour chaque type d'engrais	58
Figure 17: Nombre total d'épis pour chaque type d'engrais	59
Figure 18: Nombre épillets/épi pour chaque type d'engrais	60
Figure 19: Nombre de graines par épi pour chaque type d'engrais	62
Figure 20: Poids de 1000 graines pour chaque type d'engrais	63
Figure 21: Rendement réel pour chaque type d'engrais	63
Figure 22: Rendement de la paille pour chaque type d'engrais	65

Résumé

Cette étude a été menée dans le but d'étudier l'effet de la fertilisation sur la croissance et le rendement de l'orge. Différents types d'engrais ont été utilisés (Fumier ; NPK 15-15-15 ; NPK 0-20-25 et Urée 46%). Ces fertilisants ont été incorporés à la terre végétale (engrais de fond) ou appliqués en surface (engrais de couverture). L'effet de cette fertilisation est élucidé par la comparaison de certains paramètres morphologiques (Hauteur des plantes, Nombre de pieds, Nombre de talles, Nombre d'épis, Longueur de la barbe des épis, Nombre épillets/épi) et de la production (Nombre de graines/épi, Poids de 1000 grains, Rendement réel et Rendement en paille) entre un bloc témoin (sans fertilisant) et quatre blocs dont le sol est enrichi par les types d'engrais étudiés.

Les résultats obtenus indiquent une amélioration considérable des paramètres étudiés dans les blocs fertilisés par rapport au bloc témoin, notamment en cas d'une meilleure fertilisation azotée (Urée 46%). Une meilleure fertilisation en potassium influe directement sur le rendement réel de l'orge. Le processus de °dégradation très lent du fumier et l'engrais NPK 15-15-15 explique le niveau d'amélioration du rendement inférieur de ces deux fertilisants par rapport à l'urée 46% qui se caractérise par une solubilité et une mobilité rapides.

Les Mots clés : Fertilisation, Rendement, Orge, Engrais de fond, Engrais de couverture, Sol.

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of fertilization on barley growth and yield. Different types of fertilizers were used (Manure; NPK 15-15-15; NPK 0-20-25 and Urea 46%). These fertilizers have been incorporated into topsoil (bottom fertilizer) or applied to the surface (cover fertilizer). The effect of this fertilization is elucidated by the comparison of certain morphological parameters (Height of plants, Number of feet, Number of tillers, Number of ears, Tongue of the ear of ears, Number spikelets/ cob) and production (Number of seeds/cob, Weight of 1000 grains, Actual yield and Straw yield) between a control block (without fertilizer) and four blocks whose soil is enriched by the types of fertilizer studied.

The results obtained indicate a considerable improvement of the parameters studied in the fertilized blocks compared to the control block, especially in case of better nitrogen fertilization (Urea 46%). Better potassium fertilization directly affects the actual yield of barley. The very slow degradation process of manure and fertilizer NPK 15-15-15 explains the level of improvement in the lower yield of these two fertilizers compared to urea 46% which is characterized by rapid solubility and mobility.

Keywords: Fertilizer, Yield, Barley, Bottom fertilizer, Cover fertilizer, Soil.

ملخص

أجريت هذه الدراسة لمعرفة تأثير التسميد في نمو وإنتاجية الشعير. تم استخدام أنواع مختلفة من الأسمدة (السماذ العضوي، NPK 15-15-15، NPK 0-20-25 واليوريا 46%). وقد تم دمج هذه الأسمدة في التربة (أسمدة القاع) أو تطبيقها على السطح (أسمدة التغطية). يتم توضيح تأثير هذا التسميد من خلال مقارنة بعض العوامل المورفولوجية (ارتفاع النباتات، عدد الأقدام، عدد السنابل، طول السنابل، عدد السنبيلات/سنبلة) والإنتاج (عدد البذور/ السنبلة، وزن 1000 حبة، المحصول الفعلي ومحصول القش) بين كتلة الشاهد (تربة بدون سماذ) وأربعة كتل تربتها مخصبة بأنواع الأسمدة المدروسة.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى تحسن كبير في المؤشرات المدروسة في الكتل المخصبة مقارنة بالكتلة الشاهدة، خاصة في حالة التسميد النتروجيني الأفضل (يوريا 46%). يؤثر التسميد الأفضل للبوتاسيوم بشكل مباشر على المحصول الفعلي للشعير. إن عملية التحلل البطيئة جداً للسماذ العضوي والسماذ NPK 15-15-15 تفسر مستوى التحسن في المحصول المنخفض لهذين السماذين مقارنة باليوريا 46% التي تتميز بسرعة الذوبان والحركة.

الكلمات المفتاحية: الأسمدة، المحصول، الشعير، أسمدة القاع، الأسمدة السطح، التربة

Table des matières

I.1. Introduction :	6
I.2. Historique de l'orge :	6
I.3. Situation de l'orge dans le monde :	6
I.4. Situation de l'orge en Algérie :	7
I.5. Généralités sur l'orge :	8
I.5.1. Aspect botanique:	8
I.5.2. Systématique :	8
I.5.3. Morphologie :	9
I.6. Le cycle de développement de l'orge :	12
I.7. Conditions de la germination :	14
I.7.1. Conditions de germination externes ou liées au milieu :	14
I.7.2. Conditions de germination internes :	15
I.8. Le contrôle de la germination par les régulateurs de croissance :	15
I.9. Usages et importance d'orge :	16
I.9.1. Usages :	16
I.9.2. l'importance économique :	16
Chapitre II :	18
I.1. Définition de la fertilisation :	18
I.2. Lois de la fertilisation :	19
I.2.1. La loi de restitutions au sol :	19
I.2.2. La loi des rendements moins que proportionnels :	19
I.2.3. La loi du minimum :	20
I.3. Les engrais :	20
I.3.1. Classification des engrais :	20
I.3.1.1. Selon la quantité d'éléments fertilisants qu'ils renferment :	20
I.3.1.2. Selon leur provenance et leur présentation :	21
I.3.1.3. Selon le mode d'application:	22
I.4. Les avantages des engrais composés :	23
Fertilisation minérale :	23
I.5. Fertilisation azotée :	24
I.5.1. Définition de l'azote :	24
I.5.2. Sources de l'azote :	25

I.5.3. Rôle de l'azote dans la plante :	25
I.5.4. Cycle de l'azote :	25
I.5.5. L'assimilation de l'azote par la plante :	26
I.5.6. Les besoins de l'orge en azote :	27
I.5.7. Fertilisation phosphatée :	28
I.5.7.1. Définition de phosphore :	28
I.5.7.2. Source de phosphore :	28
I.5.7.3. Forme de phosphore :	28
I.5.7.4. Rôle de phosphore dans la plante :	28
I.5.7.5. Cycle de phosphore :	29
I.5.7.6. L'assimilation de phosphore :	30
I.5.8. Fertilisation potassique.....	31
I.5.8.1. Définition de potassium :	31
I.5.8.2. Sources du Potassium:.....	31
I.5.8.3. Forme de potassium :	31
I.5.8.4. Rôle de potassium dans la plante :	31
I.5.8.5. Potassium assimilable :	32
I.6. Fertilisation organique (Naturelle):.....	32
I.6.1. Définition de le fumier :	33
I.6.2. Type de fumier :	33
I.6.2.1. . Fumier traditionnel :	33
I.6.2.2. Fumier amélioré :	33
I.6.3. Quantité du fumier et les dates optimales d'épandage :.....	34
I.6.4. Evaluation et caractérisation des fumiers :.....	34
Objectifs de l'étude :	38
II.1. Le matériel végétal :	38
II.1.1. Le choix des grains :	38
II.2. Les caractéristiques du sol :	39
II.3. Engrais utilisés :	40
II.3.1. Engrais de couverture :	40
II.3.1.1. Avec azote (type d'engrais urée 46%) :	40
II.3.1.2. Caractéristiques technologiques :	40
II.3.1.3. I d'engrais de fond :	41
II.3.2. Caractéristiques technologiques :	41

II.3.3. Caractéristiques technologiques :	42
II.3.4. Fumier :	43
II.3.5. Caractéristiques technologiques :	44
II.4. Autres matériels :	45
.5.II Protocole expérimental :	45
II.5.1. Répartition des blocs :	45
II.5.2. Semis et application des engrais :	46
II.6. Paramètres étudiés :	49
II.6.1. Caractéristiques morphologiques :	49
II.6.2. Caractéristiques d'épis/m ² :	49
II.6.3. Caractéristique des composantes du rendement :	49
II.7. Analyse statistique des données :	50
Chapitre IV :Résultats et discussion.....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale	69

INTRODUCTION

Introduction

L'orge (*Hordeum vulgare*) est l'une des principales céréales cultivées dans le monde, notamment pour l'alimentation humaine et animale. La culture de l'orge occupe la quatrième place après le blé, le riz et le maïs (**Rosemary et al., 2008**).

L'Algérie est un grand importateur de produits céréaliers et aussi un grand intervenant sur le marché international des céréales avec un niveau de consommation annuel moyen de pas moins de 60 millions de quintaux de céréales (**Keberi , 2003**). Cette situation est due à plusieurs facteurs comme les pratiques culturales, les aléas climatiques et l'utilisation de variétés anciennes de faible rendement (**Chehat , 2007**).

Actuellement, l'agriculture algérienne s'oriente vers une intensification de la production. Parmi les facteurs d'intensification, les engrais minéraux occupent une place primordiale (**Halilat, 1993**).

La fertilisation azotée nécessite actuellement une gestion plus stricte, qui repose sur la stratégie d'adapter les apports aux besoins de la culture durant ses différents stades de développement (**Justes 1993**). Le phosphore et le potassium sont des éléments indispensables dans le développement des cultures, notamment pour l'amélioration de rendement sur le plan qualitatif.

L'augmentation des prix et le contrôle stricte de l'état sur la distribution des engrais minéraux ont poussés les agriculteurs à l'utilisation du fumier comme engrais naturel pas cher et disponible chez les éleveurs et les fermes d'élevage et de la production animale.

La fertilisation doit être raisonnée et permet une bonne alimentation de la plante pour atteindre l'objectif principal de rendement et d'assurer la disponibilité de tous les éléments fertilisants en périodes de forte consommation.

Dans ce sens, cette étude vise à évaluer l'influence de différents types de fertilisants sur la croissance et le développement de l'orge. Les résultats de cette expérience permettront de mieux comprendre les besoins nutritifs de l'orge et d'identifier les pratiques de fertilisation les plus adaptées pour optimiser son rendement. Ces informations seront utiles aux agriculteurs soucieux d'améliorer la productivité de leurs cultures tout en limitant l'impact environnemental des intrants.

La première partie du mémoire présentera une revue de la littérature sur la culture de l'orge (chapitre I) et l'influence des fertilisants (chapitre II). La seconde partie détaillera le

protocole expérimental mis en place (chapitre III). Les résultats seront analysés et discutés afin d'en tirer des conclusions pertinentes (Chapitre IV). Enfin, une conclusion qui résume les résultats probants de cette étude.

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

**CHAPITRE 1 : REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE
SUR L'ORGE**

I.1. Introduction :

L'orge, également connue sous son nom scientifique *Hordeum vulgare*, est une céréale largement cultivée à travers le monde. Elle est appréciée pour sa polyvalence et sa capacité à s'adapter à différents climats et sols. L'orge est utilisée dans l'alimentation humaine et animale. Elle est riche en nutriments essentiels tels que les fibres, les protéines, les vitamines et les minéraux. De plus, l'orge joue un rôle important dans l'agriculture durable en tant que culture de rotation et en aidant à prévenir l'érosion des sols. Grâce à ses nombreuses utilisations et à ses bienfaits nutritionnels, l'orge occupe une place importante dans notre alimentation et dans l'industrie agroalimentaire.

I.2. Historique de l'orge :

La domestication de l'orge remonte à une époque antérieure à celle du blé, comme le démontrent les études archéologiques menées en Syrie et en Irak, qui ont révélé la présence de grains d'orge datant d'environ 10 000 ans avant Jésus-Christ. Ainsi, de l'Antiquité jusqu'au IIe siècle avant Jésus-Christ, l'orge était la céréale la plus largement utilisée pour l'alimentation humaine dans les régions du croissant fertile, d'Europe et du bassin méditerranéen (kellil., 2010) .

Dans les pays du Maghreb, l'introduction de l'orge s'est faite à partir du croissant fertile en passant par l'Égypte. On considère généralement que l'orge à deux rangs sauvage, *Hordeum spontaneum*, répandue de la Grèce et de la Libye jusqu'au nord-est de l'Inde, est l'ancêtre de l'orge cultivée, *Hordeum vulgare*. Les types d'orge à six rangs à rachis fragile, autrefois désignés comme *Hordeum agriocrithon*, et trouvés en Asie centrale, sont maintenant considérés comme des hybrides subspontanés entre les types cultivés à six rangs et *Hordeum spontaneum* (kellil., 2010) .

I.3. Situation de l'orge dans le monde :

Entre 1970 et 2010, la production mondiale d'orge a connu une augmentation significative, passant de 119 millions à 178 millions de tonnes (selon les statistiques de la FAO en 2011). Durant la période de 2000 à 2010, les principaux producteurs étaient l'Allemagne avec 104 millions de tonnes, suivie de la France avec 10,1 millions de tonnes,

l'Ukraine avec 8,5 millions de tonnes, l'Espagne avec 8,2 millions de tonnes, le Canada avec 7,6 millions de tonnes, le Royaume-Uni avec 5,3 millions de tonnes, les États-Unis avec 3,9 millions de tonnes, la Pologne avec 3,5 millions de tonnes, l'Iran avec 3,2 millions de tonnes et le Maroc avec 2,6 millions de tonnes.

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO**) en **2004**, la production mondiale d'orge s'élevait à 155 millions de tonnes. La superficie cultivée était de 57 millions d'hectares, avec un rendement moyen de 27,2 tonnes par hectare. Seize pays étaient responsables de 80% de cette production.

En résumé, la production mondiale d'orge a connu une augmentation significative entre 1970 et 2010. Durant cette période, l'Allemagne était le plus grand producteur, suivi de près par la France, l'Ukraine, l'Espagne, le Canada, le Royaume-Uni, les États-Unis, la Pologne, l'Iran et le Maroc. Selon les données de la **FAO en 2004**, la production mondiale d'orge s'est élevée à 155 millions de tonnes, avec seize pays contribuant à 80% de cette production.

I.4. Situation de l'orge en Algérie :

En Algérie, la culture de l'orge occupe la deuxième place après celle du blé. Chaque année, la superficie consacrée à sa culture varie entre 300 000 et 1 600 000 hectares, ce qui représente environ 35 à 40% de la superficie totale dédiée aux grandes cultures (**Benmahamed, 2004**).

L'orge est principalement cultivée dans les hautes plaines de l'Est de l'Algérie, qui couvrent plus de 50% de la superficie totale consacrée à cette culture (**Malki et al., 2002**). Les superficies allouées à la culture de l'orge fluctuent d'une année à l'autre, avec une moyenne d'environ 1 million d'hectares sur une période d'un siècle (1901-2005). La production annuelle moyenne varie quant à elle entre 3 et 16 millions de quintaux, avec un rendement moyen d'environ 7 quintaux par hectare (**Faostat, 2008**).

Les régions agro-pastorales telles que Batna, Khenchela, Tébessa et M'sila sont actuellement les principales zones de production d'orge en Algérie. Ces régions sont également réputées pour leur élevage ovin et caprin (**Malki et al., 2002**).

I.5. Généralités sur l'orge :

I.5.1. Aspect botanique:

L'orge est une plante annuelle à cycle végétatif court, généralement semée au printemps et récoltée avant l'été. Les grains d'orge ont une forme elliptique et une couleur noire ou pourpre. D'un point de vue morphologique, les grains d'orge cultivés sont des caryopses avec des glumelles adhérentes. Contrairement à d'autres variétés, les enveloppes externes, appelées glumelles, ne se détachent pas du grain lors du processus de battage (Andrew et al., 2017).

L'orge se distingue par un tallage plus important que le blé et un système racinaire plus superficiel et moins développé (Soltner .L, 1986). La plante présente une tige cylindrique et creuse, avec des nœuds où les feuilles se développent. Sa hauteur varie de 30 à 120 cm selon la variété et les conditions de culture. L'épi, également appelé tête, est composé d'épillets attachés aux nœuds par une structure dentelée appelée rachis. Chaque épillet contient deux enveloppes, l'une abritant une fleur mâle et l'autre une fleur femelle. Selon le nombre d'épillets présents sur chaque nœud du rachis, l'inflorescence peut apparaître avec deux ou six rangs de grains, d'où les appellations d'orge à deux ou six rangs (Holloway .P.J and C.E., 2017).

I.5.2. Systématique :

Selon la classification établie par Zutin et al. (1980), l'orge (*Hordeum vulgare L*) fait partie de la famille des graminées, qui regroupe environ 450 genres et 600 espèces (Missaoui, 1991). Cette classification est basée sur les travaux de Engler Diels en 1936 (Mossab, 1991). L'orge cultivée est une des espèces appartenant à cette famille.

Règne : Végétal

Embranchement : Spermaphytes

Sous embranchement : Angiosperme

Classe : Monocotylédones

Ordre : Glumales

Famille : Poacées

Tribu : Hordée

Genre : Hordeum

Espèce : Hordeum vulgare L

I.5.3. Morphologie :

L'orge présente une ligule bien développée. Les oreillettes sont lisses, embrassantes et de couleur anthocyanée. Le tallage herbacé est significativement plus important que celui du blé. Le chaume est plus épais, mais il est également plus faible et a tendance à se pencher plus facilement que celui du blé. Le système racinaire de l'orge est fasciculé et se situe plus près de la surface du sol par rapport à celui du blé (**Clement, et Prats, 1971**). (**Figure 01**).

a) La tige :

La tige de l'orge est un chaume creux, composé de nœuds (environ 5 à 6 nœuds) (**Semon, 1972**). Elle peut atteindre une hauteur pouvant aller jusqu'à deux mètres.

b) Les feuilles :

Les feuilles de l'orge sont de couleur verte claire et disposées de manière alternée en deux rangées (distiques). Elles ne sont pas légulées (**Mossab, 1991**).

c) Inflorescence :

L'épi de l'orge est de couleur blanche et présente des barbes. Le rachis de l'épi porte trois épillets uniflores sur chaque article : un épillet médian et deux épillets latéraux. La fertilité de ces épillets permet de distinguer différents types d'orge :

- Les orges à deux rangs ont un épi aplati composé de deux rangées d'épillets fertiles. Chaque axe du rachis porte un épillet fertile entouré de deux épillets stériles (**Slim, 1982**).
- L'orge à six rangs, également appelée escourgeons, présente tous les épillets comme étant fertiles (**Soltner, 1988**). (**Figure 02**)

d) Le grain:

La forme des grains varie. En effet, les grains situés de chaque côté de l'épi sont légèrement asymétriques, tandis que le grain central est symétrique. Cette caractéristique permet de distinguer facilement l'orge à six rangs de l'orge à deux rangs (**Nouari ,2006**).

e) Le système racinaire :

Selon **Benaite (1989)**, l'orge possède un système racinaire fasciculé où la racine principale présente une similitude avec les racines secondaires. Environ 61% du poids total des racines se concentre dans les vingt-cinq premiers centimètres du sol, tandis que les racines les plus longues ne pénètrent que légèrement à une profondeur d'un mètre vingt environ.

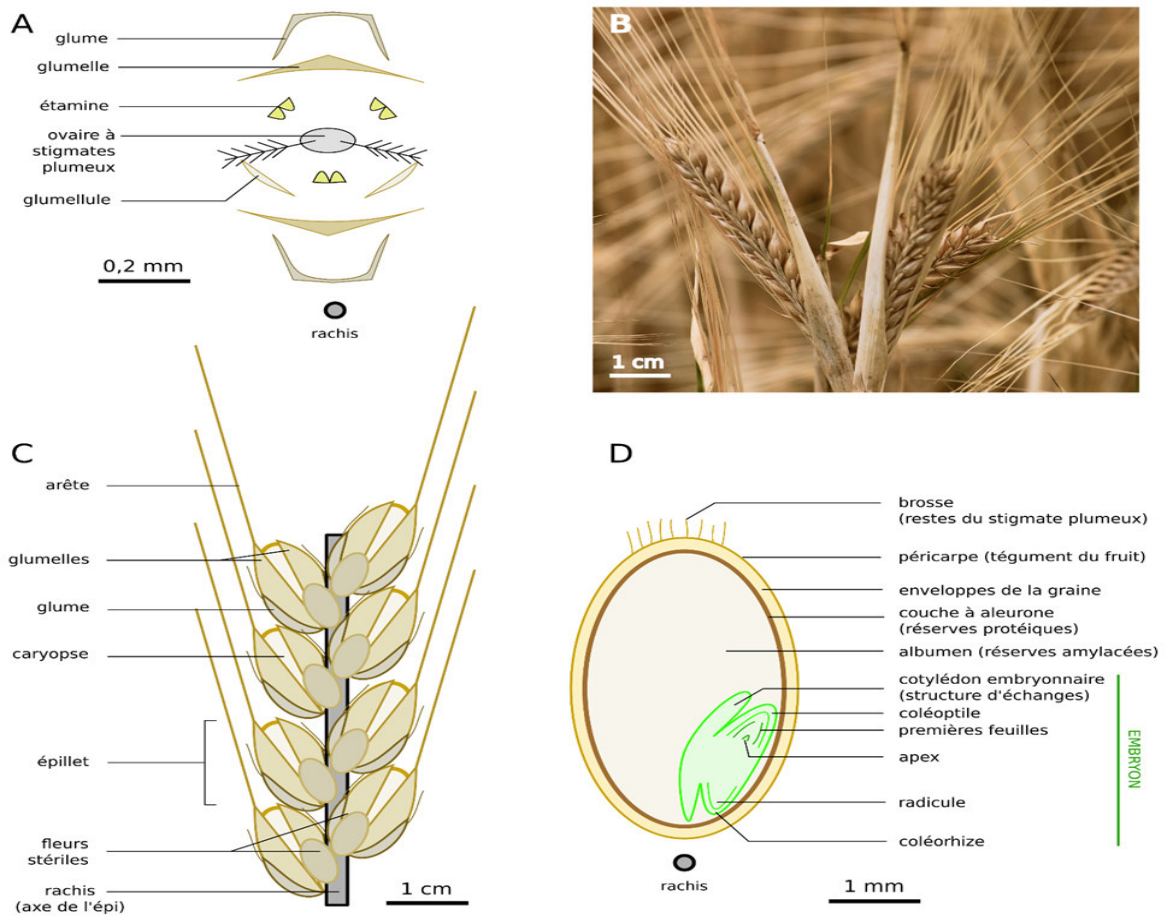


Figure 1: Anatomie de l'orge à deux rangs (Mathias , 2016).

A : diagramme floral d'un épillet à une fleur ; B : photographie d'épis ; C : schéma d'un épi d'épillets ; D : schéma en coupe longitudinale d'un grain (= caryopse).

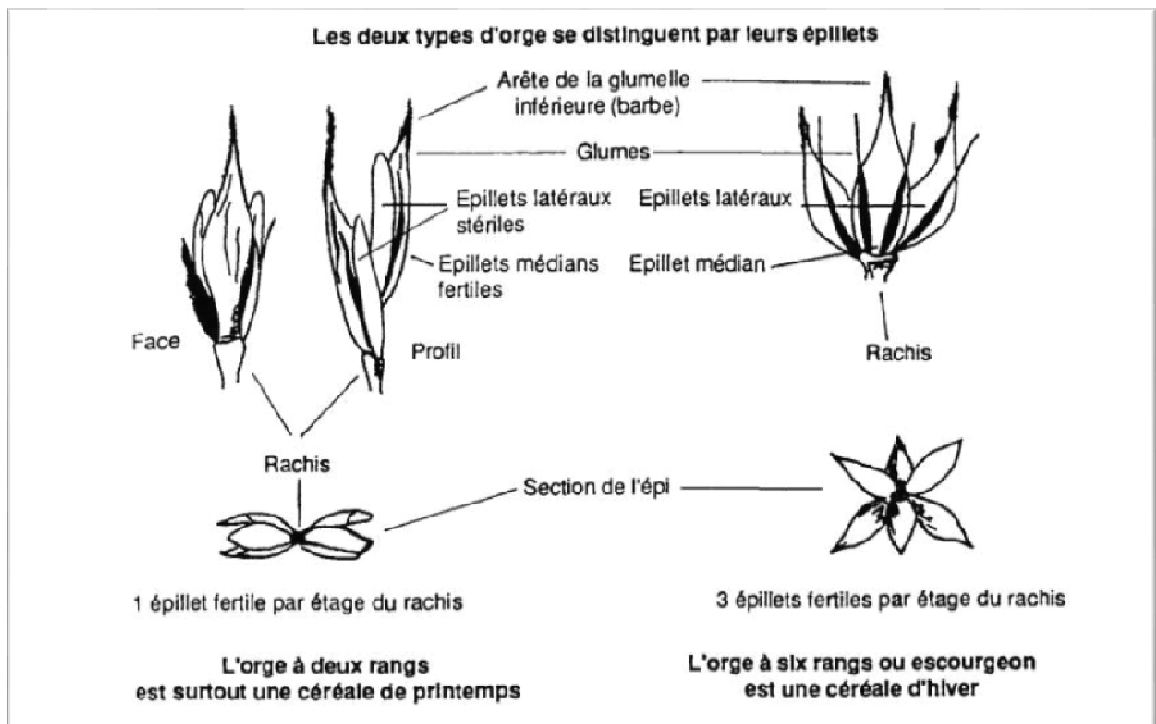


Figure 2: les deux types d'orge à deux et six rangs (SOLTNER, 1979) .

I.6. Le cycle de développement de l'orge :

D'après Giban et al. (2003), le processus de croissance de l'orge (figure 03) commence par une phase végétative qui inclut :

- **L'étape de germination:** correspond à l'activation de la graine et au commencement de la croissance de l'embryon. Selon N'diri et al. (2011), la germination des graines est influencée à la fois par des facteurs internes tels que la dormance, la perméabilité à l'eau et à l'oxygène, la qualité des graines, et par des facteurs externes tels que l'eau, l'oxygène, la température et la lumière. Ces facteurs externes contribuent à l'activation des hormones et des enzymes essentielles à la germination.
- **La levée :** cette phase se distingue par le nombre de feuilles de la plante en herbe et leur stade de croissance.

- **Le processus de tallage** : est caractérisé par l'émergence de la pointe de la première feuille de la talle latérale, suivie de la formation successive de nouvelles talles. Cela conduit à la formation d'un plateau de tallage au niveau du sol.

Après la phase végétative, il y a une transition vers une phase reproductive qui englobe :

- **La montaison** : est identifiable lorsque l'ébauche de l'épi principal atteint une hauteur d'environ 1 cm. Cette étape se termine lorsque l'épi atteint sa forme finale.
- **L'épiaison** : se produit lorsque les premiers épis apparaissent et se poursuit jusqu'à ce que tous les épis sortent entièrement de la gaine de la dernière feuille.
- **La floraison** : se caractérise par l'émergence des premières étamines hors des épillets au centre de l'épi.

La maturation : lorsqu'elle atteint sa maturité complète, la teneur en humidité du grain est d'environ 20%. À ce stade, le grain est pleinement mûr et prêt à être récolté, ce qui correspond à la période des récoltes.

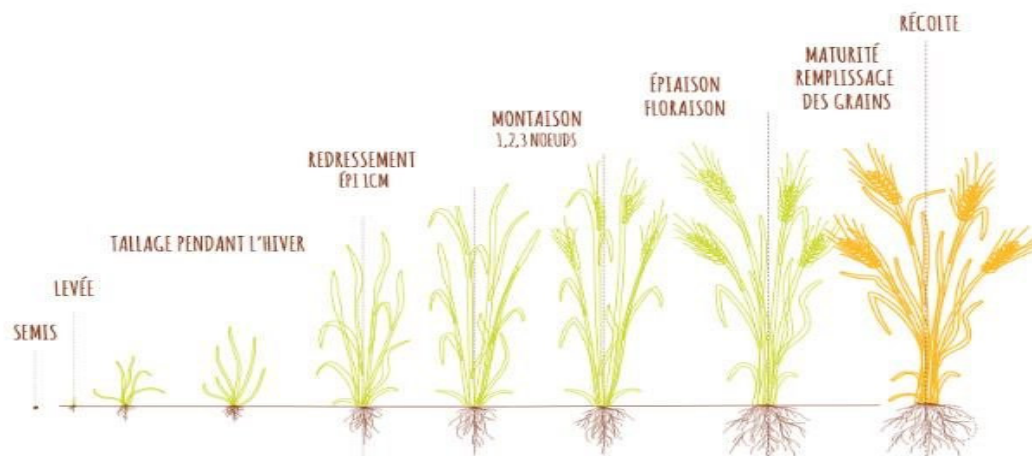


Figure 3: Représentation du cycle de développement de l'orge *Hordeum vulgare* L (Soltner, 1998).

I.7. Conditions de la germination :

Dans des conditions naturelles, la germination du grain ne se produit pas de manière rapide. En effet, ce processus est déclenché à des moments spécifiques qui sont favorables à la croissance et au développement du grain (Laberche, 2010) .

La germination réussie du grain dépend de nombreux facteurs internes et externes. La présence d'eau, de température et de lumière relance les activités cellulaires et entraîne des transformations significatives du grain. L'embryon du grain commence à se développer, formant une racine, une tige et des feuilles, et il entame sa croissance pour devenir un adulte capable de se reproduire (Laberche, 2010).

I.7.1. Conditions de germination externes ou liées au milieu :

Pour que la germination se produise, les grains et les graines ont besoin d'eau, d'oxygène, de chaleur et éventuellement de lumière. L'oxygène doit être présent à la pression atmosphérique normale, car les grains ne peuvent pas germer dans le vide ou sous une pression excessive. L'oxygène agit en conjonction avec les glucides et les lipides contenus dans le grain lors des processus de respiration. L'humidité provoque le gonflement du grain, la rupture et l'assouplissement des enveloppes.

La température requise pour la germination varie selon le type de grain. Par exemple, l'orge germe entre 5 et 37,7°C, avec une température optimale de 28,7°C. Le maïs, quant à lui, germe entre 9,5 et 46,2°C, avec une température optimale de 33,7°C. Certains grains, en particulier ceux des plantes pyrophytes qui vivent dans des environnements sujets à des incendies fréquents, sont capables de survivre au passage du feu. Dans certaines espèces, le feu ou une chaleur intense est même nécessaire pour déclencher la germination. La chaleur dégrade les composés phénoliques et les résines présents dans les enveloppes de la graine, ce qui inhibe normalement la germination. Une fois ces substances dégradées, l'enveloppe de la graine devient perméable à l'air et à l'eau, levant ainsi la dormance et permettant au grain de commencer à germer. Cependant, une graine qui a commencé à germer est beaucoup plus sensible à la chaleur qu'une graine en dormance. Exposer une graine germée à une température élevée à un effet létal.

La lumière joue également un rôle externe dans la germination. Bien qu'auparavant la lumière n'était pas considérée comme un facteur nécessaire à la germination, il est désormais connu qu'elle exerce une influence positive nette sur la germination de certaines espèces. Certains grains doivent être exposés en surface, soumis à l'alternance jour et nuit, tandis que d'autres espèces ont une meilleure germination dans l'obscurité totale. La lumière joue un rôle important dans la germination des grains qui possèdent des récepteurs photosensibles appelés phytochromes, tout comme les feuilles (**Laberche, 2010**).

I.7.2. Conditions de germination internes :

La maturité est la première condition essentielle à la germination. Les grains qui sont pleinement matures conservent leur capacité de germination pendant une plus longue période, en particulier s'ils sont riches en amidon. Cependant, si les grains contiennent une quantité élevée de matières grasses ou d'huiles essentielles, ils peuvent devenir rances et se détériorer avec le temps.

En plus de cela, d'autres facteurs internes peuvent également jouer un rôle crucial (**Boulechfar, 2018**).

I.8. Le contrôle de la germination par les régulateurs de croissance :

La germination des semences est régulée par les régulateurs de croissance. L'acide abscissique joue un rôle clé dans l'inhibition de la levée des semis. Lorsque la graine mûrit, l'acide abscissique s'accumule et empêche la germination. Au fil du temps, le taux d'acide abscissique diminue lentement pendant le stockage de la graine. Tant qu'il est présent en quantité suffisante, il exerce pleinement son effet inhibiteur sur la germination. Cependant, les gibbérellines, une autre classe de régulateurs de croissance, s'opposent à l'action de l'acide abscissique. Dans certaines espèces végétales, les gibbérellines n'ont aucun effet, et ce sont d'autres régulateurs tels que les auxines ou les cytokinines qui compensent l'effet inhibiteur de l'acide abscissique (**Laberche, 2010**).

I.9. Usages et importance d'orge :

I.9.1. Usages :

Au début du XIXe siècle, l'orge occupait une place prépondérante parmi les cultures en raison de son importance. Elle était principalement utilisée pour l'autoconsommation humaine et servait également de complément alimentaire pour le bétail élevé dans les régions steppiques tout au long de l'année (**Hakimi, 1993**). Cependant, de nos jours, l'utilisation de l'orge dans l'alimentation humaine n'est pas courante. Il est désormais reconnu que l'orge présente des effets bénéfiques contre les maladies cardiaques, la constipation et d'autres troubles du système digestif, et il est également probable qu'elle ait des propriétés anticancéreuses. La façon dont l'orge réduit le taux de cholestérol dans le sang est similaire à celle des médicaments spécialisés anti-cholestérol (**Houmani, 2007**).

I.9.2. l'importance économique :

Le secteur agricole joue un rôle crucial dans les économies mondiales et il est important de reconnaître son influence significative sur les autres secteurs. L'orge occupe une place importante à l'échelle mondiale, se classant quatrième en termes de superficie cultivée et de production, après le blé, le riz et le maïs. La superficie mondiale consacrée à la culture de l'orge s'élève à environ 57 millions d'hectares .

En Algérie, l'orge occupe une part significative des terres arables en général, ainsi que de l'espace de production en particulier. Pour la période allant de 1989 à 2001, la zone de production moyenne d'orge représente environ 63,5 % de l'espace total dédié à l'agriculture (**Chabani, 2015**) .

CHAPITRE II :
GENERALITES SUR LA
FERTILISATION

Chapitre II :

I.1. Définition de la fertilisation :

La fertilisation englobe toutes les actions entreprises pour améliorer la fertilité du sol et fournir les nutriments essentiels à la croissance des cultures, ce qui augmente leur productivité. Cependant, le terme "fertilisation" fait principalement référence à l'apport d'engrais et de fumier (**Boulal et al., 2007**). Les substances utilisées peuvent être d'origine organique ou minérale. Il est essentiel d'adopter une approche raisonnée dans l'apport de matières fertilisantes afin de concilier une production agricole de qualité et la préservation des écosystèmes naturels (**Bourgault, 2006**).

La fertilisation permet également une utilisation plus efficace des terres, en particulier de l'eau (**figure 04**). Ces éléments revêtent une grande importance dans les régions à faibles précipitations ou dans des situations nécessitant l'irrigation, où le rendement par unité d'eau utilisée peut être plus que doublé (**Abdelmadjid, 2013**).

Les engrais, qu'ils soient d'origine organique, chimique ou minérale, fournissent un ou plusieurs éléments nutritifs essentiels aux plantes. Une utilisation appropriée et au bon moment des engrais, en quantités adéquates, peut considérablement stimuler la croissance des plantes (**Draft, 2012**).

Les objectifs de la fertilisation des cultures comprennent les éléments suivants :

- Fournir à la plante les nutriments nécessaires à sa croissance, son développement et sa reproduction, en quantité et en qualité optimales.
- Prévenir l'épuisement du sol en maintenant sa fertilité, notamment en termes de matière organique et de sels minéraux (**Kamel et al., 2017**).
- Alimenter les organismes vivants du sol qui, par leurs activités biologiques, fournissent les éléments essentiels aux plantes (**Kamel et al., 2017**).
- Atteindre un rendement économique optimal pour la reproduction des cultures.
- Obtenir une production de haute qualité technologique.
- Valoriser au mieux les disponibilités en fertilisants du sol et des apports, tout en respectant l'environnement (**Boulal et al., 2007**).
- Les engrais permettent également une utilisation plus efficace des terres, en particulier de l'eau. Ceci revêt une importance particulière dans les régions à faibles

précipitations ou dans les situations nécessitant l'irrigation, où le rendement par unité d'eau utilisée pourrait doubler, voire plus (FAO, 2003).

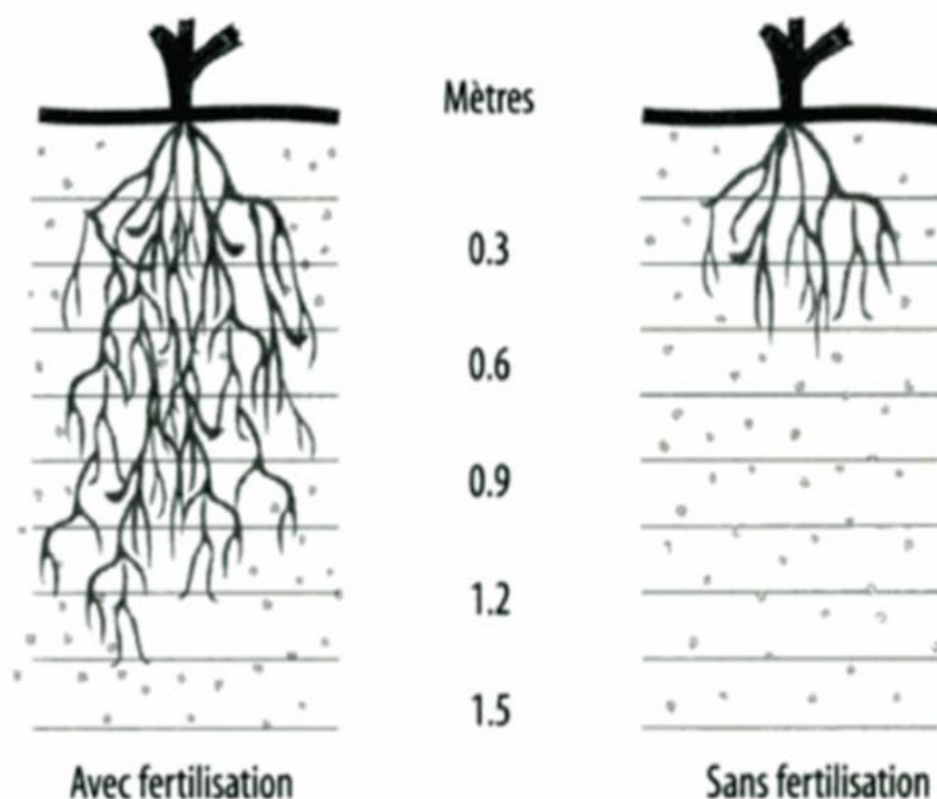


Figure 4: La profondeur d'enracinement des plantes, avec et sans fertilisation (FAO,2003).

I.2. Lois de la fertilisation :

Les principes actuels de la fertilisation sont basés sur trois lois essentielles : la loi des restitutions au sol, la loi des accroissements moins que proportionnels et la loi d'interaction

I.2.1. La loi de restitutions au sol :

Cette approche repose sur la compensation des éléments minéraux exportés par les plantes, en assurant des restitutions adéquates afin de prévenir l'appauvrissement des sols (Zoufoul et al., 2020).

I.2.2. La loi des rendements moins que proportionnels :

Lorsque des quantités croissantes d'un élément fertilisant sont apportées au sol, les rendements n'augmentent pas de manière proportionnelle. En effet, les augmentations de rendement deviennent de plus en plus faibles à mesure que les quantités appliquées augmentent. Ainsi, il existe une dose optimale d'éléments à apporter, car la dose maximale

n'est pas la plus économique. De plus, la fertilisation doit prendre en compte les éléments suivants (**Prévost, 1990**) :

- Le rythme d'absorption des éléments par les plantes.
- La capacité d'échange du sol.
- La dynamique des éléments nutritifs.

I.2.3. La loi du minimum :

Lorsqu'il y a une carence d'un élément assimilable dans le sol, cela réduit l'efficacité des autres éléments et, par conséquent, diminue le rendement de la culture (principe connu sous le nom de loi de Liebig). Selon **Gauthier (1991)**, pour une culture donnée, il est essentiel que tous les nutriments soient présents dans un équilibre spécifique. Les éléments principaux tels que l'azote, le phosphore et le potassium (NPK, etc.) doivent être présents en quantités plus importantes, tandis que tout oligo-élément peut devenir un facteur limitant s'il manque dans le sol.

I.3. Les engrais :

Selon **Soltner (2003)**, un engrais est une substance utilisée pour apporter aux plantes, par le biais du sol, un ou plusieurs éléments minéraux considérés comme insuffisamment abondants ou disponibles pour soutenir leur croissance.

Prévoste (1990) définit un engrais comme une substance qui contient une proportion spécifique d'éléments fertilisants et qui est appliquée au sol dans le but de nourrir les plantes cultivées.

I.3.1. Classification des engrais :

I.3.1.1. Selon la quantité d'éléments fertilisants qu'ils renferment :

- Les engrais simples : ne fournissent qu'un seul des éléments fertilisants majeurs, à savoir le phosphore (P) ou le potassium (K).
- Les engrais composés : sont des types d'engrais qui fournissent au moins deux (engrais binaires), voire les trois (engrais ternaires), des éléments fertilisants majeurs (N-P-K). En plus de ces éléments, les engrais simples et composés contiennent souvent d'autres éléments appelés éléments secondaires (tels que le calcium, le magnésium, le soufre, le sodium, etc.) ainsi que des oligo-éléments, comme mentionné par **Soltner (2003)**.

Les engrais composés peuvent être obtenus soit en mélangeant des engrais simples, soit par des réactions chimiques, telles que la solubilisation nitrique des phosphates naturels. Ce dernier processus donne naissance à ce qu'on appelle des engrais "complexes", comme le souligne **Gauthier (1991)**.

- Les engrais binaires : sont des types d'engrais qui fournissent principalement du P_2O_5 et du K_2O , ce qui les rend très faciles à utiliser. Ces deux éléments constituent une base de fertilisation répandue à l'approche de l'hiver. Le choix de ces engrais est principalement guidé par la forme de phosphore souhaitée, telle que les scories potassiques ou les superphosphates potassiques, par exemple. Si nécessaire, l'azote est apporté sous forme d'engrais simple au printemps ou associé à un engrais complémentaire.

Engrais ternaires : En raison de la différence de mobilité dans le sol entre les trois éléments, il n'est pas toujours rationnel de les épandre simultanément. Il est important de trouver un équilibre entre les propriétés hautement mobiles de l'azote et les propriétés de l'anhydride phosphorique et de l'oxyde de potassium, qui nécessitent une incorporation plus précoce dans le sol. L'objectif est de planifier leur application de manière appropriée, comme souligné par **Gauthier (1991)**.

I.3.1.2. Selon leur provenance et leur présentation :

Il est possible de diviser les engrais en deux catégories principales :

Engrais Organiques : Ils sont issus de matières organiques d'origine animale ou végétale, tels que le fumier, les résidus de culture tels que les feuilles et les tiges, ainsi que d'autres produits dérivés d'organismes vivants (**Draft, 2012**). Ils résultent de la transformation de déchets végétaux et principalement animaux. Ces engrais fournissent, sous forme organique, non seulement des éléments tels que l'azote, le phosphore et le potassium (N-P-K), mais aussi du soufre (S), du magnésium (Mg), du calcium (Ca), du sodium (Na) et la plupart des oligo-éléments. Par conséquent, ils peuvent être considérés comme des engrais composés (**Soltner, 2003**).

- Engrais Inorganiques : Ces engrais, également connus sous le nom d'engrais minéraux et chimiques, sont principalement dérivés de sources non vivantes grâce à des processus artificiels. La plupart des engrais commerciaux appartiennent à cette catégorie et proviennent de roches éruptives (comme la

poudre de basalte), de roches sédimentaires (comme les phosphates naturels) ou de sources salines (comme les sels de potassium). Certains sont également synthétisés (comme l'ammoniac) ou produits par des transformations industrielles (comme les scories et les phosphates provenant de l'attaque des phosphates naturels) (**Draft, 2012**).

I.3.1.3. Selon le mode d'application:

Il existe deux types:

- **Fertilisation de Fond** : La nutrition minérale des céréales, en particulier en ce qui concerne les éléments majeurs tels que le phosphore et le potassium (P et K), est essentielle et nécessite une fertilisation phospho-potassique. L'application d'engrais doit tenir compte du niveau de ces éléments dans le sol ainsi que des restitutions des résidus de la culture précédente (**Gueffifa et al., 2021**). Au début de leur croissance, les céréales ont des besoins importants en phosphore et en potassium. Afin de garantir une répartition homogène, les engrais de fond doivent être appliqués dans les 15 jours précédant ou pendant le semis, en les incorporant dans le sol. Étant donné que ces éléments ont une faible mobilité, ils restent dans le sol et ne risquent pas d'être entraînés par les eaux de lessivage (**Abadat et Hammeche, 2020 ; Gueffifa et al., 2021**).
- **Fertilisation de couverture** : L'azote joue un rôle vital dans la croissance des plantes, étant absorbé sous forme de nitrate ou d'ammonium provenant du sol. Les besoins en azote des cultures de céréales varient tout au long des différentes phases de croissance de la plante (**Abadat et Hammeche, 2020**). La gestion de la fertilisation azotée est une étape cruciale pour assurer une croissance saine et un rendement optimal des cultures. L'azote est l'élément nutritif le plus essentiel pour les plantes (**N'Dayegamiye, Giroux, Gasser, 2007 cité dans Lorbi, 2022**). Un excès d'azote peut avoir des conséquences néfastes sur la culture. Il peut retarder la maturité de la plante et augmenter le taux d'humidité lors de la récolte, en particulier dans des conditions météorologiques humides (**Ait-Slimane-Ait-Kaki Sabrina, 2008**). Une utilisation excessive d'engrais azotés peut perturber l'équilibre des substances organiques telles que les glucides et les protéines, ce qui peut entraîner la verse de la plante. Cependant, en cas de carence en azote, le nombre de grains

produits par épi peut être réduit (**Belaid, 1986**). L'excès d'engrais azotés peut déséquilibrer les matières organiques et conduire à la verse de la plante, tandis qu'une carence en azote peut entraîner une diminution du nombre de grains par épi. Pour une fertilisation azotée appropriée, il est recommandé d'appliquer environ un tiers de l'engrais lors du premier apport (au stade de 3 à 4 feuilles) afin d'obtenir une densité adéquate d'épis. Ensuite, les deux tiers restants devraient être appliqués lors du deuxième apport (à l'épi de 1 cm) pour améliorer le nombre de grains par épi et prévenir la régression des talles. Le troisième apport, au stade du 3ème nœud, aura un impact sur la teneur en protéines des grains (**Gueffifa et al., 2021**).

I.4. Les avantages des engrais composés :

Les engrais composés offrent la possibilité de fournir en une seule livraison tous les éléments fertilisants nécessaires, ce qui prévient les carences importantes causées par l'ignorance ou la négligence. Ils simplifient le travail et, en particulier pour les engrais à forte concentration, permettent des économies de main-d'œuvre et de transport, car les trois éléments sont épandus en une seule opération. Des procédés industriels bien développés garantissent un dosage précis et une homogénéité souhaitable, évitant ainsi les défauts et les pertes potentielles que pourraient entraîner les mélanges réalisés à la ferme. En revanche, ils peuvent être légèrement plus coûteux à l'achat que les engrais simples fournissant la même quantité d'éléments bénéfiques. Toutefois, il est important de prendre en compte le coût de l'unité fertilisante épandue (**Gauthier, 1991**).

Fertilisation minérale :

La fertilisation minérale joue un rôle crucial dans la culture de l'orge, permettant d'obtenir des rendements satisfaisants et une qualité optimale des récoltes. Son objectif est de maintenir la fertilité du sol, d'améliorer la productivité des cultures et de répondre aux besoins nutritionnels spécifiques de l'orge. Des essais de fertilisation NPK peuvent être réalisés pour déterminer les quantités optimales d'engrais à appliquer, en fonction des exigences de la culture, afin d'optimiser la croissance et les rendements de l'orge (**Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). (2024, 11 juin). Projets de recherche - Fertilisation de l'orge.)**

Il est essentiel de mettre en œuvre une fertilisation raisonnée qui tienne compte des besoins nutritionnels spécifiques de l'orge. Cela permet d'éviter les excès d'engrais qui

pourraient avoir des effets néfastes sur l'environnement, tout en assurant une utilisation efficace des ressources. La fertilisation minérale sur l'orge contribue ainsi à maintenir la productivité des cultures tout en préservant la santé du sol et de l'écosystème agricole (WikiAgri. (2024, 11 juin). La fertilisation : définition et utilisation.).

I.5. Fertilisation azotée

I.5.1. Définition de l'azote :

D'après Pousset (2000), l'azote joue un rôle essentiel en tant que composant des matières organiques. Il est indispensable à la croissance et au développement des plantes, et il est nécessaire pour la synthèse des acides aminés et des acides nucléiques dans le sol (Boulaletal, 2007).

L'azote est un élément mobile qui est principalement absorbé par les plantes plutôt que retenu par le sol. Cette caractéristique peut entraîner une fragmentation dans certains cas, où la fertilisation à apporter est égale à la différence entre les besoins globaux en azote et l'azote disponible (Gauthier, 1991).

Le calcul de la quantité d'azote à apporter dépend de plusieurs facteurs. Les plus importants incluent le rendement souhaité, les besoins en azote de la culture, l'apport d'azote par le sol (minéralisation + reliquat de la culture précédente) et le coefficient apparent d'utilisation de l'azote (Philippe, 1999).

La quantité d'azote à appliquer (en kg/ha) peut être calculée en utilisant la formule suivante : (Rendement objectif - Rendement témoin) x (EUN/CUA).

- Le rendement témoin (en qx/ha) est une estimation du rendement en grains d'un témoin, basée sur l'un des indices de disponibilité de l'azote. On peut estimer le rendement témoin en fonction de la teneur en matière organique du sol :

$$\text{Rendement témoin} = -2,3 + 27,1 \times \text{MO} (\%) / 30.$$

- Le CUA (coefficient d'utilisation de l'engrais azoté) est généralement situé entre 60 et 65%.
- L'EUN (efficacité d'utilisation de l'azote) est généralement compris entre 3,5 et 3,95 kgN/ql de grain de blé (Bennasseur, 2003).

I.5.2. Sources de l'azote :

- Association symbiotique avec fixation d'azote
- Fixation d'azote non symbiotique
- Conversion de la matière organique du sol en minéraux azotés

I.5.3. Rôle de l'azote dans la plante :

- L'azote joue un rôle indispensable dans la division cellulaire car il est impliqué dans la composition des noyaux. C'est pourquoi il est abondant dans tous les tissus jeunes.
- En raison de ce rôle essentiel, l'azote est souvent le facteur déterminant du rendement. Il agit principalement en favorisant l'augmentation du volume des organes végétatifs, la quantité de chlorophylle et donc la photosynthèse **(Diehl, 1975)**.
- L'azote est utilisé pour la synthèse des acides aminés et des acides nucléiques, ce qui contribue à la formation de protéines, de chlorophylle, d'enzymes et de vitamines **(Christian et al., 2005)**.
- Il est le moteur de la croissance végétative de toutes les parties aériennes de la plante, telles que les feuilles, les tiges et la formation des graines, ce qui contribue à améliorer le rendement.

Attention : Il est important de noter que des niveaux excessifs d'azote ont divers effets indésirables sur les plantes, tels que favoriser le développement excessif du feuillage au détriment de la floraison et de la fructification, réduire la résistance aux maladies et attirer les pucerons vers les jeunes pousses bien vertes **(Anonyme, 2010)**.

I.5.4. Cycle de l'azote :

La disponibilité de l'azote minéral est largement influencée par les processus contrôlés par la microflore du sol **(Figure 05)**. Par conséquent, ces transformations sont très sensibles aux facteurs environnementaux tels que l'oxygène et la température, ce qui rend difficile la prédiction de leur intensité **(Larrieu, 2008)**.

a) Ammonification :

Comme mentionné précédemment, il s'agit du mécanisme par lequel les bactéries, les champignons et les actinomycètes sont capables de libérer l'azote à partir de leurs

composés azotés. En raison de son manque de spécificité, ce processus peut se produire dans une vaste gamme de conditions telles que la température, l'humidité et le pH du sol (Scheiner, 2005).

b) Nitrification :

La nitrification est le processus biologique d'oxydation de l'azote qui se produit dans le sol, au cours duquel l'azote passe de sa forme ammoniacale à sa forme nitrique en deux étapes successives : la nitritation et la nitratation. La nitrification est réalisée par des microorganismes du sol, qu'ils soient hétérotrophes ou autotrophes, bien que ces derniers soient les plus importants dans ce processus. Les conditions optimales pour la nitrification sont plus spécifiques que celles de l'ammonification. Les sols neutres ou légèrement basiques favorisent la nitrification. La présence d'oxygène est essentielle, car la nitrification est un processus aérobie. L'humidité est également un facteur déterminant, avec un optimum situé autour de 60% de la capacité au champ (Bonde et Lindberg, 1988 In Scheiner, 2005).

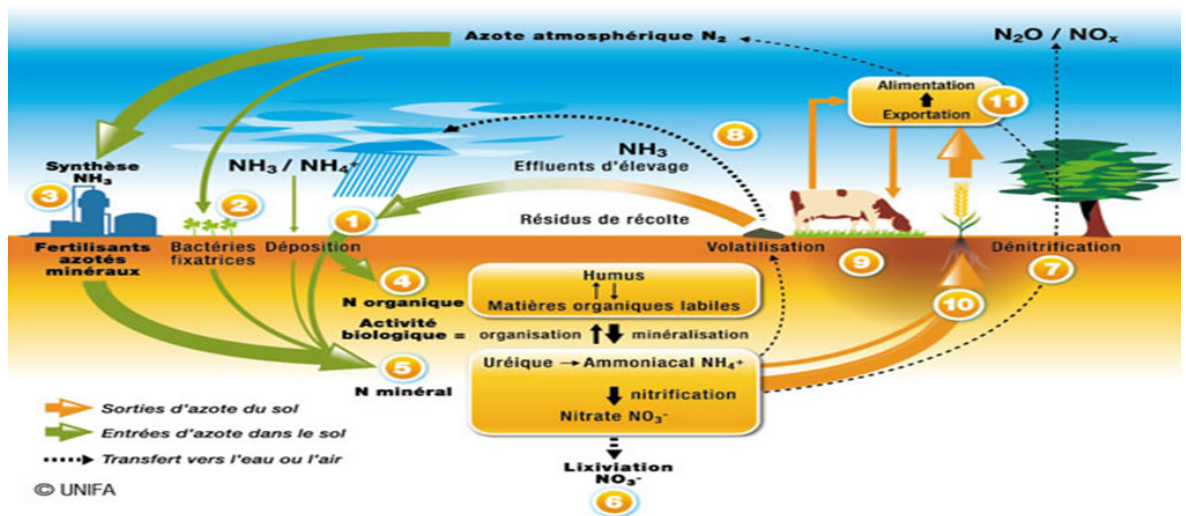


Figure 5: Cycle de l'azote (Munroe, 2018).

I.5.5. L'assimilation de l'azote par la plante :

Les plantes absorbent l'azote sous forme ammoniacale et nitrique. Les nitrates sont directement utilisables et subissent une série de transformations à l'intérieur de la plante :

nitrate, nitrite, hypo-nitrite, hydroxylamine, ammonium. **Blanc (1971)** a fourni des informations plus détaillées sur les enzymes responsables de ces réductions. L'enzyme nitrate réductase assure la conversion des nitrates en nitrites, et sous l'action de l'enzyme nitrite réductase, ces derniers se transforment en hypo-nitrites. L'hydroxylamine réductase convertit l'hydroxylamine en ammonium. Les faibles températures ont un effet défavorable sur l'assimilation de l'azote chez les plantes. Cependant, cette réaction n'est pas irréversible. **Cottignies (1977)** confirme que les racines ne sont pas les seuls organes responsables de l'absorption de l'azote. Les feuilles ont également la capacité d'absorber l'azote à travers leurs tissus superficiels (**Ghouar, 2006**).

I.5.6. Les besoins de l'orge en azote :

Optimiser la fertilisation des orges tout en contrôlant la teneur en protéines est un objectif clé. L'exigence en azote optimale (N) pour les orges d'hiver et de printemps est estimée à 2,5 kg N/q. Cependant, cette exigence peut être réduite pour les variétés d'orges brassicoles afin de minimiser le risque d'une teneur en protéines excessive. On fait référence à cette réduction comme "bq" :

- Pour les orges d'hiver brassicoles, bq est de 2,2 kg N/q.
- Pour les orges de printemps, principalement destinées à la brasserie, bq varie entre 2 et 2,5 kg N/q en fonction du type de sol, de la variété et de l'objectif de rendement. (**Plein Champ. (2024, 11 juin)**. Fertilisation azotée : les besoins à prendre en compte pour le calcul de la dose totale).

Les besoins en azote d'une culture céréalière varient tout au long du cycle de développement de la plante, en fonction des différentes phases de croissance. Les besoins en apport d'azote ont été évalués pour différentes phases de la culture :

- Phase levée-début tallage : Pendant cette période, les demandes en azote sont peu élevées. Les apports d'azote effectués lors du semis favorisent l'augmentation de la vitalité des plantes durant cette phase.
- Phase début tallage-début montaison : Lors de cette phase, fournir aux plantes des quantités adéquates d'azote favorise la formation et la croissance des talles.
- Phase début montaison-floraison : La phase de croissance intense, caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et l'accumulation de

biomasse, entraîne une demande élevée en azote. L'absorption d'azote atteint son pic à la fin de cette période.

- Phase floraison-début maturation : En raison de la cessation de la croissance des parties végétatives, l'absorption d'azote ralentit naturellement. La capacité d'absorption d'azote à partir des réserves du sol diminue progressivement, et nous observons une migration des composés azotés protéiques depuis les organes végétatifs vers les graines.
- Phase maturation et sénescence des parties végétatives : Il peut y avoir des pertes d'eau, voire de matière sèche et d'azote (**Boulal et al., 2007**).

I.5.7. Fertilisation phosphatée :

I.5.7.1. Définition de phosphore :

Le phosphore joue un rôle essentiel dans la constitution de la membrane cellulaire des plantes et participe également au processus de transfert d'énergie cellulaire (ATP). Une fertilisation phosphatée adéquate favorise également le développement des racines et accélère la maturation des plantes (**Abdelmadjid, 2013**).

I.5.7.2. Source de phosphore :

Le phosphore est présent dans le sol, le compost, les engrais chimiques et se trouve également sous forme de phosphate naturel.

I.5.7.3. Forme de phosphore :

Les différentes formes de phosphore présentes dans le sol sont les suivantes : La forme P_2O_5 fixé sur le complexe argilo-humique grâce à une liaison calcique (**Prévoste, 1990**). Il existe une forme ionique du phosphore, libre dans la solution du sol et assimilable par la plante (**Kamel et al., 2017**). Le phosphore peut se présenter sous forme moléculaire, minérale ou organique, avec une assimilation plus ou moins prononcée par la plante. Il peut être piégé entre les feuillets d'argile, avec un degré de fixation variable en fonction de la teneur en calcaire dans le sol (**Kamel et al., 2017**).

I.5.7.4. Rôle de phosphore dans la plante :

Le phosphore est le deuxième élément, après l'azote, qui limite la production de céréales dans la région du Maghreb. Il joue un rôle essentiel dans de nombreux processus physiologiques des plantes, tels que la fixation et le transport lors du cycle de la photosynthèse, ainsi que la synthèse des protéines, entre autres. Dans le contexte du cycle

de culture, le phosphore favorise la croissance des plantes, le développement des racines et renforce leur résistance à la verse (**Boulal et al., 2007**). Le phosphore est un élément indispensable à la croissance et au développement des cultures, offrant plusieurs avantages :

- Lors de la levée, il favorise l'établissement rapide et actif de la culture.
- Pendant les stades de tallage et de montaison, il stimule le développement du système racinaire.
- Il contribue à une fructification précoce.
- Il renforce la résistance aux conditions froides et aux maladies (**Kamel et al., 2017**).

I.5.7.5. Cycle de phosphore :

Les processus d'altération et d'érosion des roches ignées, influencés par différents facteurs climatiques et l'eau, ont probablement été les premiers mécanismes de dispersion du phosphore sur Terre (**Figure 06**). Au fil du temps, les eaux des fleuves, des lacs et des océans se sont progressivement enrichies de cet élément, créant ainsi les conditions propices à l'émergence de la vie (**Gervy, 1970**).

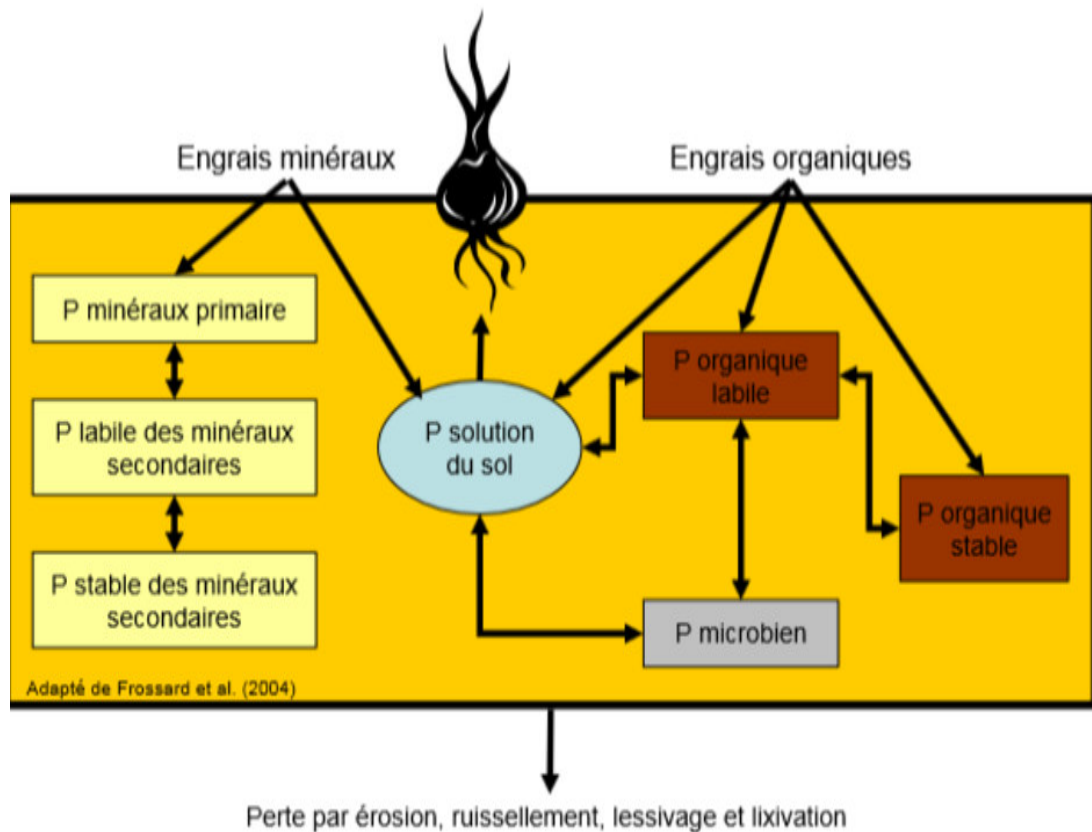


Figure 6: Cycle simple de phosphore (Frossard et al., 2004).

1.5.7.6. L'assimilation de phosphore :

Le phosphore est généralement absorbé par les racines des plantes sous forme d'ions phosphoriques monovalents ou bivalents (H_2PO_4^- et HPO_4^{2-}). La proportion relative de ces deux formes varie en fonction de l'augmentation du pH du substrat. Les plantes semblent principalement absorber la forme monovalente, qui diminue à mesure que le pH de la solution du substrat augmente.

L'absorption du phosphore par les racines est facile et il est stocké dans la plante en croissance. Cependant, cette absorption est fortement influencée par la température et le pH du substrat. À des températures inférieures à $13\text{ }^\circ\text{C}$ et avec un pH supérieur à 6,5, son absorption est considérablement réduite. Le phosphore a une forte affinité pour les particules minérales du sol, mais il peut être facilement lessivé dans les substrats à base de tourbe. Sa disponibilité est souvent limitée car il réagit avec plusieurs cations pour former des précipités solubles, partiellement solubles et insolubles. À des concentrations élevées

ou en présence d'un pH élevé, il réagit avec le calcium pour former un précipité insoluble (**Christian et al., 2005**).

I.5.8. Fertilisation potassique

I.5.8.1. Définition de potassium :

Le potassium joue un rôle crucial dans la survie de la vie sur terre. Il est indispensable en quantités importantes pour toutes les plantes et les animaux, et il est absorbé par les plantes à partir du sol (**French, 2013**). Le potassium se trouve naturellement dans différentes roches, telles que les feldspaths potassiques, et il se fixe aisément sur les particules d'argile (**Joseph, 2000**).

I.5.8.2. Sources du Potassium:

Le potassium se trouve naturellement dans la nature sous différentes formes, telles que les silicates et les composés présents dans les végétaux. Une quantité significative de potassium se trouve également dans l'eau de mer. Les produits issus de la mer sont une source importante de potassium, ce qui explique pourquoi l'homme exploite les gisements marins (**Cottignies, 1977**).

I.5.8.3. Forme de potassium :

Les différentes formes de potassium présentes dans le sol sont les suivantes :

- Il se trouve sous forme d'ions K^+ qui sont adsorbés sur le complexe argilo-humique. Cette fraction constitue la partie immédiatement échangeable, qui interagit avec la phase liquide du sol.
- Il est présent sous forme d'ions K^+ et de sels minéraux dans la phase liquide du sol, également appelée solution du sol.
- À l'origine, le potassium se trouve dans de nombreuses roches telles que le granite et les schistes, car il fait partie de la composition des feldspaths et des micas. Les sols calcaires et tourbeux sont les moins riches en potassium (**Diehl, 1975**). Le potassium peut également rétrograder à l'intérieur des molécules d'argile, ce qui signifie qu'il passe d'un état utilisable à un état inutilisable (**Prévoste, 1990**).

I.5.8.4. Rôle de potassium dans la plante :

En règle générale, les plantes céréalières ont une capacité d'absorption facile de l'élément potassium (K). Ce dernier joue un rôle crucial dans les aspects suivants :

- Le rôle du potassium est important dans la formation des réserves, notamment en ce qui concerne les glucides et les protéines, et il favorise également le remplissage des grains.

- Le potassium contribue à la résistance face à des conditions telles que la sécheresse, le gel et les maladies cryptogamiques.

- L'apport en potassium favorise l'augmentation du taux de matière sèche. Les besoins les plus élevés en potassium se situent à partir du stade de montaison.

- Le potassium est un élément crucial qui améliore la collaboration entre l'azote et la potasse (**Kamel et al., 2017**). Il joue un rôle bénéfique en favorisant la floraison et la croissance des fruits, en renforçant la résistance aux maladies et au froid, en réduisant

l'évapotranspiration, en renforçant la structure de la tige et en contribuant à la formation de réserves nutritives, notamment dans les bulbes (**Anonyme, 2010**).

- Le potassium agit sur l'équilibre hydrique et les mouvements de l'eau à travers des processus tels que la concentration cellulaire, la plasmolyse, la turgescence et la transpiration. Il peut jouer un rôle d'économiseur d'eau et renforcer la résistance aux conditions de froid et de sécheresse.

- Le potassium est impliqué en tant qu'activité co-enzymatique dans la synthèse et le transport des glucides, ainsi que dans la synthèse des protéines (**Diehl, 1975**).

I.5.8.5. Potassium assimilable :

Environ de 1 % à 2 % du potassium présent dans le sol est immédiatement assimilable et se trouve soit retenu dans la solution du sol, soit sous une forme échangeable avec la matière organique ou les argiles du sol. Dans la solution du sol, le potassium maintient un équilibre dynamique. Les plantes prélèvent les ions potassium de manière rapide et ceux-ci sont rapidement remplacés par du potassium échangeable. L'utilisation d'engrais contenant du potassium entraîne une augmentation significative de la concentration en potassium de la solution du sol. L'adsorption du potassium sur les particules d'argile et la matière organique rétablit rapidement l'équilibre (**Munroe, 2018**).

I.6. Fertilisation organique (Naturelle):

La fertilisation organique de l'orge consiste à utiliser des engrais d'origine naturelle pour fournir les nutriments nécessaires à la culture de l'orge. Contrairement aux engrais minéraux, les engrais organiques proviennent de matières organiques telles que le fumier,

le compost, les résidus de culture ou les déchets alimentaires. Ces engrais organiques sont dégradés par les micro-organismes du sol, libérant ainsi progressivement les nutriments essentiels à la croissance des plantes.

La fertilisation organique présente des avantages considérables. Elle améliore la structure du sol, favorise la biodiversité microbienne et contribue à une meilleure rétention de l'eau et des nutriments dans le sol. De plus, elle permet de réduire la dépendance aux engrais chimiques et favorise des pratiques agricoles durables et respectueuses de l'environnement (**web graphie : [www .opera-connaissances.chambres-agriculture.fr](http://www.opera-connaissances.chambres-agriculture.fr)**).

I.6.1. Définition de le fumier :

Le fumier est composé d'un mélange de litière et de déjections animales qui ont subi des processus de fermentation plus ou moins avancés, que ce soit en étable ou en tas (**AMOUZOU dans ADDEN, 2004; PETIT et JOBIN, 2005**).

I.6.2. Type de fumier :

I.6.2.1. . Fumier traditionnel :

Le fumier conventionnel est fabriqué sur place dans une exploitation agricole. Il contient une quantité importante de sable et n'est pas composté. Ce type de fumier, souvent appelé "poudrette", présente une faible qualité en termes de fertilisation, d'hygiène sanitaire et de teneur en matière organique (**GANRY, 1998**).

I.6.2.2. Fumier amélioré :

Dans une exploitation agricole qui utilise partiellement un système de production intensifiée, le fumier est produit sur place. . Le compostage joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité du fumier. Par exemple, en ce qui concerne le fumier de bovins produit en confinement,

Les concentrations en nutriments sont généralement exprimées par rapport à la matière organique sèche, mais la présence fréquente de terre dans le fumier réduit ces concentrations. Le fumier provenant de jachères est plus riche en phosphate, potassium et calcium, mais il est pauvre en azote. En revanche, le fumier provenant de pailles de mil et de sorgho est plus riche en azote, mais il contient moins de phosphore et de potassium (**GANRY, 1998**).

Ces résultats peuvent être expliqués par la teneur initiale plus élevée en phosphore, potassium et calcium du foin par rapport aux pailles de mil et de sorgho. Les pailles de mil

et de sorgho, qui sont produites dans des contextes agricoles traditionnels, contiennent moins de ces éléments que les pailles provenant de cultures qui ont été fertilisées (**GANRY, 1998**).

I.6.3. Quantité du fumier et les dates optimales d'épandage :

Les quantités d'épandage varient selon le type de fumier utilisé. Pour les fumiers de bovins, elles peuvent varier de 20 à 50 tonnes par hectare, pour les composts de 10 à 20 tonnes par hectare, et pour les fumiers de volailles de 3 à 10 tonnes par hectare. Les caractéristiques physiques des fumiers et des composts, telles que la teneur en matière sèche, la densité, la cohésion et le frottement interne, diffèrent considérablement d'un produit à l'autre. Cela entraîne des comportements distincts lors de l'épandage et de l'éjection du produit (**LECLERC, 2001**).

Il est essentiel de bien planifier la période d'épandage en fonction des besoins des cultures. Les périodes d'épandage du fumier doivent être soigneusement planifiées en fonction des besoins des cultures. Il convient de noter que le fumier amélioré est produit au sein de la ferme, dans le cadre d'un système de production en voie d'intensification, avec un élevage partiellement sédentarisé. En schématisant, il est nécessaire de mettre en œuvre des techniques de fertilisation des cultures, de stabulation des animaux et d'apports en eau pour le compostage, afin d'améliorer le fumier. Le compostage est la phase essentielle de ce processus d'amélioration. À titre d'exemple, nous pouvons distinguer trois types de fumier de bovins produits en stabulation, en fonction des matières végétales apportées (**Francou, 2003**).

Les périodes d'épandage spécifiques du fumier dépendent de plusieurs facteurs, tels que la culture cible, les conditions climatiques et les pratiques agricoles locales. Il est recommandé de consulter les recommandations agronomiques spécifiques à votre région pour déterminer les périodes d'épandage optimales du fumier (**Francou, 2003**).

I.6.4. Évaluation et caractérisation des fumiers :

Lors de l'évaluation d'un fumier ou d'un compost, il est essentiel de prendre en compte sa valeur en tant qu'engrais, sa qualité sanitaire et ses propriétés en tant qu'amendement organique. La valeur fertilisante peut varier considérablement en fonction de la nature des litières utilisées et de la fertilisation des cultures qui les fournissent. Le phosphore est souvent l'élément le plus limitant dans ce contexte. Pour caractériser précisément un fumier, plusieurs étapes sont nécessaires.

L'évaluation rapide de la santé et des propriétés d'amendement du fumier peut être réalisée en se basant sur des critères qualitatifs, en l'absence d'analyses phytopathologiques, malherbologiques, de détermination du rapport C/N, des matières humiques totales, de l'indice de

stabilité biologique et du taux de fibres/contenu cellulaire. Il est donc nécessaire de se référer aux réponses fournies aux questions posées précédemment.

Pour déterminer la faisabilité de l'utilisation du fumier composté, il faut satisfaire quatre conditions nécessaires à une politique de développement et d'utilisation réaliste du fumier de ferme et du fumier de parc (**Ganry, 1998**). Ces conditions sont les suivantes :

Condition 1 : Disponibilité de ressources fourragères.

Condition 2 : Disponibilité de biomasse végétale pour la litière.

Condition 3 : Capacité à composter le fumier (disponibilité d'eau) et à l'appliquer à des doses efficaces.

Condition 4 : Capacité à transporter et à incorporer le fumier.

PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III :
MATERIEL ET
METHODES

Objectifs de l'étude :

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

- Évaluer l'effet de différents types de fertilisants (NPK 15-15-15, NPK 0-20-25, urée 46%, fumier) sur la croissance et le développement de l'orge.
- Comparer les performances de chaque traitement fertilisant par rapport au témoin sans engrais.
- Identifier le fertilisant le plus efficace pour optimiser la production d'orge.
- Fournir des recommandations pratiques aux agriculteurs sur l'utilisation judicieuse des fertilisants pour cultiver l'orge.

II.1. Le matériel végétal :

II.1.1. Le choix des grains :

La variété utilisée est une variété d'orge (*Hordeum vulgare L*) variété **Saida 183**, caractérisé (**figure 07**) par :

- **caractéristique** : La variété Saida 183 est une orge locale qui présente des caractéristiques semi-tardives. Sa paille est de longueur moyenne et creuse. Cette variété a un tallage moyen mais une bonne productivité. Cependant, elle est sensible aux maladies (**ITGC Guelma, 2005**).
- **Hybridation** : La variété Saida 183 a été employée comme parent femelle dans des expérimentations d'hybridation. L'objectif était d'étudier les caractéristiques racinaires et morphologiques-phénologiques de l'orge soumise à un stress hydrique (**Demarly, 1977**).
- **Tolérance au sel** : La variété Saida 183 a fait l'objet d'études sur son niveau de tolérance au sel. Ces analyses ont montré que lorsqu'elle est irriguée avec de l'eau de forage, Saida 183 présente une faible concentration en sodium (Na⁺). Cela indique qu'il s'agit d'une variété de type "excluders", c'est-à-dire capable d'exclure et de limiter l'absorption du sodium **Rechachi et al. (2020)**.
- **Réponse nutritionnelle** : La variété Saida 183 a été évaluée pour sa réponse nutritionnelle face à deux facteurs : la qualité de l'eau d'irrigation et les apports en fertilisation azotée. Les résultats ont montré que cette variété présentait une

meilleure tolérance à ces conditions que les autres variétés testées dans les mêmes conditions **Journal Algérien des Régions Arides (JARA, 2017)**.



Figure 7:(*Hordeum vulgare L*) variété Saida 183, (Photo personnel 2023).

II.2. Les caractéristiques du sol :

Les caractéristiques du sol dans la région de la wilaya de Saida en Algérie peuvent varier en fonction de la localisation précise et des conditions géologiques spécifiques. Cependant, voici quelques caractéristiques générales des sols dans la région :

- a) **Texture du sol** : Les sols peuvent être argileux, limoneux ou sableux, voire une combinaison de ces textures. La texture du sol influence sa capacité de rétention d'eau et de nutriments.
- b) **Drainage** : Le drainage peut varier d'un endroit à l'autre. Certains sols peuvent avoir un drainage naturellement bon, tandis que d'autres peuvent être plus sujets à l'accumulation d'eau.
- c) **pH du sol** : Le pH du sol peut varier, mais en général, il tend à être légèrement alcalin à neutre. Cela peut avoir un impact sur la disponibilité des nutriments pour les plantes.
- d) **Fertilité** : La fertilité des sols peut être influencée par divers facteurs, tels que la présence de matière organique, la disponibilité des nutriments et les pratiques agricoles locales.
- e) **Composition minérale** : La composition minérale du sol peut varier en fonction de la géologie locale. Certains sols peuvent contenir des minéraux

spécifiques ou présenter des caractéristiques particulières en termes de composition chimique.

II.3. Engrais utilisés :

Dans le cadre de cette expérimentation, nous mettons en place une utilisation combinée d'engrais de fond et d'engrais de couverture et fumier :

II.3.1. Engrais de couverture :

II.3.1.1. Avec azote (type d'engrais urée 46%) :

L'urée est un engrais sec contenant 46% d'azote sous forme ammoniacale. C'est l'engrais sec le plus concentré en azote et il se dissout complètement dans l'eau. Son action est moins rapide que celle des nitrates, mais son effet dure plus longtemps. La décomposition de l'urée dépend de la température du sol. Elle prend environ trois à cinq jours dans un sol froid, tandis que quelques heures suffisent dans un sol réchauffé. Il est recommandé de l'appliquer avant une pluie et de l'enfouir pour éviter toute perte par volatilisation.

II.3.1.2. Caractéristiques technologiques :

- Apparence : Les granulés
- Couleur : Blanche
- Teneur en azote total : 46%
- Teneur en humidité : Maximum 0,5%
- Teneur en biurée : Maximum 1%
- Granulométrie : 90% des granulés ont une taille de 1-4mm
- Conditionnement : Emballage en polypropylène sec de 50 kg
- Domaines d'application : Polyvalents

A. Formule :

- NPK 46-0-0

B. Composition :

- Azote sous forme d'urée (H_4CON_2) : 46%
- Phosphate : 0%
- Potasse : 0%

II.3.1.3. I d'engrais de fond :

A. NPK 15/ 15/ 15 :

Le NPK 15-15-15 est un engrais solide composé de trois éléments nutritifs essentiels : 15% d'azote, 15% de phosphore (exprimé en oxyde de phosphore) et 15% de potassium (exprimé en oxyde de potassium). Cet engrais présente un équilibre égal entre ces trois nutriments. Il est facilement soluble dans l'eau, ce qui facilite son absorption par les plantes. L'azote fournit une source essentielle de nutriments pour la croissance des feuilles et de la tige. Le phosphore favorise le développement des racines, la floraison et la production de fruits. Le potassium renforce la résistance des plantes au stress, améliore la qualité des fruits et contribue au bon fonctionnement des processus métaboliques. L'application du NPK 15-15-15 est recommandée avant une pluie ou un arrosage, et il est préférable de le mélanger avec le sol pour éviter les pertes par lessivage.

II.3.2. Caractéristiques technologiques :

- **Granulométrie** : Les granulés de cet engrais sont généralement de taille uniforme, avec une granulométrie spécifique qui peut varier en fonction du fabricant. La taille des granulés peut être adaptée pour une utilisation optimale dans différents types d'applications, tels que l'épandage en surface ou l'incorporation dans le sol.
- **Solubilité** : Le NPK 15-15-15 est soluble dans l'eau, ce qui facilite son utilisation dans les systèmes d'irrigation ou lors de l'arrosage des plantes. Sa solubilité permet aux nutriments d'être rapidement disponibles pour les racines des plantes.
- **Uniformité de composition** : Cet engrais est formulé de manière à garantir une répartition homogène des nutriments dans chaque granulé. Cela permet une distribution équilibrée des éléments nutritifs lors de l'application, assurant ainsi une nutrition uniforme des plantes.
- **Stabilité** : Le NPK 15-15-15 est conçu pour être stable et résistant aux variations de température et d'humidité. Cela permet de préserver l'intégrité de l'engrais pendant le stockage et le transport, assurant ainsi sa qualité et son efficacité.
- **Compatibilité** : Le NPK 15-15-15 est généralement compatible avec d'autres engrais et produits phytosanitaires, ce qui facilite son utilisation dans des programmes d'application combinés. Cependant, il est important de vérifier les

recommandations spécifiques du fabricant concernant la compatibilité avec d'autres produits.

A. NPK 0/ 20/ 25 :

Le NPK 0/20/25 est un engrais solide contenant trois éléments nutritifs essentiels : 0% d'azote, 20% de phosphore (exprimé en oxyde de phosphore) et 25% de potassium (exprimé en oxyde de potassium). Cet engrais est spécialement formulé pour fournir une forte concentration de phosphore et de potassium, avec une absence d'azote.

Le phosphore présent dans le NPK 0/20/25 joue un rôle crucial dans le développement des racines des plantes, favorisant leur croissance et leur vigueur globale. Il stimule également la floraison et la formation de fruits, contribuant ainsi à une meilleure production.

Le potassium, quant à lui, est essentiel pour renforcer la résistance des plantes face aux stress environnementaux, tels que la sécheresse ou les maladies. Il améliore la qualité des fruits et favorise le bon fonctionnement des processus métaboliques.

Bien que le NPK 0/20/25 ne contienne pas d'azote, cet engrais peut être utilisé de manière ciblée dans des situations où un apport supplémentaire de phosphore et de potassium est nécessaire, tout en évitant un excès d'azote.

L'application du NPK 0/20/25 est recommandée avant une période de croissance active des plantes. Il peut être mélangé avec le sol ou appliqué en surface.

II.3.3. Caractéristiques technologiques :

- **Granulométrie :** Les granulés de cet engrais sont généralement de taille uniforme, avec une granulométrie spécifique qui peut varier selon le fabricant. La taille des granulés peut être adaptée pour une utilisation optimale dans différents types d'applications, tels que l'épandage en surface ou l'incorporation dans le sol.
- **Solubilité :** Le NPK 0-20-25 est généralement peu soluble dans l'eau. Cela signifie que les nutriments contenus dans cet engrais sont libérés lentement dans le sol, offrant ainsi un apport prolongé en phosphore et en potassium aux plantes au fil du temps.
- **Libération contrôlée :** En raison de sa faible solubilité, le NPK 0-20-25 est souvent utilisé comme un engrais à libération contrôlée. Cela permet de fournir de

manière régulière et continue les nutriments nécessaires aux plantes tout au long de leur cycle de croissance.

- **Stabilité** : Le NPK 0-20-25 est conçu pour être stable et résistant aux variations de température et d'humidité. Cela garantit la qualité de l'engrais pendant le stockage et le transport, ainsi que son efficacité lorsqu'il est appliqué dans le sol
- **Compatibilité** : Le NPK 0-20-25 est généralement compatible avec d'autres engrais et produits phytosanitaires, ce qui permet de l'utiliser dans des programmes d'application combinés. Cependant, il est important de vérifier les recommandations spécifiques du fabricant concernant la compatibilité avec d'autres produits.

II.3.4. .Fumier :

Le fumier est un type d'engrais organique dérivé de matières organiques animales, telles que le fumier de bovins, de volailles ou de porcs. Il est largement utilisé en agriculture pour fournir des éléments nutritifs essentiels aux plantes. Voici quelques caractéristiques de l'engrais de fumier :

- **Composition nutritive** : L'engrais de fumier contient une variété d'éléments nutritifs essentiels tels que l'azote, le phosphore, le potassium, ainsi que d'autres nutriments secondaires et oligo-éléments. La composition exacte dépend du type de fumier utilisé et de la diète des animaux. L'azote fournit des nutriments pour la croissance des feuilles et des tiges, le phosphore favorise le développement des racines et la floraison, tandis que le potassium renforce la résistance des plantes et améliore la qualité des fruits.

- **Libération lente** : L'engrais de fumier se décompose lentement dans le sol, libérant progressivement les nutriments aux plantes sur une période prolongée. Cette libération lente permet une alimentation régulière des plantes et réduit les risques de sur-fertilisation.

- **Matière organique** : En plus de ses propriétés nutritives, l'engrais de fumier apporte également de la matière organique au sol. Cette matière organique améliore la structure du sol, favorise la rétention d'eau et stimule l'activité microbienne bénéfique.

- **Amendement du sol** : L'engrais de fumier peut également améliorer la fertilité et la qualité globale du sol. Il aide à réguler le pH du sol, à augmenter sa capacité de rétention d'eau et à favoriser le développement d'une activité biologique bénéfique.

- **Utilisation** : L'engrais de fumier peut être appliqué directement sur le sol ou mélangé avec le substrat lors de la plantation. Il peut également être utilisé comme ingrédient dans la fabrication de compost ou d'autres mélanges d'engrais organiques.





II.3.5. Caractéristiques technologiques :

Les caractéristiques technologiques du fumier peuvent varier en fonction de la source animale, du mode de stockage et de traitement. Voici quelques caractéristiques technologiques courantes du fumier :

- **Humidité** : Le fumier peut contenir une certaine quantité d'humidité, qui dépendra de facteurs tels que le type d'animal, la litière utilisée et les conditions de stockage. L'humidité du fumier peut avoir un impact sur sa manipulation, son transport et sa capacité à être utilisé efficacement comme engrais.
- **Composition nutritive** : Le fumier contient une quantité variable d'éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore, le potassium, ainsi que d'autres nutriments essentiels. La composition nutritive précise dépendra du régime alimentaire de l'animal et de sa digestion. Il est important de noter que la teneur en éléments nutritifs du fumier peut être moins concentrée que celle des engrais chimiques.
- **Densité** : La densité du fumier peut varier en fonction de la source animale et du degré de décomposition. Les fumiers plus frais ont tendance à avoir une densité plus élevée, tandis que les fumiers plus décomposés peuvent être plus légers. La densité du fumier peut influencer son volume et son poids lorsqu'il est stocké, transporté ou utilisé comme engrais.
- **pH** : Le fumier peut avoir un effet sur le pH du sol lorsqu'il est appliqué. La valeur du pH du fumier peut varier en fonction de la source animale et de l'alimentation. Certains types de fumier peuvent avoir un pH plus élevé, ce qui peut nécessiter une gestion appropriée lors de son utilisation pour éviter des impacts négatifs sur le sol.
- **Décomposition** : Le fumier subit un processus de décomposition naturelle, généralement par l'action de micro-organismes présents dans le sol. La vitesse de décomposition du fumier peut dépendre de facteurs tels que l'aération, l'humidité et la température. La décomposition du fumier peut influencer sa disponibilité en nutriments et sa stabilité dans le sol.

II.4. Autres matériels :

Tableau 1: Le matériel utilisé dans laboratoire :

			
Balance	règle	ciseaux	verre de montre

II.5. Protocole expérimental :

II.5.1. Répartition des blocs :

Les graines d'orge ont été semées dans des caisses en plastique (50 cm x 33 cm soit **0,165 m²** chacun) remplies de terre végétale. Les caisses sont réparties en 5 blocs (A, B, C, D, E) qui correspondent aux 5 types de traitements. Chaque bloc est composé de 3 répétitions (**Fig 08**).

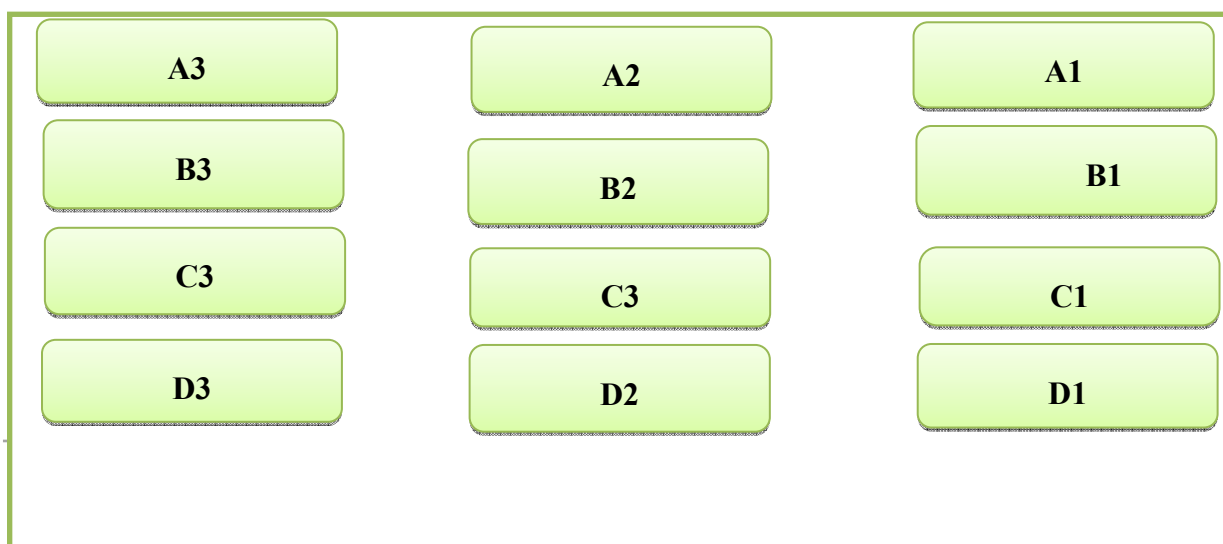
Bloc A : témoins.

Bloc B : fumier.

Bloc C: NPK 15/ 15/ 15.

Bloc D: NPK 0/ 20 /25.

Bloc E : Urée 46%



E3

E2

E1



Figure 8: Dispositif expérimental (Photo personnel 2023)

II.5.2. Semis et application des engrais :

Dans chaque caisse ($0,165 \text{ m}^2$) nous avons semé une quantité de 2,9g de graines d'orge soit 1,75 Qt/ha. Le désherbage a été effectué à la main et l'arrosage chaque deux jours. La quantité de fertilisant et le nombre d'applications varie selon le type d'engrais (de fond ou de couverture). Dans le cas du fertilisant NPK 15-15-15 et NPK 0-20-25, nous avons utilisé en deuxième application l'urée 46% pour étudier l'effet de combinaison engrais de fond/engrais de couverture. Le semis et la fertilisation de chaque bloc sont :

1^{ère} application : en décembre 2023 :

Bloc A (temoins) : Dans chacun des 3 caisses remplies de terre végétale, nous avons semé 2,9 g de graines d'orge.

Bloc B (Fumier) : Les trois caisses sont remplies d'un mélange de terre végétale ($2/3$) et de fumier ($1/3$). Après, 2,9 g de graines d'orge ont été semées dans chaque caisse.

Bloc C (NPK 15/ 15/ 15) : Les trois caisses sont remplies de terre végétale en mélange avec 9 g d'engrais NPK 15-15-15 pour chaque caisse. Après, 2,9 g de graines d'orge ont été semé dans chaque caisse. (voir fig 09)

Bloc D (NPK 0/ 20/ 25) : Les trois caisses sont remplies de terre végétale en mélange avec 9 g d'engrais NPK 0-20-25. Après, 2,9 g de graines d'orge ont été semé dans chaque caisse. (voir fig 10) .

Bloc E (Urée 46 %) : Les trois caisses sont remplies de terre végétale. Ensuite 2,9 g de graines d'orge ont été semés dans chaque caisse. Au stade de levée, 6g d'engrais urée 46% ont été appliqués en surface.



Le poids des grains

les sachets des grains



Figure 9: quantité NPK 15/15/15 pour bloc C (Photo personnel 2023) .



Figure 10: quantité NPK 0/ 20/ 25 pour bloc D (Photo personnel 2023) .

2^{ème} application : en février 2024 :

Bloc C, Bloc D : nous avons ajouté également 9 g d'urée 46% à la surface dans chaque caisse après la phase de croissance de l'orge pour combler les carences en azote et favoriser la croissance des plantes et la formation des grains, (**voir fig 11**)

Bloc E : nous avons ajouté également 12 g d'urée 46% à la surface dans chaque caisse après la phase de croissance de l'orge. Généralement, on utilise l'urée en deux applications pour éviter la brûlure des plantes qui sont fragile au stade de levée.



Figure 11: quantité urée 46 % pour bloc C (Photo personnel 2024)

II.6. Paramètres étudiés :

II.6.1. Caractéristiques morphologiques :

- a) **Hauteur de plant** : Nous avons pris des mesures de la hauteur des plantes. Vingt plantes aléatoires par caisse.
- b) **Nombre de pieds** : Le nombre de pieds a été évalué au stade de la levée (3feuille) par le comptage de toutes les plantes dans chaque caisse.
- c) **Nombre de talles** : Au stade plein tallage, nous avons pris toutes les plantes afin de compter le nombre de talles par plante.

II.6.2. Caractéristiques d'épis/m² :

- a) **Hauteur des épis** : nous avons mesuré les plantes qui ont été prélevées pour mesurer la longueur des plantes ont été séparées de leurs épis. Ces épis ont ensuite été mesurés à l'aide d'une règle graduée, depuis la base de l'épi (premier article du rachis) jusqu'au sommet de l'épillet terminal.
- b) **Hauteur de la barbe des épis** : nous avons mesuré la longueur des barbes (en cm) depuis l'extrémité du sommet de l'épillet terminal jusqu'au sommet des barbes.
- c) **Nombre total d'épi** : est obtenu en comptant le nombre total d'épis par caisse.
- d) **Nombre épillets/ épis** : Nous avons compté le nombre d'épillets par épi à partir des épis prélevés auparavant.

II.6.3. Caractéristique des composantes du rendement :

- a) **Nombre de graines / épis** : Le nombre de grains par épi est un élément essentiel du rendement. Il permet de préciser la fertilité de l'épi. Nous avons procédé au comptage des grains à partir des épis prélevés auparavant.
- b) **Poids de mille graines** : Après la récolte, nous avons prélevé une quantité de grains de chaque caisse. Nous avons ensuite pesé ces grains par une balance de précision.
- c) **Rendement réel** : Après la récolte, les grains récupérés ont été nettoyés et triés. Ils ont ensuite été pesés, ce qui a permis d'obtenir la quantité récoltée en kg par parcelle.

Rendement de la paille : les épis ont été séparés des tiges prélevées sur un mètre linéaire. Le reste, composé des tiges et feuilles, a été pesé pour avoir le rendement en paille.

II.7. Analyse statistique des données :

L'analyse de la variance et la séparation des moyennes des données obtenues ont été faites avec Excel (Utilitaire excel). Les types d'engrais utilisés (Témoin, Fumier, NPK15-15-15, NPK 0-20-25, Urée 46%) ont été considérés comme facteurs de variation étudiés et les blocs comme facteur aléatoire. La comparaison des moyennes a été réalisée selon le test de Fisher (F) au seuil de probabilité de 5%.

CHAPITRE IV
:RESULTATS ET
DISCUSSION

1/ Caractéristiques morphologiques :

1-1/ Hauteur des plantes :

Les hauteurs des plantes du témoin et les différents traitements sont représentés dans la figure (12).

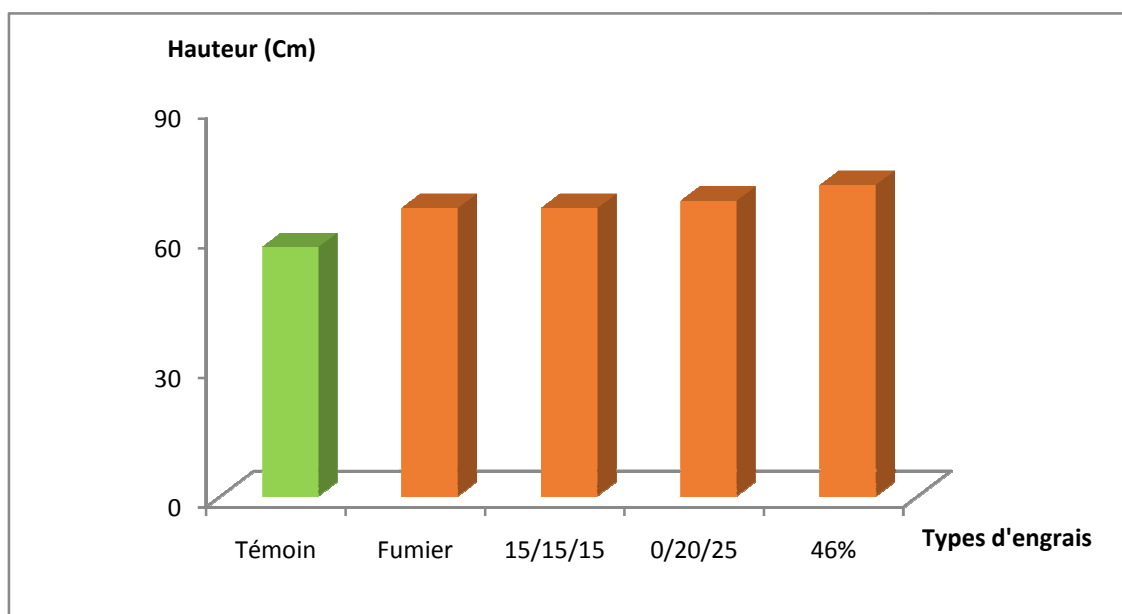


Figure 12: Hauteur des plantes pour chaque type d'engrais

D'après cette figure on remarque que la hauteur des plantes témoins varie entre 45 cm et 60 cm. L'analyse de la variance (**tableau 02**) révèle une légère augmentation non significative ($P > 0,05$) de cette hauteur pour les deux traitements fumier et 0-20-25 qui enregistrent une hauteur entre 59 cm et 75cm. Une augmentation significative ($0,022 < P < 0,039$) est observée pour les deux traitements 15-15-15 et 46% avec une hauteur variant entre 63 cm et 78 cm.

Tableau 2 : Test ANOVA pour la hauteur des plantes

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	4,44512195	7,70864742	0,103
Témoin / 15-15-15	9,1125	7,70864742	0,039

Témoin / 0-20-25	4,97087379	7,70864742	0,090
Témoin / 46	13,3021583	7,70864742	0,022

1-2/ Nombre de pieds

La figure (13) exprime le nombre moyen de pieds pour le témoin et les quatre traitements.

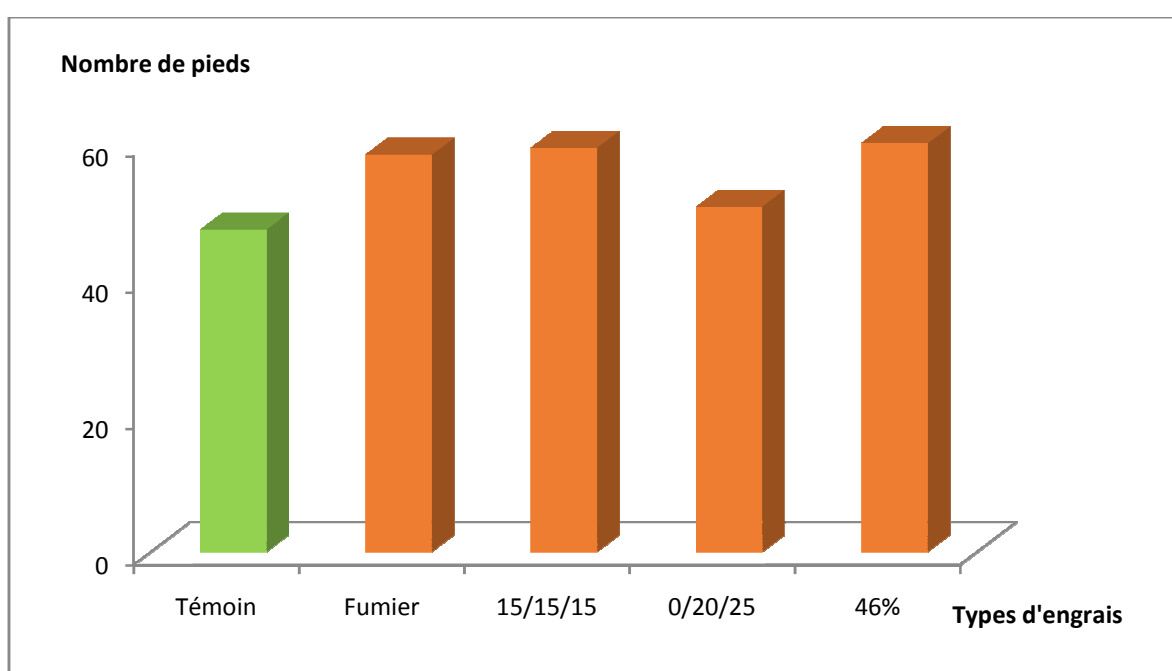


Figure 13: Nombre de pieds pour chaque type d'engrais .

D'après cette figure, le nombre de pieds varie entre 41 et 68 pour le témoin et les deux traitements 15-115-15 et 0-20-25, alors qu'il varie entre 54 et 63 pour les deux traitements Fumier et 46%. L'analyse de la variance (**tableau 03**) montre que ces deux derniers traitements ont un effet significatif sur le nombre de pieds ($0,016 < P < 0,046$).

Tableau 3: Test ANOVA pour Nombre de pieds

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	8,20253165	7,70864742	0,046
Témoin / 15-15-15	2,19679054	7,70864742	0,212
Témoin / 0-20-25	0,5988024	7,70864742	0,482
Témoin / 46	15,8681319	7,70864742	0,016

1-3/ Nombre de talles

La figure (14) représente le nombre de talles pour le témoin et les différents traitements.

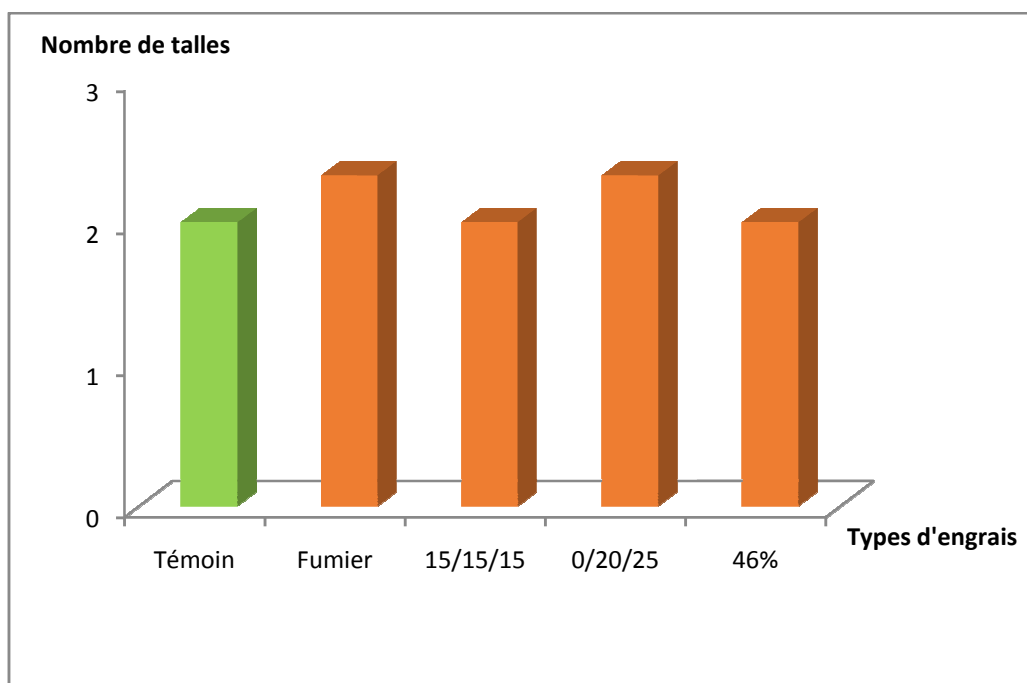


Figure 14: Nombre de talles pour chaque type d'engrais .

Selon cette figure, le nombre moyen de talle est inférieur à 3 pour le témoin et les quatre traitements. L'analyse de la variance le tableau (04) montre une différence non significative de ce paramètre ($P > 0,05$).

Tableau 4: Test ANOVA pour Nombre de talles

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	1	7,70864742	0,37390097
Témoin / 15- 15-15	65535	7,70864742	#NOMBRE!
Témoin / 0- 20-25	1	7,70864742	0,37390097
Témoin / 46	65535	7,70864742	#NOMBRE!

2/ Caractéristiques des épis :

2-1/ Hauteur des épis

La figure (15) illustre les différentes longueurs des épis pour le témoin et les différents traitements.

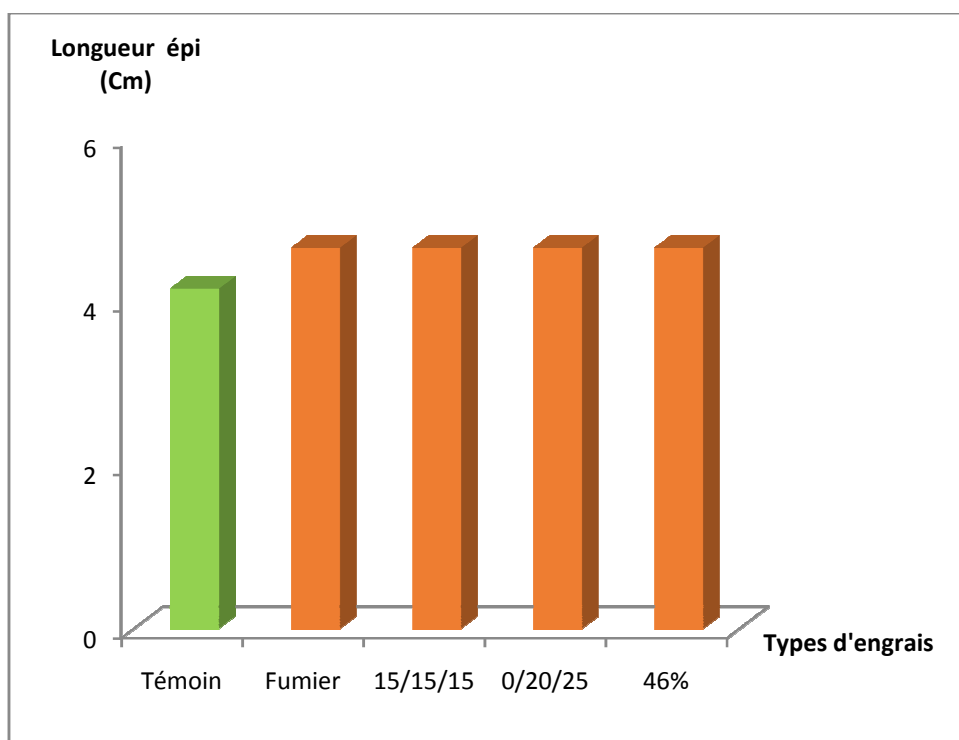


Figure 15: Hauteur des épis pour chaque type d'engrais .

Cette figure montre que la longueur moyenne des épis varie entre 4 et 5cm avec une variance non significative entre le témoin et les différents traitements ($P > 0,05$). (Voire tableau 05).

Tableau 5: Test ANOVA pour Hauteur des épis

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	1,8	7,70864742	0,251
Témoin / 15-15-15	1,8	7,70864742	0,251
Témoin / 0-20-25	1,8	7,70864742	0,251
Témoin / 46	1,8	7,70864742	0,251

2-2/ Hauteur de la barbe des épis

La figure (16) présente la longueur de la barbe des épis du témoin et de différents traitements.

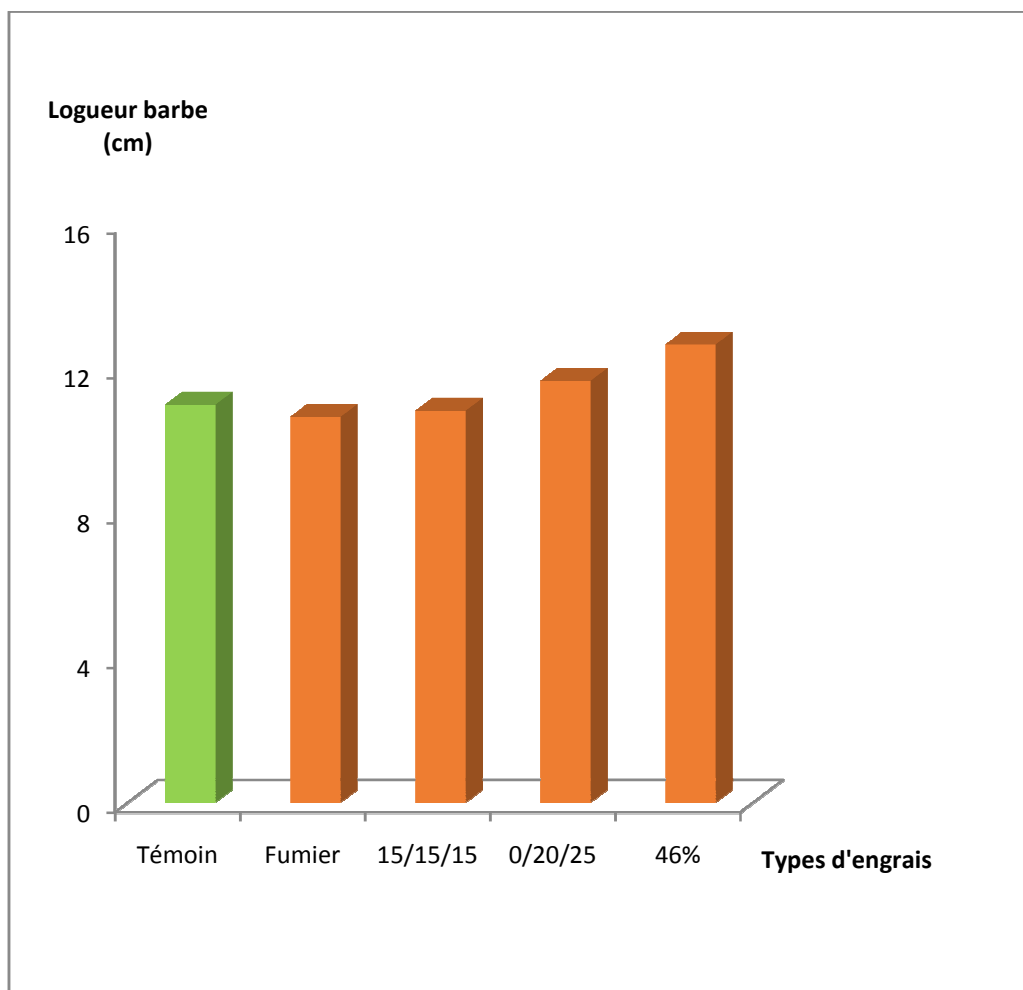


Figure 16: Hauteur de la barbe des épis pour chaque type d'engrais .

D'après cette figure, la longueur moyenne de la barbe des épis varie entre 10,67 cm et 11,83 cm pour le témoin et les traitements fumier, 15-15-15 et 0-20-25. Selon le tableau (06) ces variations sont classées non significatives ($P > 0,05$). Les variations de la longueur de la barbe sont significatives ($P = 0,007$) pour le traitement 46% avec une longueur moyenne de 12,67 cm.

Tableau 6: Test ANOVA pour Hauteur de la barbe des épis

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	1	7,70864742	0,374
Témoin / 15- 15-15	0,14285714	7,70864742	0,725
Témoin / 0- 20-25	4	7,70864742	0,116
Témoin / 46	25	7,70864742	0,007

2-3/ Nombre total d'épis

La figure (17) représente le nombre moyen d'épis par traitement.

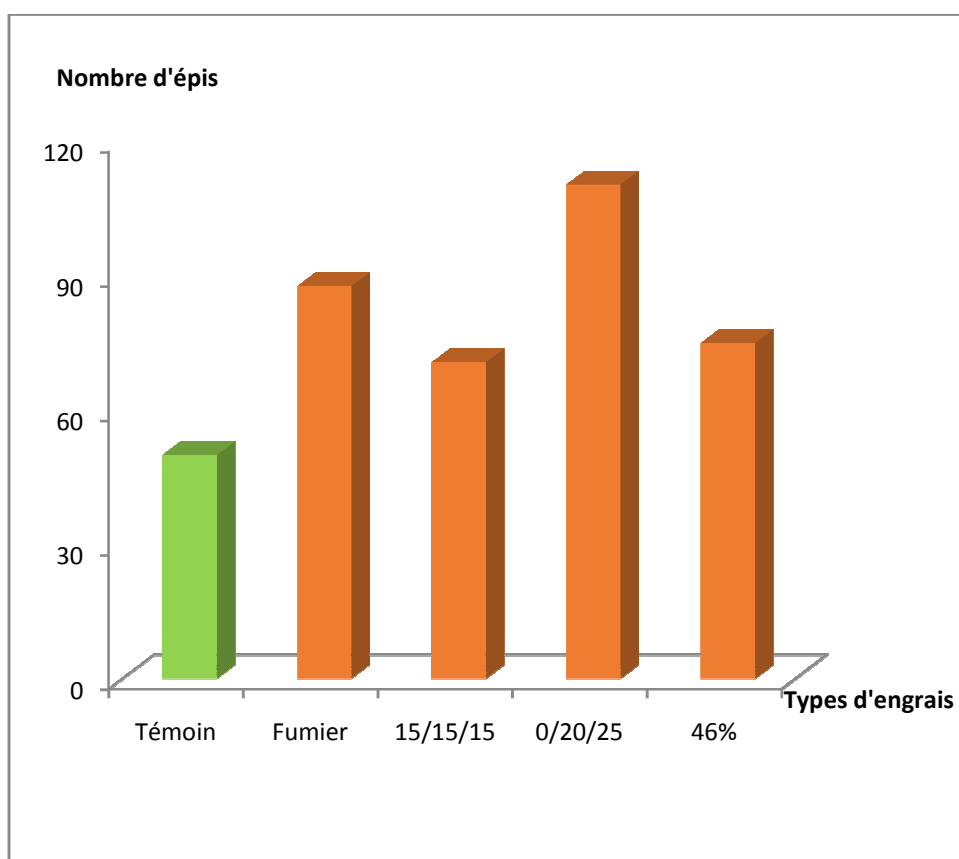


Figure 17: Nombre total d'épis pour chaque type d'engrais .

Le nombre moyen d'épis est de 50 pour le témoin. Il est de 70,83 et 75 pour les deux traitements 15-15-15 et 46% respectivement. L'analyse de la variance (**Tableau 07**) montre que cette augmentation est non significative ($P > 0,05$). Le nombre moyen d'épis

augment significativement ($0,0008 < P < 0,019$) pour les deux traitements 0-20-25 et fumier qui enregistrent un nombre moyen d'épis de l'ordre de 110,33 et 87,67 respectivement.

Tableau 7: Test ANOVA pour Hauteur de Nombre total d'épis

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	14,4119639	7,70864742	0,0192
Témoin / 15-15-15	2,08913043	7,70864742	0,222
Témoin / 0-20-25	84,435567	7,70864742	0,0008
Témoin / 46	6,0483871	7,70864742	0,0698

2-4/ Nombre épillets/épi

La figure (18) indique le nombre moyen des épillets par épis pour le témoin et les différents traitements.

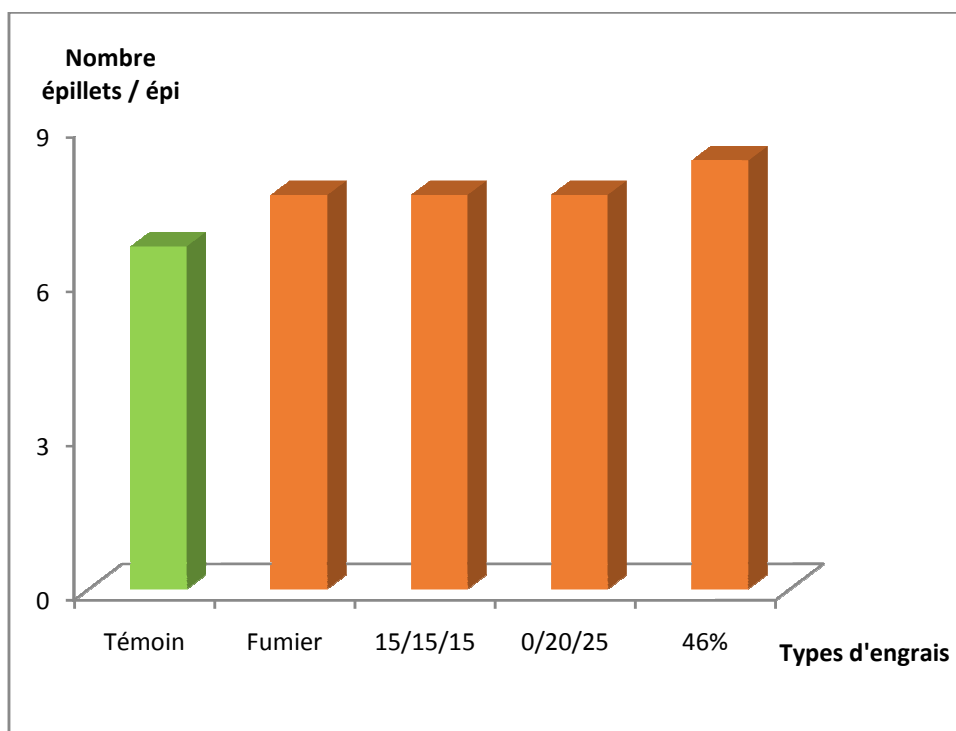


Figure 18: Nombre épillets/épi pour chaque type d'engrais .

Le nombre moyen d'épillets par épis est de 6,67 pour le témoin. Il est de 7,67 pour les trois traitements fumier, 15-15-15 et 0-20-25. Selon le tableau (08) cette légère augmentation est non significative ($P>0,05$). Pour le traitement 46%, le nombre d'épillets par épis augmente significativement ($P=0,024$) pour atteindre 8,83.

Tableau 8: Test ANOVA pour Nombre épillets/épi

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	4,5	7,70864742	0,101
Témoin / 15-15-15	4,5	7,70864742	0,101
Témoin / 0-20-25	4,5	7,70864742	0,101
Témoin / 46	12,5	7,70864742	0,024

3/ Caractéristiques des composantes du rendement

3-1/ Nombre de graines par épi

La figure (19) représente le nombre moyen de graines par épis pour le témoin et les différents traitements.

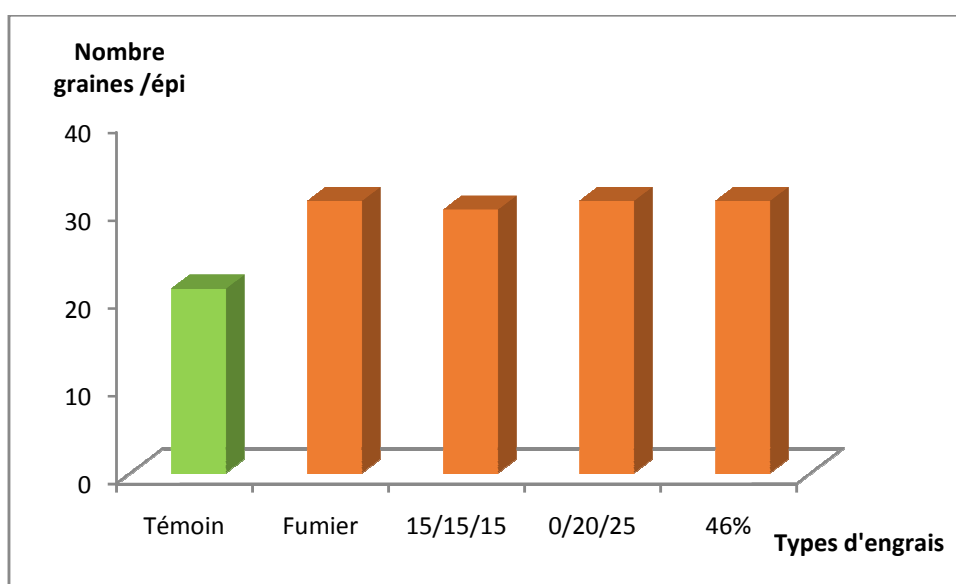


Figure 19: Nombre de graines par épi pour chaque type d'engrais .

Le nombre moyen de graines par épi est de 20 pour le témoin. Il est de 30 pour les deux traitements fumier et 15-15-15. Ce nombre est de 31 pour les deux traitements 0-20-25 et 46%. L'analyse de la variance (**tableau 09**) montre un effet significatif ($0,026 < P < 0,036$) pour les deux derniers traitements.

Tableau 9: Test ANOVA pour Nombre de graines par épi

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	3,76324324	7,70864742	0,124
Témoin / 15-15-15	6,03076923	7,70864742	0,070
Témoin / 0-20-25	9,61	7,70864742	0,036
Témoin / 46	11,9069767	7,70864742	0,026

3-2/ Poids de 1000 graines

La figure (20) exprime le poids moyen de 1000 graines pour le témoins et les différents traitements.

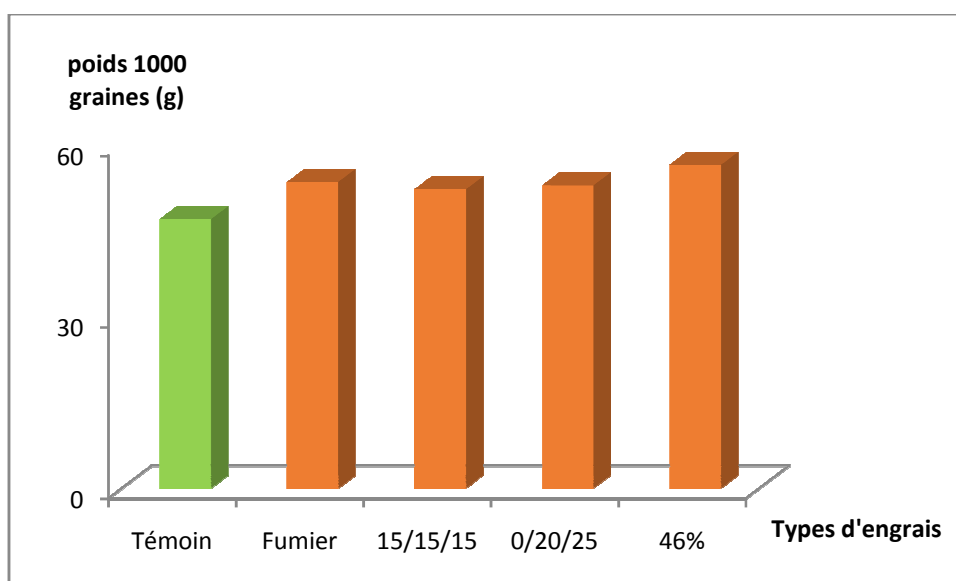


Figure 20: Poids de 1000 graines pour chaque type d'engrais .

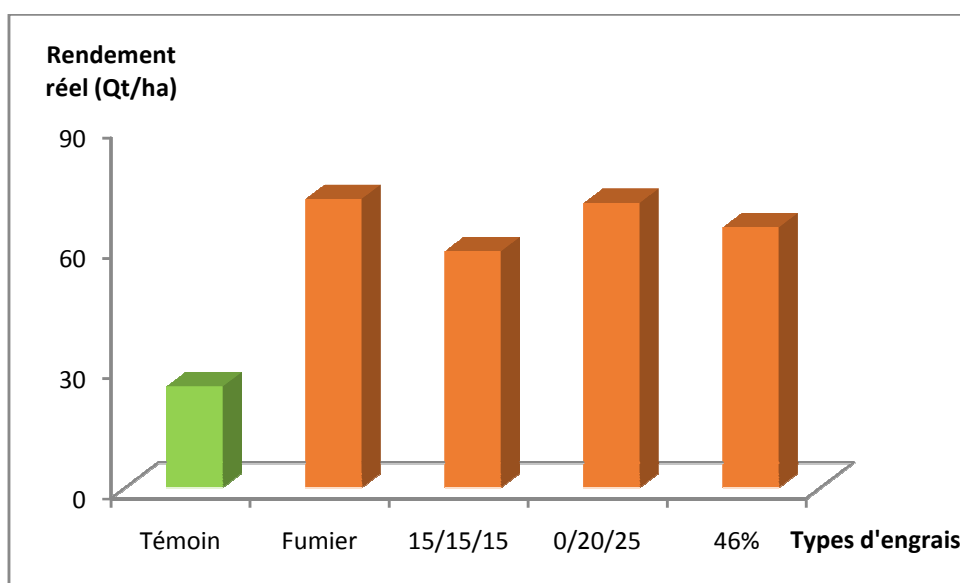
Le poids moyen de 1000 graines est de 47,16 g pour le témoin. Il varie entre 52,41g et 56,67 g pour les différents traitements. L'analyse de la variance (**tableau 10**) indique un effet non significatif de ces traitements sur le poids des graines.

Tableau 10: Test ANOVA pour Poids de 1000 graines

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	2,62431684	7,70864742	0,181
Témoin / 15-15-15	1,77564444	7,70864742	0,253
Témoin / 0-20-25	1,35425393	7,70864742	0,309
Témoin / 46	6,53033986	7,70864742	0,063

3-3/ Rendement réel

La figure (21) illustre le rendement moyen du témoin et des différents traitements.

**Figure 21:** Rendement réel pour chaque type d'engrais .

Le rendement moyen du témoin est de l'ordre de 25,7 Qt/ha. Il augmente à 97,33 Qt/ha pour le traitement 15-15-15 et à 107,33 pour le traitement 46%. Ce rendement atteint 117,22 Qt/ha et 118,82 Qt/ha pour les deux traitements 0-20-25 et fumier respectivement. L'analyse de la variance (**tableau 11**) montre un effet significatif ($0,012 < P < 0,048$) des trois traitements fumier, 15-15-15 et 46 et un effet hautement significatif ($P = 0,00002$) du traitement 0-20-25 sur le rendement réel,

Tableau 11: Test ANOVA pour rendement réel

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	11,4746537	7,70864742	0,028
Témoin / 15-15-15	7,974629213 56068	7,70864742	0,048
Témoin / 0-20-25	497,530723	7,70864742	0,00002
Témoin / 46	18,7990854	7,70864742	0,012

3-4/ Rendement de la paille

La figure (22) représente le rendement en paille du témoin et des différents traitements.

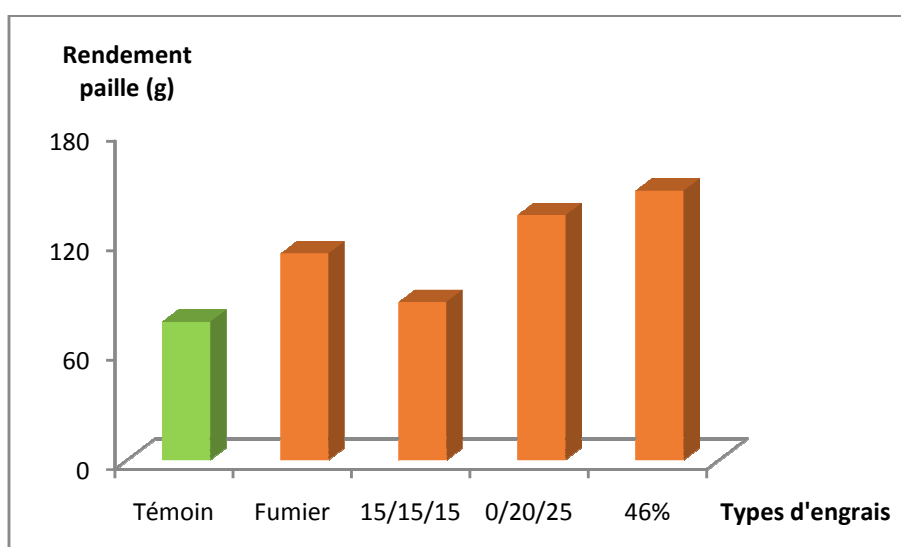


Figure 22: Rendement de la paille pour chaque type d'engrais .

Le rendement moyen en paille est de 75,83 g pour le témoin. Il est de 86,72 g pour le traitement 15-15-15. Ce rendement augmente à 113,18 g pour le fumier, 134,21 pour le traitement 0-20-25 et 147,66 g pour le traitement 46. L'analyse de la variance (**Tableau 12**) révèle que cette augmentation est non significative ($P > 0,05$).

Tableau 12: Test ANOVA pour rendement de la paille:

	F calculé	F théorique	P-Value
Témoin / Fumier	2,75935216	7,70864742	0,172
Témoin / 15-15-15	0,11327574	7,70864742	0,753
Témoin / 0-20-25	5,99827747	7,70864742	0,070
Témoin / 46	5,48960282	7,70864742	0,079

4 / Discussion :

L'objectif de cette étude est d'étudier l'effet de quatre types d'engrais sur la croissance et le rendement de l'orge. Cet effet est mis en évidence par la mesure et la comparaison de certains paramètres morphologiques et productifs entre un bloc d'orge témoin (sans amendement) et quatre blocs d'orge avec amendement du sol avec quatre types d'engrais : Fumier, NPK (15-15-15), NPK (0-20-25) et Urée 46%.

Les résultats obtenus révèlent un effet des engrais appliqués sur la hauteur des plantes. On constate une légère augmentation non significative ($P > 0,05$) de la hauteur des plantes pour les deux traitements fumier et 0-20-25 qui enregistrent une hauteur entre 59 cm et 75cm. Une augmentation significative ($0,022 < P < 0,039$) est observée pour les deux traitements 15-15-15 et 46% avec une hauteur variant entre 63 cm et 78 cm. **Lakew et al., (1995)** soulignent que la fertilisation augmente la hauteur de la plante. Les engrais riche en

azote, en particulier l'urée 46% favorisent la croissance des organes chlorophylliens de la plantes. **Clément-Grandcourt et Prats (1971)** indiquent que les organes végétatifs (c'est-à-dire la paille) profitent plus que le grain de l'apport de l'azote.

Le nombre de pieds varie entre 41 et 68 pour le témoin et les deux traitements 15-15-15 et 0-20-25. Les deux traitements Fumier et 46% enregistre une variation significative ($0,016 < P < 0,046$) du nombre de pieds qui varie entre 54 et 63. Ce paramètre s'accroît dans les sols riches en matière organique en particulier en fumier.

La longueur moyenne de la barbe des épis varie entre 10,67 cm et 11,83 cm pour le témoin et les traitements fumier, 15-15-15 et 0-20-25. Ces variations sont classées non significatives ($P > 0,05$) par rapport au traitement 46% qui enregistre une augmentation significative ($P = 0,007$) avec une longueur moyenne de 12,67 cm. L'épi a une fonction photosynthétique importante au cours du remplissage du grain (**Febrero et al., 1990**),

Le nombre moyen d'épis est de 50 pour le témoin. Il est de 70,83 et 75 pour les deux traitements 15-15-15 et 46% respectivement. Cette augmentation est non significative ($P > 0,05$) comparativement aux deux traitements 0-20-25 et fumier qui enregistrent une augmentation significative ($0,0008 < P < 0,019$) du nombre moyen d'épis atteignant 110,33 et 87,67 respectivement. D'après **Taureau (1987)** la diminution de nombre d'épis provoque une perte de rendement.

Le nombre moyen d'épillets par épis est de 6,67 pour le témoin. Il augmente légèrement à 7,67 pour les trois traitements fumier, 15-15-15 et 0-20-25. Cette augmentation est non significative ($P > 0,05$). Selon **Nouari (2006)**, le nombre d'épillets totaux par épi n'est pas influencé de façon significative, par le type d'engrais potassique. Seul le traitement 46% affiche une augmentation significative ($P = 0,024$) du nombre d'épillets par épis qui de l'ordre de 8,83.

Le nombre moyen de graines par épi est de 20 pour le témoin. Il est de 30 pour les deux traitements fumier et 15-15-15 et est de 31 pour les deux traitements 0-20-25 et 46%. L'analyse de la variance montre un effet significatif ($0,026 < P < 0,036$) pour les deux derniers traitements 0-20-25 et 46%. Selon (**Loue, 1984**), le potassium exerce un effet favorable sur le nombre de grain par épi et sur le poids d'un grain, ce dernier effet résulte d'une amélioration de la photosynthèse et d'un allongement de la durée de remplissage des grains.

Le rendement réel du témoin est faible (25,7 Qt/ha) par rapport aux quatre traitements qui agissent significativement sur ce rendement ($0,00002 < P < 0,048$). Il est évalué à 97,33 Qt/ha pour le traitement 15-15-15 et 107,33 Qt/ha pour le traitement 46%. Le meilleur rendement (117,22 Qt/ha et 118,82 Qt/ha) est obtenu avec les deux traitements 0-20-25 et fumier respectivement. Un apport potassique contribue à un accroissement de rendement (**VIC et BHAGRANDS, 1978 cités par HALILAT, 1993**).

Un effet non significatif des quatre types d'engrais est observé sur le nombre de talles, la hauteur des épis, le poids de 1000 graines et le rendement en paille.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de la fertilisation sur les caractéristiques morphologiques et le rendement de l'orge. Différents types de fertilisants ont été utilisés soit comme engrais simple de fond (fumier) ou de surface (urée 46%) ; soit en combinaison des deux engrais de fond / de surface (NPK 15-15-15 / urée 46%) et (NPK 0-20-25 / urée 46%). Cette combinaison tend à combler les carences en azote et favoriser la croissance. Selon l'analyse de la variance, les effets significatifs de cette fertilisation sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 13: Effet des engrais sur les paramètres morphologiques et les composantes du rendement

	Fumier	NPK 15-15-15	NPK 0-20-25	Urée 46%
Hauteur plantes	-	+	-	++
Nombre de pieds	+	-	-	++
Longueur de la barbe	-	-	-	++
Nombre d'épis	++	-	+++	-
Nombre épillets/épi	-	-	-	++
Nombre graines/épi	-	-	+	++
Rendement réel	++	+	+++	++

(-) non significatif; (+) significatif; (++) très significatif; (+++) Très hautement significatif.

On peut conclure que les meilleurs résultats sont obtenus avec l'engrais urée 46% qui induit un effet positif sur la croissance et le rendement de l'orge. Il augmente significativement la hauteur des plantes, le nombre de pieds et la longueur de la barbe des épis. Cette augmentation s'explique par la solubilité et la mobilité rapide de l'azote qui favorise la croissance des organes chlorophylliens, ce qui se traduit par un rythme intense de la photosynthèse et améliore la quantité des réserves nutritives. Cela se répercute sur la phase reproductrice en augmentant le nombre d'épillets/épi, le nombre de graines/épi et le rendement réel de l'orge.

On constate aussi qu'une meilleure fertilisation en potassium (NPK 0-20-25) augmente significativement le nombre d'épis et le rendement réel de l'orge.

La fertilisation en fumier augmente le nombre de pieds et d'épis ce qui augmente significativement le rendement réel de l'orge. De même, la fertilisation en NPK 15-15-15 apporte une légère amélioration de la hauteur des plantes et du rendement réel de l'orge. Cela s'explique par la dégradation lente du fumier et des engrais NPK qui dure plusieurs années.

Au terme de ce travail, les résultats obtenus met en exergue l'intérêt crucial de la fertilisation, notamment azotée, sur le rendement et donc sur le revenu de l'agriculteur et la sécurité alimentaire de l'état. En effet, l'état joue un rôle central dans l'approvisionnement des céréalicultures en fertilisants tant au nord qu'au sud où les céréales sont cultivés à grande échelle (grandes cultures) sur des sols sableux très pauvres en éléments nutritives.

Cette étude mérite d'être complétée par d'autres travaux sur les dosages adéquats aux différents types de sols et de culture. Mais aussi sur l'effet de ces engrais sur la qualité physico-chimique et biologique du sol pour une agriculture durable, respectueuse de l'environnement et sans risques sur la santé huma

**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques

Abadat L , & Hammeche D . (2020). Synthèse bibliographique sur l'effet de l'itinéraire technique sur le rendement du blé dur. Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

Abdelmadjid H., 2013. Grandes cultures éléments de pyrotechnie générale 1ère

ED. T1. Le blé, 256p

Adden, A. (2004). Étude des pratiques de fertilisation en cultures maraîchères. Revue Agricole et Environnementale, 23-34.

Ait-Slimane-Ait-Kaki, S. (2008). Effets de la fertilisation de couverture sur le rendement et la qualité de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans les zones semi-arides de l'Est algérien. Revue Algérienne d'Agronomie, 23-32.

ANDREW C., KAREN P. S., IRENE A. G., ALEXANDER A. C., CATHY H., JOHN W., PETER M., 2017 :The agronomic performance and nutritional content of oat and barley

varieties grown in a northern maritime environment depends on variety and growing

conditions, Journal of Cereal Science, Volume 74, Pages 1-10.

Anonyme., 2010. Manuel utilisation des engrais, 96p.

Belaid D., 1986. Aspects de la céréaliculture Algérienne office des publications

universitaires, Ben-Aknoun 1ère édition, 206p.

BENAITES ; 1989 : Essais de compartiment de cinq variété de vexe (*Vicia sativa* L)

5CS.3CS chelif. Tidjedrett à l'irrigue, dans la station expérimentale d'Ain Bennaoui

(W.BISKRA).Mémoire. Ing. Agro. Saha. I.T.A.S. Ouargla. 45 p.

BENMAHAMED A., 2004 : La production de l'orge et possibilités de développement en

Algérie, céréaliculture n° 41 :34-38.

Bennasseur A., 2003. Référentiel pour la Conduite Technique de la Culture du blé

dur (*Triticum durum*), (consulté le : 08-03-2003)., disponible sur :

<http://www.fellah-trade.com>, pp 24-38.

Blanc, D. (1971). L'assimilation de l'azote par la plante. Paris, France : Masson.

Boulal H., Zaghouane O., Mourid M., Rezgui S., 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le maghreb (Algérie. Maroc.

Tunisie), 176p.

Boulechfar, F. (2018). Facteurs intrinsèques influençant la germination des grains d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Revue Algérienne des Régions Arides*, 16(1), 24-32.

Bonde, M. R., & Lindberg, G. D. (1988). Effects of fertilizer practices on cereal crop quality. *Agronomy Journal*, 80(4), 557-562.

Bourgault G., ARTAS, 2006. Bonnes pratiques agricoles en production de canne

à sucre. Version 4, février. Disponible au CTICS, 23p.

Chabani, A. (2015). Rôle socio-économique de la culture de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans les régions arides d'Algérie. *Revue des Régions Arides*, 37(2), 127-136.

Chehat, F. (2007). Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation » Alger , 7-9.

Christian S., 2005. Guide de la fertilisation raisonnée. Grandes cultures et prairies.

Edition France agricole, 407p.

CLEMENT G et PRATS J ; 1971 : Les céréales C.D.T d'enregistrement agricole. Pp 9-

239.

Clement-Grandcourt, M., & Prats, J. (1971). Les céréales Collections d'enseignement agricole 2eme Ed. Ballier France. 351p.

Cottignies X., 1977. Potasse et agriculture. Société commerciale des potasses et de

l'azote, Mulhouse. 112p.

Demarly, Y. (1977). Génétique et amélioration des plantes. Paris, France : Masson.

Diehl J.A., 1975. Agriculture générale. pp 205-211.

Diehl J.A., 1975. Agriculture générale. pp 205-211.

Draft., 2012. Manuel de Formation Statistiques sur les Engrais en Afrique, 19p.

Duru, M., Justes, E., Langlet, A., Tirilly, V., Rouziès, S., Sos, L., & Viard, R. (1993). Comparaison des dynamiques d'apparition et de mortalité des organes de fétuque élevée, dactyle et luzerne (feuilles, talles et tiges). Agronomie, 13(4), 237-252.

FAO., 2003. Les engrais et leurs applications, quatrième édition, 77p.

FAOSTAT. (2008). Production, Supply and Distribution Online. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consulté le [date de consultation] sur <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.

FAOSTAT. 2011. Statistical database of the food and agriculture organization of the United

Nations. <http://www.fao.org>. (Consulté le 30/02/2022).

Febrero, A., Fernández, S., Graña, A., & Arrese-Igor, C. (1990). The effect of water stress on carbon partitioning and nitrogen fixation in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*, 737-743

FRANCO C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets

urbains : influence de la nature des déchets et du procédé de compostage. thèse de d'état,

Institut National Agronomique Paris-Grignon.

French V., 2013. Le potassium un élément essentiel, pp3-18.

GANRY F., 1998 . Influence du travail du sol et de l'apport de compost sur les peuplements de nématodes phytoparasites. Montpellier : ORSTOM, 1998, 7 p.

Gauthier J., 1991. Notions d'agricultures. Rue Michel-Haidy, 575p.

Gauthier J., 1991. Notions d'agricultures. Rue Michel-Haidy, 575p.

Gervy R., 1970. Les phosphates et l'agriculture 6ème ED, 298p.

Ghouar, A. (2006). Fertilisation des cultures et impact environnemental. Alger, Algérie : Office des Publications Universitaires.

Giban, J., Perny, D., Demortier, G., & Zaoui, D. (2003). Étude du cycle de développement d'*Hordeum vulgare* L. dans les conditions agroclimatiques du Maghreb. *Cahiers Agricultures*, 12(6), 379-387.

Gueffifa, K., Benbella, M., & Belkhodja, M. (2021). Effet de la fertilisation de fond sur le rendement et la qualité des grains d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zones semi-arides. *Revue Agronomie, Environnement & Sociétés*, 57-64.

Gueffifa, K., Benbella, M., & Belkhodja, M. (2021). Effets des engrais minéraux et organiques sur le rendement et la qualité de la culture d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zones semi-arides. *Revue Scientifique et Technique de l'Environnement*, 102-111.

Hakimi, A. (1993). Rôle et valorisation de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'alimentation humaine et animale en Afrique du Nord. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 13(2), 19-27.

Halilat, M. T. (1993). Etude de la fertilisation azotée et potassique sur blé dur (variété Aldura) en zone saharienne (région de Ouargla). Mémoire de magister INES. Batna, 130

HOLLOWAY P.J., ET JEFFREE CE., 2017 : Epicuticular Waxes, In Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition), edited by Brian Thomas, Brian G Murray and Denis J Murphy, Academic Press, Oxford, Pages 374-386.

Houmani, Z. (2007). Valorisation des produits dérivés de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'alimentation humaine en Algérie. *Revue Agriculture*, 14(1), 33-41.

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). (2024, 11 juin). Projets de recherche - Fertilisation de l'orge. Repéré à <https://www.irda.qc.ca/fr/projets-recherche/fertilisation-orge/>

ITGC Guelma. (2005). Recommandations techniques pour la fertilisation des grandes cultures. Guelma, Algérie : ITGC.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Meeting, & World Health Organization. (2004). Residues of Some Veterinary Drugs in Animals and Food: Monographs Prepared by the Sixty-second Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Rome, 4-12 February 2004 (No. 41). Food & Agriculture Org

Joseph S., 2000. Engrais verts et fertilité des sols 1ère ED, 287p.

Journal Algérien des Régions Arides [JARA]. (2017). Nouvelles pratiques de fertilisation pour l'amélioration des cultures en zones arides. *JARA*, 15(3), 23-36.

Kamel B., Mohsen B., 2017. Manuel de grandes cultures-les céréales, édition universitaires européennes, 230p.

Kebri, F. (2003). Avec un niveau de consommation de 60 millions de qx/an, l'Algérie un grand consommateur. Partenaires. Mensuel de la chambre française de commerce et d'industrie en Algérie, (41).

KELLIL H.,2010- contribution à l'étude du complexe entomologique des céréales dans la

région des hautes plaines de l'Est algérien.Memoire présenté en vue l'obtention du diplôme de

Magister. université el hadj lakhdar batna.200p.

Laberche, J.-C. (2010). Influence des conditions environnementales sur la germination des grains d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 1(2), 45-53.

Lakew, B., Gebre, H., & Alemayehu, F. (1995). Barley-based cropping systems for the Ethiopian highlands. *Ethiopia Journal of Agricultural Sciences*, 15(1), 72-90.

Larrieu J.F., 2008. Expérimentation entretien du sol en arboriculture fruitière

Leclerc, J. (2001). Fertilité des sols et fertilisation des cultures. Paris, France : Lavoisier.

biologique, pp 1-23.

Loue, A. (1984). Diagnostic petiolaire de prospection. Paris, France : SCPA.

Malki, A., Benmohammed, M., Djenouri, D., & Badache, N. (2002). La culture de l'orge en Algérie : état des lieux et perspectives. *Revue Algérienne des Régions Arides*, 15(2), 45-62.

MISSAOUI Y ; 1991 : Evolution de la salinité en fonction des doses d'irrigation à l'

I.T.D.A.S de Biskra Mémoire Ing –Agro Saha- infsas. Ouargla 79 P.

MOSSAB M ; 1991 : culture à double fin avec la filière blé OAIC. Pp 213-220.

Munroe J., 2018. Manuel sur la fertilité du sol. 3ème ED, 236p.

Nouari, S. (2006). Étude de l'effet de quatre types d'engrais potassiques sur la culture d'orge (*Hordeum vulgare* L. var. RIHANE 3) sous pivot dans la région de Ouargla [Mémoire de fin d'études, Université de Ouargla, Algérie]. 57 p.

NDayegamiye, A., Giroux, M., & Gasser, M.-O. (2007). Effets à long terme des engrais verts et des fumiers sur les propriétés du sol et le rendement des cultures. *Revue canadienne de science du sol*, 87(2), 85-95.

N'diri, L., Aidaoui, A., Delouche, J., & Kameli, A. (2011). Étude de la germination des graines d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions contrôlées. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 2(1), 14-21.

Newman, R. K., & Newman, C. W. (2008). *Barley for food and health: Science, technology, and products*. John Wiley & Sons.

PETIT et JOBIN ;(2005) ont également abordé l'impact de la fertilisation sur les cultures.

Philippe V., 1999. Une 3ème voie en grande culture Environnement Qualité Rentabilité. Paris.211p.

Plein Champ. (2024, 11 juin). Fertilisation azotée : les besoins à prendre en compte pour le calcul de la dose totale. Repéré à <https://www.pleinchamp.com/agronomie/fertilisation/fertilisation-azotee-les-besoins-a-prendre-en-compte-pour-le-calcul-de-la-dose-totale>

Pousset J., 2000. Engrais verts et fertilité des sols, ED agri-décisions. 287 p.

Prévoste P., 1990. Les bases de l'agriculture moderne. Rue Lavoisier. Paris.262p.

Rechachi, M., Bouhadiba, S., Benamirouche, K., & Ziani, H. (2020). Évaluation de l'impact de la fertilisation azotée sur le rendement et la qualité des cultures maraîchères. *Revue Algérienne d'Agronomie*, 24(2), 45-58.

- Scheiner D., 2005. Spéciation du Carbone, de l'Azote et du Phosphore de différentes boues de stations d'épuration au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol, thèse de docteur institut national polytechnique de Toulouse, agronomie, N° d'ordre 2257, 1-218p
- Semon, M. (1972). Caractéristiques morphologiques de la tige d'Hordeum vulgare L. Annales Agronomiques, 23(4), 489-508 .
- SLIMH H ; 1982 : Etude compartiment de l'orge (Hordeum vulgare L) en double exploitation fourragère grain. Mémoire Ing. Agro. I.N.A – Tunisie .124 p
- SOLTNER ; 1988 : les bases de production végétale. Les collections sciences techniques agricole 16ème Ed .464 p.
- SOLTNER D., 1986 : Les bases de la production végétale les techniques de production des céréales 1er édition 472 p.
- Soltner D., 2003. Les bases de la production végétale 23ème ED. TI Le sol et son amélioration. Paris.464p.
- Vic, P., & Bhagrand, S. (1978). Étude des systèmes de culture en zone aride. In M. Halilat (Éd.), Optimisation des systèmes de culture en région sahélienne (p. 45-62). Paris, France : ORSTOM.
- WikiAgri. (2024, 11 juin). La fertilisation : définition et utilisation. Repéré à <https://www.wikipourAgri.com/la-fertilisation-definition-et-utilisation>
- Zoufoul, A., Benbella, M., & Hadjadj, S. (2020). Importance des restitutions organiques dans le maintien de la fertilité des sols cultivés en orge (Hordeum vulgare L.) en zones semi-arides. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Environnementales, 9(1), 14-22.

Zutin, M., Berthier, P., Donner, A., & Leclercq, B. (1980). Taxonomie et phylogénie du genre *Hordeum*. Bulletin de la Société Botanique de France, 127(4), 377-402.