

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**Département des Sciences Agronomiques**



**Mémoire de Master Académique**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Sciences Agronomiques**

**Spécialité : Parcours et Elevage en Zones Arides**

## **THEME**

**CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA COMPOSITION  
CHIMIQUE DE L'ORGE EN CULTURE HORS SOL**

**Présenté par :**

**GASMI YAMINA**

**Soutenu publiquement :**

**Le 20/06/2021**

**Devant le jury :**

**M. Oulad belkhir.A**

**M. Adamou.A**

**M. Redjeb.A**

**M. Belaruossi.M**

**Président**

**Promoteur**

**Co-promoteur**

**Examineur**

**MCB UKMOuargla**

**Pr. UKMOuargla**

**Doctorant UKMOuargla**

**MCA UKMOuargla**

**ANNÉE UNIVERSITAIRE 2020/2021**



## Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr Adamou Abd-Elkader**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Un grand merci aussi à Merci à **Mr Redjeb Ayad** mon Co-encadrant qui m'a beaucoup aidé en si peu de temps et pour son conseil avisé, son disponibilité, ainsi que pour l'œil critique et bienveillant qui m'a permis de réaliser ce travail.

Merci à **Mr Bouzegag Ismail** chef de service au labo, pour son aide pratique et qui m'a toujours accordé un peu de son temps pour m'orienter et me conseiller, et son soutien moral.

Je tourne vers les éminents professeurs et les membres du jury merci beaucoup d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Je tenue à remercier mes amis proches et toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.



**Dédiassse**

♥ *Je dédie ce travail à l'âme pure de mon père à ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore. Qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

♥ *A mes frères et mes sœurs Pour ses soutiens moraux et leurs conseils précieux au long de mes études.*

♥ *A tous mes enseignants, depuis primaire jusqu'à mon cursus universitaire.*

♥ *A mes aimables amis qui m'ont fourni leur soutien, ce qui par un mot m'ont donné la force de continuer.*

♥ *Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, collègues d'étude, et a toute mes sœurs et frères de la promo de PEZA 2020 /2021*

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> La production mondiale d'orge de 2005 à 2010 .....	4
<b>Tableau 2.</b> Evolution de la superficie et de la production de l'orge en Algérie. ....	5
<b>Tableau 3.</b> Variétés d'orge cultivées en Algérie.....	6
<b>Tableau 4.</b> Temps de germination Selon l'espèce .....	13
<b>Tableau 5.</b> Durée de trempage selon l'espèce.....	15
<b>Tableau 6.</b> Densité de semis selon l'espèce .....	17
<b>Tableau 7.</b> Valeurs de rendements en culture hydroponique.....	18
<b>Tableau 8.</b> Température optimale de germination par espèce .....	19
<b>Tableau 9.</b> Rationnement du bétail à base de fourrage vert hydroponique.....	25
<b>Tableau 10.</b> Evolution du poids de la matière fraîche .....	37

## Liste des figures

Figure 1. Les facteurs internes et externes qui agissent sur la germination.....	10
Figure 2. l'unité de germination et ses équipements.....	29
Figure 3. Etalage des graines dans les plateaux de 0,12 m <sup>2</sup> .....	31
Figure 4. Evolution de la matière fraîche.....	32
Figure 5. Pesage de la matière fraîche .....	32
Figure 6. Séchage de la matière fraîche .....	33
Figure 7. Broyage de la matière sèche .....	34
Figure 8. Détermination de la matière minérale .....	34
Figure 9. Pesage de la matière minérale .....	35
Figure 10. Extracteur de cellulose brute .....	36
Figure 11. Distillateur Kjeldahl .....	37
Figure 12. Evolution de la matière sèche.....	38
Figure 13. Evolution de la teneur de la matière minérale .....	39
Figure 14. Evolution de la teneur en matières azotées totales .....	40
Figure 15. Evolution de la teneur en cellulose brute.....	41

## **Les abréviations**

**AOAC** : Association des chimistes agricoles officiels.

**CB** : Cellulose brute

**CT** : Carbone Total

**EE** : Extrait Ethéré

**F.V.H** : Fourrage vert hydroponique.

**GS** : Graines sèche,

**GT** : Graines trempées

**H<sub>2</sub>So<sub>4</sub>**: Acide sulfurique.

**ha**: Hectare.

**ITELV** : Institut Technique des Elevages.

**ITGC** : Institut Technique Des Grandes Cultures

**KCl** : Chlorure de potassium.

**KOH** : Hydroxyde de Potassium

**MAT** : matière azoté totale.

**MB** : matière Brut

**MF** : matière fraîche.

**MM** : Matières minéral

**MO** : Matière organique

**MS** : Matière sèche

**Mt** : million ton

**N** : Azote

**Na Cl** : Chlorure de sodium.

**Na<sub>2</sub>So<sub>4</sub>** : sulfate de sodium.

**OACI** : Office National Interprofessionnel des Céréales

**OH** : Orge hydroponique

**P** : Phosphore

**PB** : Protéine Brute.

**T/ha** : Ton par hectare

**W** : Watt

## Résumé

La culture hydroponique est une nouvelle technique en constante évolution, très présente au fourrage vert qui est l'aliment prioritaire pour les animaux d'élevage, particulièrement les ruminants.

Notre étude a été menée sur l'orge de la variété importée de l'espèce (*Hordeum vulgare*) mise en étude pendant 9 jours au sein du laboratoire de bio-ressources sahariennes de UKM Ouargla et dont l'objectif est de déterminer l'évolution de l'orge en culture hydroponique au cours de la germination, la production en matière sèche, la composition chimique, la valeur azotée et la valeur énergétique de l'orge en vert hydroponique issue de notre unité de production.

L'étude de l'analyse physico-chimique de la culture d'Orge hydroponique montre une bonne valeur alimentaire avec toutefois une très faible teneur en matière sèche et en matière minérale, cependant la teneur en matière organique (97,5%) est très élevée, alors que la teneur en azote total et la teneur en cellulose brute sont respectivement de 13 et c 13,8%.

L'Orge hydroponique présente beaucoup d'avantages au vue de son excellente qualité, un fourrage frais, régulier, nutritif, riche en vitamines et enzymes avec en plus une croissance rapide.

**Mots clés :** culture hydroponique – orge –analyse physico-chimique –composition chimique.

## **Abstract**

Hydroponics is a new technology in constant development, very present in green fodder which is a priority food for farm animals, especially ruminants.

Our study was carried out on imported species barley (*Hordeum vulgare*) made in study during 9 days at the Desert Bioresources Laboratory of UKM Ouargla with the aim of observing the development of hydroponics barley during germination, dry matter production, chemical composition, nitrogen value and energy value of water green barley from the production unit we've got.

The study of physical and chemical analysis of growing water barley showed good nutritional value of water barley and very low content of dry matter and mineral matter but very high organic matter content (97.5%), total nitrogen content with 13.05% and crude fiber content with 13.8%.

Watery barley has a lot of benefits from its excellent quality, fresh, regular and Azote feed, rich in vitamins and enzymes, and it grows faster.

**Key words** :culture hydroponique – barley –physical and chemical analysis – chemical composition.



## ملخص

الزراعة المائية هي تقنية جديدة في تطور مستمر، وهي حاضرة جدًا في الأعلاف الخضراء التي تعتبر غذاءً ذا أولوية لحيوانات المزرعة، وخاصة المجترات.

أجريت دراستنا على شعير الصنف المستورد من نوع (*Hordeum vulgare*) وضع تحت الدراسة لمدة 9 أيام في مختبر الموارد الحيوية الصحراوية في جامعة ورقلة وذلك بهدف مراقبة تطور الشعير في الزراعة المائية أثناء الإنبات، إنتاج المادة الجافة، التركيب الفيزيوكيميائية، قيمة النيتروجين وقيمة الطاقة للشعير باللون الأخضر المائي من وحدة الإنتاج لدينا.

أظهرت دراسة التحليل الفيزيوكيميائي لزراعة الشعير المائي قيمة غذائية جيدة للشعير المائي ومحتوى منخفض جدًا من المادة الجافة والمواد المعدنية ولكن محتوى المادة العضوية 97.5% مرتفع جدًا أما محتوى الأزوت الكلي هو 13.05% ومحتوى الألياف الخام هو 13.8%.

يتمتع الشعير المائي بالكثير من الفوائد من جودته الممتازة، أعلافه الطازجة والمنتظمة والمغذية والغني بالفيتامينات والإنزيمات، والنمو بشكل أسرع.

**الكلمات المفتاحية:** الزراعة المائية-الشعير-التحليل الفيزيوكيميائية-المركبات الكيميائية.

# Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

## Partie bibliographique

### Chapitre I : Généralité sur l'orge

1	L'Orge .....	3
2	La production mondiale de l'orge .....	3
3	Culture de l'orge en Algérie .....	4
3.1	Superficie et production .....	4
3.2	Principales variétés d'orge cultivées en Algérie .....	5
4	Exigences écologique .....	6
4.1	Climat.....	6
4.2	Pluviométrie .....	7
4.3	Rayonnement.....	7
4.4	La température.....	7
5	Cycle de développement.....	7
5.1	Conditions de la germination .....	8
5.1.1	Conditions de germination externes ou liées au milieu .....	8
5.1.2	Conditions de germination internes .....	9
5.1.2.1	Le contrôle de la germination par les régulateurs de croissance :.....	9
5.1.2.2	L'inhibition mécanique : .....	10
5.1.2.3	L'inhibition tégumentaire : .....	10

### Chapitre II : La culture hydroponique

1	Définition de la culture hydroponique « culture hors sol » .....	11
2	Historique .....	12
3	Production hors sol de fourrage.....	12
3.1	La germination, la base de toute production .....	12
3.2	Systèmes de production utilisés .....	14
3.3	Espèces cultivées.....	14
3.4	Les différentes phases de la culture hydroponique .....	15
3.4.1	Traitement préalable des semences : .....	15
3.4.2	Phase de « pré germination », ou de déclenchement de la germination : .....	16
3.4.3	Phase de « germination » ou de culture : .....	17

3.4.4	Récolte : .....	17
3.5	Potentiel de production.....	18
3.6	Conditions de culture : .....	18
3.6.1	La température .....	19
3.6.2	L'humidité.....	19
3.6.3	L'éclairage : .....	20
3.6.4	L'irrigation : .....	20
3.6.5	Fertilisation : .....	21
4	Valeur nutritive du fourrage hydroponique .....	22

### **Chapitre III : Résultats zootechniques des fourrages hydroponiques**

1	Alimentation du bétail .....	24
2	Influence sur les performances du bétail .....	24
3	Performances économiques de la production hors sol de fourrage .....	25

### **Partie expérimentale**

1	L'objectif.....	28
2	Matériels .....	28
2.1	Le matériel végétal .....	28
2.2	Unité de germination : .....	28
3	Méthodes .....	29
3.1	Protocole de germination .....	29
3.1.1	Traitement préalable des semences de l'orge .....	29
3.1.2	Phase de pré-germination.....	30
3.1.3	Phase de « germination » ou de culture .....	30
3.2	Conditions de culture .....	31
3.2.1	Phase de germination).....	31
3.2.2	Stade de récolte .....	31
3.3	Détermination du rendement et la composition physico-chimique.....	32
3.3.1	Le rendement de la matière fraîche.....	32
3.3.2	Composition physico-chimique .....	33

A. Teneur en matière sèche .....	33
3.3.2.1 Teneur en matière minérale et en matière organique .....	33
3.3.2.2 Teneur en cellulose brute .....	35
3.3.2.3 Teneur en azote total .....	36
4 Résultats et discussion .....	37
4.1 Le rendement de matière fraîche .....	37
4.2 Teneur en matière sèche .....	37
4.3 La teneur en matière minérale .....	38
4.4 Teneur en matière azotée totale (MAT) .....	39
4.5 Teneur en cellulose brute (CB) .....	40
Conclusion .....	41

# *Introduction*

### **Introduction**

L'agriculture et l'élevage sont classés parmi les priorités du pays algérien afin de diversifier son économie, la surface agricole utile ne représente que 3,6 % de la surface totale de l'Algérie (**Belgat S, 2016**). Le secteur agricole algérien souffre d'une faible productivité grâce aux plusieurs facteurs défavorables tels que (les menaces liées à la variabilité climatique, la faiblesse des investissements, des dégradations des terres et les pressions anthropiques). Cependant le secteur de l'élevage occupe une place non négligeable, plus précisément l'élevage ovin et bovin (**Bassiriki Ouattara, 2017**).

Le fourrage le plus consommé chez les animaux est l'orge en grain. Il représente actuellement l'aliment essentiel des ovins en Algérie (**Benmahammed, 2004**). L'Orge est riche en fibres, vitamines et minéraux grâce à l'utilisation de toute la plante (**Jean-Paul charvet 2001**).

Il a été rapporté que le fourrage vert produit dans des conditions hydroponiques a une énergie métabolisable élevée, protéines brutes et digestibilité (**El-Morsy et al, 2013**).

La plupart des producteurs hydroponiques commerciaux combinent la technologie hydroponique avec un environnement contrôlé pour obtenir les produits de la plus haute qualité. Dans une structure verte, vous pouvez contrôler la température ambiante, l'humidité et les niveaux de lumière, l'orge est trempée dans l'eau, égouttée et mise en culture, dans une chambre de culture, dans des plateaux disposés à plusieurs niveaux. La culture est arrosée régulièrement (avec ou sans apport d'éléments nutritifs) et permet au bout d'une semaine d'avoir une production importante de verdure pouvant être distribuée aux animaux. Technique qui permet de résoudre pas mal de problèmes auxquels sont confrontés les agriculteurs locaux particulièrement pour les éleveurs qui pratiquent l'élevage hors sol. (**Madani., 2000**).

La culture hors-sol ou l'hydroponie permet d'accélérer le processus de maturation grâce à un rythme nyctéméral plus rapide (**Habbas Mahdjouba, 2018**). La germination est une technique simple pour faire germer les graines afin d'améliorer leur valeur nutritive (**Amal et al, 2007**).

## *Introduction*

---

Et c'est dans ce contexte que nous voulons répondre à l'interrogation suivante :

Quelle est la valeur nutritionnelle de l'Orge en culture hydroponique ? Pour nous permettre de répondre à la question, nous nous sommes orientés vers une étude sur les analyses physico-chimiques du matériel végétal afin de déterminer composition chimique de l'Orge.

**Partie**

**Bibliographique**



# Chapitre 1

## **Généralité sur**

## **l'orge**

## **1 L'Orge**

L'Orge (*Hordeum vulgare*) est une céréale annuelle des zones tempérées à croissance rapide qui peut être utilisée comme fourrage ou comme engrais vert pour améliorer la quantité des sols.

C'est la première céréale domestiquée par l'homme dans la région du croissant fertile (Syrie, Irak, Turquie) pour sa tolérance relative aux sels, l'Orge a été la culture irriguée dominante au sud de cette région du monde. (**Hamadache, 2016**) comme elle pourrait être utilisée, principalement, pour l'alimentation du bétail (**Ben Mbarek et Mohsen, 2017**).

L'Orge est aussi une culture qui s'adapte bien à des environnements différents, elle est cultivée à partir de 330 m en dessous du niveau de la mer à proximité de la mer morte et à 4200 m sur les Andes Boliviennes (**Hamadache, 2016**).

## **2 La production mondiale de l'orge**

L'orge constitue la quatrième céréale cultivée au niveau mondial après le maïs, le blé et le riz (**FAO-STAT, 2006**). Les principaux pays producteurs sont les Etats-Unis, la Fédération de Russie, et le Canada. Le rendement moyen en orge dans le monde est de 3,1081 t/ha (Faosta,2019).

Pour la campagne 2010-2011, la production mondiale d'orge est estimée à 124,3 millions de tonnes, L'Union européenne est de loin le principal producteur d'orge, avec près de 53 millions de tonnes ou 43% du total. Cette production est en recul par rapport aux campagnes précédentes ; cette diminution est due en partie à la réduction de la superficie emblavée (-10%), mais aussi à une baisse de rendement due aux aléas climatiques dans certaines régions, notamment en Russie et en Ukraine (**Burny, 2011**). Les plus gros exportateurs d'orge sont l'Union européenne, l'Australie et le Canada. Les importateurs les plus importants sont l'Arabie saoudite, la Chine et le Japon (**Akal et al., 2004**). Les principaux pays producteurs de l'orge sont regroupés dans le (**tableau 01**).

Elle occupe annuellement en moyenne une superficie de 56 millions des hectares, Les principaux pays producteurs de l'Orge sont la Russie, l'Allemagne, le Canada, l'Ukraine, la France, le Royaume-Uni, la Turquie, l'Espagne et les Etats Unis (**Cherif Hosni, 2010**).

Tableau 1. La production mondiale d'orge de 2005 à 2010 (FAO, 2010)

Pays	2005- 2006(Mt)	2006-2007 (Mt)	2007-2008 (Mt)	2008-2009 (Mt)	2009-2010 (Mt)
<b>Australie</b>	9.5	4.3	7.2	7.0	7.8
<b>Canada</b>	11.7	9.6	11.0	11.8	9.2
<b>USA</b>	54.8	56.2	57.5	65.6	61.5
<b>Russie</b>	15.8	18.1	15.7	23.1	18.0
<b>Turquie</b>	7,6	7.5	6.0	5.6	6.0
<b>Ukraine</b>	9.0	11.4	6.0	12.6	12.0
<b>Autre</b>	27.0	29.4	29.6	28.2	32.8
<b>Monde</b>	<b>136,6</b>	<b>136.5</b>	<b>133.0</b>	<b>153.9</b>	<b>147.3</b>

Les principaux exportateurs du grain d'Orge dans le monde sont l'Australie, l'Ukraine, l'Union européenne, le Canada et la Roussie ; alors que les principaux importateurs sont l'Arabie Saoudite, le Japon et la Chine. L'Australie contribue avec 30% de l'offre sur la marche mondiale du grain d'Orge.

### 3 Culture de l'orge en Algérie

#### 3.1 Superficie et production

En Algérie, 35% de la superficie céréalière est consacrée à la culture de l'orge qui est concentrée entre les isohyètes 250 et 450 mm (**Menad et al., 2011**). Confrontée à des contraintes d'ordre climatiques et techniques, la production algérienne d'orge est faible et surtout variable dans l'espace et le temps (**Bouzerzour et Benmahammed, 1993**).

Cette réduction de production est due à nombreux facteurs : l'abandon de la culture de l'orge par les agriculteurs au profit du blé, l'insuffisance et l'irrégularité de la pluviométrie, le faible potentiel des variétés cultivées et surtout les maladies parasitaires qui provoquent chaque année des pertes considérables du rendement.

Le suivi de l'évolution de la production met en évidence l'importance des fluctuations inter annuelles. Le rendement se caractérise par une grande variabilité allant de 7.5 qx /ha en 1998 à 15.6 qx /ha et 15.2 qx /ha en 2003 et en 2006 respectivement (**tableau 02**).

Cependant, ces dernières années, la production nationale de l'orge a progressivement augmentée car plusieurs programmes et projets ont été mis en place pour l'amélioration de la

production de l'orge, et le développement des variétés résistantes aux maladies. Depuis 2009, l'Algérie est devenue auto-suffisante en production d'orge.

L'Office National Interprofessionnel des Céréales (**OAIC**) a été autorisé par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural à exporter une partie de la production record d'orge de 2009. C'est la première fois, depuis 1970, que l'Algérie se positionne sur le marché international pour écouler sa production. En revanche, la récolte céréalière de 2010 a été affectée par une baisse importante de la production d'orge à cause d'une reconversion de certaines zones de cette céréale au profit du blé et du déficit pluviométrique dans plusieurs régions à forte production. (**Menad, 2008**) (**Tableau02**).

**Tableau 2. Evolution de la superficie et de la production de l'orge en Algérie (statistiques agricoles, série b, 1998-2006).**

<b>Année</b>	<b>Superficie</b>	<b>Production</b>	<b>Rendement (qts/ha)</b>
<b>1998</b>	939210	7000000	7.5
<b>1999</b>	468960	5100000	10.87
<b>2000</b>	215630	1632870	7.57
<b>2001</b>	515690	5746540	11.14
<b>2002</b>	894900	4161120	0.49
<b>2003</b>	833510	12219760	14.6
<b>2004</b>	102900	12116000	117.74
<b>2005</b>	1023414	10328190	10.09
<b>2006</b>	1117715	12358800	11,05

### 3.2 Principales variétés d'orge cultivées en Algérie

Selon **Boufenar et Zaghuan** (2006), les variétés Saïda, Rihane 183 et Tichedrette sont largement distribuées en Algérie. Le recours aux autres variétés est lié à leur zone de prédilection. Certaines variétés existent mais sont peu demandées comme celles de Jaidor (Dahbia), Barberousse (Hamra), Ascad 176, (Nailia), El-Fouara. Le choix de la variété à utiliser dépend de ses caractéristiques agronomiques et de la zone de culture. Les principales variétés cultivées en Algérie sont regroupées dans le (**tableau 03**).

Tableau 3. Variétés d'orge cultivées en Algérie (BOUFENAR ET ZAGHOUANE, 2006).

Variétés	Variétés Caractéristiques
<b>Jaidor (dahbia)</b>	A paille courte, fort tallage, bonne productivité, tolérante aux maladies et à la verse, sensible au gel.
<b>Rihane 03</b>	A paille courte, précoce, fort tallage, bonne productivité, à double Exploitation
<b>Ascad68(Remada)</b>	Précoce, à fort tallage et bonne productivité, tolérante aux rouilles et à la verse, adaptée aux zones des plaines intérieures.
<b>Ascad 60 (Bahria)</b>	A paille courte et creuse, précoce, fort tallage, bonne productivité, Sensible à la jaunisse nanisant et résistante à la verse.
<b>Ascad176 (Nailia)</b>	Variété précoce, résistante à la verse et tolérante à la sécheresse, Sensible aux maladies (rouille brune, oïdium helminthosporiose, rhynchosporiose).
<b>Saida 183</b>	Variété locale, semi-tardive, à paille moyenne et creuse, tallage Moyen, bonne productivité, sensible aux maladies.
<b>Tichedrette</b>	Variété locale, à paille moyenne, précoce, tallage moyen, bonne Productivité et rustique.
<b>El-Fouara</b>	A paille courte ou moyenne, fort tallage, bonne productivité, tolérante Au froid, à la sécheresse et à la verse, adaptée aux Hauts-plateaux.

## 4 Exigences écologique

### 4.1 Climat

L'Orge (*Hordeum vulgare L.*) est une céréale rustique qui peut produire du grain et de biomasse même en présences de l'Orge-grain en Algérie entre cette aptitude est liée à sa précocité et à son puissant système racinaire.

Elle exige une photopériode, de douze à treize heures, pour montrer et la durée qui s'écoule entre la levée et l'épiaison s'abrège lorsque la durée du jour augmente.

L'Orge est sous les mêmes conditions de culture, plus précoce que le blé. Elle tolère plus le froid et peut donc pousser en zones d'altitude (>1000 mètres). Elle craint par contre les milieux humides et chauds (Menad A, 2008).

## **4.2 Pluviométrie**

L'Orge consomme souvent moins d'eau par gramme de matière sèche produit que les autres céréales mais la relation entre le rendement en grain de l'Orge et la consommation d'eau n'est pas linéaire (**Soltner, 2007**).

Le rendement augmente d'eau consommée jusqu'à 350 mm, puis le rendement chute par excès d'eau (**Hakim, 1993**).

## **4.3 Rayonnement**

La croissance de la plante d'orge est en général favorisée par le rayonnement solaire. En effet, une forte énergie lumineuse ou le rayonnement améliore la photosynthèse alors que les basses températures ralentissent le développement de la plante et allonge par conséquent chacune des phases du cycle évolutif de la plante (**Simon et al, 1989**).

## **4.4 La température**

La germination de la semence d'Orge dépend surtout de la température. La température optimale pour la germination est entre 12°C et 25°C mais elle peut avoir lieu entre 4 et 37°C en présence d'humidité dans le sol (**Simon et al, 1989**).

La vitesse de germination dépend de la somme des températures. Ainsi, si la température moyenne, après le semis, est de 7°C, la semence germe après 5 jours (en présence d'humidité dans le sol alors qu'elle nécessite 3,5 jours si la température moyenne est de 10°C (**Hamadache, 2016**).

## **5 Cycle de développement**

L'identification des phases de développement de la plante, peut servir de repère pour programmer les interventions techniques sur la culture.

Le cycle de développement des céréales est subdivisé en trois grandes phases, où chaque phase est divisée en un nombre de stades (**Gillet, 1980**).

### **❖ La première phase**

C'est la période végétative qui correspond aux stades levée 3 à 4 feuilles ; tallage et montaison, et d'après **Soltner, 2007**, elle s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi.

- ✓ Phase de la germination et de levée.
- ✓ Phase levée au tallage.

- ✓ Phase tallage-début montaison.

#### ❖ **La deuxième phase**

C'est la période de reproduction qui correspond aux stades gonflement, épiaison et floraison.

- ✓ Phase de formation des épillets (phase A-B de Jonard)
- ✓ Phase de spécialisation florale (phase B-C-D de Jonard)
- ✓ Phase épiaison et fécondation (phase E-F de Jonard)

#### ❖ **La troisième phase**

C'est la phase de formation et de maturation des grains qui correspond aux stades grain laiteux et grain mûr.

- ✓ Période de maturité (**Khaldoun, 1990**).

### **5.1 Conditions de la germination**

Dans les conditions naturelles, le grain ne doit pas germer rapidement. En effet, le processus de la germination se déclenche à des moments bien précis favorables à la croissance et au développement de ce grain. De nombreux paramètres internes et externes sont indispensables pour la bonne germination du grain. La présence de l'eau, de la température et de la lumière redémarre les activités cellulaires et provoque de profondes transformations du grain. L'embryon commence à se développer en une racine, une tige et des feuilles et entame sa croissance pour donner l'adulte capable de se reproduire (**Laberche, 2010**).

#### **5.1.1 Conditions de germination externes ou liées au milieu**

Pour germer, tous grains et graines ont besoin en plus d'eau, d'oxygène, de chaleur et éventuellement de lumière. L'oxygène doit être à la pression ordinaire de l'atmosphère ; les grains ne germent ni dans le vide ni sous une pression très élevée. Cet oxygène se combine avec les glucides et les lipides que renferme le grain lors des processus de respiration. Sous l'influence de l'humidité, le grain gonfle, les enveloppes éclatent et se ramollissent. La température nécessaire à la germination est variable suivant le grain. L'orge (*Hordeum vulgare* L. Poaceae) germe entre 5 et 37,7°C, sa température optimale est de 28,7°C. Le maïs (*Zea mays* L. Poaceae) germe entre 9,5 et 46,2°C, sa température optimale est de 33,7°C. Il existe des grains, notamment ceux des plantes dites pyrophytes, qui vivent dans des milieux

sujets aux fréquents incendies, survivent très bien au passage du feu. Chez certaines espèces mêmes, le feu ou une chaleur intense est nécessaire à la germination.

La chaleur, en effet dégrade les composés phénoliques et les résines présents dans les téguments de la graine et qui inhibent la germination en temps normal. Ces substances étant dégradées, l'enveloppe de la graine devient alors perméable à l'air et à l'eau. La dormance est levée et le grain peut alors commencer à germer. Par contre, un grain qui a commencé son processus de germination est beaucoup plus vulnérable à la chaleur qu'un grain en dormance. Exposer un grain germé à une température de cet ordre a un effet létal. La lumière est aussi un facteur externe de la germination.

Cependant, dans le passé, la lumière n'était pas considérée comme facteur nécessaire à la germination. Mais, chez certaines espèces, une nette action positive de la lumière agit sur la germination. Il est aussi bien connu que certains grains ne doivent pas être recouverts. Ils germent en surface, exposés à l'alternance jour et nuit. Inversement chez d'autres espèces, la germination est meilleure en obscurité totale. La lumière joue un rôle prépondérant dans la germination des grains qui possèdent, au même titre que les feuilles, des récepteurs photosensibles (phytochromes) (**Laberche, 2010**).

### **5.1.2 Conditions de germination internes**

La maturité est la première de ces conditions. Les grains mûrs conservent d'autant plus longtemps leur faculté germinative qu'ils sont plus riches en amidon. S'ils sont chargés de matières grasses et d'essence, ils rancissent et se détériorent à la longue. Mais d'autres facteurs internes peuvent intervenir. On cite particulièrement :

#### **5.1.2.1 Le contrôle de la germination par les régulateurs de croissance :**

L'acide abscissique est la principale substance responsable de la non-levée des semis. Elle s'accumule dans le grain lors de sa maturation et l'empêche de germer. Son taux décroît ensuite lentement lors du stockage de la graine et tant qu'elle est présente en quantité suffisante, cette substance joue parfaitement son rôle de retardant de la germination. Son action est contrecarrée par une autre classe de régulateurs de croissance, les gibbérellines.

Chez certaines espèces végétales, elles sont sans effet et ce sont d'autres régulateurs, telles que les auxines ou les cytokinines, qui contrebalancent l'effet inhibiteurs de l'acide abscissique (**Laberche, 2010**).



### 5.1.2.2 L'inhibition mécanique :

Le tégument du grain constitue une barrière mécanique qui empêche l'embryon de se développer. Pour qu'il se délite, plusieurs solutions sont possibles, généralement, la durée passée dans des conditions un peu humides (pour qu'il ait lieu une digestion lente par les enzymes sécrétées par le grain lui-même). Mais d'autres moyens plus brutaux peuvent être nécessaires comme par exemple le gel ou le feu, à moins que ce ne soit le transit des graines dans le système digestif des oiseaux, comme, par exemple, pour le gui (*Viscum album* L. Loranthaceae) (Laberche, 2010).

### 5.1.2.3 L'inhibition tégumentaire :

Des dérivés phénoliques aux propriétés antimicrobiennes stockés dans les téguments des grains jouent également le rôle d'inhibiteur des processus germinatifs (Laberche, 2010) ; c'est l'inhibition tégumentaire. Ces dérivés peuvent soit avoir une action spécifique en bloquant la mobilisation des réserves, soit empêcher l'eau de mouiller le grain du fait de leur caractère hydrophobe. Généralement, ils s'oxydent lentement avec le temps. Dans la nature, ces composés inhibiteurs sont évacués du grain par lessivage lors des précipitations. Ainsi, la germination d'un grain est contrôlée par de nombreux facteurs (Figure 01).

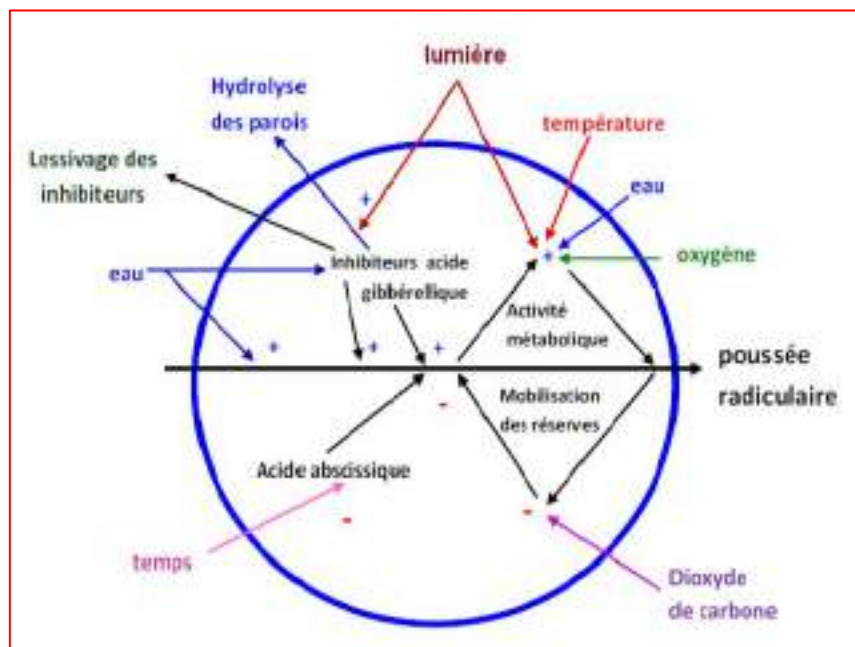


Fig 1. Les facteurs internes et externes qui agissent sur la germination

# CHAPITRE 11

*La culture*

*hydroponique*

## **1 Définition de la culture hydroponique « culture hors sol ».**

On définit la culture hydroponique comme la culture « hors sol ». Culture de plantes terrestres réalisée à l'aide de substances nutritives, sans le support d'un sol. Le mot « hydroponique » vient du grec « hydro », qui signifie « eau », et « ponos », qui signifie « Travail ou l'effort » (**Texier, 2014**).

Pour l'hydroponie, les racines des plantes sont en contact avec un milieu liquide, la solution nutritive. Si cette dernière est non circulante, on parle d'aquiculture, Cette technique consiste à nourrir les racines des plantes qui se trouvent dans du substrat (laine de roche, par exemple) ou bien dans une solution nutritive (**Vu, 2008**).

Ceci est la croissance d'une plante sans sol. On l'appelle aussi grain / fourrage germé (**Dung DD, Godwin IR, Nolan JV, 2010**).

Il a besoin d'une courte période pour grandir et se développer en serre dans un environnement contrôlé (**Sneath R, McIntosh F, 2003**).

La serre est un support pour la croissance des plantes avec des conditions environnementales au moins partiellement contrôlées. Cependant, à des fins opérationnelles, la structure / le support devrait être suffisamment grand (**Chandra P, Gupta MJ, 2003**).

Le développement du fourrage hydroponique se fait sans terre mais avec de l'eau. En serre, il est possible d'utiliser des solutions riches en nutriments pendant une courte durée. Cependant, cette solution nutritive n'est pas indispensable et seule l'eau du robinet peut être utilisée. Le fourrage ressemble à un tapis avec probablement une hauteur de 20-30 cm composée de racines, de graines et de plantes. Il est indiqué comme très agréable au goût, digestible et nutritif pour les animaux. La production de lait augmente de 8 à 13% avec l'utilisation de fourrage hydroponique.

Il s'agit de la meilleure technologie alternative à utiliser pour les animaux laitiers utilisant des matériaux peu coûteux dans les endroits où la production conventionnelle de fourrage vert est limitée (**Prafulla KN, Bijaya K, Swain NP, Singh, 2015**).

La méthode hydroponique est un système simple, économique et efficace qui nous permet de disposer de culture quotidienne de ces céréales qui est entamé avec la légumineuse ou la semence non traiter **ITELV, 2015**, avec un temps de repos minimal depuis sa récolte de 3 mois, et en tenant compte au mieux de la qualité de la meilleure sera la qualité (**ITGC, 2015**).

## **2 Historique**

La culture de plantes sur l'eau était pratiquée à l'époque des Aztèques et était utilisée pour les jardins suspendus de Babylone. C'est en 1860 que deux chercheurs allemands ont réussi à faire pousser des plantes sur un milieu composé uniquement d'eau et de sels minéraux. Cette découverte a permis de mieux connaître la physiologie de la nutrition et le rôle des éléments minéraux.

La technique du hors sol a été introduite en Europe dans les années 70. La culture hors sol s'est, en effet, développée d'abord dans le nord, en Hollande, pays où elle occupe les plus grandes surfaces, ensuite en Belgique, en Espagne, en France, en Italie et en Grèce (**Essdaoui, 2013**).

Économie d'eau et substrat disponible en grande qualité, diverses expérimentations ont été réalisées afin de se familiariser avec cette nouvelle technique de production et de mieux cerner les problèmes rencontrés en vue de son application dans les régions présentant des défauts de production.

La variété des grains, la qualité, les traitements tels que l'apport en nutriments, le pH, la qualité de l'eau, la durée de trempage, etc. sont des facteurs déterminants pour la quantité de fourrage germé et de qualité (**Sneath et Mc Intosh, 2003**).

## **3 Production hors sol de fourrage**

### **3.1 La germination, la base de toute production**

Le processus de germination, dans la conception courante, est le passage de la graine au repos à la jeune plantule. Du point de vue de la physiologie végétale, la germination stricto sensu débute avec la réhydratation de la graine et cesse dès que la racine (1<sup>er</sup> racine) a percé l'enveloppe de la graine. Les étapes ultérieures d'émergence des feuilles, sont des étapes de croissance.

La germination se fait sous l'influence de trois facteurs essentiels : l'eau, la chaleur et l'oxygène. La première étape de la germination est l'absorption d'eau et la réhydratation des tissus de la graine par le processus d'imbibition (**ALAIN V, 2003**). L'eau, pénétrant par capillarité et endosmose dans la graine, dissout les substances solubles qu'elle contient et qui nourrissent l'embryon de la future plante. La germination génère une transformation physicochimique s'accompagnant de phénomènes physiologiques très complexes, en

particulier la synthèse d'enzymes, qui activent les réactions métaboliques et confèrent aux graines germées ses propriétés nutritionnelles. Les enzymes transforment l'amidon en sucres simples, assimilables, permettent la synthèse de nombreuses vitamines (A, B, C), transforment les protéines en acides aminés, permettent la synthèse d'acides aminés non présents dans la graine à l'état sec, transforment les graisses et acides gras, libèrent des minéraux en substances assimilables accessibles aux sucs digestifs.

**Tableau 4. Temps de germination Selon l'espèce (ALAIN V, 2003)**

<b>Espèce</b>	<b>Germination (<i>trempage inclus</i>)</b>
<b>Avoine</b>	36 à 48 h
<b>Blé</b>	36 à 48 h
<b>Maïs</b>	4 à 6 jours
<b>Orge</b>	36 à 48 h
<b>Riz</b>	5 à 7 jours
<b>Seigle</b>	36 à 48 h
<b>Luzerne</b>	4 jours
<b>Soja</b>	1 à 3 jours
<b>Trèfle</b>	48 h
<b>Tournesol</b>	3 jours

La graine augmente de volume, se ramollit. La rupture des enveloppes se produit et la radicule émerge. Tant que la radicule ne s'est pas allongée, la semence peut être déshydratée sans dommage. Mais si la croissance a commencé, la déshydratation entraîne sa mort ; le début de la croissance de la radicule marque donc le passage d'un état réversible à un état irréversible. L'émergence de la radicule est suivie de l'allongement de l'axe caulinaire et le développement des premières feuilles.

Ce processus est plus ou moins long, selon l'espèce. Chez l'orge, une fois la graine réhydratée, les racines apparaissent en 24 heures. Au bout de 2-3 jours, les premières feuilles émergent. Au 4ème jour, le développement racinaire permet l'assimilation minérale. Au 5ème jour, la photosynthèse est activée. (Buard, M., 2011)

### 3.2 Systèmes de production utilisés

Le processus de production du FVH se décompose en deux étapes. Une première phase de « pré germination », durant laquelle les graines sont réhydratées, va permettre de déclencher la germination (sortie de la radicule). Une seconde phase de « germination », durant laquelle les graines, déjà germées, sont mises en culture sur un support neutre, jusqu'à l'apparition des premières feuilles.

Il résulte de ce processus basique, une grande variété de systèmes de production de fourrage en hors-sol. La production peut être réalisée sur des bâches au sol, dans des bassines, ou sur des plateaux étagés. Ces bancs de cultures peuvent être positionnés en extérieur, sous ombrière, sous un bâtiment ouvert ou une serre, dans un conteneur ou en bâtiment fermé. L'ambiance (température, humidité, luminosité) est naturelle, en extérieur, ou elle est partiellement ou totalement contrôlée pour les systèmes clos (serre, conteneurs, bâtiments). L'itinéraire technique (semis, irrigation, apport de nutriments, récolte) peut être entièrement manuel ou partiellement automatisé.

Pour de petites productions, il est possible de construire sa propre unité de production. Les systèmes commerciaux développés ces dernières années, tendent vers des enceintes fermées (chambres, conteneurs, bâtiments) où les conditions d'ambiance et d'irrigation sont entièrement contrôlées et automatisées. Cela permet d'optimiser les conditions de germination et de pousse, en s'affranchissant des aléas climatiques, tout en améliorant l'entretien et la gestion du système. Il existe un grand nombre d'entreprises qui commercialisent ce type d'équipement à travers le monde (Foddertech, Fodder Factory, Green Feed, Fodder Solution, Premium Fodder, Eleusis, Greenergrass). (Maëva. M et al., 2015)

### 3.3 Espèces cultivées

Les principales espèces utilisées sont l'avoine, le maïs, l'orge, le blé et le riz (Fuentes et al, 2011). D'autres céréales sont utilisées, telle que le millet, le raygrass, le sorgho, ou le sarrasin. On utilise également des légumineuses (luzerne, pois, lupin ou niébé) ; Al-Karaki *et al*, 2011), et des associations d'espèces (seigle-avoine-pois ; orge-haricot ; blé-vesces) mais leur usage est peu documenté.

L'espèce et la qualité des semences vont avoir un effet primordial sur le rendement et la qualité du fourrage produit. Les premiers critères de sélection sont une germination rapide, en 48 heures (**tableau 4**) et un fort taux de germination (> 95 %) (Alaoui S.B, 2003), un

rendement et une valeur alimentaire supérieure à la graine et à la culture en plein champ, une disponibilité locale des semences et/ou un prix acceptable.

### 3.4 Les différentes phases de la culture hydroponique

#### 3.4.1 Traitement préalable des semences :

Les graines doivent avoir été stockées dans un endroit sec, propre et aéré. Afin de préserver les semences d'un début de germination, du développement de moisissures ou de l'attaque d'insectes (charançons, mites ...), il est conseillé de les stocker dans un lieu avec une hygrométrie de 10 à 15 %, à une température de 1 à 15 °C. Les principaux facteurs de stockage qui vont affecter la viabilité de la graine et sa germination, sont la moisissure des graines, l'humidité, la température et la concentration en gaz du lieu de stockage (**Al-Karaki et al, 2011**). Il est primordial d'avoir des semences non traitées, saines, débarrassées des graines cassées ou infectées (**Alaoui S.B, 2003**), afin d'éviter la fermentation, le pourrissement des grains et le développement de moisissures.

Il est préférable d'utiliser des semences ayant bénéficié d'un repos de quelques mois après la récolte (2 mois minimum), afin de réduire le phénomène de dormance. Dans un premier temps, les graines sont nettoyées (tri des graines cassées, piquées, abimées ou infectées). Elles sont abondamment lavées à l'eau courante, jusqu'à ce que l'eau de lavage soit transparente. Certains préconisent un bain désinfectant de 10 à 30 minutes, dans une solution d'hypochlorure de sodium à 20%, de chlore à 0,5% ou d'eau oxygénée à 10 %. Il est préconisé de ne pas dépasser une heure de bain, car cela altère les semences et pénalise le taux de germination et la croissance (**Morgan et al, 1994**).

**Tableau 5. Durée de trempage selon l'espèce (Morgan et al, 1994)**

Espèce	Trempage (heure)
Avoine	4 à 5
Blé	4 à 5
Luzerne	3 à 4
Maïs	8 à 12
Orge	8 à 12
Pois	6 à 8

Riz	6 à 8
Seigle	5 à 6
Trèfle	4 à 5

### 3.4.2 Phase de « pré germination », ou de déclenchement de la germination :

La phase de « pré germination » se décompose en deux étapes : une phase d'hydratation des graines et une phase d'aération. Pendant la phase d'hydratation, les semences sont mises à tremper dans de l'eau, jusqu'à saturation en eau de la graine, afin de lever la dormance et déclencher la germination (Flores *et al*, 2004). Il est conseillé d'apporter 0,8 à 1 litre d'eau par kilo de semences. La durée de trempage est propre à chaque espèce (tableau 5). Elle va affecter directement le rendement en FVH, la composition en nutriments et la perte de matière sèche durant la germination. Il est recommandé de laisser tremper les petites graines (lin, luzerne, sésame) de 1 à 5 heures, et de 8 à 12 heures pour les autres.

Le Haricot Mongot (*Vigna radiata*L.) a besoin de 16 heures de trempage. Flores *et al* signalent que pour le maïs, un temps de pré trempage n'augmente pas le taux de germination par rapport à des graines mises à germer directement. Morgan *et al*, (1994) recommandent de ne pas dépasser 12 heures d'hydratation. Pour un temps de trempage de 24 heures, il est conseillé de laisser sécher les graines à l'air libre pendant une heure, après les 12 premières heures de trempage. La température de l'eau va influencer le temps de trempage nécessaire et la rapidité de germination.

L'utilisation d'eau tiède va permettre de réduire le temps de trempage. De même, l'utilisation d'une eau tiède (23 °C) va favoriser une germination plus importante après 72 heures. Un brassage prolongé au moment du trempage favorise une réhydratation uniforme des graines. Il est conseillé de renouveler l'air, en remuant régulièrement ou en installant une pompe à air dans le bac, pendant toute la durée de trempage. S'il apparaît des bulles ou de la mousse blanche en surface, c'est le signe d'un début de fermentation. Il faut vider le bac et laisser s'aérer les semences. En fin de trempage, on enlève les graines flottantes, qui sont défectueuses et ne germeront pas.

L'eau de trempage est retirée et les graines sont rincées abondamment à l'eau claire. Ce rinçage est très important car il permet d'éliminer les substances qui maintenaient la dormance des graines qui peuvent être néfastes pour la santé. On laisse les graines s'égoutter



entre 12 et 24h avant le semis. C'est pendant cette phase que les racinelles vont émerger, pour les espèces les plus rapides (orges, lentilles ...).

**Tableau 6. Densité de semis selon l'espèce (Garcia-Carillo et al, 2013)**

<b>Espèce</b>	<b>Densité de semis (kg.m<sup>-2</sup>)</b>
<b>Avoine</b>	2 - 4
<b>Blé</b>	2,5 - 5
<b>Luzerne</b>	1,8
<b>Maïs</b>	2,5 – 3,5
<b>Niébé</b>	4
<b>Orge</b>	2,5 - 7
<b>Sorgho</b>	4
<b>Triticale</b>	3 - 4

### 3.4.3 Phase de « germination » ou de culture :

Les graines sont semées dans des plateaux, à une densité de semis de 2,2 à 7 kg.m<sup>-2</sup> (poids sec, avant trempage) (FAO, 2001). La densité de semis optimale est fonction de l'espèce, des caractéristiques de sa graine et du système d'irrigation utilisé (tableau 6). Afin de favoriser une bonne germination, et limiter le risque de fermentation et de moisissures, il est préférable que le tapis de graines ne dépasse pas 1,5 cm de hauteur (FAO, 2001). Dans le cas de l'orge, les racines apparaissent en 24 heures.

Les premières feuilles émergent au bout de 3-4 jours. Au 4<sup>ème</sup> jour, le développement racinaire permet l'assimilation minérale. Au 5<sup>ème</sup> jour, la photosynthèse est activée. Selon les systèmes de production, il y a un apport de fertilisants et l'éclairage est plus ou moins contrôlé. L'hygiène est un point essentiel de la production afin d'éviter les risques de moisissures (désinfection du matériel et des semences, contrôle des cultures).

### 3.4.4 Récolte :

La durée du cycle de production varie selon l'espèce, la variété, les facteurs de culture qui vont jouer sur le cycle de germination (eau, température, ...), ainsi que les objectifs de production (quantité, qualité) (tableau 4). Il est possible de récolter après seulement 48 heures de germination. On parle alors de production de graines germées. La récolte peut s'effectuer entre 5 et 15 jours après le semis.

A partir du 5<sup>e</sup> jour, on peut avoir une récolte précoce. La période optimale de récolte se situerait entre 7 et 10 jours après semis (**Dorsal, 1987**) : la vitesse de croissance du fourrage est homogène et vigoureuse, on a un fourrage de 20 à 25 cm de hauteur avec une bonne valeur alimentaire. Au-delà de dix jours, il est observé une diminution du taux de protéines, ainsi qu'une diminution du rendement en MS, et le fourrage perd son principal atout qualitatif. Aux 10<sup>ème</sup>– 12<sup>ème</sup> jours, en système non fertilisé, les plantules commencent à montrer des signes de dénutrition.

Les plateaux moisissés (noir ou bleu) ou présentant un début de fermentation (odeur de foin fermenté) ou d'oxydation (racines brunâtres) doivent être écartés pour éliminer tout risque de contamination. Le tapis végétal, composé de jeunes plantules et de leurs racines, est récolté tel quel et donné aux animaux, de préférence une à deux heures après la récolte, afin de conserver ces propriétés en vitamines. Il est possible de le conserver 1 à 7 jours en chambre froide (**Lorenz, 1980**).

### 3.5 Potentiel de production

Pour un kilo de semences mises à germer sur une période de 7 à 10 jours, on obtient de 5 à 12 kilos de fourrage frais. Le rendement va fortement dépendre de l'espèce, de la variété, des conditions de pré trempage, de la dose de semis, des conditions de culture (température, humidité, éclairage, irrigation, fertilisation) et du taux de matière sèche final. (**Al-Karaki et al, 2011**).

Tableau 7. Valeurs de rendements en culture hydroponique (Garcia-Carillo et al, 2013)

Espèce	Stade récolte (jour)	Rendement vert (kg /m <sup>2</sup> /coupe)	Rendement MS (kg /m <sup>2</sup> /coupe)	Matière sèche (%)
Avoine	7-20	16,9 (12-19)	3,5 (2,3-5,9)	26,4 (17-37)
Blé	8-12	13,1	2,29	17,5
Luzerne	8	19,4	1,6	8,2
Maïs	9-14	14,4 (6-21)	2,8 (1-4,6)	18,4 (14-22)
Sorgho	8	14,5	2,7	19
Orge	8-10	25,8 (20-32)	3,6 (2,5-5,4)	15,54 (8-19)

### 3.6 Conditions de culture :

Différents facteurs vont influencer la germination et le développement des germes. Les principaux éléments qui vont affecter la pousse sont l'apport d'eau, la température, la

composition en gaz de l'air, la lumière et l'absence de facteur d'inhibition de la germination (Lorens, 1980).

### 3.6.1 La température

Il est essentiel de maintenir une **température** optimale, pour obtenir sur une courte période, un taux de germination élevé et des plantules vigoureuses. La gamme de température optimale va dépendre de l'espèce (**tableau 8**), de la variété, de l'origine de la graine et de son âge. La plupart des céréales vont germer entre 3 et 40 °C. La température optimale, pour une germination maximale et au meilleur taux, est située entre 20 et 30 °C (**Lorenz, 1980**). Cet optimum va varier selon l'espèce et son caractère tempéré ou tropical. Le maïs et le riz requièrent une température de 35 °C pour un optimum de germination.

### 3.6.2 L'humidité

L'humidité de l'air doit être comprise entre 60 et 70 % pour permettre la germination et favoriser le développement des pousses. Le renouvellement et le brassage de l'air est essentiel pour maîtriser le taux d'humidité et maintenir le taux de CO<sub>2</sub> dans l'air. Un air confiné va favoriser le développement de moisissures. L'unité de culture doit avoir un volume suffisant, avec un renouvellement convenable de l'air, au moins deux fois par jour (**Rodet, 1997**). Celui-ci permet le renouvellement en oxygène et dioxyde de carbone, qui sont essentiels aux processus de respiration et de photosynthèse de la plante.

La germination est affectée par la composition de l'air ambiant. La majorité des graines germent dans une atmosphère à 20 % d'oxygène et 0,03 % de dioxyde de carbone, soit le niveau normal de l'air (**Romero Valdez et al, 2009**). En pratique, cela demande un équipement spécifique qui génère un surcoût de production, pour un bénéfice qui n'est pas évalué à ce jour.

**Tableau 8. Température optimale de germination par espèce (Romero Valdez et al, 2009)**

Espèce	Min	Optimum	Max
Avoine	6	15-24	30
Blé	3-5	20-27	30-43
Maïs	8-10	32-35	40-44
Orge	3-5	19-27	30-40
Pois	4-7	13-21	24-30

<b>Riz</b>	10-12	30-37	40-42
<b>Seigle</b>	-25	10-15	25-31

### 3.6.3 L'éclairage :

Les semences vont germer de manière équivalente en condition éclairée ou non. Cependant, les jeunes pousses nécessitent de la lumière pour activer leur photosynthèse, et stimuler leur développement. Il est conseillé de laisser les graines dans le noir les 48 premières heures, afin de déclencher la germination. La photosynthèse étant active à partir du 5e jour (**Morgan et al, 1994**), un éclairage à ce stade stimule la photosynthèse. Celle-ci va permettre le verdissement des plantules, la synthèse de chlorophylle (**Sneath and McIntosh, 2003**), de vitamines (bêta-carotènes ; et de matière organique. Cela permet de ralentir légèrement la perte de matière sèche liée au processus de germination, et donc d'améliorer le rendement de la culture. La culture peut être conduite sans éclairage. Cela se traduit par une augmentation significative de la matière fraîche, liée au phénomène d'élongation, mais cela ne s'accompagne pas d'une augmentation de la matière sèche et de la teneur en cendres.

L'éclairage devient nécessaire à partir du 8e jour, pour l'orge, faute de quoi, la plantule s'étiole. Il faut deux jours d'éclairage pour verdir le FVH (**Morgan et al, 1994**). Les besoins en lumière (intensité, période) des cultures hydroponiques ont été peu étudiés et sont certainement variables selon les espèces.

L'intensité lumineuse requise serait de 2000 – 2500 lux. La durée d'éclairage journalière serait de 10 à 16 heures (**Romero Valdez et al, 2009**). Le type de lampe utilisé et sa puissance vont influencer la pousse. Ainsi, **Leontovich et Bobro (2007)** obtiennent de meilleurs rendements (+ 29%) avec un éclairage par lumière fluorescente à flash de 8 W/m<sup>2</sup>, ainsi qu'une teneur en vitamines totales plus élevées (carotène, B1, B2, B5), comparativement à des lampes fluorescentes de 16 et 32 W/m<sup>2</sup>.

### 3.6.4 L'irrigation :

L'irrigation est un point clé du cycle de production. Le pH et la qualité de l'eau, ainsi que la gestion des apports sont parmi les principaux facteurs de rendement. La qualité de l'eau est importante pour une bonne germination. On peut utiliser de l'eau de puits, de pluie, ou du robinet. Celle-ci doit être potable et il ne doit pas y avoir de matière en suspension ou de matière organique, afin de limiter les risques sanitaires. Il est préconisé d'utiliser de l'eau

filtrée. L'eau utilisée doit être à température ambiante (17 à 20 °C). Le pH doit être compris entre 5,2 et 7 (FAO, 2001).

La salinité de l'eau doit être comprise entre 1,5-2,0 mS/cm. **Al-Karaki et al (2011)** ont mis en évidence qu'en hydroponique, l'orge tolérait une salinité de l'eau d'irrigation jusqu'à 6 dS/m, sans impact sur son taux de germination et son rendement. Différents systèmes d'irrigation peuvent être utilisés : pulvérisation manuelle, micro aspersion, brumisation, gravitation, inondation. Cette dernière n'est pas recommandée, car elle peut générer un excès d'eau qui peut provoquer de l'asphyxie racinaire, le développement de moisissures et du pourrissement. Celle-ci ne doit pas excéder 20 minutes.

Les besoins en eau sont de 1,5 à 4 litres par kilo d'herbe fraîche produit (**Al-Karaki et Al-Momani, 2011**). Les besoins diffèrent selon l'espèce et la variété et ils évoluent avec l'âge des pousses. Les quatre premiers jours, on ne doit pas appliquer plus de 0,5 litre d'eau par mètre carré et par jour, jusqu'à atteindre une moyenne de 0,9 à 1,5 litres par d'eau par mètre carré et par jour (**FAO, 2001**). Le tapis de graines doit toujours rester humide, sans pour autant être noyé. Les apports d'eau sont journaliers et peuvent être effectués en 1 à 12 fois par jour selon le mode d'irrigation.

Pour les premiers jours de germination, il est préconisé de faire 1 à 3 irrigations par jour (**Chavan et al, 1989**). Un apport fractionné, de quelques minutes (2-3 min), en 6 à 12 fois par jour serait préférable, pour une bonne gestion de l'eau et maintenir le taux d'humidité du couvert, particulièrement pour des unités sous serre ou sans contrôle de la température et de l'humidité de l'air. Certaines études ont évalué de manière positive l'utilisation d'eaux usées retraitées (**Al-Karaki, 2011**), qui améliorent les rendements grâce à leurs apports de minéraux.

### 3.6.5 Fertilisation :

L'utilisation d'une solution nutritive n'est pas obligatoire. Les études divergent quant à l'intérêt de fertiliser ce type de culture. Certains essais ont mis en avant un effet sur le rendement et la composition du fourrage (**Dung et al, 2010, Morgan et al, 1994**), d'autres n'obtiennent pas d'effet significatif (**Al-Karaki, 2011**). La fertilisation augmenterait les rendements en matière sèches et la valeur nutritive du FVH (**FAO, 2001**).

A partir du 4e jour, le développement de la racine permet l'assimilation minérale. L'absorption de nitrates, à ce stade, faciliterait le métabolisme des réserves de glucides et de composés azotés (**Morgan et al, 1994**).

L'apport d'une solution nutritive réduirait la perte de matière sèche, en favorisant la photosynthèse (13,4 % contre 16,4 % ; **Dung et al, 2010**). Pour l'avoine, l'apport de 200 ppm d'azote dans l'eau d'irrigation permettrait les meilleurs résultats de production de biomasse (**Dosal, 1987**).

#### **4 Valeur nutritive du fourrage hydroponique**

La composition chimique du fourrage hydroponique cultivé à partir de différents grains a été rapportée par différentes recherches en diverses conditions.

Le grain contient généralement environ 85-87% de matière sèche et le fourrage hydroponique contient généralement entre 80 et 85% d'eau (**PAYET, 2015**).

Les résultats de la recherche montrent une grande diversité de gains ou de pertes de matière sèche, allant de 10% de perte à 15% de gain sur 8-10 cycles de germination (**Soltner, 2007**).

La germination de l'Orge entraîné une perte de MS d'environ 18 %. La perte de MS est probablement due à l'utilisation d'hydrates de carbone et d'énergie par les graines pour les activités métaboliques de la plante en croissance, sans remplacement adéquat par photosynthèse de la jeune plante. (**Abd Rahim et al, 2015**). Cette photosynthèse commence vers le cinquième jour, quand les chloroplastes sont activés (**Al-Karaki et Al Momani, 2011**).

Le trempage des graines conduit à l'activation des enzymes, solubilisation et digestion de l'amidon stocké dans l'endosperme en sucres simples. Ceci fournit un substrat pour la jeune plante en développement pour activités métaboliques. Ces substrats sont respirés pour produire de l'énergie, émettant du carbone dioxyde et eau. Cette perte de dioxyde de carbone entraîne une perte de matière sèche (**Emam, 2016**).

Les fourrages conventionnels sont moins nutritifs que les fourrages hydroponiques. Une déviation des nutriments se produit pendant la germination, ce qui augmente la teneur en protéines brutes, en extrait d'éther, en extrait sans azote, mais en diminue en fibre brute, en cendres totales (**Simon et al, 1989**).

Cependant, les gains de qualité nutritionnelle sont constamment constatés dans le fourrage hydroponique (**Soucy, 2016**).

# Chapitre III

## Résultats

zootechniques des

fourrages

hydroponiques

## 1 Alimentation du bétail

Le FVH est utilisé en élevage de petits et grands ruminants, de porcs, de volailles, de lapins et de chevaux. Il est également utilisé dans les ménageries et les zoos. Ce fourrage est donné tel quel aux animaux, associé au fourrage classique, et avec éventuellement une complémentation.

Il est apporté en plus du fourrage de base, pour pallier un manque de fourrage saisonnier, pour améliorer la digestibilité et la teneur en vitamines et minéraux de la ration, à des moments stratégiques du cycle de production (mise à la reproduction, mise bas, avant la mise à l'herbe) ou pour répondre à un manque de surface. Il existe peu de documentation sur les quantités de FVH à apporter quotidiennement au bétail.

Les distributeurs préconisent un apport journalier de 2-3 % du poids vif. Pour les bovins, l'apport varie de 8 à 20 kg de matière brute par jour, en fonction du type d'animal et de production (**tableau 9**). Les expérimentations sur le FVH en alimentation du bétail ont été faites en complémentation d'un affouragement classique, souvent pauvre ou de la pâture (**Rodriguez Muela *et al*, 2005**), ou en substitution partielle ou totale de l'aliment concentré.

## 2 Influence sur les performances du bétail

L'ajout de FVH à la ration, de par sa qualité fourragère et sa teneur en enzymes et vitamines, améliorerait la productivité des cheptels à travers une accélération du processus d'engraissement, une augmentation de la quantité et de la qualité du lait et une amélioration des performances reproductrices.

Les études réalisées sur les performances du bétail alimenté avec du FVH obtiennent des résultats contradictoires. Un certain nombre d'études n'ont pas obtenu d'avantages significatifs de l'ajout de ce fourrage dans la ration (**Fazaeli *et al*, 2011**), notamment quand il remplace une alimentation fortement nutritive à base de céréales (**Gillet, 1980**), alors que d'autres mettent en avant des effets bénéfiques de ce fourrage.



**Tableau 9. Rationnement du bétail à base de fourrage vert hydroponique**

<b>Animal</b>	<b>FVH (kg MB/jour)</b>
<b>Vache allaitante</b>	10-15
<b>Vache laitière</b>	15 à 20
<b>Bovin jeune</b>	3 à 8
<b>Ovin adulte</b>	1,5 à 3,5
<b>Ovin jeune</b>	0,5 à 2
<b>Chèvre laitière</b>	2,5
<b>Cheval</b>	10 à 20
<b>Lapin adulte</b>	0,2 à 0,3
<b>Lapin jeune</b>	0,05 à 0,1
<b>Oie</b>	0,3 à 0,6
<b>Canard</b>	0,2 à 0,3
<b>Poule pondeuse</b>	0,1 à 0,25
<b>Poulet de chair</b>	0,1 à 0,2

### **3 Performances économiques de la production hors sol de fourrage**

C'est un point qui est peu documenté et souvent partiel. Peu d'études sont allées jusqu'au calcul des coûts de production ou de ration.

Les distributeurs annoncent des **coûts de production** de l'ordre de 45 à 135 € la tonne de fourrage frais. Ces chiffres ne prennent pas en compte les coûts d'investissement, et rarement le temps de travail. Les rares études qui ont chiffrées le coût de production du FVH, obtiennent des coûts de 700 à 1 300 € la tonne de matière sèche (**Sneath & McIntosh, 2003**), soit un produit à 84 à 156 € la tonne de fourrage frais (à 12 % de MS).

Celles-ci prennent en compte les coûts d'investissement qui vont peser fortement sur le résultat (intérêts 14-19 %, Dépréciation 20-28 %). Or, ils sont difficiles à évaluer compte tenu de la diversité des systèmes existants (système simples « fait main », unités semi automatisées clés en main), de leur niveau de perfectionnement (retraitement de l'eau, alimentation solaire) et de la stratégie de l'éleveur (dimension de l'unité de production, part

d'auto-construction, temps de travail consenti, mise en commun du matériel par plusieurs éleveurs). Les deux principaux postes qui vont peser sur les coûts de production sont le temps de travail (20-32 %) et le coût des semences (27 %). Or ce sont deux postes qui ne sont pas forcément pris en compte par les exploitants (temps de travail rarement compté, coût des semences négligé quand elles sont produites à la ferme). Cela expliquerait, pour partie, le développement de la technique malgré des avis défavorables sur l'aspect économique.

La majorité des études qui se sont intéressées aux coûts de production, concluent que le FVH a un coût trop élevé, particulièrement pour des élevages à faible valeur ajoutée (production de viande, de lait. Ces coûts ont essentiellement été comparés aux coûts d'achat du grain et de l'aliment (**Sneath et McIntosh, 2003**) et en aucun cas aux coûts de production d'un fourrage classique. Toutes ces études ont calculé des coûts de production ramenés au kilo de matière sèche. Or sur le marché courant, les ventes de fourrages et d'aliments se font sur la base de la matière brute. La majorité de ces analyses n'ont pas fait de calcul à l'échelle de l'atelier. Or, si certaines études affirment que l'introduction de ce fourrage augmente le coût de la ration, d'autres prétendent qu'elle réduit les coûts de l'atelier en diminuant les apports d'aliments (**Rodriguez Muela et al, 2005**) et les coûts de frais vétérinaires.

La généralisation de ce type de calcul économique est délicate, car il est spécifique à chaque territoire, à son contexte socio-économique, aux systèmes d'élevages et aux objectifs des éleveurs. Il nécessite d'être réalisé localement, en effectuant plusieurs simulations, avec différentes hypothèses de départ (taille de module, type de système hydroponique, approvisionnement en graines, etc..).

**Partie**

**expérimentale**

## **1 L'objectif**

La culture hydroponique est une nouvelle technique en constante évolution, très présente au fourrage vert qui est l'aliment prioritaire pour les animaux d'élevage, particulièrement les ruminants.

Alors que nous assistons à l'innovation de l'agriculture, nous avons adopté cette technique au monde réel qui contribue dans l'un des défis auxquels les agriculteurs sont confrontés aujourd'hui, et qui consistent à obtenir le meilleur fourrage possible, en maintenant la régularité et la constance de l'approvisionnement au coût le plus bas possible et à résoudre certains problèmes agricoles liés à la variabilité du climat et à la présence des terres poreuses et salines. Tout cela sans compromettre la santé et le bien-être des animaux.

Dans ce contexte, notre étude expérimentale portera, en premier lieu, sur le suivi de l'évolution au cours de la germination de la production en matière sèche, de la composition chimique de l'orge en vert hydroponique issue de notre unité de production.

## **2 Matériels**

### **2.1 Le matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé dans le présent travail est constitué de la variété d'orge brassicole, de l'espèce (*Hordeum vulgare*), cette dernière a été donnée gracieusement par L'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales de Ouargla (OAIC).

### **2.2 Unité de germination :**

Notre étude a été réalisée au sein de laboratoire de bio-ressources sahariennes. Nous avons construit une unité (mini-chambre) de germination avec des matières isolantes, dont les dimensions : 75 cm de hauteur, 40 cm de largeur et 45 cm de longueur. (**Figure 02**).

Cette unité favorise un bon développement des pousses en créant un micro-climat favorable pour une bonne germination (humidité, température, aération et éclairage). L'humidité est assurée par thermoplongeur trempé dans un bain d'eau et l'éclairage par une lampe installée latéralement. Le système d'aération est statique assuré par des trous latéraux pour permettre le renouvellement de l'air et un meilleur contrôle de l'humidité relative. L'humidité et la température sont contrôlés par un hygromètre. L'irrigation a été faite manuellement par vaporisateur (**Figure 02**).

A l'intérieur de cette chambre, 2 trames sont installées en ligne comprenant chacune un plateau galvanisé de 0.18 m<sup>2</sup> pour chacun. Les plateaux sont installés sous une forme de bande légèrement inclinée, et se trouvent aussi perforés sur la largeur afin d'éviter la stagnation de l'eau d'arrosage.



**Fig 2. L'unité de germination et ses équipements**

### **3 Méthodes**

#### **3.1 Protocole de germination**

##### **3.1.1 Traitement préalable des semences de l'orge**

- Les graines ont été stockées dans un endroit sec, propre et aéré. Afin de préserver les semences d'un début de germination, du développement de moisissures ou de l'attaque d'insectes.
- Il est primordial d'avoir des semences non traitées, saines, débarrassées des graines cassées ou infectées, afin d'éviter la fermentation, le pourrissement des grains et le développement de moisissures.
- Dans un premier temps, les graines sont nettoyées (tri des graines cassées, piquées, abimées ou infectées).
- Mettre les semences dans une bassine et les laver abondamment avec de l'eau de robinet jusqu'à ce que l'eau de lavage soit transparente.
- Désinfection des semences : en les trempant pendant 30 min dans une solution d'eau de javel à 0,2% pour limiter le risque de contamination par les moisissures. On peut

aussi sauter cette étape et ajouter quelques gouttes d'eau de javel dans l'eau de trempage lors de l'étape de pré-germination.

### **3.1.2 Phase de pré-germination**

La phase de « pré-germination » se décompose en deux étapes : une phase d'hydratation des graines et une phase d'aération.

Pendant la phase d'hydratation, les semences sont mises à tremper dans de l'eau, jusqu'à saturation en eau de la graine, afin de lever la dormance et déclencher la germination. La température de l'eau va influencer le temps de trempage nécessaire et la rapidité de germination. L'utilisation de l'eau tiède va permettre de réduire le temps de trempage. De même, l'utilisation d'une eau tiède (23 °C) va favoriser une germination plus importante. Un brassage prolongé au moment du trempage favorise une réhydratation uniforme des graines.

Il est conseillé de renouveler l'air, en remuant régulièrement pendant toute la durée de trempage.

En fin de trempage, on enlève les graines flottantes, qui sont défectueuses et ne germeront pas. L'eau de trempage est retirée et les graines sont rincées soigneusement à l'eau claire. Ce rinçage est très important car il permet d'éliminer les substances qui maintenaient la dormance des graines, qui peuvent être néfastes pour la santé. On laisse les graines s'égoutter environ 12 heures avant le semis.

### **3.1.3 Phase de « germination » ou de culture**

- Avant de commencer cette étape, il faut d'abord nettoyer les plateaux de production et les laver avec une solution d'eau de javel à 0,2 ou 0,5% pour limiter les risques de contamination de la culture par les moisissures.
- Etalonner les graines au fond des bacs de façon à créer un tapis uniforme des graines en germination (**figure 03**).
- Afin d'accélérer la germination et limiter le risque de fermentation et de moisissures, il est préférable que le tapis de graines ne dépasse pas 1,5 cm de hauteur.
- Les graines sont mises dans des plateaux, à une densité de semis de 500 g par plateau (poids sec, avant trempage).



Fig 3. Etalage des graines dans les plateaux de 0,12 m<sup>2</sup>

## 3.2 Conditions de culture

### 3.2.1 Phase de germination

Différents facteurs vont influencer la germination et le développement des germes. Les principaux éléments qui vont affecter la pousse sont l'apport d'eau, la température, la composition en gaz de l'air, la lumière et l'absence de facteur d'inhibition de la germination. Il est essentiel de maintenir une température optimale, pour obtenir sur une courte période, un taux de germination élevé et des plantules vigoureuses.

- **Température** : La température optimale, pour une germination maximale, est située entre  $18 \pm 23^{\circ}\text{C}$ .
- **Humidité** : L'humidité de l'air doit être comprise entre 50 et 70 % pour permettre la germination et favoriser le développement des pousses tout en réduisant le risque de développement des moisissures.
- **Ventilation** : Il faut aussi un renouvellement et un brassage de l'air pour maîtriser le taux d'humidité et maintenir le taux de  $\text{CO}_2$  dans l'air.
- **Eclairage** : La durée d'éclairage journalière serait de 10 à 16 heures.
- **L'irrigation** : Arrosage régulière (6 à 8 fois/ jour) des plateaux de production à l'aide d'un vaporisateur (**figure 02**).

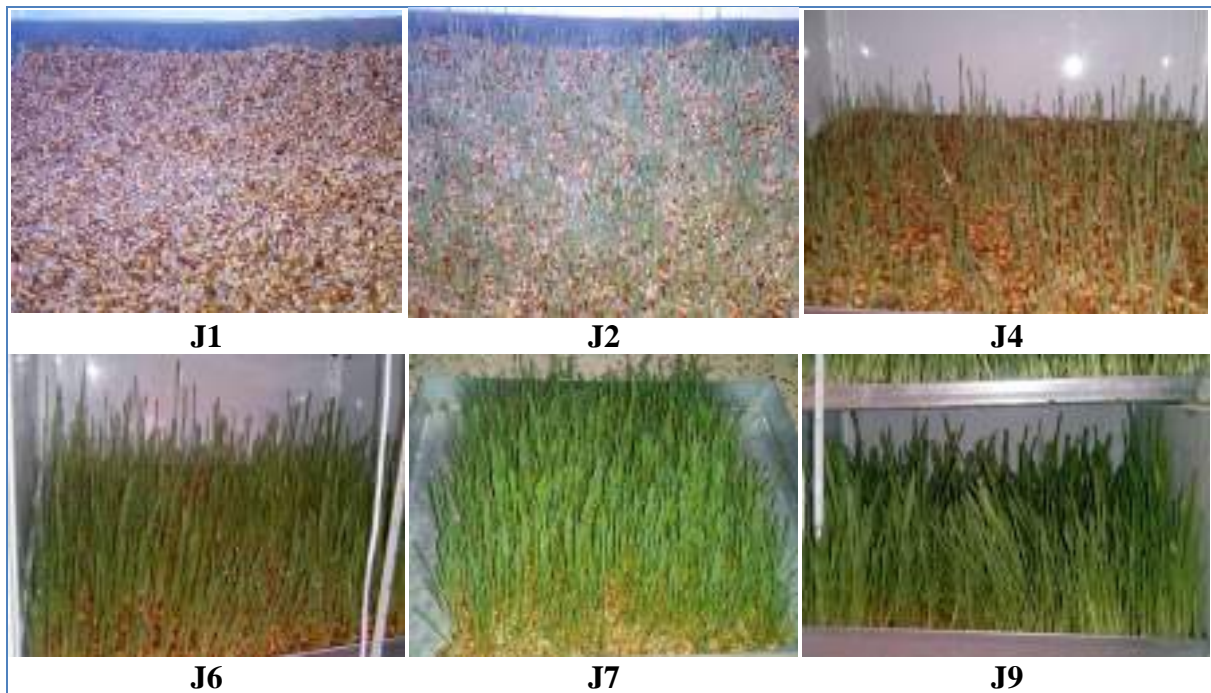
### 3.2.2 Stade de récolte

La période optimale de récolte se situerait entre 7 et 10 jours après semis. Cependant, l'idéal est au stade 8ème jour du fait qu'à ce stade tous les éléments nutritifs sont à leur optimum.

**3.3 Détermination du rendement et la composition physico-chimique**

**3.3.1 Le rendement de la matière fraîche**

Des pesées journalières ont été faites à partir la phase de pérégrination jusqu'à la récolte, afin de déterminer l'évolution de poids de la matière fraîche durant les différentes phases de production d'orge hydroponique (**figure 04**). Les pesées ont été réalisées à l'aide d'une balance électronique (**figure 05**).



**Fig 4. Evolution de la matière fraîche**



**Fig 5. Pesage de la matière fraîche**



### 3.3.2 Composition physico-chimique

#### A. Teneur en matière sèche

Mettre le fourrage vert hydroponique dans un premier temps à l'air libre, loin du soleil et puis séché à 80°C pendant 48h à l'étuve avec ventilation forcée pour la détermination de la teneur en matière sèche et jusqu'à poids constant (AOAC, 1990). (Figure06)

La teneur en matière sèche de l'échantillon est calculée comme suit :

$$MS \% = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} * 100$$

*P0* : poids du creuset vide (g)

*P1* : poids du creuset avec la matière fraîche (g)

*P2* : poids du creuset avec la matière sèche (g)



**Fig 6. Séchage de la matière fraîche**

#### 3.3.2.1 Teneur en matière minérale et en matière organique

Avant de déterminer la MM et la MO, la matière sèche a été broyée à l'aide d'un broyeur de laboratoire avec un diamètre de broyage de 0,5 mm (Figure 07)



**Fig 7. Broyage de la matière sèche**

La teneur en matière minérale est conventionnellement constituée d'une première fraction renfermant tous les constituants organiques (hydrates de carbones, lipides, matière azotées et vitamines) et d'une seconde fraction inorganique renfermant les minéraux.

Cette dernière fraction représente la quantité de cendres totales (CT) que peut contenir l'échantillon analysé. La matière minérale est déterminée après incinération des échantillons au four à moufle à 550°C, (**Figure 08**) d'une prise d'essai de l'échantillon jusqu'à l'obtention de cendres blanches ou grises (**AOAC, 1990**).



**Fig 8. Détermination de la matière minérale**

La teneur en cendres totales de l'échantillon est ainsi calculée comme suit :

$$CT \% = \frac{P2 - CV}{P1 - CV} * 100$$

*P1* : Poids du creuset avant calcination (g)

*P2* : Poids du creuset après calcination (g)

*CV* : poids du creuset vide (g)



**Fig 9. Pesage de la matière minérale**

La teneur en matière organique (MO) sera ainsi égale à :  $MO\% = 100 - CT\%$

### 3.3.2.2 Teneur en cellulose brute

La cellulose brute est analysée par la méthode de Weende l'échantillon conditionné est hydrolysé successivement par une solution acide diluée ( $H_2SO_4$  : 0,26 N) et ensuite par une solution alcaline diluée (KOH : 0,23N) (AOAC, 1990 ; 1995). (Figure 10)

La teneur en cellulose brute est ainsi calculée comme suit :

$$CB \% = \frac{P1 - P0}{PE} * 100$$

*P<sup>1</sup>* : Poids après l'étuvage (g)

*P<sup>0</sup>* : Poids après calcination (g)

*PE* : prise d'essai (g)



Fig 10. Extracteur de cellulose brute

### 3.3.2.3 Teneur en azote total

La teneur en azote total et en protéine brute d'un échantillon sont obtenues selon la méthode de Kjeldahl. Cette technique a été mise au point pour la première fois en 1883 par Johan Kjeldahl. Elle comporte trois étapes principales et successives la minéralisation, la distillation, la titration. (AOAC, 1990, 1995, 1999). **(Figure 11)**.

Le teneur est calculé de la manière suivante :

$$N\% = 7 \times 10^{-4} \times V1 \times \frac{100}{Y} \times \frac{100}{A}$$

*V1 : volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml)*

*Y : prise d'essai (g)*

*A : volume de la prise d'essai*

$$PB = \% NN \times 6,25$$



**Fig 11. Distillateur Kjeldahl**

## 4 Résultats et discussion

### 4.1 Le rendement de matière fraîche

Au bout de 9 jours de germination, un demi-kilogramme de graines d'orge mis à germer, va donner entre 2,43 et 2,69 kilogrammes de fourrage vert (kg MF), Soit une valeur moyenne de  $2,56 \pm 0,13$  kg MF. (**Tableau 10**)

Ces résultats sont légèrement supérieurs à ceux obtenus par **Kriaa et al (2001)**, **Oduguwa et Farolu (2004)** ayant des moyennes de production (par un kilogramme d'orge sec) de 4,73 Kg MF et 4,87 Kg de MF, respectivement.

Les indicateurs de rendements vont varier selon un ensemble de facteurs et de combinaisons de facteurs de l'environnement et de l'itinéraire technique. Aussi, il a été obtenu des performances différentes, selon la variété, le mode de conduite et le stade de récolte. (**Fazeaeli et al, 2012**).

**Tableau 10. Evolution du poids de la matière fraîche**

Stade	Essais	GS	GT	J2	J4	J6	J7	J9
<b>Poids (kg)</b>	1	0,5	1,17	1,24	1,66	2,11	2,42	2,69
	2	0,5	1,01	0,98	1,53	1,88	2,17	2,43
<b>Moyen</b>		0,5	1,09 ( $\pm 0,08$ )	1,11 ( $\pm 0,13$ )	1,59 ( $\pm 0,06$ )	1,99 ( $\pm 0,11$ )	2,29 ( $\pm 0,12$ )	2,56 ( $\pm 0,13$ )

**GS** : Graines sèche, **GT** : Graines trempées

Ramenés à la surface cultivée, les rendements en vert varient de 20,25 à 22,41 kg MF/m<sup>2</sup>, pour une récolte entre 9 jours. Soit un rendement moyen de  $21,33 \pm 1,08$  kg MF/m<sup>2</sup>. On obtient des valeurs similaires à celles de la littérature (**Al Ajmi et al, 2009** ; **Al Karaki et al, 2012** ; **Lopez-Aguilar et al, 2009**), soit 20,65 à 32 kg MB/m<sup>2</sup> produites en 8 à 10 jours, pour un rendement moyen de 25,87 kg MB/m<sup>2</sup>.

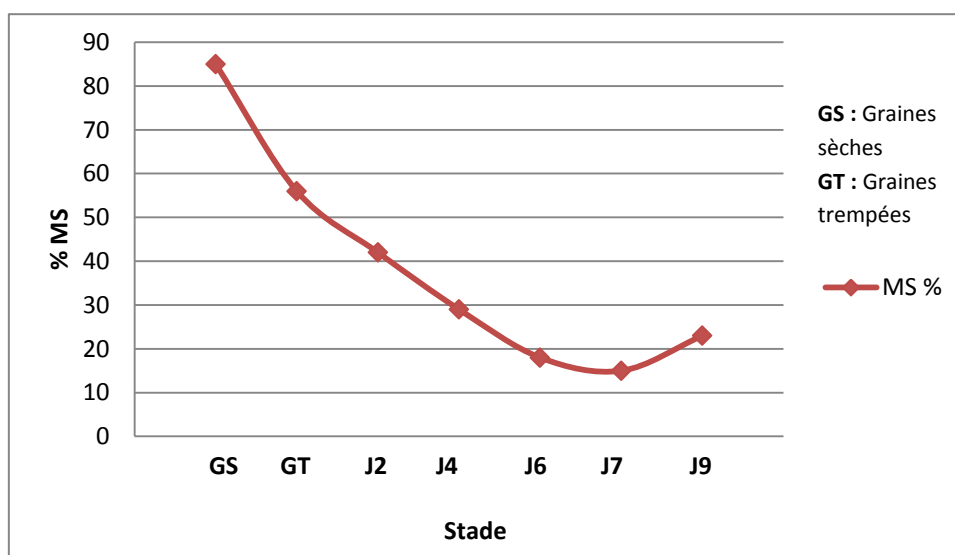
### 4.2 Teneur en matière sèche

Au cours du processus de germination, il y a eu une modification de la composition chimique de la graine, qui est devenue plantule.

D'après la figure N° 12, le taux de matière sèche a connu une diminution très remarquable jusqu'au septième jour. En passant du grain sec vers un fourrage vert hydroponique. Ce taux

passé de 85% (GS) à 56,02% après la phase de trempage, cette diminution a été continue jusqu'au 7<sup>ème</sup> jour avec un taux de 15,76%. A partir de J7, la teneur en MS a connu une légère augmentation vers le 9<sup>ème</sup> jour avec un taux de 23,6% (**Figure 12**).

Donc, la perte de matière sèche constatée durant la germination est liée à la croissance de la plante et à sa respiration.



**Fig 12. Evolution de la matière sèche**

### 4.3 La teneur en matière minérale

Durant notre expérimentation de 9 jours, il y a eu une variation considérable de la teneur des minéraux, qui augmente de manière importante durant la phase de trempage des graines. Le taux enregistré dans les graines sèches est de l'ordre de 0,8%. Après le trempage cette valeur a été augmentée jusqu'à un taux de 2,3%. En effet, cette augmentation est due à la salinité de l'eau d'irrigation.

Par la suite, ce taux a connu une légère diminution vers le 4<sup>ème</sup> jour de germination, puis a commencé d'évoluer doucement et atteindre un taux de 2,5%.

Notre orge hydroponique présente une très faible teneur en MM ceci est vraisemblablement lié au fait qu'elle soit cultivée en hors sol et qu'il est irrigué avec de l'eau sans fertilisant. Par conséquent, sa teneur en MO (97,5%) est très élevée (MO = 100 - MM). Les valeurs obtenues, sont comparables à celles trouvées par **Fazaeli et al, (2011)** (96,35%).

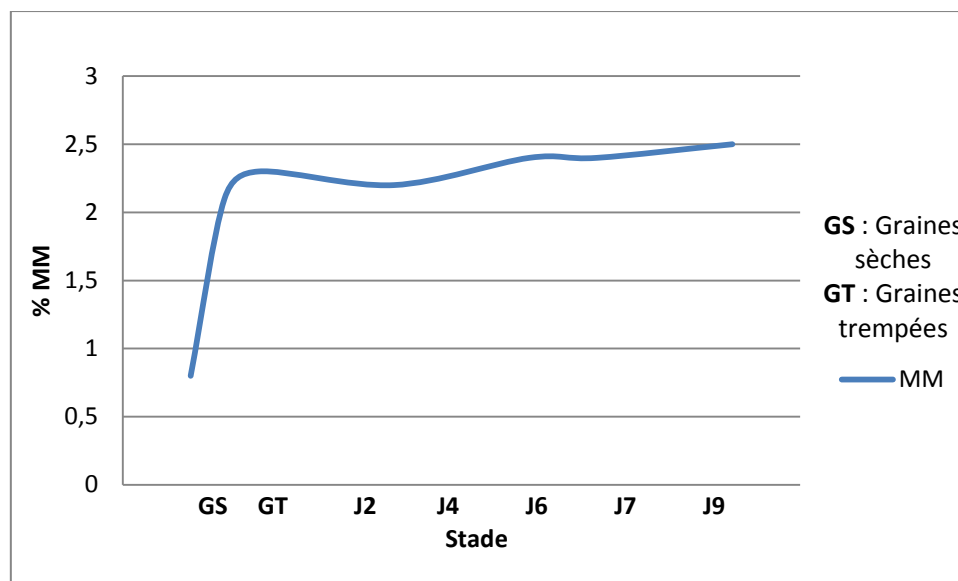


Fig 13. Evolution de la teneur de la matière minérale

#### 4.4 Teneur en matière azotée totale (MAT)

Le taux de MAT dans la graine sèche est très faible de l'ordre de 8,93%. Après le trempage cette teneur reste presque stable avec une valeur de 9,21%. Dès que la germination a commencé la teneur en MAT a évolué d'une manière perceptible. En passant de 11,2% à 13,05% vers le 9<sup>ème</sup> jour de germination.

Cette valeur, est proche de celle annoncée par **Belbachir (2017)** avec 12,9% ; alors qu'elle est plus faible que celle rapportée par **Fazaeli et al (2011)** avec 14,67 % ; par **Maoui et Lamraoui (2013)** avec 14,87 %.

En effet, l'accumulation des MAT dans l'orge hydroponique est uniquement induite par le processus de germination étant donné qu'aucune solution nutritive n'est utilisée. Cette augmentation est due à la protéolyse des protéines de l'endosperme avec libération des acides aminés libres. Ces acides aminés libres vont être utilisés comme source azotée pour la synthèse des acides aminés de l'embryon.



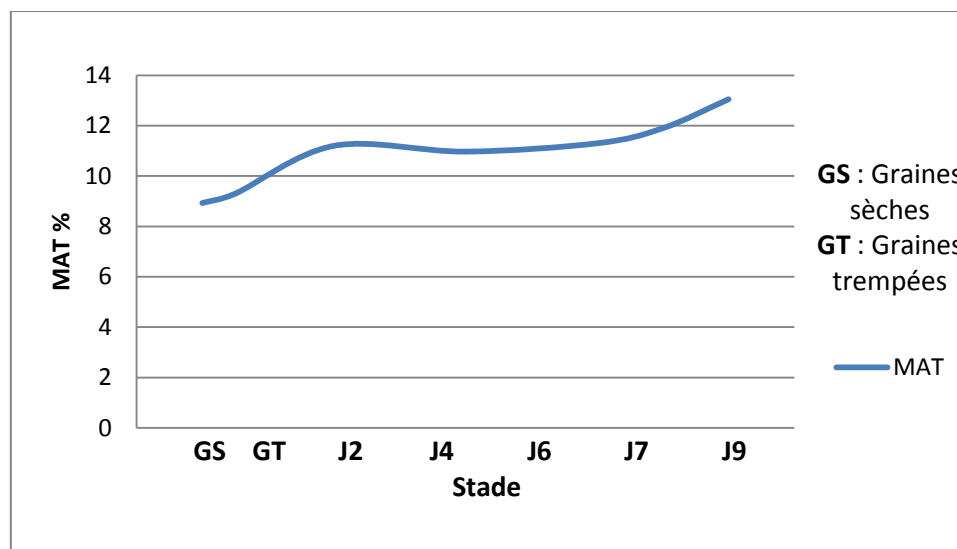


Fig 14. Evolution de la teneur en matières azotées totales

#### 4.5 Teneur en cellulose brute (CB)

D'après la figure nous constatons que la germination de l'orge a entraîné une augmentation remarquable de la teneur en cellulose brute, cette teneur passe de 6,12% pour les grains secs à 13,8% pour l'orge germée.

Cette faible teneur en CB, s'explique par l'âge juvénile des plantes (9 j). En effet, Comme il a été rapporté par plusieurs auteurs, (**Gailard, 1974 ; Andrieu et Weisse, 1981 ; Demarquilly et Andrieu, 1987 ; Soltner, 2000**), la cellulose brute évolue avec l'âge de la plante. De même **Jeangros et Scehovic (1996)**, rapportent que plus la plante est âgée, plus le rapport feuilles / tiges diminue et plus la teneur en CB augmente et moins la plante est digestible. La teneur obtenue dans notre essai, est supérieur à celle rapportée par **Hartslief (2012)** avec 11,3 % ; et par **Maeva et al (2015)** avec 12,40 %. Mais elle est moins élevée que celle trouvée par **Maoui et Lamraoui (2013)** avec 16,45 %.

Les résultats de la composition chimique de l'orge hydroponique obtenus, ont été influencés par l'ambiance et les conditions de germination dans la chambre hydroponique : variété et qualité des grains d'orge utilisés, la qualité de l'eau d'irrigation, la durée de germination, l'intensité lumineuse, les coupures d'électricité et l'ouverture irrégulière de la machine.

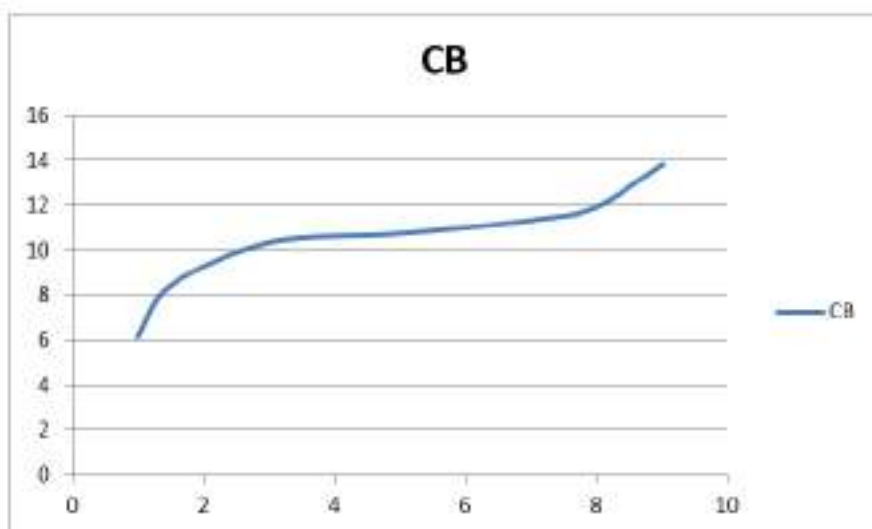


Fig 15. Evolution de la teneur en cellulose brute

### **Conclusion**

Le manque de ressources fourragères en Algérie influe sur l'alimentation du bétail. Cette alimentation représente la charge la plus importante pour la production animale.

La culture hydroponique considérée comme une technique pouvant améliorer le potentiel fourrager tout en permettant de produire un fourrage de qualité apprécié par les animaux.

Le fourrage vert hydroponique dépend des conditions contrôlées (éclairage, température, humidité...), pouvant être disponible tout au long de l'année, pourra être une solution pour combler une partie du déficit en ressources fourragères.

L'étude révèle que le taux de matière sèche a connu une diminution très remarquable par contre il y a une augmentation de la matière fraîche.

Le résultat des analyses physico-chimiques de la culture d'orge hydroponique a montré une très faible teneur en MM, une évolution de la teneur en MAT et une augmentation remarquable de la teneur en cellulose brute considérée toutefois comme étant faible à cause de l'âge de la plante (9 j). Offrant ainsi une bonne valeur alimentaire de l'Orge hydroponique.

Cette expérience de l'hydroponie prouve que le sol n'est pas nécessaire pour la croissance des plantes, avec une solution nutritive ou juste de l'eau, les graines d'orge peuvent germer facilement en donnant des jeunes feuilles de bonne qualité au bout de 7 à 9 jours.

La culture hydroponique offre plusieurs avantages : une solution innovante et économique en eau à 80%, en argent ; et en surface, elle permet également le contrôle de la technique et ses paramètres.

Références

*bibliographiques*

## Références bibliographique

**Abd Rahim et al, 2015**, ont déclaré que la germination de l'Orge entraîné une perte de MS d'environ 18 %. La perte de MS est probablement due à l'utilisation d'hydrates de carbone et d'énergie par les graines pour les activités métaboliques de la plante en croissance, sans remplacement adéquat par photosynthèse de la jeune plante.

**Abdelmadjid Hamadache, 2016** : TOME III RESSOURCES FOURRAGERES, P115,116,117,118,119.

**Aissani, I., Chanane, N., 2012** : Etude de la valeur nutritive de quelques fourrages cultivés, cas : de l'avoine, de l'orge et du ray-grass d'Italie. Mémoire d'ingénieur agronome. Faculté des Sciences Agro Vétérinaire, Blida

**Akal T., Avci M. and Dusunceli F., 2004.** Barley: Post-harvest operations. <http://WWW.Fao.org/inph/content/compend/text/ch 31.htm>.

**ALAIN V, 2003** : Fondements & principes du hors-sol : Doc V 3.1 HRS 12 Ind

Alain Vitre 11/11/2003 page 10 /10

**Alaoui S.B, 2003** : conduite technique de l'Orge. Production de fourrage à partir de céréales cultivées seules ou mélangées avec les légumineuses. Technique de production des principales cultures fourragères et en irrigué. pp.40-42.

**Al-Karaki, G. N., Al-Momani, N. 2011** : Évaluation de certains cultivars d'orge pour la production de fourrage vert et d'eau efficacité d'utilisation en conditions hydroponiques. Jordan J. Agricultural Science 7 (3): 448–456.

**Al-Karaki, Ghazi N., et M. Al-Hashimi.** « Green Fodder Production and Water Use Efficiency of Some Forage Crops under Hydroponic Conditions ». International Scholary Research Network Agronomy, 2012.

**Al-Karaki, Ghazi N., et M. Al-Hashimi., 2013:** « Green Fodder Production and Water Use Efficiency of Some Forage Crops under Hydroponic Conditions ». International Scholary Research Net.

**Al-Karaki, Ghazi N., et N. Al-Momani.** « Evaluation of some barley cultivars for green fodder production and water use efficiency under hydroponic condition ». Jordan Journal of agricultural Sciences 7, n° 3 (2011): 448-457.

## *Références bibliographiques*

---

- Amal B.K. et Aurang, Z. et Nizakat, B et Shahid, A.K. et Mohammad, S.K. 2007:** Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. *Food Chem.* 104 : 1074-1079.
- Amrani, W., 2006 :** Valeur nutritive des Chardon marie. Thèse magistère Faculté des sciences agronomie Université Batna (Algérie). 69P.
- Andrews, D.J. & Kumar, K.A., 2006.** *Pennisetum glaucum* (L.) R.Br. In: Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA 1 : Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Netherlands.
- Andrieu, J., Weiss, PH., 1981 :** Préviation de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages verts des graminées et des légumineuses.
- Bassiriki Ouattara, 2017 :** Options pour une intensification durable de la production agricole univ européenne date de pub p15.
- Belbachir., 2017 :** Production de fourrage par techniques hydroponiques. Cas de l'orge à Sidi mdjahed, commune de benibousaid, mémoire de master, Université de Tlemcen.
- Benmahmed, 2005 et Bouzerzour H et Benmahammed A, 1993:** Environmental factor limitant barley yield in the high plateau of Eastern Algeria. *Rachis*, 12 (1) :14 – 19.
- Blanc « céréales » ULG Gembloux, Agro. Bio. Tech et CRA, pp. 2-12.
- Boufenar Z., Zaghouane O., Zaghouane F., 2006.** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. Ed. ITGC, ICARDA., Alger, 154 p.
- Bouzerzour H. et Benmahammed A., 1993.** Environmental factors limiting barley yield in the high plateau of Eastern Algeria. *Rachis*, 12 (1) :14 – 19.
- Buard, Marie. 2011 :** « Les graines germées, un CMV naturel pour les animaux ». *L'auxiliaire bio*, n° 12 (février 2011) : 4- 6.
- Burny P.h., 2011.** Production et commerce mondial en céréales en 2010/2011. Livre
- Chandra P, Gupta MJ, 2003 :** Culture dans des serres de haute technologie pour améliorer la productivité des ressources naturelles et atteindre l'objectif de l'agriculture de précision. *Agriculture de précision en horticulture*, 2003 ; 64-74.
- Cherif Hosni F ,2010 :** Etude de l'effet de la date et de la densité de semis sur l'élaboration du rendement chez l'Orge (*Hordeum vulgare*) dans la zone de Zmalet El Amir Abdelkader.

## *Références bibliographiques*

---

**Chouard P, 1952** : Les cultures sans sol. Ed maison rustique. Paris p200

**Demarquilly C, Andrieu J., 1987** : "Les fourrages", alimentation des bovins, ovins et caprins, R. Janie éd., INRA éditions, pp. 315-335

**Dominique VALIN, 2015** : Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine et ovine à la Réunion : une alternative pour pallier aux déficits fourragers futurs liés aux changements climatiques et au manque de foncier agricole. Ovicap, Sedaël, P78

**Dung DD, Godwin IR, Nolan JV,2010**: Nutrient content and in sacco degradation of hydroponic Barley Sprouts Grown Using Nutrient solution or tap Water. Journal of animal and veterinary advances, p243-246.

**Dung DD, Godwin IR, Nolan JV,2010**: Nutrient content and in sacco degradation of hydroponic Barley Sprouts Grown Using Nutrient solution or tap Water. Journal of animal and veterinary advances, p243-246.

**El Morsy A.T., M. Abul-Soud and M.S.A. Emam, 2013**: Localized hydroponic green forage technology as a climate change adaptation under Egyptian conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 9(6) : 341-350

**Essadaoui M, 2013** : Industrie Agroalimentaire, Bulletin édité par l'Institut Marocain de l'Information scientifique et technique IMIST, N° p 25. 34

**FAO-STAT. 2006.** <http://faostat.fao.org>

**FazaeliH., Golmohammedi H. A., Shoayeen A.A., Montajebi, N., et Mosharref SH.,2011**: Performance of Feedlot Calves Fed Hydroponics Fodder Barley, J, Agr, Soi, Tech, Vol 13, pp 367-375;

**Flores, A., Rodriguez-Muela, C., Rodriguez, H.E., Ruiz, O., Grado, J.A. and Arzola, C, 2004**: Use of green fodder produced in hydroponic system as supplement for lactating cows during the dry season. Proceedings of the American Society of Animal Science, 56, 271-274.

**Gaillard, B., 1974**: Valeur alimentaire des fourrage d'hiver INRA - ALGER

**Gillet, 1980 et Gillet M, 1980** : Les graminées fourragères. Ed INRA, Paris, P306 ;

**Gillet, 1980 et Gillet M, 1980** : Les graminées fourragères. Ed INRA, Paris, P306 ;

**Habbas Mahdjouba, 2018** : Essaie de quelques cultures sous un système hydroponique dans la région de Biskra universitaire de Biskra date de pub 25.06.2018

## **Références bibliographiques**

---

**Hakimi, 1993** : Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'Orge. Porc. Symp. On the Agronomy of rain fed barley and durum wheat in dry areas. J. Agri. Sci. Camb. 108 : 599-608.

**Hamadache, A. 2001** : Les ressources fourragères actuelles en Algérie. Situation et possibilité d'amélioration. In acte de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie. Ed. ITGC. 79P

**Hartsleif A., (2012).** - Dairy Cow Fodder Replacement Diet Trail

**Houmani M., 1998** [Amélioration de la valeur alimentaire du foin de vesie-avoine par le traitement à l'urée. Revue fourrages, 154, pp 239 -248

**ITELV, 2013** : Les cultures hydroponiques pour une production permanente en fourrage vert « Résultats préliminaires sur l'Orge ».

**ITGC Tiaret, 2006** Institute Technique de Grande Culture, les principales variétés de céréales cultivées en Algérie ; p69 -89

**Jean-Paul charvet, 2001** : Encyclopaedia univ de Paris-ouest-Nantene : La Défense, correspondant national de l'agriculture de France.

**JENNGROS et SCEHOVIC, 1996.** Etude de l'effet de diverses espèces de plantes des prairies permanentes sur l'hydrolyse enzymatique des constituants pariétaux. Annales de Zootechnie 44, p87-96

**Kamel Ben Mbarek et Mohsen Boubaker, 2017** : Manuel de grandes cultures-Les céréales p186-187.

**KHALDOUN A et al, 1990** : Etude du complément agronomique et physiologique des cultivars d'Orge (*Hordeum Vulgare*) vis-à-vis du déficit hydrique, Thèse unique Montpellier-France.

**KN Prafulla, K Bijaya, PN Swain, Singh 2015** : Production et utilisation de fourrage hydroponique Indien. Journal of Animal Nutrition, 2015 ; 32 (1) : 1-9.

**Laberche J.C., (2010).** - Biologie végétale 3ème édition. Dunod, 2010 : 212-215

**Maëva M, Charles-Emile B, Jean-Luc B, Sao B, David F, David G, Samuel G, Alex M, Mickael P, Yoann P, Anne-Marie P, Guy-Noël P. 2015** : Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine et ovine à la Réunion : une alternative pour



## **Références bibliographiques**

---

pallier aux déficits fourragers futurs liés aux changements climatiques et au manque de foncier agricole ? ARP 2015.

**M.S.A. Emam, El Morsy A.T., M. Abul-Soud, 2013:** Localized hydroponic green forage technology as a climate change adaptation under Egyptian conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 9(6) : 341-350

**Maoui H., et Lamraoui, L., 2013 :** utilisation de ration à base d'orge hydroponique dans l'alimentation des vaches laitières, mémoire de master, faculté de biotechnologie, université de Blida 1.

**Menad A, 2008 :** Rythme de développement, utilisation de l'eau et rendement de l'Orge (*Hordeum vulgare*. L) dans l'étage bioclimatique semi-aride.

**Menad A., Meziani N., Bouzerzour H. et Benmahammed A., 2011.** Analyse de l'interaction génotype x milieux du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) : application des modèles AMMI et la régression conjointe. Nature et Technologie, 5: 99 - 106.

**Morgan HM, Thomas H, Meredith MR, Humphreys MW, 1994:** Identification of parental and recombined chromosomes of *Lolium multiflorum* X *Festuca pratensis* by genome in situ hybridation. Theor.App. Genet.88 :909-913.

**Rodrigues Muela et al, 2005 ; Romero Valdez et al, 2009 :** Utilisation du fourrage vert hydroponique en production de viande bovine et ovine à la Réunion : une alternative pour pallier aux déficits fourragers futurs, liés aux changements climatiques et au manque de foncier agricole date de pub 31.04.2015

**Simon et al, 1989 :** produire les céréales à paille. Agriculture d'aujourd'hui, science, techniques, applications Ed°. J.B. Baillière; P333

**Sneath R, Mc Intosh F, 2003:** Sneath, R. and McIntosh, F., 2003. Review of hydroponic fodder production for beef cattle. Meat & Livestock Australia Limited.

**Sneath R, Mc Intosh F, 2003:** Sneath, R. and McIntosh, F., 2003. Review of hydroponic fodder production for beef cattle. Meat & Livestock Australia Limited.

**Sneath R, Mc Intosh F, 2003:** Sneath, R. and McIntosh, F., 2003. Review of hydroponic fodder production for beef cattle. Meat & Livestock Australia Limited.

**Sneath, R., McIntosh, F., 2003:** Review of hydroponic fodder production for beef cattle.

## **Références bibliographiques**

---

**Soltner D, 2007** : Les bases de la production végétale. Tome 2 : Le climat. Collection science et techniques agricoles. 9<sup>e</sup> édition, pp 255-270.

**Soltner D., 2000.** Alimentation des animaux domestiques Tome II : la pratique du rationnement des bovins, ovins, caprins, porcs -21<sup>e</sup>me édition- 2001. 272p. collection sciences et techniques agricoles

**Soucy A, 2016** : Système de surveillance du statut nutritionnel des plants de tomates utilisant la vision numérique proche infrarouge. Thèse d'ingénierie ; Univ Québec, Chicoutimi. P104

**Texier W, 2014** : L'Hydroponie pour tous (Tout sur l'HORTICULTURE à la maison), 307-311. Editions, 7 rue Pétion, 75011 Paris (France) p 52.

**Texier W, 2014** : L'Hydroponie pour tous (Tout sur l'HORTICULTURE à la maison), 307-311. Editions, 7 rue Pétion, 75011 Paris (France) p 52.

**Vincent G, 2008** : Adaptation des techniques hors-sol pour la production de fruits et légumes sur substrat en Valais. Office maraîcher valaisan-Châteauneuf p 16.

**Vu Th. D, 2008** : Effets de l'environnement sur la croissance et l'accumulation de métabolites secondaires chez DATURA INNOXIA MILL. Cultivé en condition hors sol ; impact des facteurs biotiques et abiotique. Thèse doctorat de l'INPL, science agronomie. Univ lorraine p237.