

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**



**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques**  
**Département des sciences agronomiques**

## **Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques**  
**Spécialité : production et nutrition animale**

### **Thème :**

**PRODUCTION DE L'ORGE  
HYDROPONIQUE A MOINDRE COUT**

**Réalisé par :**

**Melle KEBAILI Ouahiba**

**Melle SAIL Amel**

**Composition du jury :**

Président :	Mr Kadi S.A	Professeur	UMMTO
Promotrice :	Mme Dorbane Z	Maitre de conférences B	UMMTO
Examinatrice :	Mme Zirmi-Zembri N	Docteur	UMMTO
Examineur :	Mr Mouhous A	Maitre de conférences A	UMMTO

**Promotion : 2022/2023**

# *Remerciement*

*Avant tout, nous remercions **Dieu** le tout puissant de nous avoir guidé toutes ces années d'étude et de nous avoir donnés la santé, la volonté, la patience, le courage, à fin de pouvoir accomplir ce modeste travail.*

*En premier lieu, nous remercions tout particulièrement notre promotrice **Mme Dorbane Z**, maître de conférences « B » à l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour sa patience, sa disponibilité, son soutien et son accompagnement tout le long de la réalisation de ce travail, Nous lui exprimons notre profonde gratitude.*

*Nous tenons également à remercier **Mr Kadi S.A** professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour qui nous a fait l'honneur de présider le jury, et ainsi de juger ce travail.*

*Nous remercions également **Mme Zirmi-Zembri N** et **Mr Mouhous A.** pour nous avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseignés et qui par leurs compétences nous ont soutenus dans la poursuite de nos études.*

*Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de notre famille, surtout nos parents qu'ils nous ont toujours encouragé moralement et matériellement et à qui on tient à les remercier.*

*Enfin, on tient à exprimer vivement nos remerciements avec une profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, car un projet ne peut pas être le fruit d'une seule personne.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma **grand-mère**, son éducation, ses conseils précieux, sa sagesse, m'ont servi durant toute ma vie. Que dieu te bénisse et te donne une longue vie.*

*À la personne qui est toujours avec moi, mon très cher **père** qui a sacrifié ses jours et ses nuits pour mon éducation et mon bien être, et pour tout ce qu'il a fait pour moi.*

*À ma très chère et douce **maman**, qui est toujours près de moi, m'encourage, me conseille, me soutien et qui n'a jamais cessé de prier pour moi, Qui a tout fait pour me voir réussir dans ce travail. Aucun mot ne peut exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu as fait depuis ma naissance à ce jour. Merci maman, que dieu te garde et te protège.*

*A ma seule chère sœur **Nabila** et mes chers frères **Hamid, Mohammed, Amar** et **Sofiane**, je les remercie pour leur aide et leur soutien physique et moral qu'ils n'ont cessé de m'apporter.*

*Je n'oublie pas mon binôme **Amel**. Enfin une profonde reconnaissance à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail mais qui ne sont pas cités ici, je les remercie tous, chaleureusement.*

*A toute notre promotion et à mes chères amies **Imen, Sadia** et **Ouerida**.*

***Ouahiba***

# *Dédicace*

*Je dédie humblement ce modeste travail à ma chère **grand-mère** qui nous a quittés il y a quelques jours puisse-t-elle être accueillie par dieu dans son vaste paradis.*

*A ma chère **maman** source de ma vie et de voie, qui incarne la force, la tendresse*

*A mon cher **papa**, pour leur sacrifice et leur soutien, je voudrais témoigner de mon profond respect et de ma reconnaissance éternelle.*

*A mon frère **Noureddine** et ma Sœur **Nesrine** pour son appuies et encouragement.*

*A toute ma grande famille pour votre soutien.*

*A mes enseignants, depuis primaire jusqu'au mon cursus universitaire.*

*A mon binôme **Ouahiba** et toute sa famille.*

*A tous mes chères amies **Celia, Sabrina, Lilia et Amina**.*

*A notre promotion 2023.*

*Amel*

# *Sommaire*

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

## **Partie bibliographique**

### **Chapitre I : Généralités sur l'orge**

I.1. Importance de l'orge dans le monde.....	2
I.2. Importance de l'orge en Algérie.....	3
I.3. Présentation de l'orge.....	3
I.3.1. Historique et origine de l'orge.....	3
I.3.2. Classification.....	4
I.3.3. Description de l'orge.....	6
I.3.3.1. Appareil végétatif.....	6
I.3.3.2. Appareil reproducteur.....	7
I.3.3.2.1. Grain.....	8
I.3.3.2.1.1. Glumelle.....	9
I.3.3.2.1.2. Pericarpe.....	9
I.3.3.2.1.3. L'embryon.....	9
I.3.3.2.1.4. L'albumen.....	9
I.3.4. Le cycle de développement.....	10
I.3.4.1. La période végétative.....	10
I.3.4.2. La période reproductive.....	11
I.3.4.3. La période de maturation.....	11
I.3.5. Les variétés de l'orge dans le monde et en Algérie.....	11
I.3.6. Itinéraire technique de culture de l'orge.....	13
I.3.6.1. La rotation des cultures.....	14
I.3.6.2. Déchaumage.....	14
I.3.6.3. Préparation du sol.....	15
I.3.6.4. Choix variétal.....	16
I.3.6.5. Semis.....	16
I.3.6.6. Désherbage.....	16

I.3.6.7. Fertilisation.....	16
I.3.6.8. Irrigation d’appoint.....	17
I.3.6.9. Récolte.....	17
I.3.7. Exigences de l’orge.....	17
<b>Chapitre II : La culture hydroponique</b>	
II.1. Historique.....	20
II.2. Définition de la culture hydroponique.....	20
II.3. Différents systèmes de culture hydroponique.....	21
II.3.1. Systèmes hydroponique passifs et actifs.....	21
II.3.1.1. Système passif.....	21
II.3.1.2. Système actif.....	21
II.3.2. Les systèmes hydroponiques avec et sans substrat.....	22
II.3.2.1. Systèmes sans substrat.....	22
II.3.2.1.1. Aquiculture.....	23
II.3.2.1.2. Technique du film nutritif.....	23
II.3.2.1.3. Aéroponie.....	24
II.3.2.1.4. Ultraponie.....	25
II.3.2.2. Systèmes avec substrat.....	25
II.3.2.2.1. Origine minérale.....	26
II.3.2.2.2. Origine organique.....	27
II.3.2.2.3. Système de table à marées.....	28
II.3.2.2.4. Système de goutte à goutte.....	29
II.3.2.2.5. Système à flux continu.....	30
II.4. chambre de culture.....	30
II.4.1. Eclairage.....	30
II.4.2. Micro-climat.....	31
II.4.3. Eau.....	31
II.5. Processus de production de l’orge hydroponique.....	32
II.5.1.La semence.....	32
II.5.2.La trempe.....	33

II.5.3.Egouttage.....	33
II.5.4.La germination.....	34
II.6. Potentiel de production.....	34
II.7.La culture hydroponique VS la culture en terre.....	35
<b>Chapitre III : Utilisation de l'orge hydroponique dans l'alimentation des animaux</b>	
III.1. La valeur nutritive de l'orge hydroponique.....	38
III.2. La valeur alimentaire de l'orge hydroponique.....	40
III.3. Effets de l'orge hydroponique sur les performances des animaux.....	41
III.3.1. Chez les ruminants.....	41
III.3.2. Chez les monogastriques.....	43
III.3.2.1. Chez les poulets de chair.....	43
III.3.2.2. Chez la caille japonaise.....	45
III.3.2.3. Chez le lapin.....	45
III.4. Coût de production.....	46
III.5. Dangers du fourrage hydroponique infecté sur la santé animale.....	46
<b>Chapitre IV : Matériels et méthodes</b>	
IV.1. L'objective de travail .....	47
IV.2. Présentation des sites expérimentaux.....	47
IV.3. Matériels utilisés .....	47
IV.4. Matériel végétale .....	49
IV.5. Les méthodes de mise en culture.....	49
IV.5.1. Tri de la semence.....	49
IV.5.2. Pesage.....	50
IV.5.3. Lavage.....	50
IV.5.4. Trempage.....	50
IV.5.5. Egouttage et germination.....	51
IV.5.6. La mise en caisse .....	51
IV.5.7. Arrosage.....	53
IV.6. Mesures et observations.....	55
IV.7. Méthodes de calculs.....	55

IV.7.1. Le taux de germination.....	55
IV.7.2. Le rendement de l'orge engagé.....	55
IV.7.3. Les coûts de production.....	55
IV.8. Analyse statistique des résultats.....	56
<b>Chapitre V : Résultats et discussions</b>	
V.1. Résultats de l'expérience 1.....	57
V.1.1. Le taux de germination.....	57
V.1.2. Mesure de la croissance des racines.....	57
V.1.3. Mesure de la croissance des plantules.....	58
V.1.4. Mesure du poids net en Kg.....	59
V.1.5. Etat sanitaire.....	60
V.2. Résultat de l'expérience 2.....	60
V.2.1. Mesure de la croissance des racines.....	60
V.2.2. Mesure de la croissance des plantules.....	62
V.2.3. Mesure du poids net en Kg.....	63
V.2.4. Etat sanitaire.....	64
V.3. Résultats de l'expérience 3.....	65
V.3.1. Le taux de germination.....	65
V.3.2. Mesure de la croissance des racines.....	65
V.3.3. Mesure de la croissance des plantules.....	68
V.3.4. Mesure de poids net en Kg.....	70
V.3.5. Etat sanitaire.....	72
V.4. Coût de production de l'orge hydroponique.....	72
V.4.1. Présentation de la structure de coût.....	73
<b>Conclusion.....</b>	<b>76</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>77</b>

## *Liste des abréviations*

**C°**: Degré Celsius

**Ca**: Calcium

**cm**: Centimètre

**CNA**: Chambre National d'Agriculture.

**CNCCSP**: Centre national de contrôle et certifications des semences et des plants.

**FOH** : Fourrage d'orge hydroponique

**FVH** : Fourrage vert hydroponique

**g**: gramme

**GMQ**: Gain moyen quotidien.

**ha**: hectare.

**INPV**: Institut National de le Protection des Végétaux.

**INSID**: Institut National des Sols, de l'Irrigation et Drainage.

**INVA**: Institut National de la Vulgarisation Agricole.

**ITGC**: Institut Technique des grandes cultures.

**K**: Potassium.

**Kg**: Kilogramme.

**L**: Litre.

**m<sup>2</sup>**: Mètre carré.

**MB** : Matière brute.

**ml** : millilitre.

**mm**: Millimètre.

**MS** : Matière sèche.

**N**: Azote.

**P**: Phosphore.

**PDIA** : Protéine digestible dans l'intestin d'origine alimentaire.

**PDIE** : Protéine digestible dans l'intestin permise par l'énergie.

**PDIN** : Protéine digestible dans l'intestin permise par l'azote.

**PMG**: Poids de mille grains.

**RMT** : Régime mixte totale.

**%**: Pourcentage.

## *Liste des Tableaux*

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1</b>	Classification de l'orge	<b>5</b>
<b>Tableau 2</b>	Les différents variétés d'origine Algérie et ses caractéristiques agronomique technologique	<b>12</b>
<b>Tableau 3</b>	Itinéraire technique optimal de la culture de l'orge	<b>14</b>
<b>Tableau 4</b>	Valeurs de rendements en culture hydroponique	<b>35</b>
<b>Tableau 5</b>	Les inconvénients et les avantage de la culture de terre	<b>36</b>
<b>Tableau 6</b>	Les inconvénients et les avantage de la culture hydroponique	<b>37</b>
<b>Tableau 7</b>	Teneur en protéines de quelques espèces de FVH	<b>39</b>
<b>Tableau 8</b>	Teneur en minéraux de l'orge grain et hydroponique	<b>40</b>
<b>Tableau 9</b>	Valeurs alimentaires de l'orge grain et hydroponique de 6 à 8 jours	<b>41</b>
<b>Tableau 10</b>	Valeurs alimentaires de différents fourrages hydroponiques	<b>41</b>
<b>Tableau 11</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des racines - Expérience 1	<b>57</b>
<b>Tableau 12</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 1	<b>58</b>
<b>Tableau 13</b>	Etat de suivi de l'évolution du poids net des caisses et leurs rendement – Expérience 1	<b>59</b>
<b>Tableau 14</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des racines - Expérience 2	<b>61</b>
<b>Tableau 15</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 2.	<b>62</b>
<b>Tableau 16</b>	Etat de suivi de l'évolution du poids net de chaque caisse - Expérience 2.	<b>63</b>
<b>Tableau 17</b>	Le taux de germination –Expérience 3.	<b>65</b>
<b>Tableau 18</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des Racines - Expérience 3-test 1	<b>66</b>
<b>Tableau 19</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des racines - Expérience 3-test 2.	<b>67</b>
<b>Tableau 20</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des racines - Expérience 3-test 3	<b>67</b>
<b>Tableau 21</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 3-test 1.	<b>68</b>
<b>Tableau 22</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 3-test 2.	<b>69</b>
<b>Tableau 23</b>	Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 3-test 3.	<b>69</b>

<b>Tableau 24</b>	Etat de suivi de l'évolution du poids net de chaque caisse - Expérience 3-test 1.	<b>70</b>
<b>Tableau 25</b>	Etat de suivi de l'évolution de poids net de chaque caisse- Expérience 3-test 2.	<b>71</b>
<b>Tableau 26</b>	Etat de suivi de l'évolution de poids net de chaque caisse - Expérience 3-test 3.	<b>71</b>
<b>Tableau 27</b>	Etat sanitaire expérience 3.	<b>72</b>
<b>Tableau 28</b>	Structure de coût.	<b>73</b>
<b>Tableau 29</b>	Coût de production d'un Kg de FVH selon les données de l'expérience N°1 (étalée sur 09 jours).	<b>73</b>
<b>Tableau 30</b>	Coût de production d'un Kg de FVH selon les données de l'expérience N°2 (étalée sur 10 jours).	<b>74</b>
<b>Tableau 31</b>	Coût de production d'un Kg de FVH selon les données de l'expérience N°3 (étalée sur 11 jours).	<b>74</b>

## *Liste des figures*

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	Production d'orge dans le monde entre 2008 et 2023	<b>2</b>
<b>Figure 2</b>	Carte géographique sur le Croissant-Fertile	<b>4</b>
<b>Figure 3</b>	Classification des variétés d'orge en fonction du degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi	<b>5</b>
<b>Figure 4</b>	Organisation des systèmes racinaires des céréales	<b>7</b>
<b>Figure 5</b>	Parties de l'orge	<b>8</b>
<b>Figure 6</b>	Morphologie de grain d'orge	<b>8</b>
<b>Figure 7</b>	Les différents stades de développement de l'orge	<b>18</b>
<b>Figure 8</b>	Une image qui montre le jaunissement de la feuille et la réduction de la taille des épis	<b>18</b>
<b>Figure 9</b>	Les différents niveaux de carence en phosphore chez l'orge	<b>19</b>
<b>Figure 10</b>	Carence en potassium pour la plante de l'orge	<b>19</b>
<b>Figure 11</b>	Système hydroponique passif	<b>21</b>
<b>Figure 12</b>	Système hydroponique actif	<b>22</b>
<b>Figure 13</b>	Schéma du système aquiculture	<b>23</b>
<b>Figure 14</b>	Schéma du système NFT	<b>24</b>
<b>Figure 15</b>	Schéma reprisant le système d'Aéroponie	<b>25</b>
<b>Figure 16</b>	Le système Ultraponie	<b>25</b>
<b>Figure 17</b>	Les différents substrats d'origine minérale	<b>26</b>
<b>Figure 18</b>	Les différents substrats d'origine organique	<b>26</b>
<b>Figure 19</b>	Le système table à marées	<b>29</b>
<b>Figure 20</b>	Le système goutte à goutte	<b>29</b>
<b>Figure 21</b>	Le système flux continu	<b>30</b>

<b>Figure 22</b>	Alimentation des ruminants avec de l'orge hydroponique	<b>42</b>
<b>Figure 23</b>	Alimentation des volailles avec de l'orge hydroponique	<b>43</b>
<b>Figure 24</b>	Alimentation des lapins avec de l'orge hydroponique	<b>46</b>
<b>Figure 25</b>	Elément à étage.	<b>47</b>
<b>Figure 26</b>	Caisses en plastique.	<b>48</b>
<b>Figure 27</b>	Ampoules LED et une rallonge pour l'éclairage.	<b>48</b>
<b>Figure 28</b>	Une balance	<b>49</b>
<b>Figure 29</b>	Le tri de la semence.	<b>49</b>
<b>Figure 30</b>	Pesage de la quantité d'orge à utiliser.	<b>50</b>
<b>Figure 31</b>	Lavage de l'orge.	<b>50</b>
<b>Figure 32</b>	Trempage de l'orge pendant 12 heures.	<b>51</b>
<b>Figure 33</b>	Egouttage de l'orge dans une moustiquaire et dans l'obscurité pendant 24h à 36h	<b>51</b>
<b>Figure 34</b>	Préparation des caisses couvertes avec de papier aluminium et cuisson.	<b>51</b>
<b>Figure 35</b>	Pesage des caisses couvertes avec de papier aluminium et cuisson.	<b>52</b>
<b>Figure 36</b>	Étalement de l'orge germée dans les caisses.	<b>52</b>
<b>Figure 37</b>	Détermination de taux de germination.	<b>52</b>
<b>Figure 38</b>	Arrosage de l'orge germée.	<b>53</b>
<b>Figure 39</b>	Les deux emplacements (l'intérieur et l'extérieur).	<b>53</b>
<b>Figure 42</b>	La mise en sac de l'orge pour l'accélération de phénomène de germination.	<b>54</b>
<b>Figure 43</b>	Représentation graphique de l'évolution de la longueur des plantules –Expérience 1.	<b>58</b>
<b>Figure 44</b>	Représentation graphique de l'évolution du poids net des caisses –Expérience 1.	<b>60</b>
<b>Figure 45</b>	Représentation graphique de l'évolution de la longueur des racines –Expérience 2.	<b>61</b>
<b>Figure 46</b>	Représentation graphique de l'évolution de la longueur des plantules -Expérience 2.	<b>63</b>
<b>Figure 47</b>	Représentation graphique de l'évolution du poids net des caisses –Expérience 2.	<b>64</b>
<b>Figure 48</b>	Apparition des moisissures.	<b>64</b>



# *Introduction*

Le plus grands défis à lequel l'humanité est confronté ces dernières années est le changement climatique et ses conséquences sur toute vie.

En effet, ce phénomène naturel dû à un dysfonctionnement du système planétaire a occasionné l'augmentation des températures et une pluviométrie irrégulière et de plus en plus réduites et non enregistrée à temps. Ces dernières se sont répercutées directement sur l'ensemble des activités qui préservent la vie humaine et animal. Parmi ces activités qui sont touchées on note l'activité agricole et l'élevage.

Ainsi la production traditionnelle du fourrage peine à subvenir aux besoins de cheptel d'une manière régulière et durable du faite de l'aridité des terres et le manque des ressources hydriques. Cette situation est conjuguée également à une démographie sans cesse croissante nécessitant l'exploitation de maximum de terres afin de couvrir les besoins des populations en différentes cultures.

L'être humain est tenu de trouver d'autres alternatives de production de fourrage. L'une de ces alternatives est la culture en hors sol ou connu aussi sous l'appellation de l'hydroponie. Cette technique repose sur le principe de la graine germée qui permet de faire pousser des tapis de plantes de céréales dans des plateaux dans un délai allant de 7 à 10 jours (Miralles-Bruneau, 2015).

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui vise à produire de l'orge hydroponique à moindre coût comme source alternative.

Ce travail se divise en trois parties :

-la première partie est consacrée aux données bibliographiques qui parlent sur les généralités de l'orge, l'orge hydroponique et l'utilisation de l'orge hydroponique dans l'alimentation animale.

-la seconde décrit le matériel et les méthodes utilisés.

-la troisième partie est une présentation des résultats obtenus suivie d'une discussion.

Enfin, ce mémoire se termine par une conclusion générale .

# *Partie bibliographique*

*Chapitre I*  
*Généralités sur l'orge*

La culture des céréales remonte à une époque antérieure à l'existence de tout manuscrit traitant de l'histoire de l'humanité. Le terme "céréale" dérive du mot latin "cerealī", utilisé par les Romains pour désigner les cultures d'orge et de blé, dont les grains moulus étaient utilisés pour produire la farine servant à faire du pain (Pierre et Gendron, 1982). Selon Parry et Parry (1993), il est probable que l'orge soit la céréale la plus ancienne.

Les graines des céréales, issues de plantes de culture telles que le froment, le riz, l'avoine et l'orge, constituent l'un des aliments de base de l'humanité depuis des milliers d'années (EUFIC, 2009).

### I.1. Importance de l'orge dans le monde

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole (Slama et al., 2005), dont la production et la consommation ont explosé depuis les dernières années, parallèlement à l'augmentation de la population mondiale.

L'orge est une céréale très répandue dans le monde entier et qui fait partie des dix cultures les plus semées (Franquesa, 2014), et qui occupent le quatrième rang derrière le maïs, riz et le blé (Soltner, 2005). D'après les statistiques affichées par Statista (2022), sa production mondiale atteint un volume de 147,26 millions de tonnes pendant l'année 2022/2023 (figure 1). C'est une espèce à la fois fourragère et alimentaire. En effet, elle offre l'avantage de pouvoir être menée en double exploitation : première récolte en vert (pâturage ou fauche), suivi d'une récolte en grains (Khaldoun, 1989).

Il s'agit d'une céréale moins exigeante, elle est capable de s'adapter à différentes conditions hydriques et de sol (Franquesa, 2014).

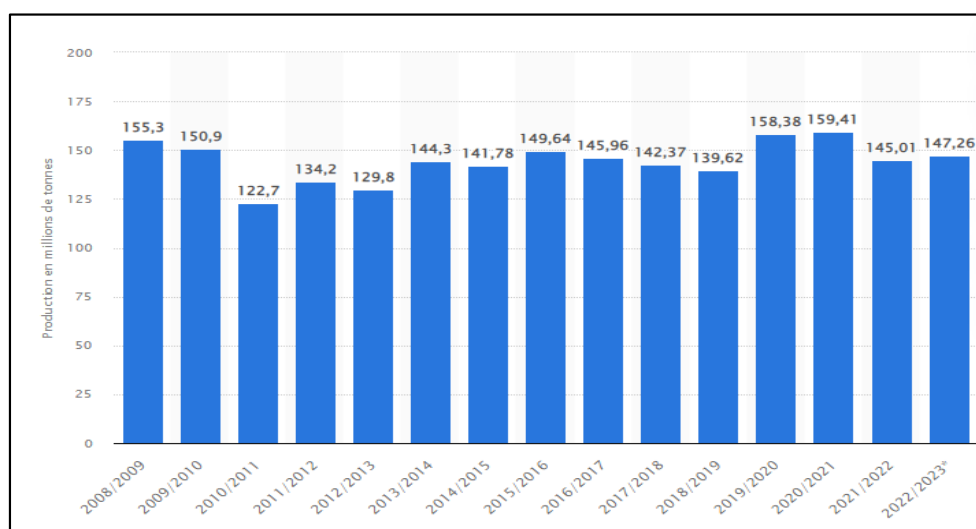


Figure 1 : Production d'orge dans le monde entre 2008 et 2023 (Statista, 2022)

## I.2. Importance de l'orge en Algérie

En Algérie, durant l'époque de la Numidie antique, il existe une abondance de textes et de vestiges qui témoignent d'un développement précoce de la culture des céréales antérieur au III<sup>e</sup> siècle (Bessaoud, 1999).

En effet, selon Belaid (1986), Les céréales sont principalement cultivées pour leurs grains, qui servent à l'alimentation humaine et animale, ainsi que pour leur paille, utilisées comme litière et engrais. Elles peuvent également être désignées à un stade précoce, sous forme de feuilles ou d'épis verts, comme c'est le cas de l'orge en Algérie, que ce soit en culture pure ou en association avec une légumineuse telle que la vesce, l'avoine ou l'orge.

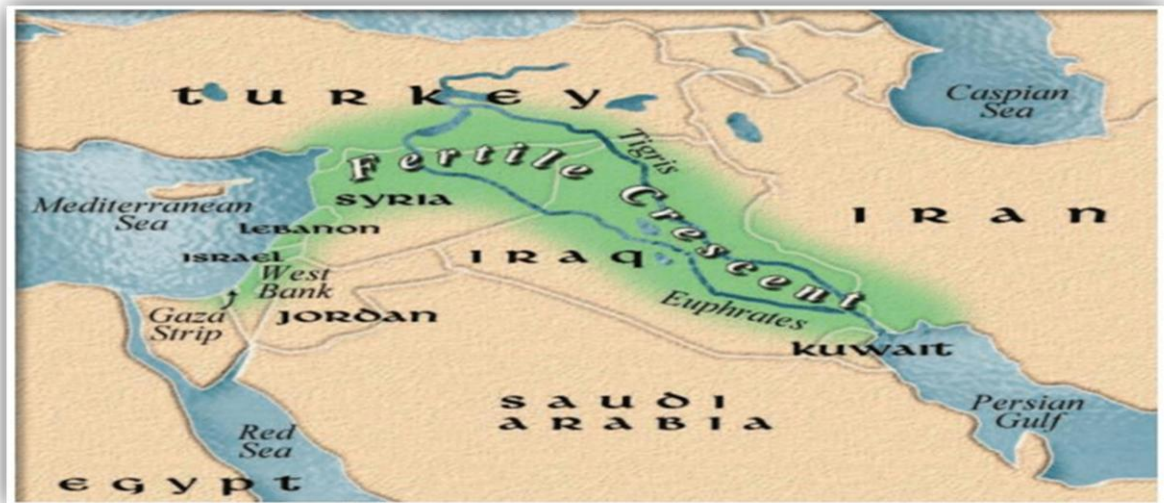
Au début du XIX<sup>e</sup> siècle en Algérie, l'orge était la culture prédominante en raison de son importance. Elle était principalement cultivée pour l'autoconsommation humaine et servait également de fourrage complémentaire pour les troupeaux élevés dans les régions steppiques tout au long de l'année (Hakimi, 1993).

Selon les résultats rapportés par Oudina et Bouzerzour (1993), l'orge est la deuxième céréale la plus cultivée en Algérie après le blé dur. En outre, Hanifi (1999) met en évidence le fait que l'orge occupe la troisième position en termes de superficie et de production céréalière en Algérie. C'est une espèce rustique, moins exigeante en matière de sol et de pluviométrie que le blé.

## I.3. Présentation de l'orge

### I.3.1. Historique et origine de l'orge

L'orge (*Hordeum vulgare L*), fait partie des céréales les plus cultivées depuis le Néolithique, il y a 7000 ans Avant Jésus Christ (FAO, 2002). Des restes de grain d'orge découverts dans les fouilles sur des sites archéologiques indiquent que le Croissant fertile (figure 2) est son origine géographique (Badr et al., 2000).



**Figure 2** : Carte géographique sur le Croissant-Fertile (Usubaliev et *al.*, 2013).

Selon Badre et *al* (2000), c'est une culture qui a été domestiquée environ 8000 ans avant notre ère à partir de l'ancêtre sauvage *Hordeum spontaneum*.

En effet, des études basées sur l'analyse des gènes nucléaires, il est proposé que l'orge ait été domestiquée au Maroc (Molina-Cano et *al.*, 1999). Cependant, cette théorie est contestée par une étude menée par Blattner et *al.* (2001), qui soutient que le Moyen-Orient est le centre géographique de domestication de cette espèce. Selon cette étude, les territoires actuellement connus sous le nom du Liban, de la Syrie, de la Turquie, de l'Irak, de l'Iran et de la Jordanie seraient les régions où l'orge a été domestiquée. Alors que l'étude d'Orabi et *al* (2007) suggère plutôt que c'est l'Éthiopie et l'Érythrée qui sont les centres primaires de domestication.

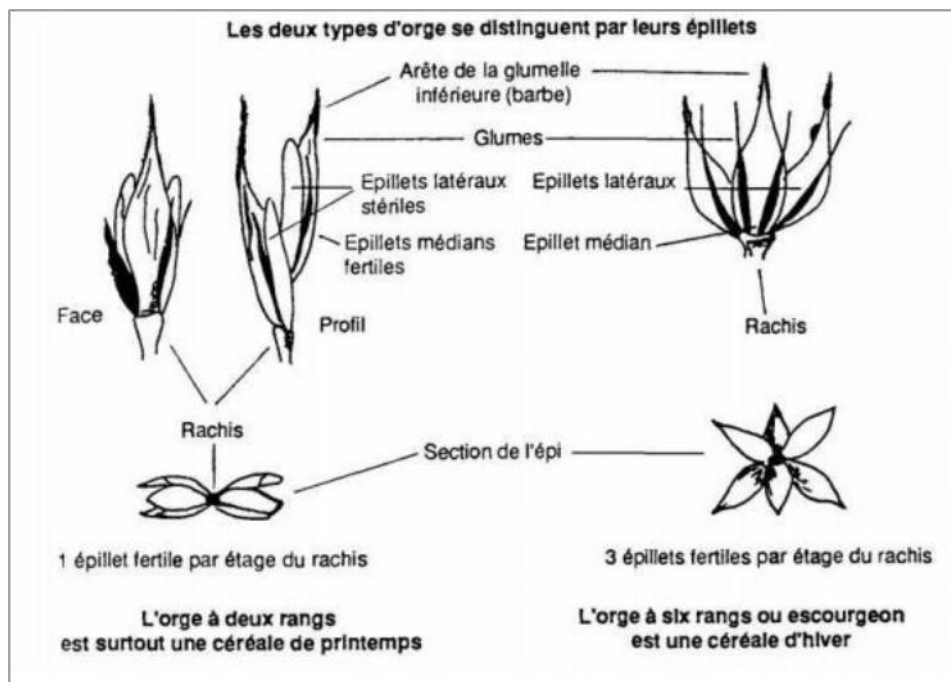
### I.3.2. Classification

D'après Chadefaud et Emberger (1960) ; Prats, (1960) et Feillet, (2000), l'orge est une monocotylédone appartenant à la famille des Poaceae dont la classification est rapportée sur le tableau 1.

**Tableau 1** : classification de l'orge.

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous classe	Commelinidae
Ordre	Poale
Famille	Poaceae
Sous famille	Hordeoideae
Tribu	Hordeae
Sous tribu	Hordeine
Genre	<i>Hordeum</i>
espèce	<i>Hordeum vulgare L.</i>

Selon Grillot (1959), les variétés d'orge peuvent être divisées en deux groupes en fonction de leur fertilité, de la structure des épillets et de la compacité de l'épi. (Figure 3).



**Figure 3** : Classification des variétés d'orge en fonction du degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi (Grillot, 1959).

#### ➤ L'orge à six rangs

Ce sont des variétés d'orges caractérisées par des épillets médians et latéraux fertiles et qui se subdivise selon le degré de compacité de l'épi en :

- *Hordeum hexastichum L.* (escourgeon) : qui est une variété comportant un épi compact composé sur chaque axe du rachis de 3 épillets fertiles.
- *Hordeum tétrastichum L.* : une variété composée d'un épi lâche comportant sur chaque axe du rachis de 2 épillets fertiles.

➤ **L'orge à deux rangs :**

Chez cette catégorie les épillets latéraux sont très rudimentaires et stériles, seul l'épillet central va se développer en grain c'est le cas de *Hordeum distichum L.* à un épi aplati et lâche composé de deux rangées d'épillets fertiles, sur chaque axe du rachis, entouré de 4 épillets stériles.

Selon Soltner (2005), les variétés d'orges peuvent être classées, selon leur milieu de culture, en trois groupes à savoir :

- **Les orges d'hiver** : dont le cycle de développement s'étend sur une période allant de 240 à 265 jours, sont généralement semés en automne.
- **Les orges de printemps** : à cycle de développement très court, qui dure environ de 120 à 150 jours, sont généralement semées au printemps.
- **Les orges alternatives** se situent à un niveau intermédiaire en termes de tolérance au froid par rapport aux orges d'hiver et aux orges de printemps.

### I.3.3. Description de l'orge

#### I.3.3.1. Appareil végétatif

Selon Hachi et *al.* (2005), les graminées sont des plantes herbacées de petite taille qui se développent en unités appelées "talles".

##### I.3.3.1.1. Système aérien

Dans la partie supérieure des plantes céréalières, on peut distinguer une tige principale appelée « maître brin », ainsi que des tiges secondaires, communément appelées « talles », qui se développent à la base de la plante (Boulal et *al.*, 2007). En ce qui concerne les entre-nœuds, ils sont creux chez les blés tendres, l'orge et l'avoine et pleins chez les blés durs (Belaid, 1996).

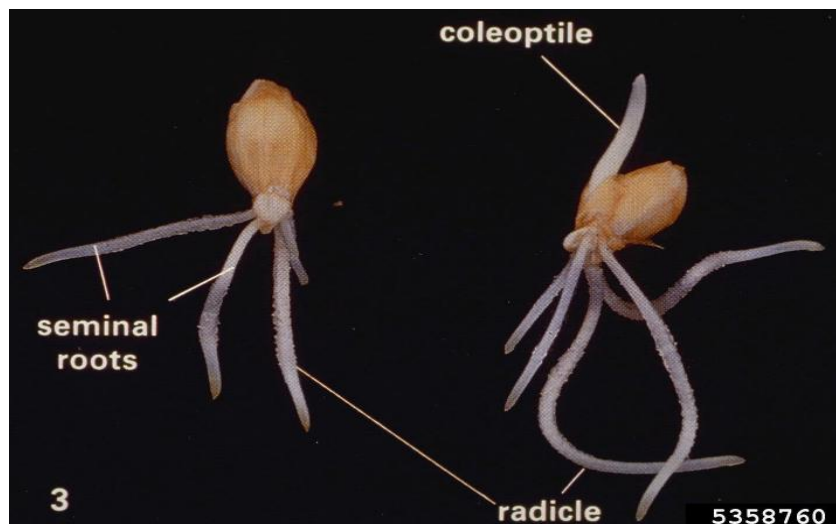
L'orge produit davantage de tiges secondaires que le blé, mais son chaume est plus faible et plus sujet à la verse comparé à ce dernier (Camille, 1980).

Selon Camille (1980) et Belaid (1996), les feuilles de l'orge présentent des nervures parallèles et se composent de deux parties distinctes. La partie inférieure qui entoure la jeune pousse ou la tige, appelée gaine. La partie supérieure qui prend la forme d'une lame, appelée limbe, qui

est pourvue à sa base de deux prolongements arqués et lisses, les oreillettes ou stipules et qui entourent plus ou moins complètement la tige. Selon les mêmes auteurs, à la soudure du limbe et de la gaine se trouve une membrane non vasculaire entourant, en partie, le chaume : la ligule qui est bien développée.

#### I.3.3.1.2. Système racinaire

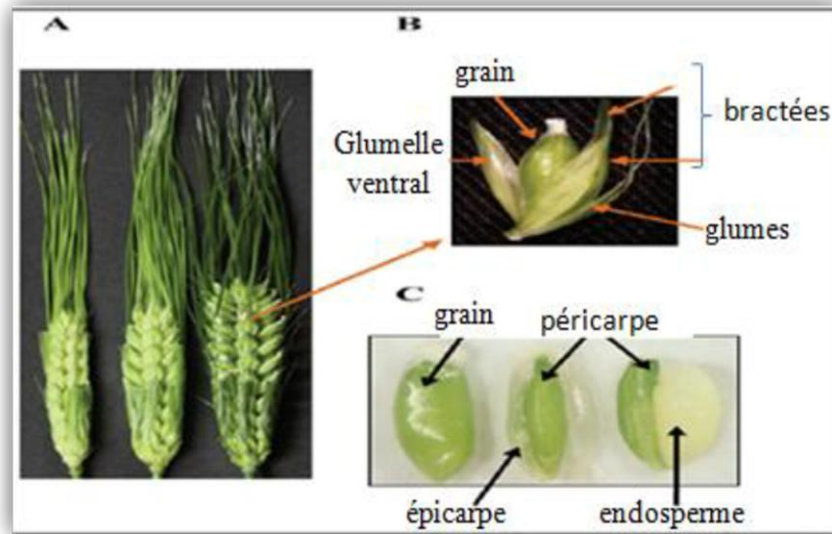
Le système racinaire des céréales est constitué de deux systèmes radiculaires successifs (figure 4). Un système séminal, fonctionnel depuis la germination jusqu'au début du tallage. Ce système est formé en général par six racines et plus rarement sept (Benlaribi et al. 1990 ; Hazmoune, 2006). Un système adventif ou coronal, apparaissant au moment où la plante émet ses talles (Soltner, 2005). Selon le même auteur, ce système se substitue progressivement au précédent système avec l'avancement du cycle biologique des céréales à paille. Il est de type fasciculé, bien que moins puissant.



**Figure 4** : Organisation des systèmes racinaires des céréales. (www.INVASIVE.ORG)

#### I.3.3.2. Appareil reproducteur :

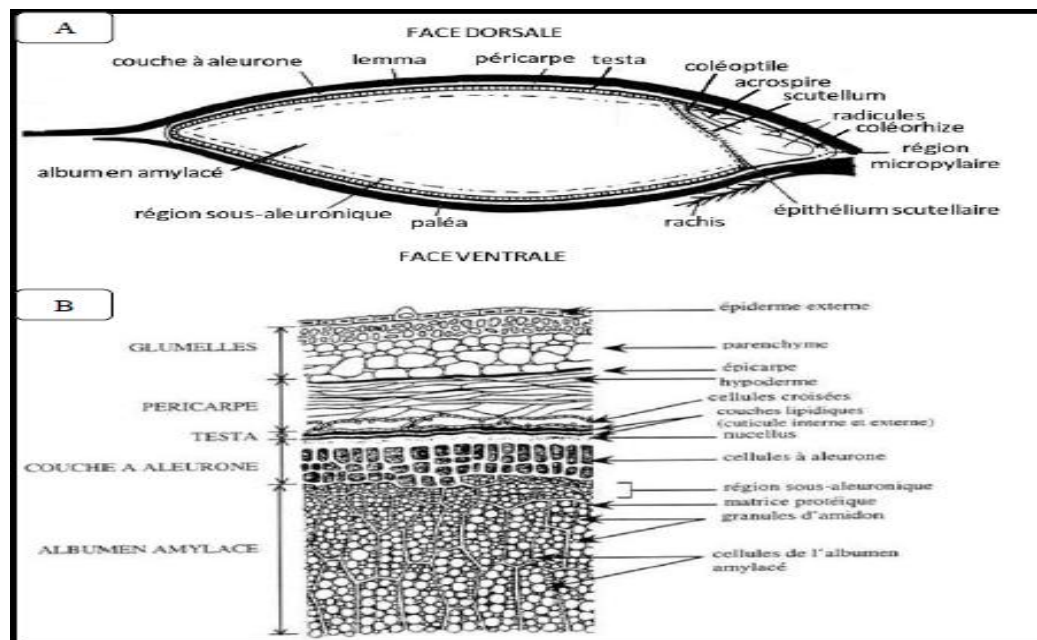
L'orge est une plante autogame, son inflorescence est constituée d'épis, qui sont composés d'unités morphologiques de base appelées épillets (Belaid, 1996). Selon le même auteur, chaque épillet est formé de fleurs enveloppées par leurs glumelles et incluses entre deux bractées appelées glumes (Figure 5).



**Figure 5:** Parties de l'orge, A : Pointes à la pollinisation (à gauche), au début du remplissage des grains (au milieu) et au stade de la pâte (à droite). B : Composants d'un épillet au stade de remplissage du grain. C) : Stade de remplissage du grain (Tilahun et Roger, 2009).

### I.3.3.2.1. Grain

Le grain d'orge est constitué de plusieurs composants distincts : les enveloppes qui sont organisées en plusieurs couches (testa, péricarpe, glumelles), l'embryon, la couche d'aleurone et l'endosperme amylicé (Figure 6).



**Figure 6 :** Morphologie du grain d'orge.

A : Coupe longitudinale d'un grain d'orge ; B : coupe transversale des enveloppes, de la couche à Aleurone et de l'albumen amylicé d'un grain d'orge (Runavot, 2011).

### **I.3.3.2.1.1. Glumelles**

Environ 10 % du poids sec du grain d'orge est constitué par les glumelles, qui forment l'enveloppe externe. On peut distinguer les glumelles dorsales, également appelées lemma, et les glumelles ventrales, connues sous le nom de palea.

Selon Höije et al. (2005), les glumelles sont principalement composées de cellulose (environ 20 %), d'hémicellulose (entre 30 et 45 %) et de lignine (entre 10 et 20 %).

### **I.3.3.2.1.2. Péricarpe**

Le péricarpe du grain d'orge est constitué de différentes cellules se situant entre les glumelles et la testa (Freeman et Palmer, 1984). Selon les mêmes auteurs, il est séparé des glumelles par une couche protectrice cuticulaire appelée épicarpe, et fusionne avec la testa ou tégument séminal. Cette couche joue le rôle d'une membrane semi-perméable, permettant les échanges gazeux à sa surface externe. Le péricarpe est composé de l'hypoderme du côté externe et de cellules rectangulaires interconnectées situées près de la testa du côté interne.

En outre, la testa du grain d'orge est entourée de deux zones cuticulaires, la zone cuticulaire interne qui provient du tissu nucellaire, est plus mince que la zone cuticulaire externe, qui dérive des cellules de la testa (Briggs, 1998).

### **I.3.3.2.1.3. L'embryon**

Dans la graine, l'embryon occupe une position dorsale. Il est principalement composé de deux éléments essentiels : l'axe embryonnaire, qui donne naissance à la plantule lors de la germination, et le scutellum, qui joue un rôle crucial dans la synthèse d'enzymes et le transfert des nutriments de l'albumen vers l'embryon pendant le développement de la graine.

A maturité, l'embryon de l'orge se divise en trois parties distinctes : la tige embryonnaire (coléoptile), le mésocotyle et les racines enveloppées par le coléorhize (Briggs, 1998). Le mésocotyle et l'axe embryonnaire se situent entre le coléoptile et les racines.

### **I.3.3.2.1.4. L'albumen**

L'albumen de l'orge joue le rôle de tissu de réserve. Il contient des grains d'amidon, des protéines de réserve, des lipides et des polysaccharides pariétaux. L'albumen de l'orge est constitué de deux parties distinctes : la couche à aleurone et l'albumen amylicé. (Runavot, 2011).

### I.3.4. Cycle de développement

La figure 7 représente les différents stades de développement de l'orge (tallage, montaison, épi à 10cm, début épiaison, pleine épiaison et floraison). Le cycle de développement de l'orge comporte une période végétative, une période de reproduction et une période de maturation.

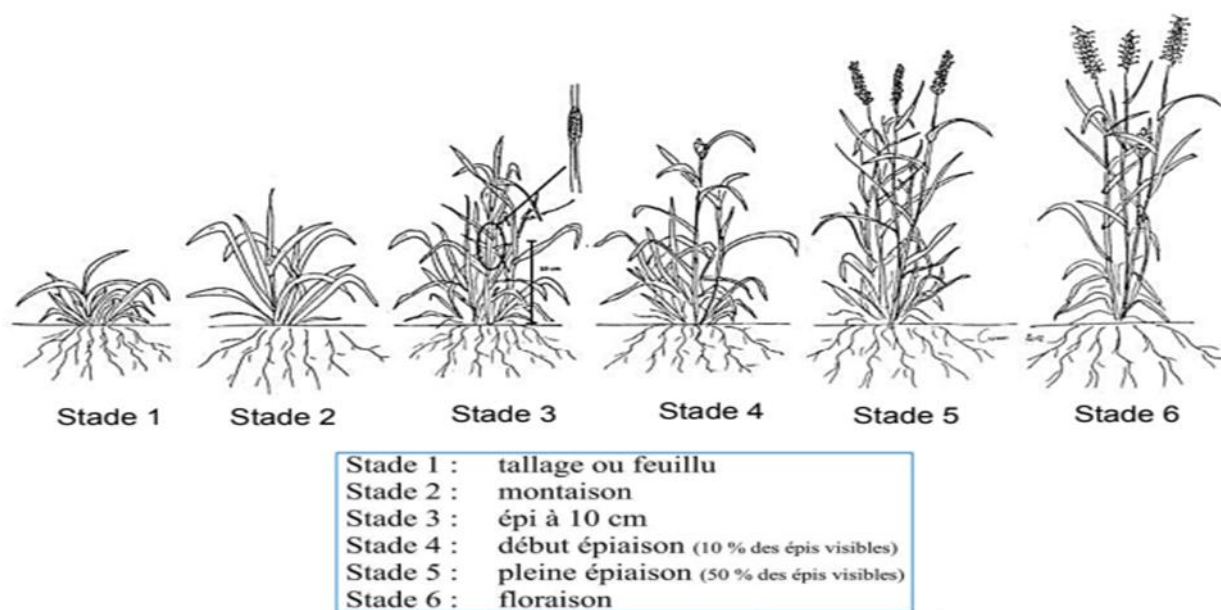


Figure 7: Les différents stades de développement de l'orge (Crémer, 2012)

#### I.3.4.1. La période végétative

C'est une période s'étend de la germination de la graine jusqu'à la formation des talles.

- ✚ **la germination** : c'est l'entrée de la semence en vie active après avoir été imprégnée d'eau, la racine s'allonge d'une certaine longueur exprimée en millimètres qui donne naissance aux racines primaires ou racines séminales, le coléoptile s'émerge et perce le sol pour laisser sortir les jeunes feuilles en croissance (Crémer, 2014).
- ✚ **La levée** : cette période est caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement (Giban et al., 2003).
- ✚ **Le tallage** : durant cette phase, un bourgeon se développe à l'aisselle de la première feuille. Ce bourgeon donne naissance à une nouvelle talle (talle primaire). Par la suite, d'autres talles se forment successivement, créant un plateau de tallage situé au niveau du sol. Le tallage se termine à la fin de la

période végétative, marquant le début de la phase reproductive de la plante (Crémer, 2014).

#### **I.3.4.2. La période reproductive :**

La phase reproductive met fin au processus de tallage, entraînant la mort du plus jeune talle. Elle comporte la phase de montaison, l'épiaison et de la floraison.

- ✚ **La montaison :** durant cette phase et une fois l'ébauche de l'épi formée, les entrenœuds commencent à s'allonger, ce qui entraîne la croissance de la tige. À ce stade, si l'on effectue une coupe de la tige de la plante, on peut observer la formation de l'épi (Crémer, 2014).
- ✚ **L'épiaison :** est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille (Giban et *al.*, 2003).
- ✚ **La floraison :** c'est l'apparition des étamines hors des épis (Crémer, 2014).

#### **I.3.4.3. La période de maturation**

Pendant cette dernière période, l'embryon de l'orge se développe et l'albumen accumule des substances de réserve. On observe une augmentation du volume et du poids des grains. La phase se termine par le stade laiteux (le grain s'écrase facilement en laissant apparaître un liquide blanchâtre). Ensuite, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. La phase se termine par le stade pâteux. Enfin, le grain devient dur et de couleur jaunâtre (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane., 2006).

### **I.3.5. Les variétés de l'orge dans le monde et en Algérie**

L'orge (*Hordeum vulgare*) est une céréale largement cultivée dans de nombreux pays du monde entier, y compris l'Algérie.

Selon Ait Rachid (1991), sa culture est pratiquée en mélangeant les populations locales et ce depuis longtemps. Cependant, le nombre de variétés d'orge cultivées en Algérie est plus modeste que celui des blés.

D'après l'ITGC et le CNCCSP (2015), l'Algérie dispose de plusieurs variétés d'orge adaptées à ses conditions climatique et agronomiques spécifiques (Tableau 2).

**Tableau 2** : les différents variétés d'orge Algérienne et leurs caractéristiques agronomique et technologiques (ITGC et CNCCSP, 2015).

	Variétés	Caractéristiques agronomiques et technologiques
<b>Variétés d'orge Dans le monde</b>	Dingo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine : Italie ;</li> <li>- Orge à 6 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- Poids de mille grains (PMG) élevé ;</li> <li>- Teneur en protéines : 10,84%</li> <li>- Type de développment : hiver.</li> </ul>
	Marnie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine : Allemagne ;</li> <li>- Orge à 2 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG : élevé ;</li> <li>- Teneur en protéines : 13,93%</li> <li>- Type de développment : hiver.</li> </ul>
	Nailia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine : Syrie ;</li> <li>- Orge à 6 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG : élevé ;</li> <li>- Type de développment : hiver.</li> </ul>
	Rihane 03	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine : Syrie ;</li> <li>- Orge à 6 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG : élevé ;</li> <li>- Teneur en protéines : 10,50% ;</li> <li>- Type de développment : hiver.</li> </ul>
	Hermione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine : France ;</li> <li>- Orge à 2 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG : Moyen ;</li> <li>- Teneur en protéines : 13,94%</li> <li>- Type de développment : hiver.</li> </ul>
	Hispanic	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine : France ;</li> <li>- Orge à 2 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG : élevé ;</li> <li>- Teneur en protéines : 13,12%</li> <li>- Type de développment : hiver.</li> </ul>
	Exito	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine : France ;</li> <li>- Orge à 6 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG : élevé ;</li> <li>- Teneur en protéines : 13,98%</li> <li>- Type de développment : hiver.</li> </ul>

<b>Variétés d'orge en Algérie</b>	Tichedrett	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orge à 6 rangs ;</li> <li>- Zone d'adaptation : les hauts plateaux et les plaines intérieures ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- Poids de mille grains (PMG) : élevé ;</li> <li>- Période de semi : de la mi-novembre à la mi-décembre ;</li> <li>- Type de développement : hiver, cycle tardive.</li> </ul>
	Saida 183	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zone d'adaptation : les hauts plateaux ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG élevé ;</li> <li>- Teneur en protéines : 14,85% ;</li> <li>- Période de semi : de la mi-octobre à la mi-novembre ;</li> <li>- Type de développement : hiver, cycle précoce.</li> </ul>
	El Bahia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orge à 6 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG élevé ;</li> <li>- Teneur en protéines : 12,95% ;</li> <li>- Type de développement : hiver.</li> </ul>
	El Fouara	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orge à 6 rangs ;</li> <li>- Rendement élevé ;</li> <li>- PMG élevé ;</li> <li>- Teneur en protéines : 14,50% ;</li> <li>- Type de développement : hiver.</li> </ul>
	Oued Righ	
	Beldi de Bordj ben Azouz	

### I.3.6. Itinéraire technique de culture de l'orge :

En 1990, Sebillotte définit le système de culture comme l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique, chaque système de culture se caractérise par la nature des cultures et leur ordre de succession et par les itinéraires techniques appliqués à chacune de ces cultures.

D'après l'ITGC, l'INSID, la CNA, l'INPV et l'INVA (2021), la culture de l'orge se passe par plusieurs étapes (Tableau 3) :

**Tableau 3** : Itinéraire technique optimal de la culture de l'orge (Alaoui, 2003).

Août	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet
avril-04.....	↓										
labour											
(chisel, charrue à soc, vibroculteur)		↓	↓								
		préparation du lit de semence									
			(croskills ou herse								
			rouleau pour tasser								
			légèrement)								
		↓									
		apport des engrais de fond (N,P,K)									
			↓ semis ↓								
		utiliser les semences certifiées ou bon à semer									
			mais traitées								
					↓						
					apport d'zote						
					(N)						
					début tallage						
					↓						
					désherbage précoce à partir du stade 3 feuilles						
						↓					
						désherbage tardif (mi-tallage-fin					
						montaison)					
							↓				
							traitement fongicide contre maladies				
							foliaires				

**I.3.6.1. La rotation des cultures**

Il s'agit d'une pratique agricole essentielle pour améliorer la fertilité des sols et contrôler les organismes nuisibles présents dans le sol. Cette méthode implique la rotation de cultures (telles que céréales et fourrage) sur une même parcelle, afin de planifier la plantation de la même espèce à des moments différents. L'objectif principal est d'améliorer la santé du sol, de perturber les cycles de reproduction et de développement des ravageurs souterrains, ainsi que de lutter contre la croissance de certaines mauvaises herbes (Gueffifa et al. 2021).

**I.3.6.2. Déchaumage**

Déchaumage s'agit d'une opération de travail peu profond du sol, ayant pour objectif d'entrer les résidus de cultures précédentes, tels que les chaumes, pour accélérer leur décomposition. Cette méthode est employée pour réduire la présence de graines d'herbes indésirables dans le sol et interrompre le cycle des maladies fongiques et des ravageurs. Le déchaumage est

généralement réalisé après la récolte de la culture précédente et avant d'entreprendre des travaux profonds (Tamaloust et al. 2021).

### **I.3.6.3. Préparation du sol**

- **Analyse du sol (avant labour)**

Il est essentiel de réaliser une analyse du sol avant de procéder à la plantation de toute culture, y compris les céréales. Cette analyse doit être effectuée de un à quelques mois avant le semis. Son but principal est de caractériser le sol sur les plans physique, chimique et biologique, dans le but de déterminer la quantité d'engrais nécessaire en fonction des besoins spécifiques de la culture. Selon Gueffifa *et al.* (2021), il est également nécessaire de prendre en considération l'état de fertilité du sol et de choisir le type d'engrais à utiliser en se basant sur les paramètres du sol tels que le taux de calcaire, le pH, la salinité, ainsi que les concentrations en N, P et K... (ect).

Du point de vue de la protection des plantes, il est recommandé de réaliser des analyses nématologiques avant d'implanter la culture afin de détecter la présence de nématodes à kystes (*Heterodera* sp) ainsi que d'autres nématodes filiformes (*Pratylenchus*).

- **Labours**

Le labour est une technique de travail du sol, ou plus précisément de la couche arable d'un champ cultivé, qui consiste à retourner la terre sur une profondeur comprise entre 25 et 30 centimètre (cm), pour but d'améliorer la fertilité naturelle du sol par la restitution et l'enfouissement des résidus de récolte et la réduction de l'infestation des adventices ainsi que la diminution de l'évaporation du sol (Tamaloust *et al.* 2021).

Sur les terrains plats bien drainés, la direction du labour peut être choisie sans contrainte. En revanche, sur les terrains en pente, il est conseillé de labourer le sol perpendiculairement à la pente afin de prévenir les problèmes d'érosion (Tamaloust *et al.* 2021).

Pour compléter la préparation du sol, une étape de reprise du labour est nécessaire pour réduire le volume des mottes laissées par le premier labour. Cette étape permet également de mélanger les résidus végétaux sur une profondeur de 10 à 15 cm (Tamaloust *et al.* 2021).

## Préparation du lit de semences

Réalisée juste avant le semis avec des herse à cages roulantes ou à lames. Cet outil émiette les mottes superficielles, nivèle le sol, ameublie la couche superficielle du sol, détruit les mauvaises herbes et préparer le lit de semence (Gueffifa *et al.* 2021).

- **Engrais de fond**

Elle concerne les éléments majeurs, le phosphore et le potassium (P et K). Le phosphore et le potassium sont deux éléments indispensables dans la nutrition minérale des céréales (Gueffifa *et al.* 2021).

Les besoins de la plante en ces deux éléments évoluent dans le même sens que ceux de l'azote, mais en quantité plus faibles (Gueffifa *et al.* 2021).

Le raisonnement de la fertilisation phospho-potassique tient compte du niveau de richesse des sols en ces éléments et des restitutions des résidus de la culture précédente (Gueffifa *et al.* 2021).

### I.3.6.4. Choix variétal

Le choix des variétés à produire est en fonction des besoins des utilisateurs (consommateurs, transformateurs, ...etc.) ainsi que selon leurs qualités technologiques et leurs zones d'adaptation (Tamaloust *et al.* 2021).

### I.3.6.5. Semis

Il est essentiel de respecter les délais recommandés pour effectuer le semis afin d'assurer une installation optimale de la culture et un démarrage réussi. En outre, il est important de veiller à un traitement adéquat des semences avant leur plantation. (Gueffifa *et al.* 2021).

Pour obtenir une densité de peuplement comprise entre 250 et 300 pieds/m<sup>2</sup>, il faut respecter les densités de semis suivantes :

- Orge d'hiver : 280 à 320 grains/m<sup>2</sup>
- Orge de printemps : 350 à 380 grains/m<sup>2</sup>

### I.3.6.6. Désherbage

Le désherbage est une opération culturale importante pour le contrôle des principaux adventices rencontrés dans les cultures (Gueffifa *et al.* 2021).

### I.3.6.7. Fertilisation

La fertilisation implique le maintien et l'optimisation de la capacité nutritionnelle d'un sol, dans le but de répondre aux besoins des cultures afin d'atteindre les potentialités de production du sol tout en préservant l'environnement (Tamaloust *et al.* 2021).

### I.3.6.8. Irrigation d'appoint

L'irrigation complémentaire se présente comme l'une des méthodes les plus adaptées pour compenser l'irrégularité des précipitations. En cas de sécheresse agro météorologique, elle doit s'imposer comme une opération culturale pour l'amélioration de la productivité des céréales (Tamaloust *et al.* 2021).

### I.3.6.9. Récolte

La récolte constitue la phase finale du processus de culture des céréales. C'est une étape cruciale et délicate, car elle peut entraîner des pertes significatives si elle est réalisée dans des conditions inappropriées. Lors de la récolte des céréales, plusieurs étapes doivent être soigneusement exécutées pour prévenir la détérioration de la qualité des graines (Gueffifa *et al.* 2021).

### I.3.7. Exigences de l'orge :

Les exigences culturales de l'orge sont variables en fonction de la variété, pour cette raison certaines sont dites d'hiver (supportant le gel et plus exigeantes en eau) et d'autres de printemps (Hanchane, 2009).

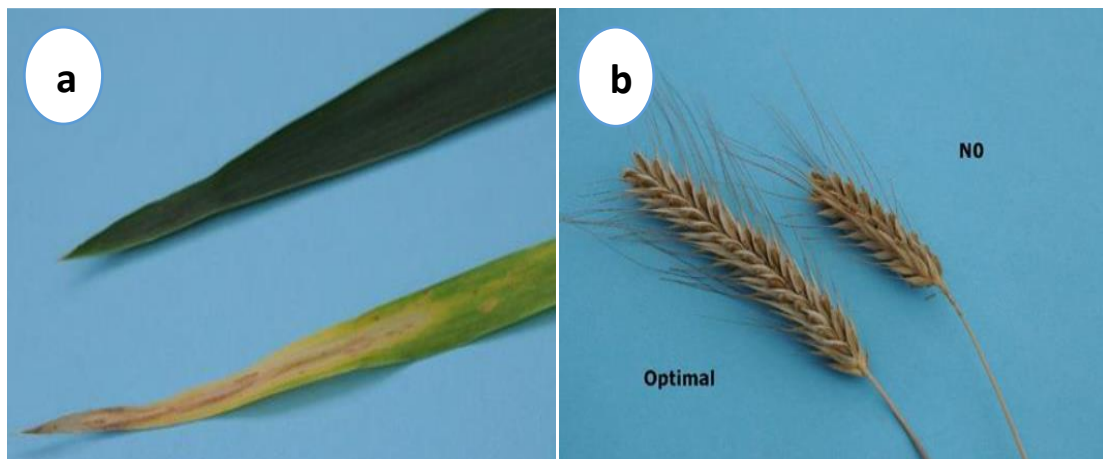
Généralement, les besoins en eau de l'orge sont satisfaits par des précipitations entre 350 et 370 mm et les températures optimales pour sa croissance sont situés entre 15 et 20°C (Hanchane, 2009). Certaines variétés nécessitent peu d'eau et sont tolérante à la salinité et à d'autres conditions de stress. Aussi, l'orge est une espèce d'une grande importance dans les zones où le blé ne peut pas être cultivé en raison d'un sol inadéquat et d'une irrigation insuffisante (Sriman *et al.*, 2018). Il prédomine, ainsi, dans les régions arides et semi-arides, caractérisées par des pluies rares et irrégulières et par des températures souvent élevées (Hanchan, 1998).

En outre, selon Sriman *et al* (2018), l'orge peut végéter dans des sols calcaires alluviaux, limoneux, ayant un pH de 8,1, une teneur de 0,38 g kg<sup>-1</sup> de carbone organique, et où les éléments N, P et K sont disponibles à des taux de 185,0 kg ha<sup>-1</sup> ; 15,25 kg ha<sup>-1</sup> et 265,0 kg ha<sup>-1</sup> respectivement. En effet, ces éléments sont indispensables au développement de la culture.

➤ **Azote (N)**

L'azote favorise une croissance plus vigoureuse de la plante, améliore la photosynthèse, encourage le tallage, augmente le rendement des grains et améliore leur teneur en protéines, ce qui contribue à améliorer la qualité des grains (MOSSAB, 2007).

D'après Benider (2018), il est conseillé d'appliquer une quantité d'azote comprise entre 0 et 30 unités par hectare après une période de jachère ou une culture légumineuse, et entre 50 et 90 unités par hectare après une culture céréalière. Les premiers signes de carence en azote se manifestent par un jaunissement des feuilles plus âgées en premier lieu (Alaoui, 2003). Si des signes de carence en azote apparaissent au niveau du champ, le rendement potentiel a été déjà réduit. Les cas de carence extrême en N entraînent une sénescence précoce et une réduction de la taille des épis (Figure 8).



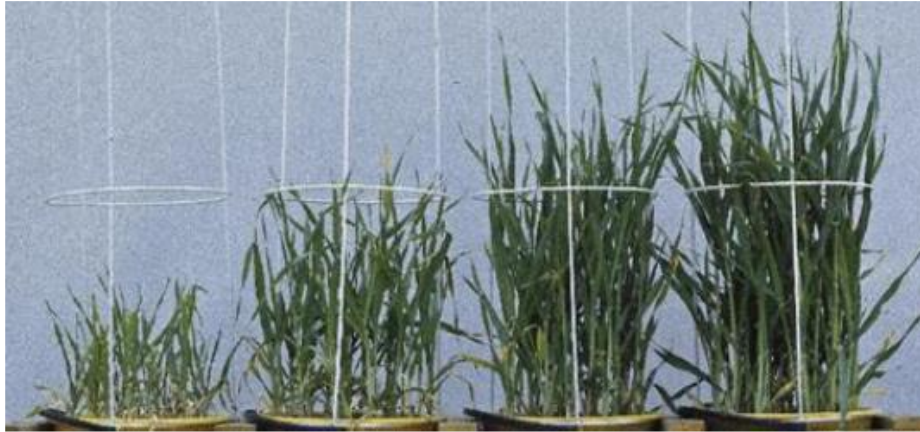
**Figure 8** : a : une image qui montre le jaunissement de la feuille d'orge ; b : la réduction de la taille des épis, NO : un épi carencé, Optimal : un épi non carencé (<https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/orge/carences-orge>).

➤ **Phosphore (P)**

Selon Madjida et *al.* (2020), le phosphore joue un rôle crucial dans la promotion d'une meilleure croissance des racines et d'une maturation uniforme de la culture, ce qui contribue à une implantation plus efficace de la culture.

Selon Alaoui (2003), le phosphore doit être appliqué à des doses comprises entre 30 et 40 unités/ha.

Les plantes carencées en (P) sont plus petites que la normal (Figure 9), les feuilles montrent des colorations violacées, notamment sur le milieu des limbes et la croissance est fortement ralentie (Martel et *al.*, 1977).



**Figure 9** : Les différents niveaux de carence en phosphore chez l'orge (<https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/orge/carences-orge>).

➤ **Potassium (K)**

Selon Madjida et al. (2020), le potassium est un nutriment essentiel qui favorise une croissance végétale plus luxuriante, une meilleure photosynthèse, ainsi qu'un développement amélioré de la plante. Son utilisation entraîne une augmentation du rendement et une amélioration de la qualité des grains.

Sur des sols de texture sablonneuse, ou sur des sols organiques, les quantités de potassium à appliquer doivent être comprises entre 15 et 30 unités de K/ha (Alaoui, 2003).

D'après Hamdane (2010), la carence en (K) provoque des nécroses ou un brunissement au niveau des pointes des feuilles les plus âgées (Figure.10).



**Figure 10** : Carence en potassium pour la plante de l'orge (<https://www.yara.fr/fertilisation/solutions-pour-cultures/orge/carences-orge>).

*Chapitre II*  
*L'orge hydroponique*

L'agriculture était le secteur le plus critique face aux impacts du changement climatique mondial. Les ressources en eau naturelle sont affectées par le changement climatique mondial, ce qui met en danger la production alimentaire et la durabilité (Falkenmark, 2007). On s'attend à ce que le changement climatique mondial ait un impact négatif sur les pâturages des régions arides et semi-arides (Hoffman et Vogel, 2008). Les précipitations diminuent tandis que la température environnementale augmente, ce qui entraîne une diminution des rendements des prairies et une dégradation des pâturages et des prairies au fil du temps. Le concept de mettre un kilogramme de céréales dans un système hydroponique et de produire de 6 à 10 kilogrammes de jeunes pousses vertes et fraîches, indépendamment du temps et à tout moment de l'année, est intéressant par Krugliakov, 1989. La production de fourrage hydroponique est une technique pour faire germer des graines fourragères telles que l'orge.

### II.1. Historique

L'origine de la culture hydroponique, également connue sous le nom d'hydroculture ou culture sans sol, remonte au XVIIe siècle. À ses débuts, cette méthode était principalement utilisée dans le cadre de la recherche sur la nutrition des plantes. Ce n'est qu'à partir des années 1930-1935 que le chercheur californien Cserickjz a commencé à mettre en œuvre cette technique dans le domaine de l'horticulture et de la culture maraîchère (Habben 1974). La technique de production de fourrage vert hydroponique (FVH) repose sur une utilisation ancestrale des graines germées (Hübner et Arendt, 2013). Celles-ci sont utilisées depuis des siècles en Asie pour l'alimentation humaine et animale. La germination y est utilisée pour améliorer la composition nutritionnelle des céréales et légumineuses (Chavan et *al.*, 1989). En Europe, les fermiers utilisaient les céréales germées dès le 19ème siècle pour alimenter les troupeaux de vaches en hiver. En France, le blé germé était couramment utilisé pour traiter les animaux faibles. Cette technique est toujours pratiquée en agriculture biologique et en élevage équin (Miralles-Bruneau, 2015).

### II.2. Définition de la culture hydroponique

En hydroponie, le terme provient de deux mots grecs, "hydro" qui signifie eau et "ponos" qui signifie travailler. Il s'agit de cultiver des plantes sans sol. On l'appelle également graines/fourrage germé (Dung et *al.*, 2010). Il peut être produit à la fois dans de grands systèmes commerciaux sophistiqués et automatisés avec contrôle environnemental, ou dans des systèmes à faibles coûts, où l'environnement ambiant est adapté à la production de fourrage (Bakshi et *al.*, 2017).

L'évolution de la culture hydroponique de fourrage se déroule sans recours à la terre, mais en utilisant de l'eau. À l'intérieur d'une serre, il est envisageable d'appliquer des solutions nutritives pendant une brève période. Cependant, cette solution nutritive n'est pas obligatoire et seule l'eau du robinet peut être utilisée. Le fourrage ressemble à un tapis d'une hauteur d'environ 20 à 30 cm, composé de racines, de graines et de plantes (Miralles-bruneau, 2015). Il est considéré comme très appétissant, digeste et nutritif pour les animaux, il permet d'augmenter la production de lait de 8 à 13 % chez les bovins. Il s'agit d'une technologie alternative très intéressante pour les animaux laitiers, utilisée dans des régions où la production conventionnelle de fourrage vert est limitée (Prafulla et *al.*, 2015).

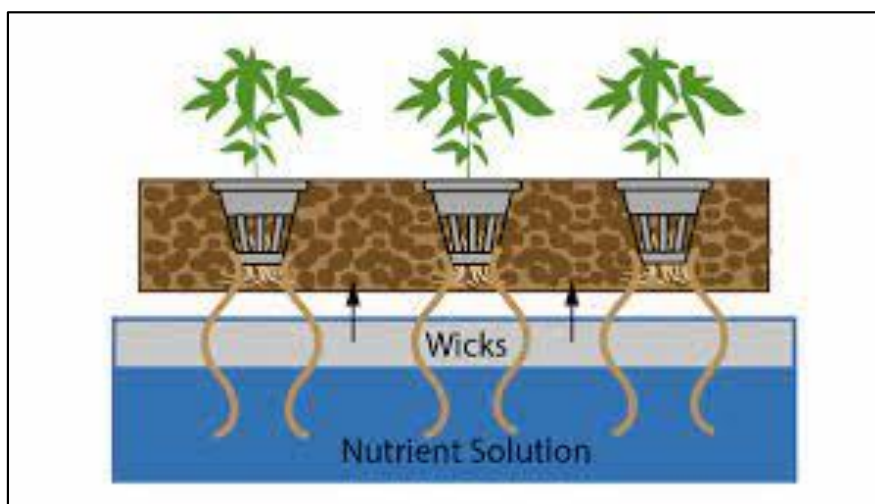
### II.3. Différents systèmes de culture hydroponique

#### II.3.1. Système hydroponique passifs et actifs

La différence entre ces « types » de systèmes se fait selon le mode d'acheminement de l'eau (ou l'air).

##### II.3.1.1. Un système hydroponique passif

C'est un système qui consiste à utiliser les propriétés du substrat (ou d'une mèche) pour acheminer l'eau et les nutriments aux racines par capillarité (Figure 11). Se sont donc des systèmes qui conviennent aux amateurs de plantes distraits. En effet, le système distribue en permanence l'eau aux plantes et il suffit de compléter la réserve de solution nutritive (Bendif, 2018).



**Figure 11 :** Système hydroponique passif (www.istockphoto.com).

##### II.3.1.2. Un système hydroponique actif

C'est un système qui utilise des pompes qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique pour distribuer la solution nutritive (Figure 12).

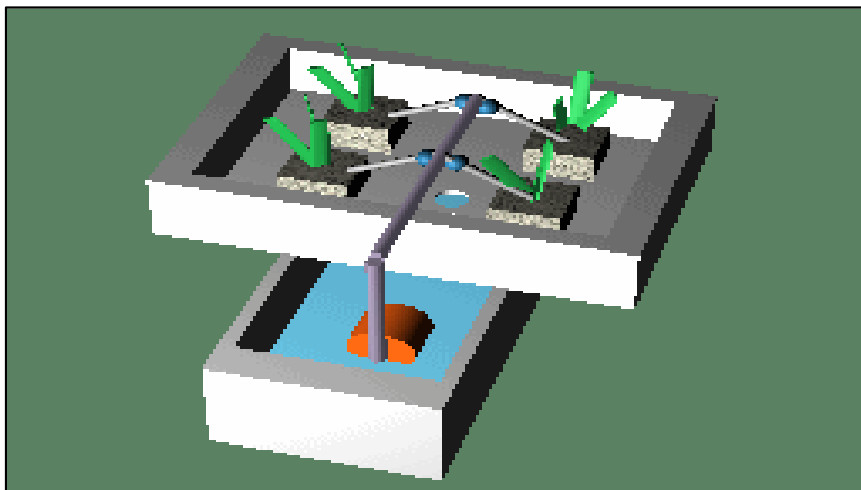
Les systèmes hydroponiques actifs se distinguent par leur efficacité ; l'irrigation est lancée de manière précise et à la quantité exacte nécessaire, en fonction des exigences des plantes.

La circulation de la solution nutritive dans un système actif a pour effet d'augmenter la concentration en dioxygène (O<sub>2</sub>) et d'uniformiser la distribution des éléments nutritifs.

Ils permettent aussi d'obtenir des cycles de saturation en eau/sécheresse du substrat, contrairement aux systèmes passifs. En effet, certaines plantes comme le Laurier rose (*Nerium oleander*) demandent des alternances d'irrigation et sécheresse pour fleurir).

Au cours des dernières années, les systèmes hydroponiques passifs ont connu un déclin significatif par rapport aux systèmes hydroponiques actifs, qui se sont avérés plus performants.

Néanmoins, compte tenu de la situation actuelle marquée par une « crise énergétique » et en attendant l'avènement des systèmes actifs fonctionnant à partir d'énergies renouvelables, il semblait opportun de discuter des systèmes passifs (Bendif, 2018).



**Figure 12 :** Système hydroponique actif ([www.istockphoto.com](http://www.istockphoto.com)).

Il existe d'autres types de système hydroponique qui se base sur la présence ou l'absence du substrat.

### **II.3.2. Systèmes hydroponiques avec ou sans substrat**

#### **II.3.2.1. Systèmes sans substrat**

La plante est soutenue au-dessus de ses racines à l'aide de supports tels que carton, plastique, bois ou du fil de fer, les racines sont en permanence ou par intermittence immergées dans une solution nutritive. Ce système comprend la culture dans les tubes, technique du film nutritif (nutriment film technique : NFT) et les inondations hydroponiques. Dans la plupart de ces systèmes, la solution nutritive est réutilisée (Ellis et Swaney, 1947).

### II.3.2.1.1. Aquiculture

Dans l'aquiculture, la solution nutritive est contenue dans un bac (Figure 13). Pour prévenir l'asphyxie des racines, il est nécessaire de fournir de l'oxygène supplémentaire à la solution nutritive, ce qui implique l'utilisation d'un processus technique plutôt complexe. L'aquiculture reste de ce fait un système destiné à la recherche et peu développé dans la pratique (Cervantes, 2012).

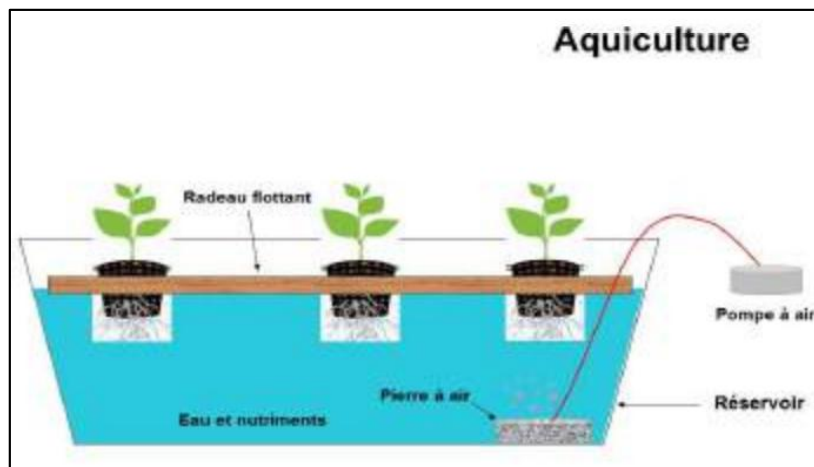


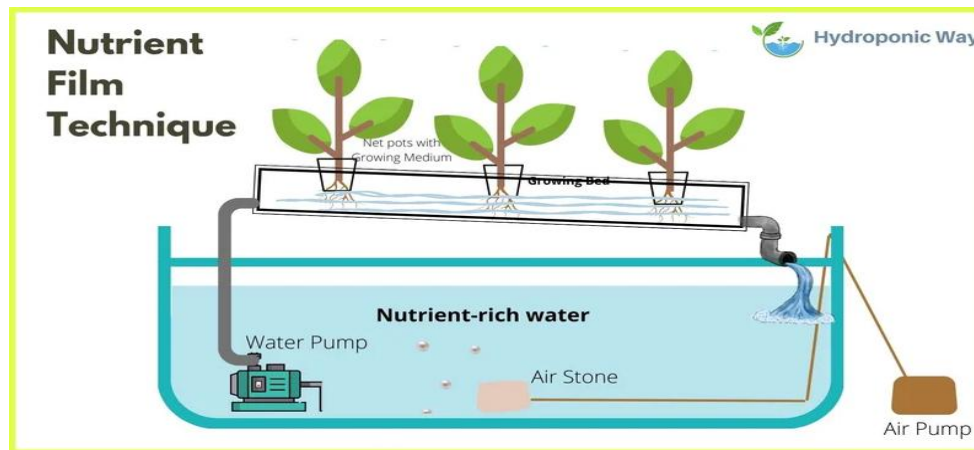
Figure 13 : Schéma du système aquiculture (www.istockphoto.com).

### II.3.2.1.2. Technique du film nutritif (N.F.T.)

La NFT utilise une vaporisation ou un ruissellement constant d'eau pour fournir l'arrosage des nutriments nécessaires aux racines (Figure 14). En théorie, le fait d'offrir aux racines des conditions optimales permet d'obtenir une croissance plus rapide, au maximum de ce que la plante peut se permettre.

La technique du film nutritif a été développée au cours de la fin des années 1960 par le Dr. Allan Cooper à l'Institut de recherche des cultures sous serre à Little hampton en Angleterre (Winsor et al, 1979); un certain nombre de perfectionnements ultérieurs ont été développés à la même institution (Graves 1983).

L'un des principaux atouts des NFT par rapport à d'autres systèmes est leur besoin réduit en solution nutritive, ce qui facilite le maintien de températures optimales pour la croissance des racines pendant l'hiver et leur refroidissement pendant les étés chauds dans des régions arides ou tropicales (Graves 1983).



**Figure 14** : Schéma du système NFT (www.istockphoto.com).

### II.3.2.1.3. Aéroponie :

Dans une application inhabituelle de la culture hydroponique de système fermé, les plantes sont cultivées dans des trous des panneaux de polystyrène expansé ou d'un autre matériau. Les racines des plantes sont mises en suspension dans l'air sous le panneau et en fermées dans une boîte de pulvérisation. La boîte est scellée afin que les racines soient dans l'obscurité (pour inhiber la croissance des algues) et de la saturation d'humidité (Figure 15). Un système de brumisation pulvérise la solution nutritive sur les racines périodiquement. Le système est normalement activé pour seulement quelques secondes toutes les 2-3 minutes. Cela est suffisant pour maintenir les racines humides et la solution nutritive aérée. Ces systèmes ont été développés par Jensen en Arizona pour la laitue, les épinards, même les tomates, bien que ces derniers ont été jugés de n'être pas économiquement viables (Jensen et Collins, 1985).

L'aéroponie a été utilisée avec succès dans la production de plusieurs cultures horticoles et ornementales (Biddinger et al, 1998). Le système aéroponique a été appliqué avec succès en Corée pour la production des tubercules de pommes de terre, Kang et *al.* (1996); Kim et *al.*, (1999) ; Ritter et *al.*, (2001) ont démontré que le rendement de la production des mini tubercules s'est sensiblement amélioré en utilisant l'aéroponie dans des conditions tempérées.

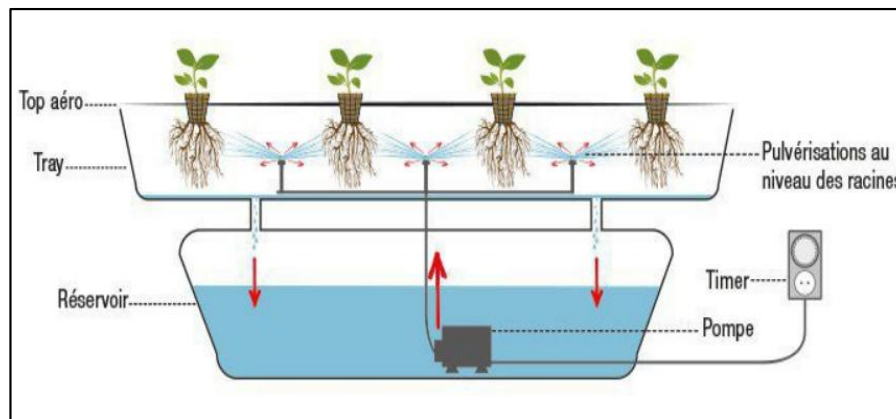


Figure 15 : Schéma reprisant le système d'Aéroponie (www.istockphoto.com).

#### II.3.2.1.4. Ultraponie

L'ultraponie est une amélioration de l'aéroponie. Le brouillard nutritif est créé grâce à des brumisateurs à ultrasons puis dirigé vers les racines. Il est fait de très fines gouttelettes formant un milieu composé d'eau et d'oxygène directement assimilable par les pores des racines. La circulation de la brume accélère énormément le processus d'absorption des racines. Le « chevelu » est plus dense, augmentant exponentiellement les échanges entre la plante et le milieu nutritif (Figure 16). L'ultraponie permet des rendements jusqu'à 8 fois supérieurs, et consomme très peu d'eau, d'engrais et d'électricité. Il peut être totalement contrôlé par informatique. C'est pourquoi, c'est le système qui a été choisi par la NASA dans ses recherches pour nourrir les astronautes durant les voyages lointains dans l'espace. (Cervantes, 2012).

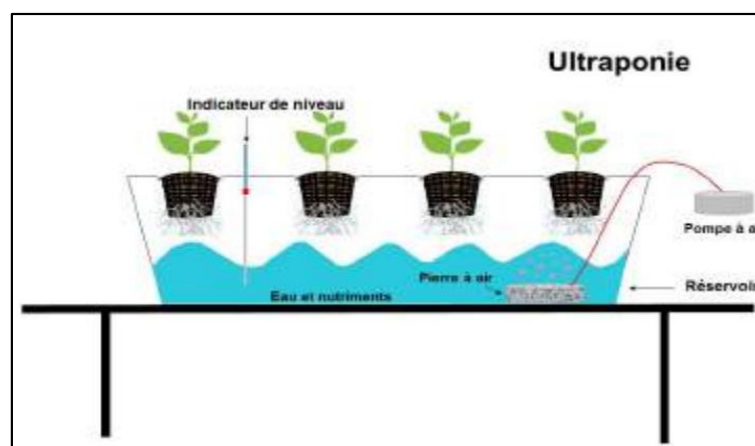


Figure 16 : Le système Ultraponie (www.istockphoto.com).

#### II.3.2.2. Systèmes avec substrat

Cette technique se rapproche le plus de ce qui se passe dans le sol pour une culture traditionnelle par l'alternance irrigation/drainage. En outre, le substrat assure aussi une réserve d'eau et d'éléments nutritifs contrairement aux techniques sans substrat. Elle fait appel à un

support solide qui contribue à l'oxygénation. Par ailleurs, elle présente de nombreux inconvénients concernant le renouvellement et le recyclage des substrats utilisés.

#### II.3.2.2.1. Origine minérale:

Selon Alain (2003), le substrat minéral peut avoir deux origines : naturelle ou manufacturé.

– Naturels (extraits) : graviers, sables, pouzzolane (Figure 17).



**Figure 17** : Les différents substrats d'origine minérale.

– Manufacturés: laine de roche, laine de verre, argile expansée, vermiculite, perlite.



**Figure 18** : Les différents substrats d'origine organique.

**-Le gravier** : est constitué de petits cailloux. Il facilite le drainage tout en conservant l'eau superficiellement et en assurant la circulation de l'air. Tous les graviers ne se valent pas. Il faut s'assurer d'utiliser un gravier non calcaire, inerte, et à pH neutre. Contrairement aux billes d'argile qui absorbent l'eau et la font remonter dans le substrat. Le gravier retient l'eau entre ses composants mais sans générer de capillarité. Le gravier fin (3 à 6 mm) est utilisable dans les mélanges de substrats, le gravier est le plus important, il peut être utilisé seul dans les systèmes de goutte-à-goutte, ou en immersion totale dans les systèmes de table marée (Alain, 2003).

**-Le sable** : est bénéfique pour favoriser le drainage et empêcher les mélanges de substrats de devenir compacts. On peut utiliser du sable d'horticulture ou du sable de construction, mais il est préférable d'éviter les sables contenant de la chaux. Cependant, en raison de sa densité, le sable est souvent remplacé par la perlite et la vermiculite. Dans certaines situations où il y a un risque de basculement, il est possible de l'utiliser pour lester le fond des récipients (Alain, 2003).

Le sable peut être incorporé en petite quantité dans les systèmes à réservoir, à goutte-à-goutte, à mèche et à table à marée. En raison de la finesse de ses grains et de son poids considérable, il a tendance à se déplacer vers le fond du récipient au fil du temps (Alain, 2003).

**-La laine de roche** : est le substrat de culture inerte le plus couramment utilisé en horticulture. Elle est produite en fusionnant un mélange de basalte, de calcaire et de coke, ce qui donne naissance à des fibres stables qui conservent leur intégrité et résistent à la décomposition biologique sur une longue période (Morard, 1995).

**-L'argile expansée (Les billes d'argile)** : selon Alain (2003), c'est un substrat très utilisé parce qu'il est facile à travailler et qu'il est inerte. Sa forme ronde le rend facile à pénétrer et les racines de la plante s'y installent donc aisément. Il a une durée de vie quasi infinie. On peut le nettoyer et même le stériliser. Les billes d'argile cuites absorbent l'eau par capillarité tout en laissant beaucoup d'air circuler entre les billes. On peut les utiliser dans n'importe quel système (Alain, 2003).

**-La vermiculite** : est une forme d'argile phylliteuse qui contient de l'eau sous forme de feuillets ou de mica. Lorsqu'elle est exposée à une chaleur d'environ 1100°C, l'eau présente entre les feuillets provoque un gonflement qui multiplie son épaisseur initiale par 10 à 12 fois, créant ainsi des fragments de 1 à 6 mm (Morard, 1995).

**-La perlite** : est un type de sable siliceux d'origine volcanique qui est soumis à une température de plus de 1000°C, ce qui provoque sa fusion et son gonflement jusqu'à environ vingt fois son volume initial. Ce processus conduit à la formation de perles blanches vitreuses, légères et hautement poreuses, conservant environ 75 % de la silice d'origine (Blanc, 1987 ; Morard, 1995).

#### II.3.2.2.2. Origine organique

– Naturels: tourbe, terreau, cèdre rouge, écorces de pin, fibres de coco (Figure 18).

– Synthétiques: matériaux plastiques expansés, billes de polystyrène, mousse de polyuréthane, Grains d'eaux (Alain, 2003).

**-La tourbe** : c'est essentiellement de la mousse décomposée, appréciée pour sa capacité à retenir une grande quantité d'eau et ses qualités nutritives, ce qui en fait un composant courant dans de nombreux types de terre (Bunt, 1988). Il est important de n'utiliser que de la tourbe marquée comme « pH ajusté » ou « pH équilibré ». La tourbe a une texture fine et granuleuse,

et lorsqu'elle est sèche, elle résiste à l'absorption de l'eau, c'est pourquoi il est recommandé de le pré-humidifier dans son emballage.

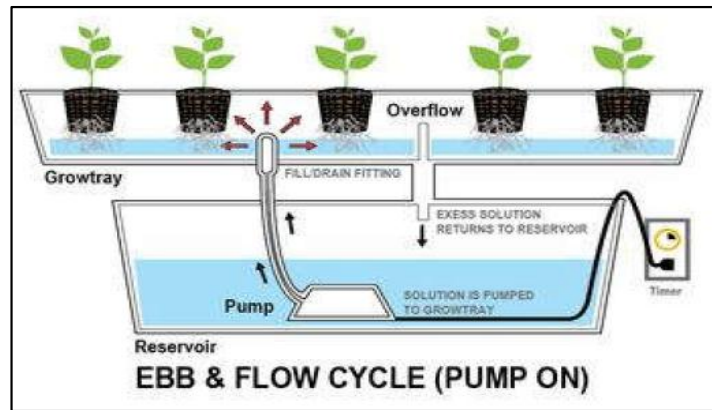
**-Le terreau** : est un support de culture naturel formé de terre végétale enrichie de produits de décomposition (fumier et débris de végétaux décomposés). Le terreau doit avoir une porosité en air et en eau permettant à la fois l'ancrage des organes absorbants des plantes et leur contact avec les solutions nécessaires à leur croissance. Il est souvent associé à la pouzzolane afin d'augmenter la capacité de rétention d'eau. Le terreau est utilisé en culture hors-sol notamment pour les semis (Zebar, 2012).

**-Le polystyrène expansé** : Le polystyrène expansé est utilisé pour réduire le poids des substrats. Ce matériau neutre ne retient pas l'eau, grâce à sa capacité de rétention nulle et à sa surface hydrophobe. Par conséquent, le polystyrène est généralement combiné avec d'autres matériaux. Lorsqu'il est utilisé seul sous forme de billes expansées, il est également très efficace pour le paillage dans les serres froides. En outre, étant lavable, réutilisable et neutre, il convient aux espèces non acidophiles. Il constitue donc un matériau de paillage apprécié en culture hydroponique, car il est exempt de parasites (Morard, 1995).

Il y a plusieurs systèmes de culture avec substrat qui sont utilisés tels que :

### II.3.2.2.3. Système de table à marées (Flux-reflux)

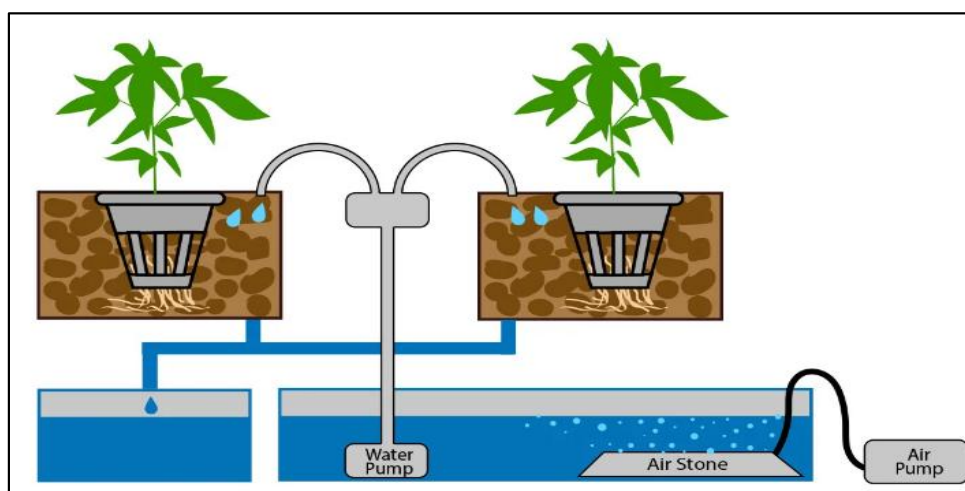
D'après Gerick (1937) et Davtyan (1980), ce système parfois appelés « caniveaux d'inondation », ils sont constitués d'une table étanche avec un rebord. La table est régulièrement inondée avec l'eau du réservoir. Une fois la table pleine et le substrat irrigué, la pompe s'arrête automatiquement permettant à l'eau de s'écouler. Les marques spécialisées dans la culture hydroponique peuvent proposer des petits systèmes de ce type. Il peut être plus facile d'obtenir l'ensemble du système que de trouver les pièces une par une. Les tables de marée sont les moins coûteuses à installer et nécessitent le moins d'entretien de tous les systèmes hydroponiques en eau vive. Ils causent rarement des problèmes de plomberie. En effet, comme ils n'utilisent que des canalisations de relativement gros diamètre, ils se retrouvent rarement bloqués (Figure 19).



**Figure 19 :** Le système table à marées (www.istockphoto.com).

#### II.3.2.2.4. Système de goutte à goutte

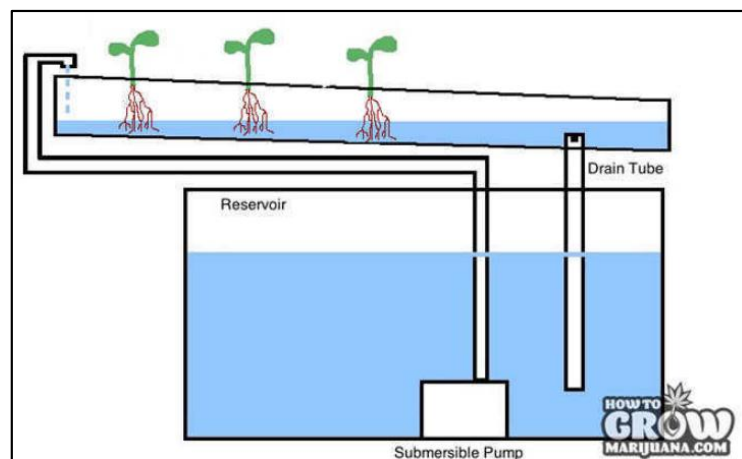
Selon Gerick (1937) et Davtyan (1980), ces systèmes utilisent une pompe qui amène l'eau au-dessus du substrat via un goutte-à-goutte. L'eau s'infiltré à travers le substrat, redescend dans le réservoir prêt à être réinjectée. Les systèmes goutte-à-goutte sont faciles à installer. L'eau est pompée dans un réservoir, généralement situé sous l'espace planté, jusqu'aux goutte-à-goutte, un pour chaque plant. Les plants eux-mêmes peuvent être installés dans les pots individuels ou sur un plateau commun. L'eau circule à travers les pots et revient dans le réservoir (Figure 20). La capacité du réservoir doit être d'environ 40 litres au mètre carré de plantation. Les marques spécialisées dans l'hydroponie commercialisent un certain nombre de systèmes de goutte-à-goutte ingénieux. Certains d'entre eux réutilisent l'eau de chaque pot, avec un plant par pot. D'autres réutilisent l'eau d'un réservoir central. Les deux systèmes marchent bien.



**Figure 20 :** Le système goutte à goutte (www.istockphoto.com).

### II.3.2.2.5. Système à flux continu

Selon Gerick (1937) et Davtyan (1980), ce système est généralement de petite taille et se compose de plusieurs petites unités. Il trouve de nombreuses applications, principalement dans la culture de plantes culinaires ou aromatiques. Les plantes poussent dans des bacs opaques, généralement remplis de billes d'argile, car ce substrat ne génère pas de débris et ne provoque donc pas d'encrassement du réservoir situé en dessous. Pour prévenir tout dommage aux racines, une pompe à air envoie la solution nutritive dans une colonne de pompage, puis la distribue grâce à un anneau de répartition (Figure 21).



**Figure 21** : Le système flux continu (www.istockphoto.com).

## II.4. Chambre de culture

La chambre de culture est un environnement clos où l'on installe les équipements nécessaires pour recréer les conditions extérieures de culture, notamment en ce qui concerne le climat et l'éclairage. Elle offre la possibilité de cultiver de manière productive et relativement simple (William, 2015).

La qualité de la chambre de culture revêt une importance capitale, en particulier en ce qui concerne la densité, la résistance et l'étanchéité de la toile une fois qu'elle est fermée. Il est essentiel de respecter le cycle de vie des plantes, notamment en maintenant des périodes de lumière et d'obscurité appropriées.

### II.4.1. Eclairage

L'éclairage est la principale source d'énergie disponible pour les plantes, le choix est donc capitale pour des rendements maximums. La quantité de l'éclairage fournie aux plantes déterminera aussi leur rendement (Fernand, 2014).

Selon Philippe (1995), pour choisir une ampoule, il faut connaître les règles de base suivantes :

- Les ampoules aux spectres bleus (lumière froide) favorisent la croissance, c'est le cas des néons et ampoules MH (métal halide), qui émettent un spectre lumineux blanc/bleu correspondant à la lumière blanche que le soleil diffuse au printemps.
- Les ampoules au spectre orange (lumière chaude) sont parfaites pour le stade de floraison et de fructification. Nous avons par exemple les ampoules HPS (haute pression sodium). Elles émettent un spectre jaune rouge orange qui correspond à la lumière du soleil en été et en automne, ce qui fournira l'énergie nécessaire pour produire une récolte abondante.

### II.4.2. Micro-climat

Selon Fernand (2014), la température, l'hygrométrie et le renouvellement de l'air sont des paramètres fondamentaux qui vont déterminer la qualité et la quantité de la récolte.

✚ **La température** optimale se situe en général entre 20° et 26°C

- Pour l'orge la fourchette recommandée est de 18°C et 24°C
- Au-dessus de 26°C : risque d'invasion d'insectes.
- Au-dessus de 30°C : le processus de croissance s'arrête.
- En dessous de 18°C : les racines n'évoluent plus donc les plantes ne poussent plus.

✚ **Humidité**

- L'humidité optimale se situe entre 60 à 70% pour la croissance et entre 50 à 60% pour la floraison.

✚ **L'air**

- Doit être renouvelé constamment, même en période de nuit. Les extracteurs et les inducteurs doivent être branchés 24h / 24h, sauf si la température est trop basse. Pour une gestion parfaite de la température, l'utilisation d'un extracteur équipé d'un thermostat variateur est conseillée.

### II.4.3. Eau

L'eau est le principal constituant des végétaux et l'élément qui permet de transporter les nutriments vers les cellules. Sa qualité et sa composition sont des éléments très importants pour un développement harmonieux de la plante. Deux paramètres clés doivent être respectés : le pH et la conductivité électrique (EC).

- pH : le pH détermine si la plante sera en mesure d'absorber tous les éléments nutritifs fournis lors de l'arrosage. La fourchette de tolérance se situe entre 5,5 et 6,3 pour assurer que tous les éléments fournis soient assimilés par les plantes (Philippe, 1995).
- EC : Il s'agit de la concentration en minéraux d'une solution, facteur primordial pour la culture hors-sol. La fourchette de tolérance se situe entre 0,8 et 1,2 Sm-1. La conductivité électrique s'est imposée pour estimer la concentration en sels des solutions nutritives. La mesure régulière de l'électro conductivité est importante dans le cadre d'une culture, car, elle permet de suivre la consommation d'eau et de sels nutritifs (Bensaadi, 2011). En effet, Lorsque la conductivité électrique d'une solution nutritive augmente durant la culture, cela signifie que la plante consomme plus d'eau, et que la concentration en engrais peut être revue à la baisse. A l'inverse, une électro conductivité qui baisse est le signe d'une consommation d'ions nutritifs. Il faut penser à compenser ses prélèvements par la plante par l'ajout d'engrais.

## II.5. Processus de production de l'orge hydroponique

Cette technique, via la mise en germination de céréales en conditions de culture hors-sol, elle permet d'obtenir de la biomasse végétale en seulement 7 à 15 jours. Le tapis végétal résultant est constitué de jeunes plantules et de leurs racines. En Asie, cette technique est employée depuis des siècles pour l'alimentation humaine et animale, notamment pour améliorer la valeur nutritionnelle des céréales et des légumineuses (Chavan et al., 1989). En Europe, les fermiers utilisaient les céréales germées dès le 19e siècle pour alimenter les troupeaux de vaches en hiver. Cette technique est toujours pratiquée en agriculture biologique et en élevage équin.

### II.5.1. La semence

Selon Multon (1982), c'est un organe de reproduction des plantes supérieures, chargé de produire une nouvelle génération de plantes lors du processus de germination, joue un rôle essentiel dans la pérennité de l'espèce (Multon, 1982).

Selon Chaux et Foury (1994), pour conduire aux meilleurs résultats en culture, un lot de semence doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Propre : on parle de pureté spécifique (propreté au regard de la présence de matières inertes ou de graines étrangères) ;

- Conforme à la variété retenue : on parle de pureté variétale c'est le degré de conformité d'un lot à une variété, définie par un ensemble de caractères morphologiques et éventuellement physiologique.
- Doué d'une bonne vitalité ou faculté germinative : c'est le pourcentage de semences capables de produire des germes.

### **II.5.2. La trempe**

Le processus de trempe joue un rôle crucial dans la germination, et la manière dont il est effectué détermine le déroulement de toutes les étapes suivantes. Il est bien établi que toutes les étapes ultérieures ne peuvent pas fournir une trempe inadéquate. L'objectif de la trempe est d'augmenter l'humidité du grain de 12 à 15% à 42 à 45%, ce qui déclenche le processus de germination et permet d'éliminer les impuretés, les micro-organismes et les agents inhibiteurs de la germination de la surface du grain (Wafa, 2016).

Selon Miralles et al (2015), les aspects cruciaux de la phase de trempe comprennent la température de l'eau, le rapport entre l'orge et l'eau, le schéma de trempage, l'aération, l'élimination du CO<sub>2</sub>, l'agitation, la variété d'orge, ainsi que l'usage de divers additifs. Il est recommandé d'ajouter entre 0,8 et 1 litre d'eau par kilogramme de grain d'orge.

Les diverses variétés d'orge se distinguent par des seuils d'humidité minimum en dessous desquels leurs graines ne peuvent pas germer. Les variétés les moins exigeantes commencent à germer avec un taux d'humidité aussi bas que 30 %, tandis que les variétés les plus exigeantes ne débutent leur germination qu'à partir de niveaux d'humidité plus élevés, atteignant parfois 50 % dans les cas les plus extrêmes (Wafa, 2016).

La température de l'eau utilisée lors de la phase de trempage revêt une importance significative. En réalité, elle influence sur la vitesse d'absorption de l'eau et la vitesse de dissolution, ce qui a un impact sur la durée totale de la trempe. De plus, la température joue un rôle dans la prolifération des micro-organismes à la surface des grains et dans l'eau de trempage (Fliss, 1996).

### **II.5.3. Egouttage**

Selon les observations de Claudie et al. (2012), cette phase dure généralement environ 24 heures. Une vanne située en dessous du bac est ouverte, et le système d'évacuation est équipé d'un filtre pour retenir les graines. Si l'eau était maintenue trop longtemps, cela pourrait nuire

voire stopper le processus de germination. Cela pourrait également entraîner le début de la pourriture et favoriser le développement de moisissures.

#### II.5.4. La germination

Le processus de germination, tel qu'il est généralement compris, représente la transition de la graine en état de dormance vers la formation de la jeune plantule. La germination engendre une série de changements physiologiques complexes, notamment la synthèse d'enzymes qui déclenchent des réactions métaboliques et contribuent à conférer aux graines germées leurs caractéristiques nutritionnelles (Hoareau, 2012).

Les enzymes transforment l'amidon en sucres simples, assimilables nécessaire à la synthèse de nombreuses vitamines (A, B, C), transforment les protéines en acides aminés et, permettent la synthèse d'acides aminés non présents dans la graine à l'état sec, transforment les graisse et acides gras et, libèrent des minéraux en substances assimilables accessibles aux sucs digestifs (Hoareau, 2012).

La durée de la germination varie en fonction de l'espèce. Par exemple, pour l'orge, une fois que la graine a été réhydratée, les racines commencent à apparaître dans l'espace de 24 heures. Après 2 à 3 jours, les premières feuilles font leur apparition. Vers le quatrième jour, le système racinaire s'est suffisamment développé pour permettre l'absorption des minéraux. Au cinquième jour, la photosynthèse est activée (Wafa, 2016).

#### II.6. 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 (Fazaeli et al, 2011). Le rendement va fortement dépendre de l'espèce (Al-Karaki et Al-Hashimi, 2012), de la variété (Al-Karaki et Al-Momani, 2011, Santos et al, 2012), 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.

D'après les études réalisées par Al-Karaki et Al-Hashimi (2012) ainsi que par Al-Karaki (2011), la méthode de production de fourrage hydroponique peut générer une production allant de 6 à 25 kilogrammes de matière fraîche par mètre carré par jour. En termes de rendement, cela équivaut à une plage de 10 à 50 tonnes de matière sèche par hectare à chaque récolte.

**Tableau 4** : Valeurs de rendements en culture hydroponique (Miralles-Bruneau et *al.*, 2015).

Espèce	Stade récolte (jour)	Rendement vert (Kg/m <sup>2</sup> /coupe)	Rendement MS (Kg/m <sup>2</sup> /coupe)	Rendement MS (t/ha/coupe)	Matière sèche (%)
<b>Avoine</b>	7-20	16,9	3,5	35,4	26,4
<b>Blé</b>	8-12	13,1	2,29	22,9	17,5
<b>Luzerne</b>	8	19,4	1,6	15,9	8,2
<b>Maïs</b>	9-14	14,4	2,8	28,3	18,4
<b>Niébé</b>	8	21,7	3,3	32,6	15
<b>Sorgho</b>	8	14,5	2,7	27,6	19
<b>orge</b>	8-10	25,8	3,6	16-54	15,54

En effet, avec ce système à cycle de production court et étagé, il y a une meilleure utilisation de l'espace, et des ressources. Ainsi, une unité de culture de 130 m<sup>2</sup>, d'une capacité d'une tonne de matière fraîche par jour, peut produire 44 tonnes de matière sèche par an, de qualité constante, contre une production de 8 à 24 tonnes par hectare pour une culture classique (tableau 4). En outre, en effectuant de 18 à 52 récoltes par an, en fonction de la durée du cycle choisi, qui varie de 7 à 20 jours, cette méthode a la capacité de générer une production allant de 350 à plus de 1200 tonnes de matière sèche par hectare chaque année (Al-Karaki, 2011 ; Lopez-Aguila et al., 2009). Soit un potentiel de rendement bien supérieur à ceux obtenus en parcelles.

## **II.7. La culture hydroponique VS la culture en terre :**

La culture de terre et la culture hydroponique sont deux méthodes distinctes de production agricole, chacune présentant ses propres avantages et inconvénients.

### **II.7.1. Inconvénients et avantages de la culture terre :**

La culture de terre, également connue sous le nom de culture en pleine terre, est la méthode traditionnelle de cultiver des plantes directement dans le sol. Cette méthode présente à la fois des avantages et des inconvénients cités dans le tableau ci-dessous (tableau 5) :

**Tableau 5** : Les inconvénients et les avantages de la culture de terre (CANNAWEED, 2008 cité par Boulechfar, 2018)

Inconvénients de la culture en terre	Avantages de la culture en terre
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Saleté accrue due à la manipulation de terre.</li> <li>-Obligation d’arroser régulièrement.</li> <li>-Présence accrue de « squatteurs » dans le substrat.</li> <li>-Difficulté d’apprécier l’arrosage pour un débutant.</li> <li>-Difficulté pour gérer les engrais pour un débutant.</li> <li>-Difficulté d’éradiquer les maladies et autre champignon.</li> <li>-Demande un minimum d’expérience pour élaborer un bon terreau.</li> <li>-Rempotages à effectuer.</li> <li>-Rendement inférieur à celui d’une culture hydroponique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Goût un peu plus « roots » parfois.</li> <li>-Coût de reviens d’une installation de départ moindre.</li> <li>-Consommation d’engrais inférieure à celle de la culture hydroponique.</li> <li>-Possibilité de pratiquer une culture bio.</li> <li>Entretien simplifier du matériel.</li> <li>-Récolte plus importante si c’est en extérieur.</li> <li>-Pas de vérification du PH ni de l’EC à effectuer régulièrement.</li> <li>-Limitation des problèmes de pH dû à l’effet tampon de la terre.</li> </ul>

**II.7.2. Inconvénients et avantages de la culture hydroponique :**

La culture hors sol, également appelée culture hydroponique, est une méthode où les plantes sont cultivées dans un substrat inerte sans utilisation de sol. Parmi les avantages et les inconvénients de cette méthode (tableau 6) :

**Tableau 6** : Les inconvénients et les avantages de la culture hydroponique (Naik, 2014 ; Bendif 2018)

Inconvénients de la culture hydroponique	Avantages de la culture hydroponique
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Coût élevé au commencement de la culture dû à l'achat du matériel.</li> <li>-Obligation de surveiller régulièrement le pH et l'EC.</li> <li>-Consommation accrue d'engrais selon le type de système utilisé.</li> <li>-Obligation d'accroître la sécurité à cause de la proximité de l'eau et des câbles.</li> <li>-Nécessite l'utilisation des bacs de qualité suffisante pour éviter les fuites pendant l'absence du cultivateur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Technologie alternative viable pour les agriculteurs sans terre pour la production de fourrage ou la pénurie d'eau pour économiser l'eau et la terre, respectivement.</li> <li>-Processus de croissance verticale avec un rendement élevé dans une petite zone, le fourrage peut être produit selon les besoins, aucune perte en post-récolte selon le type de système utilisé.</li> <li>-Faible entretien, moins de main-d'œuvre nécessaire.</li> <li>-Approvisionnement en fourrage vert de haute qualité toute l'année.</li> <li>-Sans l'utilisation des antibiotiques, hormones, pesticides ou herbicides.</li> <li>-Aucun coût de carburant pour les processus de récolte et post-récolte.</li> <li>-Aucun dommage causé par les insectes ou animaux errants.</li> <li>-Les céréales dans l'alimentation des animaux peuvent être remplacées par des céréales germées.</li> <li>-Possibilité de s'absenter quelques jours grâce à l'automatisation relative d'un système hydroponique.</li> <li>-Rendement souvent supérieur à celui d'une culture en terre (suivant l'expérience bien sûr)</li> <li>-Traitement simplifié des carences, maladie ou champignons par rapport à la terre.</li> <li>-Propreté optimale.</li> <li>-Substrat réutilisable à l'infini (billes d'argile).</li> <li>-Pas de souci de sur/sous arrosage.</li> <li>-Un seul système est nécessaire pour tout le cycle.</li> </ul>

# *Chapitre III*

*Utilisation de l'orge  
hydroponique en  
alimentation animale*

L'hydroponie une des agrotechnologies qui pourrait être développée avec des matériaux peu qualifiés et qui offre un fourrage plus nutritif, appétissant et digestible pour le bétail. Selon Girma et Gebremariam (2018), il s'agit de la meilleure technologie alternative à utiliser pour les animaux surtout dans les endroits où la production conventionnelle de fourrage vert est limitée.

De nos jours, plusieurs pays la pratiquent pour leur production durable de bétail. Le développement de cultures de graines et de nouvelles activités en hydroponie réduit les coûts de production et aide les coopératives à produire et à vendre (Girma et Gebremariam, 2018). Il est donc essentiel d'utiliser du fourrage hydroponique pour le bétail, car il est peu ciblé et très nutritif. Cette technologie constitue une solution pour pallier la rareté des aliments verts, notamment pendant les saisons sèches et dans les zones urbaines où il y a une pénurie de terres pour la production de fourrage. Grâce à ses propriétés appétissantes et digestibles, cette technologie est préférable aux céréales et aux autres aliments concentrés tel que l'orge (Girma et Gebremariam, 2018).

### **III.1. La valeur nutritive de l'orge hydroponique**

#### **III.1.1. Digestibilité et Dégradabilité**

Même s'il y a une perte de teneur en matière sèche du fourrage d'orge germé, il y a un avantage en termes de digestibilité. Dans le rumen, la digestibilité des pousses est supérieure à celle des grains craquelés (Girma et Gebremariam, 2018). Cependant, en comparant la digestibilité des pousses de tige et de racines, les pousses se dégradent facilement dans le rumen. Par conséquent, les ruminants préfèrent les feuillus que les racines (Dung et *al.*, 2010).

#### **III.1.2. Protéines**

Les teneurs en protéines du fourrage vert hydroponique (FVH) variant de 12 à 24 % de matière sèche (Sneath et McIntosh, 2003). Pour l'orge, la valeur est autour de 14 % lors d'une récolte effectuée entre 6 et 8 jours (Tableau 7) après le semis (Al-Ajmi et *al.*, 2009 ; Fazaeli et *al.*, 2012 ; Morgan et *al.*, 1992 ). Selon Lorenz, (1980), la teneur en protéines varie en fonction de la durée de germination, de la température, de l'oxygène, de la lumière, de l'humidité, de la teneur en protéines de la graine et des régulateurs de croissance. En outre l'apport d'engrais azotés peut également avoir un impact sur cette concentration (Fazaeli et *al.*, 2012). Tudor et *al.* (2003) ; Fazaeli et *al.* (2012). Rapportent également que la concentration en protéines augmente Pendant le processus de germination. Ainsi, Peer et Leeson (1983), ont observé une augmentation de 17 % entre 0 et 7 jours de germination. Cela est dû essentiellement à une

concentration de la teneur en protéines liée à la perte de matière sèche (Sneath and McIntosh, 2003).

**Tableau 7** : Teneur en protéines de quelques espèces de FVH (Miralles-Bruneau *et al.*, 2015).

Espèce	Protéine (%)
Avoine	13,7
Blé	15,8
Maïs	16
Mil	12,79
Orge	17
Riz	8,15
Sorgho	15,74

### III.1.3. Amidon et sucres

L'amidon subit une dégradation, catalysée par l'amylase, pour se transformer en sucres solubles, qui sont utilisés pour la respiration et la synthèse des parois cellulaires (James, 1940 cité par Peer et Leeson, 1983 ; Lorenz, 1980). Les variations de ces teneurs dépendent de la composition initiale de la graine et de la durée de la germination.

### III.1.4. Lipides

La teneur en lipides change durant la germination. Le temps de trempage et les conditions de germination vont influencer sur cette évolution. L'orge germée va contenir entre 1,6 et 2,2 % MS de matière grasse, contre 1,5 % MS dans la graine initiale (Lemar et Swanson, 1976, cité par Lorenz, 1980).

### III.1.5. Minéraux

Dans les fourrages hydroponiques, la croissance des racines favorise l'absorption des minéraux, ce qui modifie rapidement les teneurs en cendres et en protéines à partir du quatrième jour (Sneath et McIntosh., 2003). Le type d'eau d'irrigation du fourrage hydroponique modifie la teneur en minéraux (Al-Ajmi *et al.*, 2009). Cependant, selon Shipard (2005), la germination rend les minéraux plus disponibles grâce au processus de chélation (Tableau 8).

**Tableau 8** : Teneur en minéraux de l'orge grain et hydroponique (Miralles-Bruneau et al., 2015).

Minéraux	Graine	FOH 7 jours
<b>Ca (g/100g)</b>	0,02	0,04
<b>Cu (mg/100g)</b>	3,96	12,75
<b>Fe (mg/100g)</b>	61,40	89,51
<b>K (g/100g)</b>	0,50	0,53
<b>Mg (mg/100g)</b>	1,36	1,70
<b>Mn (g/100g)</b>	1,85	2,24
<b>Na (g/100g)</b>	0,02	0,24
<b>P (g/100g)</b>	0,52	0,58
<b>Zn (mg/100g)</b>	40,74	80,57

### III.1.6. Vitamines

Les teneurs en vitamines augmentent pendant la germination (Chavan et Kandam, 1989). Seules la vitamine E et le  $\beta$ -carotène sont synthétisés au cours de ce processus (Cuddeford, 1989 ; Hübner et Arendt, 2014). La teneur en vitamine E est estimée à environ 62,4 mg/kg de matière sèche. La richesse en  $\beta$ -carotène (précurseur de la vitamine A) varie de 42,7 à 350 mg/kg de matière sèche (Cuddeford, 1989 ; Romero Valdez et al., 2009). Ces variations dépendent de la teneur initiale de la graine ainsi que du mode et de l'intensité de l'éclairage, qui stimulent la croissance et la photosynthèse (Leontovich et Bobro, 2007 ; Trubey et al., 1969).

### III.2. La valeur alimentaire de l'orge hydroponique

Selon l'étude de Miralles-Bruneau et al (2015), a permis de déterminer les valeurs alimentaires du l'orge hydroponique (tableaux 9 et 10).

Les valeurs UFV de l'orge hydroponique de 7-8 jours, varient de 0,82 à 0,91 u/kg MS, pour une valeur moyenne de  $0,92 \pm 0,02$  u/kg MS. Il y a une légère perte de valeur (8,5 %), par rapport au grain, qui est à  $1,0 \pm 0,1$  u/kg MS. Les valeurs PDIA, PDIE et PDIN de l'orge hydroponique de 7-8 jours, sont respectivement de  $38,8 \pm 1,7$ ,  $103,1 \pm 1,1$  et  $90,3 \pm 3,8$  g/kg MS. Ces valeurs augmentent avec la durée de germination (respectivement + 21, 3,6 et 21 %). L'écart PDIN/PDI diminue et tend à s'équilibrer. C'est un aliment avec une bonne concentration énergétique et un rapport PDIE/PDIN équilibré. Les valeurs alimentaires sont différentes selon l'espèce, la variété et la durée de germination (tableau 10).

**Tableau 9** : Valeurs alimentaires de l'orge (*Hordeum vulgare*) grain et hydroponique de 6 à 8 jours

		<b>GRAIN</b>	<b>FOH 6j</b>	<b>FOH 7j</b>	<b>FOH 8j</b>
<b>UFL</b>	(u/kg MS)	1,04 ± 0,1	0,99 ± 0,0	0,97 ± 0,0	0,93 ± 0,0
<b>UFV</b>	(u/kg MS)	1,01 ± 0,1	0,94 ± 0,0	0,92 ± 0,0	0,88 ± 0,0
<b>PDIA</b>	(u/kg MS)	32,0 ± 1,0	37,3 ± 0,9	37,7 ± 0,9	42,5 ± 3,5
<b>PDIE</b>	(u/kg MS)	99,5 ± 4,5	101,7 ± 1,5	102,7 ± 0,9	106,0 ± 2,0
<b>PDIN</b>	(u/kg MS)	74,5 ± 2,5	86,3 ± 2,4	88,3 ± 2,2	99,0 ± 8,0

**Tableau 10** : Valeurs alimentaires de différents fourrages hydroponique.

Valeur alimentaire	Orge		Blé		Maïs		Orge et lentille
	Grain	FOH 7-8j	Grain	FBH 7j	Grain	FMH 11j	FVH 6j
<b>UFL (u/Kg MS)</b>	1,0	0,95	1,17	1,11	1,2	1,1	1,045
<b>UFV (u/Kg MS)</b>	1,0	0,90	1,18	1,10	1,3	1,1	1,012
<b>PDIA (u/Kg MS)</b>	32,0	40,08	28	30	60,0	68,0	49
<b>PDIE (u/Kg MS)</b>	99,5	104,33	104	103	133,0	111,0	113
<b>PDIN (u/Kg MS)</b>	74,5	93,67	74	82	83,0	93,0	113

### III.3. Effets de l'orge hydroponique sur les performances des animaux

Le fourrage vert hydroponique est utilisé dans l'élevage de divers animaux tels que les petits et grands ruminants, les porcs, les volailles, les lapins et les chevaux. Il est également utilisé dans les ménageries et les zoos. Le FVH est donné aux animaux tel quel, en association avec le fourrage classique, et éventuellement en complément. Il est utilisé en plus du fourrage de base pour combler les lacunes saisonnières (Miralles-Bruneau et *al.*, 2015).

#### III.3.1. Chez les ruminants

Les fourrages hydroponiques sont hautement digestibles, appétissants et appréciés par les animaux (Figure 22). Ils sont très succulents et peuvent représenter 1 à 1,5 % du poids corporel (Starova Jeton 2016) ou 15-25, 0,25 - 2,0, 1,5 - 2,0 et 0,1 - 0,2 kg/animaux/jour respectivement chez les grands ruminants, les petits ruminants et (Naik et *al.*, 2013 ; Rachel Jemimah et *al.*, 2015).



**Figure 22** : Alimentation des ruminants avec de l'orge hydroponique

(<http://fourragealgerie.blogspot.com/2014/10/cuniculture-et-fourrage-hydroponique.html>)

Saidi et Abo Omar (2015), ont rapporté que les fourrages d'orge hydroponiques (FOH) n'avaient aucun effet sur la consommation alimentaire, le changement de poids corporel, la production de lait et la composition du lait, mais avaient des effets positifs sur la santé des brebis, la mortalité, le taux de conception et les avortements. Reddy et al. (1988) ont observé une augmentation significative de la digestibilité des nutriments chez les vaches laitières nourries avec des fourrages hydroponiques par rapport à celles nourries avec des fourrages verts de Napier bajra (NB-21). La production laitière quotidienne était de 8,0 à 14,0 % plus élevée chez les animaux nourris avec un régime mixte total (RMT) contenant des fourrages hydroponiques de maïs ou d'orge que chez ceux nourris avec des fourrages verts classiques (Jemimah et *al.* 2015, Yvonne Kamanga 2016). Les fourrages hydroponiques permettent une période de lactation plus longue, améliorent le pourcentage de matière grasse et santé générale du troupeau. En plus d'une augmentation de la production laitière, le taux de conception, la santé du troupeau et la longévité ont également été améliorés, ce qui a permis de réduire les coûts des aides vétérinaires (Naik et *al.*, 2015).

### III.3.1.1. Effet sur la production de viande

L'alimentation hydroponique améliore la prise de poids des agneaux, ce qui peut s'expliquer par la présence d'enzymes bioactives et d'ingrédients favorisant les performances du bétail (Naik and Singh, 2013). De plus, l'augmentation du poids corporel reflète également l'activité microbienne dans le rumen et une meilleure digestibilité des nutriments. Chez les bovins de boucherie, une augmentation moyenne de 200 g est obtenue lorsque les animaux reçoivent du fourrage hydroponique plutôt que du maïs. De même, une amélioration de 8 % de la prise de poids corporel est rapportée chez les animaux (Muhammad et *al.*, 2013). Une meilleure prise de poids a été enregistrée chez les veaux de race croisée (Rajkumar et *al.*, 2017), les agneaux Awassi (Atta, 2016) et les chèvres (Kide et *al.*, 2015) nourris respectivement avec du fourrage hydroponique de maïs et d'orge

### III.3.1.2. Effet sur la production de lait

Les études menées afin de déterminer l'utilisatrion des fourrages hydroponiques la production laitière montrent une amélioration de la production de ces animaux comparés à ceux nourris avec des grains de céréales, du foin ou de l'ensilage. Ainsi, la production de lait augmente de 10,07 % (reddy et *al.*, 1988), 12,5 % (anonyme, 2012) et 13,73 % (naik et *al.*, 2013) chez les vaches laitières recevant de fourrage hydroponique. Les producteurs laitiers canadiens ont signalé que l'alimentation de fourrage hydroponique augmente la consommation de nourriture de leurs vaches et améliore la production laitière de 3,6 kg par jour pendant la période de lactation (Girma et Gebremariam, 2018). De plus, les agriculteurs d'Afrique du sud ont signalé une diminution de 3,6 litres de lait après une interruption de 6,8 kg d'alimentation par jour (mooney, 2005).

### III.3.2. Chez les monogastrique

#### III.3.2.1. Chez les poulets de chair

L'industrie avicole en pleine croissance bénéficie également des biens fait de l'alimentation hydroponique (Figure 23), notamment grâce à une prise de poids plus rapide, une carcasse de bonne qualité, des coûts d'alimentation réduits par kilogramme de prise de poids et une amélioration des potentiels de santé et de production (Rachel Jemimah et *al.*, 2015). La composition nutritionnelle des différents fourrages hydroponiques et leur digestibilité des nutriments sont bien évidentes pour une meilleure utilisation et production du bétail.



**Figure 23 :** Alimentation des volailles avec de l'orge hydroponique  
([www.fodderhydrosystemalgerie.com](http://www.fodderhydrosystemalgerie.com))

#### III.3.2.1.1. Gain de poids corporel

Tout comme l'apport alimentaire, plusieurs chercheurs se sont intéressés aux effets de l'utilisation des grains hydroponiques sur la prise de poids des poulets de chair. Les poules de chair nourries avec des aliments verts hydroponiques à base d'orge ont pris plus de poids quotidiennement, et les volailles nourris avec des aliments composés contenant des aliments verts hydroponiques ont pris le plus de poids. Ainsi, selon Ali et *al.* (2019), les effets de l'alimentation à base de pousses de blé hydroponiques sur le poids vif final et la prise de poids

des dindes sont favorables. De même, comme l'ont montré Talalay *et al.* (2020), Les poulets de chair nourris avec des aliments à base d'orge hydroponique ont pris plus de poids que ceux nourris avec des grains d'orge non germés (Dastar *et al.*, 2014 ; Alinaitwe *et al.*, 2018). Les volailles nourris avec une alimentation à base d'orge germé ont atteint un poids corporel plus élevé (2350 g) que ceux nourris sans régime à base d'orge germé (2174 g) en 42 jours (Dastar *et al.*, 2014). Selon la justification des auteurs, une augmentation de la biodisponibilité des acides aminés, des glucides simples et des acides gras pourrait avoir contribué à la prise de poids.

Une meilleure digestibilité des nutriments peut être attribuée à une meilleure performance de croissance observée dans plusieurs rapports. La disponibilité des enzymes dans le grain augmente après la germination. La viscosité du digesta est également modifiée. Les changements dans la quantité et la vitesse de la digestion des nutriments peuvent être liés à une meilleure digestibilité des nutriments. Cela est complété par une meilleure absorption nutritionnelle (Sharif *et al.*, 2013).

La germination n'a pas toujours montré une amélioration de la performance de croissance. Une germination insuffisante ou une germination prolongée, qui peut activer des facteurs antinutritionnels, a été mise en cause pour le manque de réponse ou les performances médiocres enregistrées dans diverses études. De plus, de nombreux chercheurs ont suggéré que les grains traités à l'eau réduisaient la croissance des poulets de chair ou n'avaient aucun effet (Sharif *et al.*, 2013).

De même, Abbas et Musharaf (2008) ont tenté de déterminer l'effet de la germination des grains de sorgho sur la croissance des poulets de chair, et ils ont découvert que les grains germés n'avaient aucun effet sur la croissance des poulets de chair après trois jours, mais que la croissance ralentissait à mesure que les jours de germination augmentaient en raison d'une teneur accrue en tanins.

#### **III.3.2.1.2. Caractéristiques de la carcasse**

Des recherches ont tenté d'expliquer l'impact des aliments à base de grains hydroponiques sur le rendement et la qualité de la carcasse des poulets de chair. Une utilisation excessive d'aliments à base de grains hydroponiques a été associée à une production accrue des composants de la carcasse (Dastar *et al.*, 2014 ; Ali *et al.*, 2019 ; Hassan, 2020). Conformément aux études antérieures, une étude menée par Donkor *et al.* (2012) a également montré une corrélation positive entre les aliments à base d'orge hydroponique et le rendement de la carcasse

des poulets de chair. L'auteur a tenté de démontrer que l'effet positif des aliments à base d'orge hydroponique pourrait être dû à l'augmentation de la teneur en protéines de l'orge résultant de la germination. Cependant, certaines études antérieures contradictoires n'ont pas réussi à démontrer d'effet significatif des aliments à base de grains hydroponiques sur le rendement de la carcasse des poulets de chair.

### III.3.2.2. Chez la caille japonaise

Selon l'étude d'Abouelezz *et al.* (2019), L'administration à volonté du l'orge hydroponique frais chez les cailles japonaises pondeuses a augmenté de manière significative le taux de ponte, les poids relatifs du gésier et des testicules, la fertilité et le nombre de poussins éclos, mais n'a pas affecté les indices de qualité des œufs ou les analyses de sang. La restriction alimentaire (85 % de l'apport témoin) n'a pas incité la caille pondeuse à augmenter l'apport en orge hydroponique ; la quantité d'orge hydroponique ingérée ne pouvait pas remplacer complètement la réduction de l'apport en nutriments, ce qui a entraîné une réduction de la masse d'œufs quotidienne, de la fertilité et de l'éclosion.

### III.3.2.3. Chez le lapin

Diverses études ont été attendues pour explorer l'utilisation de l'orge hydroponique (Figure 24) sur les performances de croissance des lapins.

Selon l'étude d'Abouelezz et Hussein. (2017), les lapins mâles nourris avec du fourrage d'orge hydroponique (FOH) ont enregistré le poids corporel, le gain de poids corporel et la consommation d'aliments les plus élevés ( $P < 0,05$ ), le FOH améliore le rapport de conversion alimentaire chez les femelles nourries avec du FOH par rapport au groupe témoin.

Ils ont étudié l'effet du remplacement partiel du mélange alimentaire concentré par l'orge hydroponique sur les caractéristiques de la carcasse de lapins mâles en croissance et ont rapporté que le pourcentage d'habillage, le foie, les poumons et le poids relatif de l'intestin ne diffèrent pas significativement entre les lapins nourris avec un régime témoin et ceux nourris avec des régimes en orge hydroponique. Cependant, le poids de la carcasse chaude est significativement ( $P < 0,05$ ) influencé par l'inclusion de l'orge hydroponique dans l'alimentation, où les lapins nourris avec un mélange d'aliments concentrés sont les plus lourds (1132 g), puis les lapins nourris avec 40 % de l'orge hydroponique, 20 % de l'orge hydroponique, régimes orge hydroponique à 19 et 60 % (870 g, 835 g et 727 g, respectivement).



**Figure 24 :** Alimentation des lapins avec de l'orge hydroponique  
(<http://fourragealgerie.blogspot.com/2014/10/cuniculture-et-fourrage-hydroponique.html>)

### III.4. Coût de production de l'orge hydroponique

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.

La production traditionnelle de fourrage nécessite un investissement majeur pour l'achat de terres, ainsi que l'investissement dans des machines agricoles, des équipements, des infrastructures pour la récolte, y compris la manipulation, le transport et la conservation du fourrage. Elle nécessite également de la main-d'œuvre, du carburant, des lubrifiants, des engrais, des insecticides, des pesticides et des désherbants. En revanche, la production de fourrage hydroponique ne nécessite que des graines et de l'eau comme intrants de production, avec des besoins en main-d'œuvre modestes. De plus, elle réduit les pertes après récolte sans nécessiter de carburant. De même, cette nouvelle technologie permet de convertir les graines en fourrage en seulement 7 à 8 jours, comparé à la production de fourrage par le système traditionnel. De toute évidence, l'investissement initial pour cette technologie sophistiquée de haute technologie est beaucoup plus élevé et est très vulnérable à la croissance de moisissures qui nécessite des investissements supplémentaires pour contrôler cette croissance indésirable Nonigopal (2019).

Exemple : Le coût des modules hydroponiques se situe entre 3,16 et 4,33 millions DA pour les unités ayant une capacité de production de 350 à 500 Kg/jour et pouvant nourrir entre 25 et 50 vaches laitières

### III.5. Dangers de fourrage hydroponique infecté sur la santé animale

Le fourrage hydroponique fortement infesté d'*Aspergillus clavatus* ne doit pas être donné aux bovins laitiers/de boucherie. Les animaux peuvent développer une ataxie postérieure, une articulation des boulets, une traînée des pattes postérieures, un pas élevé dans les membres postérieurs, démarche raide, tremblements, parésie progressive, hypersensibilité, décubitus, convulsions cloniques, diminution de la production de lait et possiblement la mort (McKenzie et al., 2004).

# *Partie pratique*

*Chapitre IV*  
*Matériels et méthodes*

### IV.1. Objectives de travail

Notre travail a été réalisé dans le but de produire de l'orge hydroponique à moindre coût, et d'évaluer son rendement.

### IV.2. Présentation des sites expérimentaux

Dans une première phase l'expérience 1 a été menée dans un site situé sur les hauteurs de Tala Ammara où lieu-dit Tala Tazarin. En effet, il s'agit d'un locale ayant servi à l'élevage de bovin, il est d'une superficie d'environ 36m<sup>2</sup> disposant de trois fenêtres. Toutefois, la superficie qui a servi à la réalisation de notre expérience est tellement exiguë (5m<sup>2</sup>) que nous avons décidé de délocaliser nos travaux pour la réalisation de l'expérience 2 et 3 vers un autre site. Ce dernier est situé dans la localité de la commune de Tirmatine au village Arrour, il s'agit d'une chambre située au rez-de-chaussée d'une habitation, sa superficie est de 27m<sup>2</sup> exploitable dans sa totalité.

### IV.3. Matériels utilisés

- Élément à étage conçu de fer carré (composé de 4 étages), (figure 25).
  - Ses dimensions :
    - Hauteur : 2 m
    - longueur : 1 m
    - largeur : 0,5 m
  - Sa capacité : 12 caisses (3 caisses/ étage).



**Figure 25 :** Élément à étage.

- Caisses : en plastique (figure 26) de dimension :
  - Hauteur : 7 cm

- longueur : 46 cm
- largeur : 26 cm



**Figure 26 :** Caisses en plastique.

- Eclairage
  - ampoules LED de 10 watts.
  - Fil électrique : 20 m de longueur et 1,5 mm de diamètre.
  - Des fiches mâles (4) et femelles (1).
  - Une rallonge de 3 m.
  - Des douilles à vis au nombre de 3.



**Figure 27 :** Ampoules LED et une rallonge pour l'éclairage.

- Papier cuisson et aluminium : pour couvrir les caisses.
- Cure-dents : pour la perforation de papier cuisson et aluminium.
- Un tamis et une moustiquaire : pour l'égouttage de l'orge.
- Une bassine : pour le lavage des grains d'orge.
- Une passoire : pour éliminer les particules flottantes.
- Pulvérisateur : pour l'irrigation.
- Une balance : pour la mesure de poids (figure 28).



**Figure 28** : Une balance.

- Sel et l'eau de javel.
- Autre outils : ciseaux, règle graduée, vernis, feuilles blanche...

#### IV.4. Matériel végétale

L'espèce utilisée est l'orge (*Hordeum vulgare*), une monocotylédone de la famille des graminées.

Les grains d'orge utilisés :

-Pour la 1<sup>ère</sup> expérience : sont acquis chez un vendeur appelé Ben Taib, situé à Tizi-Ouzou.

-Pour la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> expérience : sont issus de produits locaux d'origine Draa El-mizan, acquis de Souk El Ténine à Maatkas. L'aspect général du grain : sans aucune anomalie, non propre.

#### IV.5. Les méthodes de mise en culture

##### IV.5.1. Tri de la semence

Faire trier manuellement les grains afin de les séparer de toutes impuretés, corps étranger (fils, pierre, plastique...), poussière et autres grains (figure 29).



**Figure 29** : Le tri de la semence.

### IV.5.2. Pesage

Après avoir trié les grains, faire peser la quantité des grains d'orge à utiliser pour les faire germer (figure 30).



**Figure 30** : Pesage de la quantité d'orge à utiliser.

### IV.5.3. Lavage

Rincer les grains d'orge avec de l'eau à plusieurs reprises jusqu'à ce que l'eau devienne claire pour but d'éliminer toutes les éléments indésirables (figure 31).



**Figure 31** : Lavage de l'orge.

### IV.5.4. Trempage

Après le lavage, faire tremper la semence pendant 12h (figure 32), pour permettre à la graine de s'imbiber d'eau (eau de robinet), cette étape est vraiment très importante, parce qu'elle réveille la graine qui va passer de l'étape de dormance à une étape de vie active.



**Figure 32 :** Trempage de l'orge pendant 12 heures.

#### IV.5.5. Egouttage et germination

Mettre l'orge s'égoutter dans une moustiquaire et dans l'obscurité pendant 24h à 36h pour les besoins de germination (figure 33).

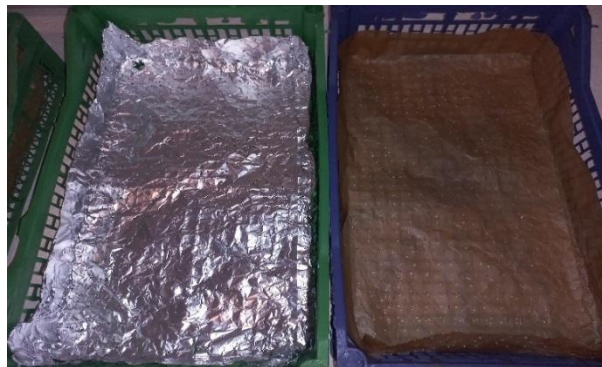


**Figure 33 :** Egouttage de l'orge dans une moustiquaire et à l'obscurité pendant 24h à 36h

#### IV.5.6. La mise en caisse

A la fin de l'égouttage :

- Préparer les caisses couvertes avec du papier aluminium et cuisson (figure 34).



**Figure 34 :** Préparation des caisses couvertes avec du papier aluminium et cuisson.

- Peser les caisses dont leurs intérieurs sont couverts de papier aluminium ou cuisson à l'état vide (tare), (figure 35).



**Figure 35:** Pesage des caisses couvertes avec du papier aluminium et cuisson.

- Peser la quantité de l'orge germée qu'il faut mettre en culture dans les caisses.
- Étaler manuellement la quantité d'orge germée d'une façon homogène dans chaque caisse (figure 36).



**Figure 36 :** Etalement de l'orge germée dans les caisses.

- Prélever aléatoirement de chaque caisse un échantillon de 100 grains d'orge germée pour déterminer le taux de germination (figure 37).



**Figure 37 :** Détermination de taux de germination

#### IV.5.7. Arrosage

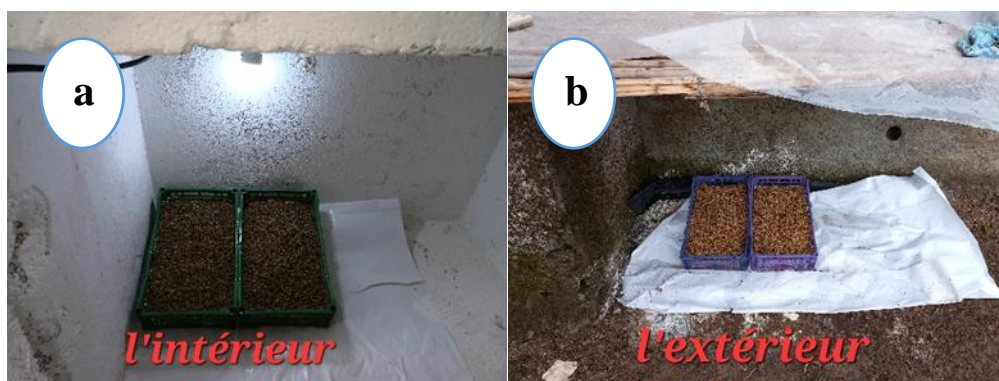
- Arroser quotidiennement chaque caisse à deux reprises, une le matin et une le soir avec une quantité équivalente d'eau soit de  $\frac{1}{4}$  litre à un  $\frac{1}{2}$  litre par reprise et ceux en adéquation avec le développement et la croissance de chaque caisse (figure 38).



**Figure 38** : Arrosage de l'orge germée.

#### ❖ Expérience 1

Nous avons réalisé la première expérience pendant la période s'étalant du 23 mai au 4 juin 2023. Notre travail s'est basé sur deux emplacements différents (intérieur et extérieur, figure 39) dans le but de déterminer l'endroit idéal pour la croissance optimale de l'orge germée. Nous avons utilisé deux caisses à l'intérieur, l'une recouverte d'aluminium et l'autre de papier cuisson, et même chose pour celles à l'extérieur.



**Figure 39** : Les deux emplacements (a : l'intérieur ; b : l'extérieur).

Dans cette expérience on a mis en œuvre 10 kg d'orge à l'état sec, d'une variété locale mais inconnue. En ce qui concerne l'étape de germination, il est utile de signaler que compte tenu des conditions météorologiques caractérisées par une pluviométrie intense et des températures

basses, nous avons été dans l'obligation de prolonger la durée utile de 24h à 36h et on mettait l'orge dans un sac poubelle (figure 42) afin d'accélérer le phénomène de germination.



**Figure 42** : La mise en sac de l'orge pour l'accélération de phénomène de germination.

La quantité de 14,05 Kg issue de la phase de germination a été répartie équitablement sur les 4 caisses (soit un poids de 3,512 Kg par caisse) en date du 26 mai 2023.

Ces dernières ont fait l'objet d'un suivi pendant 9 jours.

#### ❖ **Expérience 2**

Cette expérience a été réalisée entre le 31 mai et le 11 juin 2023.

Il a été opté également de :

- Mener le test uniquement à l'intérieure.
- Utiliser l'option du papier aluminium.
- Diminuer la quantité de l'orge (à l'état sec) à mettre dans chaque caisse. En effet, elle est passée de 2,5 Kg à 1,6 Kg, soit une réduction de 36%.

#### ❖ **Expérience 3 :**

Cette expérience qui s'est déroulée du 8 juin au 24 juin 2023 a été concrétisée en :

- Diminuant la quantité d'orge (à l'état sec) à mettre dans chaque caisse. En effet, elle est passée de 1,6 Kg à 1 Kg, soit une réduction de 37,5% par rapport à la quantité de la 2ème expérience.
- Réalisant l'opération de trempage de l'orge selon 3 manières à savoir :
  - 1 Kg d'orge trempé uniquement dans un litre d'eau de robinet.

- 1 Kg d'orge trempé dans un mélange constitué d'un litre d'eau de robinet et 10ml d'eau de javel.
  - 1 Kg d'orge trempé dans un mélange constitué d'un litre d'eau de robinet et 10g de sel de table.
- Faisant répéter ces tests de trempage 3 fois.

#### IV.6. Mesures et observations

Procéder au suivi de la croissance de l'orge quotidiennement en mesurant les paramètres suivants :

- Le poids net de chaque caisse.
- Mesure d'épaisseur (épaisseur initial et final).
- Mesure des racines.
- Mesure des plantules.
- L'état sanitaire (à l'œil nu).

#### IV.7. Méthodes de calcul

##### IV.7.1. Le taux de germination

Taux de germination = (nombre des grains germés / nombre des grains prélevés) X 100%.
---

##### IV.7.2. Le rendement de l'orge engagé

Pour ce paramètre important, il est utile de procéder à la détermination du rendement de la matière de base objet des tests à savoir la quantité d'orge engagé à l'état sec. Ce paramètre peut être calculé selon la formule suivante :

Le rendement= le poids net de chaque caisse au stade final / le poids engagé à l'état sec.
--

##### IV.7.3. Les coûts de production

<b>Coût de semence</b> = poids de l'orge X nombre de caisse X prix d'1Kg d'orge.
--

<b>Coût des fournitures utilisés</b> = longueur du papier aluminium ou cuisson X nombre de caisse X prix d'1 mètre d'aluminium ou cuisson.
--

#### ❖ Amortissement

<b>Valeur totale de l'investissement</b> =
--

- a) Intérieur= la somme de matériels utilisés (poste 4) sans compter l'élément à étage.  
b) Extérieur= la somme de matériels utilisés (poste 4) sans compter l'élément à étage et l'électricité.

**Dotation par jour**= valeur totale d'investissement / 1an.

**Dotation total**= (dotation/jour) X nombre des jours.

❖ **Totale des coûts engagés**=

$$\sum (\text{coût de semence}) + (\text{coûts des fournitures utilisé}) + (\text{dotation totale}).$$

❖ **Production totale du fourrage obtenu**= la somme de poids des caisses obtenu au dernier jour.

❖ **Coût de production par Kg**= total des coûts engagés / la production totale du fourrage obtenu.

#### IV.8. l'analyse statistique des résultats

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse descriptive à l'aide du logiciel Microsoft® Excel 2013.

*Chapitre V*  
*Résultats et discussions*

Dans ce chapitre nous présentons une synthèse des résultats obtenus par expérience menée ainsi que leur discussion et ce, pour les différents paramètres suivis et contrôlés.

## V.1. Résultats de l'expérience 1

### V.1.1. Le taux de germination

Ce paramètre est déterminé après l'opération de trempage et d'égouttage de l'orge, il permet de se prononcer sur la qualité des grains d'orge (qualité germinative). En effet, après 12 h de trempage et 36 h d'égouttage, nous avons pu déduire le taux de germination par le dénombrement manuel des grains germés de ceux non germés sur les 100 grains pris aléatoirement.

Pour cette expérience le taux obtenu est de **89%**.

### V.1.2. Mesure de la croissance des racines

Pour ce paramètre les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 11 :

**Tableau 11** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des racines - Expérience 1

	Expérience 1															
	Intérieur								Extérieur							
	Caisse 1 PC				Caisse 2 PA				Caisse 1' PC				Caisse 2' PA			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J3	2,7	3	3,2	2,97	2,9	3,2	3,4	3,17	2,5	3	3,3	2,93	2	2,3	3	2,43
J4	3,2	3,6	3,6	3,47	2	3,5	3,7	3,07	3,1	2,5	3,3	2,97	2,3	2,8	3,2	2,77
J5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Il est conclu des deux journées où on a pu mesurer la croissance des racines ce qui suit :

- La croissance à l'intérieur est meilleure que celle de l'extérieur. La moyenne varie de 2,97cm à 3,47 cm et de 2,43 cm à 2,97 cm respectivement.
- A l'intérieur les longueurs obtenues sur les caisses couvertes avec du papier cuisson sont meilleurs que celles couvertes avec du papier aluminium.

### V.1.3. Mesure de la croissance des plantules

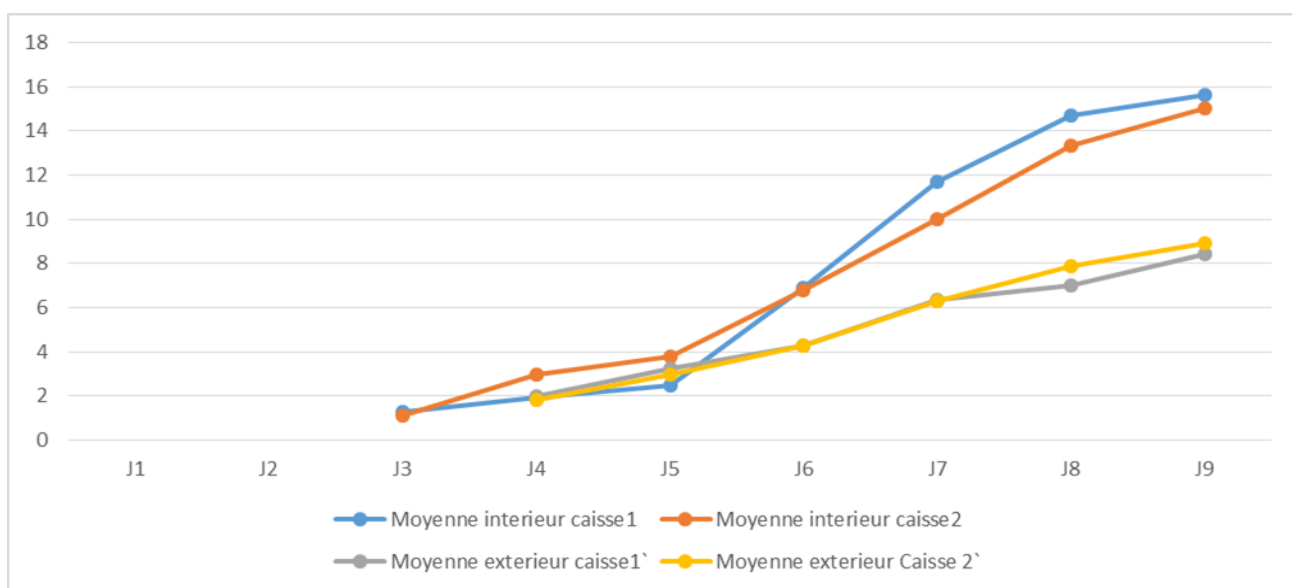
Pour ce paramètre les résultats obtenus sont repris dans le tableau 12 :

**Tableau 12 :** Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 1

	Expérience 1															
	Intérieur								Extérieur							
	Caisse 1				Caisse 2				Caisse 1'				Caisse 2'			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J3	1,2	1,2	1,5	1,3	1,2	1	1,2	1,13	/	/	/	/	/	/	/	/
J4	2	1,9	1,9	1,93	3,3	3,6	2	2,97	2	1,9	2	1,97	1,8	2	1,6	1,80
J5	2	2,5	3	2,5	2,3	4	5	3,77	2,2	3,5	4	3,23	2,1	3	3,8	2,97
J6	5,5	4,9	10,3	6,9	9	6,8	4,5	6,77	4	4,8	4,1	4,30	4,6	4	4,2	4,27
J7	11	12,6	11,5	11,7	11,8	9,4	8,8	10,00	4,3	8,1	6,6	6,33	6,6	6,3	6	6,30
J8	13	14	17	14,7	10	13	17	13,33	5	7	9	7,00	6,5	8	9,1	7,87
J9	13,5	15,3	18	15,6	11	16	18,1	15,03	6,2	8,6	10,4	8,40	7,1	9,4	10,2	8,90

Il est tire les conclusions suivantes :

- La longueur des plantules est beaucoup plus importante pour les deux caisses suivies à l'intérieur comparativement à celles suivies à l'extérieur. Il est enregistré à la 9<sup>ème</sup> journée des valeurs moyennes de : 15,6 cm et 15,03 cm pour les caisses de l'intérieur et 8,40 cm et 8,90 cm pour celles de l'extérieur.
- La photosynthèse s'est accrue à compter de la 5<sup>ème</sup> journée particulièrement pour les caisses de l'intérieur.



**Figure 43:** Représentation graphique de l'évolution de la longueur des plantules –Expérience 1.

La figure 43 montre l'évolution de la longueur des plantules de chaque caisse y compris l'intérieur et l'extérieur pour la première expérience.

#### V.1.4. Mesure du poids net en Kg :

Pour ce paramètre les résultats obtenus sont repris dans le tableau 13 :

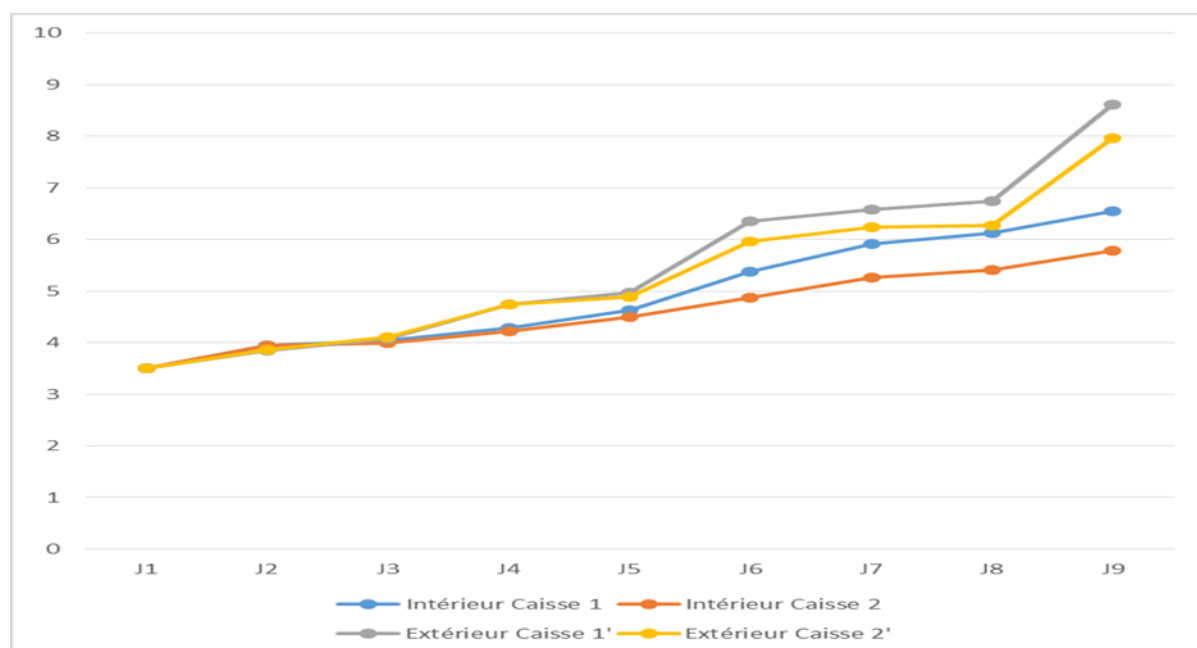
**Tableau 13** : Etat de suivi de l'évolution du poids net des caisses et leurs rendement – Expérience

1

	<b>Expérience 1</b>			
	<b>Intérieur</b>		<b>Extérieur</b>	
	<b>Caisse 1</b>	<b>Caisse 2</b>	<b>Caisse 1'</b>	<b>Caisse 2'</b>
J1	3,512	3,512	3,512	3,512
J2	3,95	3,945	3,845	3,855
J3	4,045	3,99	4,07	4,1
J4	4,29	4,215	4,735	4,74
J5	4,63	4,505	4,97	4,895
J6	5,38	4,865	6,355	5,965
J7	5,905	5,265	6,58	6,235
J8	6,13	5,41	6,74	6,275
J9	6,54	5,78	8,62	7,97
Ecartype	0,973	0,767	1,686	1,439
Le rendement Final	<b>2,62</b>	<b>2,31</b>	<b>3,45</b>	<b>3,19</b>

Apriori il est noté que le rendement des caisses suivi à l'extérieur est meilleur que celui des caisses se trouvant à l'intérieur ceci s'explique par l'apport supplémentaire en eau et non contrôle issu de la pluviométrie. De ce faite, le rendement des caisses de l'intérieur est beaucoup plus significatif.

En effet, 1Kg d'orge à l'état sec engage en culture hydroponique a donné une quantité de fourrage vert variant entre 2,62 Kg et 2,31 Kg.



**Figure 44** : Représentation graphique de l'évolution du poids net des caisses –Expérience 1.

La figure 44 montre l'évolution de poids net de chaque caisse y compris l'intérieur et l'extérieur pour la première expérience.

### V.1.5. Etat sanitaire :

Pour cette expérience, et à l'œil nu, nous avons constaté une présence de traces de moisissures avec une couleur marron des racines et d'une verdure touchée également à sa base.

Les moisissures sont apparues dès le 3<sup>ème</sup> jour pour les caisses couvertes de papier cuisson et le 5<sup>ème</sup> jour pour les caisses couvertes de papier aluminium.

Cette situation peut être justifiée par l'influence de certains paramètres tels que la densité au sein des caisses et le manque d'aération.

## V.2. Résultat de l'expérience 2

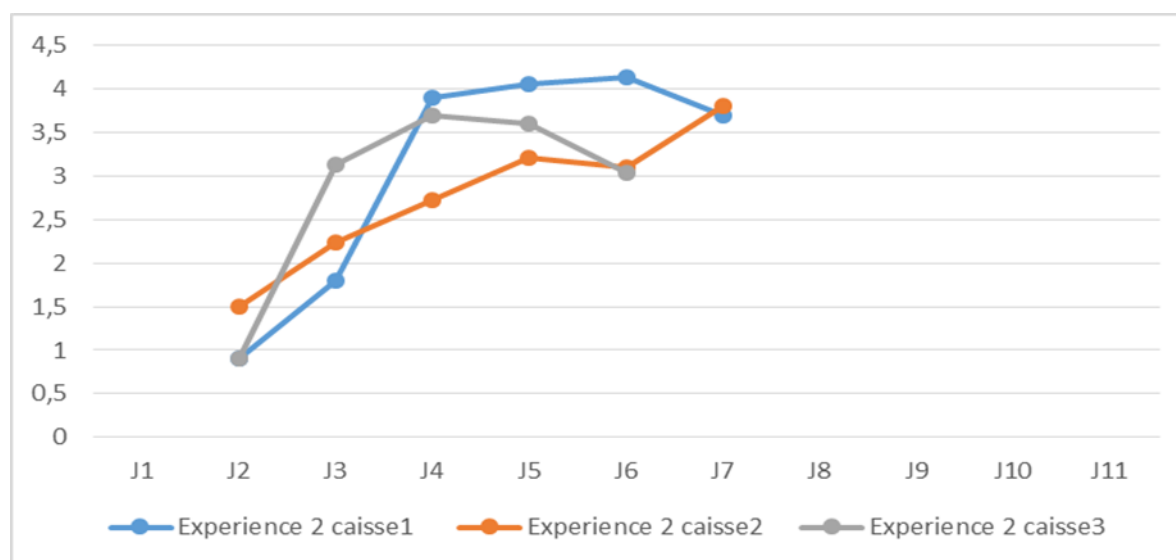
### V.2.1. Mesure de la croissance des racines

Pour cette expérience les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 14 :

**Tableau 14** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des racines - Expérience 2

	Expérience 2											
	Caisse 1				Caisse 2				Caisse 3			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/		/	/	/		/	/	/	
J2	/	/	/		/	/	/		1	1	0,7	0,90
J3	2	1,4	2	1,80	3	1,7	2	2,23	3,5	3,4	2,5	3,13
J4	4	3,7	4	3,90	3,4	2,4	2,4	2,73	2,5	4,4	4,2	3,70
J5	4	3	5,2	4,07	3,5	2,7	3,4	3,20	2,6	3,8	4,4	3,60
J6	5,5	3,7	3,2	4,13	3,2	3,2	2,9	3,10	2,4	3	3,7	3,03
J7	3,5	3,6	4	3,70	3,8	4,2	3,4	3,80	/	/	/	
J8	/	/	/		/	/	/		/	/	/	
J9	/	/	/		/	/	/		/	/	/	
J10	/	/	/		/	/	/		/	/	/	
J11	/	/	/		/	/	/		/	/	/	

Du tableau précédent, on remarque que la longueur des racines est sans cesse croissante tout au long des jours. En effet, les racines les plus longues ont été enregistrées au niveau de la caisse 1 au bout du 6<sup>ème</sup> jour (5,5 cm). Selon l'importance de la longueur des racines prélevées, les trois caisses sont classées par ordre de préférence comme suit : Caisse 1, caisse 2 puis caisse 3.

**Figure 45** : Représentation graphique de l'évolution de la longueur des racines –Expérience 2.

La figure 45 montre l'évolution de la longueur des racines de chaque caisse pour la deuxième expérience.

### V.2.2. Mesure de la croissance des plantules

Pour cette expérience les résultats obtenus sont repris dans le tableau 15 :

**Tableau 15** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 2.

	Expérience 2											
	Caisse 1				Caisse 2				Caisse 3			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J3	0,7	0,5	0,9	0,70	0,6	0,8	0,7	0,70	0,6	1,3	1,4	1,10
J4	1	1	1,3	1,10	1,4	1,1	1,3	1,27	2	2,5	3	2,50
J5	3,2	2,3	2	2,50	2,9	3,6	1,7	2,73	2,7	2,5	3,2	2,80
J6	4,6	5,7	5,1	5,13	4,2	4,1	5,6	4,63	6	5,5	5,4	5,63
J7	6,6	6,6	6,7	6,63	6,6	6,8	7	6,80	7	8	6,5	7,17
J8	9,9	8,8	8,5	9,07	11,5	9	9,5	10,00	9,6	11,2	10,4	10,40
J9	11,1	12	12,9	12,00	12,2	10,3	11,5	11,33	10,3	10,5	12	10,93
J10	14	13	14,1	13,7	13	11,2	13,8	12,67	11	12,5	13,3	12,27

On remarque que le développement de la longueur des plantules est de manière croissante tout au long des jours. Les plantules les plus longues ont été enregistrées au niveau de la caisse 1 au bout du 10<sup>ème</sup> jour (14,1 cm). Selon l'importance de la longueur des plantules prélevées, les trois caisses sont classées par ordre de préférence comme suit : Caisse 1, caisse 2 puis caisse 3.

La photosynthèse s'est accrue au niveau des trois caisses à compter de la 5<sup>ème</sup> journée.

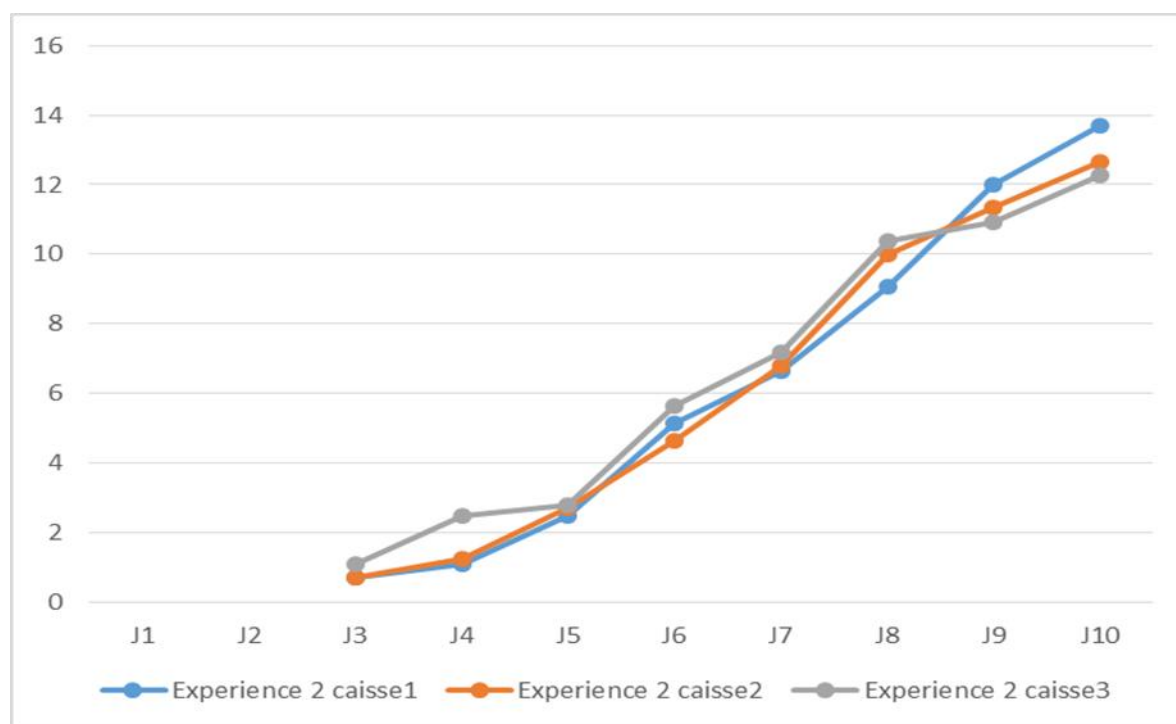


Figure 46 : Représentation graphique de l'évolution de la longueur des plantules -Expérience 2.

La figure 46 montre l'évolution de la longueur des plantules de chaque caisse pour la deuxième expérience.

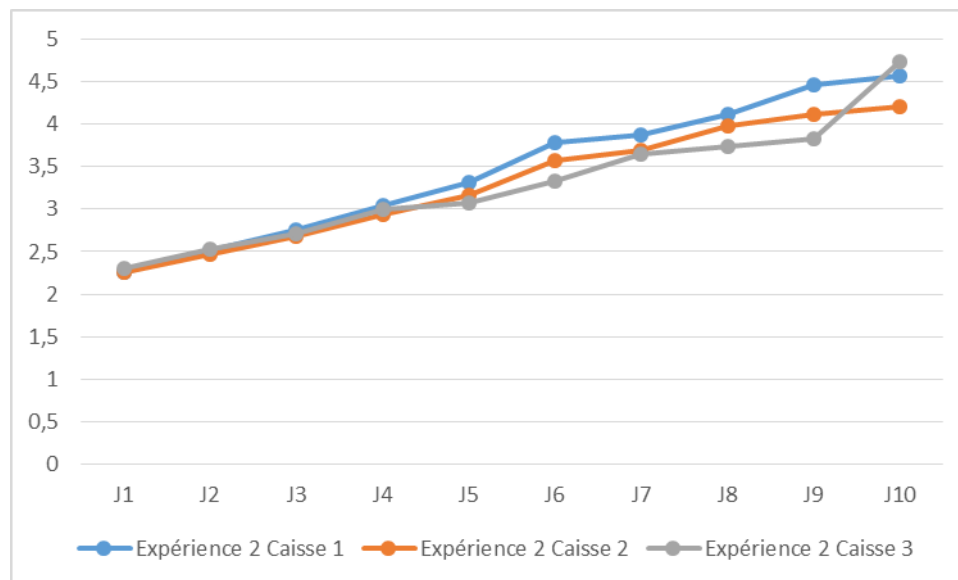
### V.2.3. Mesure du poids net en Kg

Pour cette expérience les résultats obtenus sont repris dans le tableau 16 :

**Tableau 16** : Etat de suivi de l'évolution du poids net de chaque caisse - Expérience 2.

<b>Expérience 2</b>			
<b>Jour</b>	<b>Caisse 1</b>	<b>Caisse 2</b>	<b>Caisse 3</b>
J1	2,26	2,26	2,31
J2	2,51	2,47	2,53
J3	2,76	2,68	2,71
J4	3,05	2,94	3
J5	3,31	3,17	3,08
J6	3,79	3,57	3,33
J7	3,88	3,7	3,64
J8	4,12	3,98	3,74
J9	4,47	4,12	3,83
J10	4,57	4,21	4,73
Ecartype	0,816	0,707	0,722
Rendement finale	2,85625	2,63125	2,95625

Pour cette expérience qui a été menée à l'intérieur donne un rendement pour les trois caisses variant entre 2,63Kg et 2,96Kg cette situation confirme ce qui a été trouvé lors de l'expérience 1 dans sa partie intérieur.



**Figure 47** : Représentation graphique de l'évolution du poids net des caisses –Expérience 2.

La figure 46 montre l'évolution de poids net de chaque caisse pour la deuxième expérience.

#### V.2.4. Etat sanitaire :

Pour cette expérience, et à l'œil nu, nous avons constaté une présence de traces de moisissures avec une couleur marron des racines et d'une verdure touchée également à sa base (figure 48).



**Figure 48** : Apparition des moisissures.

Les moisissures sont apparues dès :

- Le 4<sup>ème</sup> jour pour les caisses 2 et 3
- Le 5<sup>ème</sup> jour pour la caisse 1.

Cette situation peut être justifiée par la persistance de l'influence des mêmes paramètres que l'expérience 1 à savoir : La densité au sein des caisses et le manque d'aération.

### V.3. Résultats de l'expérience 3

#### V.3.1. Le taux de germination

Tableau 17 : Le taux de germination –Expérience 3.

Désignations	Expérience 3								
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Valeur	98	100	99	99	85	69	96	84	90
Moyenne	99			84			90		
Ecart type	1			15			6		
Classement	1			3			2		

A travers la situation précédente (tableau 17), il est relevé que le taux de germination obtenu dans l'expérience 3 a varié entre 69 % et 100 %. Il est à noter que les résultats de cette expérience menée avec une répétition de 3 fois nous paraissent plus indicatifs. En effet, elle permet de dégager un classement selon l'importance du taux de germination. Ce classement est comme suit :

**En première position** : les grains d'orges trempées dans l'eau à lequel on a ajoute de l'eau de javel. Le taux moyen obtenu est de  $99\% \pm 1$  (Cas des tests A1, A2 et A3).

**En deuxième position** : les grains d'orges trempées dans l'eau de robinet. Le taux moyen obtenu est de  $90\% \pm 6$  (.Cas des tests C1, C2 et C3).

**En troisième position** : les grains d'orges trempées dans l'eau de robinet a lequel on a ajouté du sel de table. Le taux moyen obtenu est de  $84\% \pm 15$  (Cas des tests B1, B2 et B3).

En outre, l'addition de l'eau de javel à l'eau de robinet, décidée dans le but d'identifier les éléments capables d'éliminer les moisissures, a eu un impact positif sur le taux de germination.

#### V.3.2. Mesure de la croissance des racines :

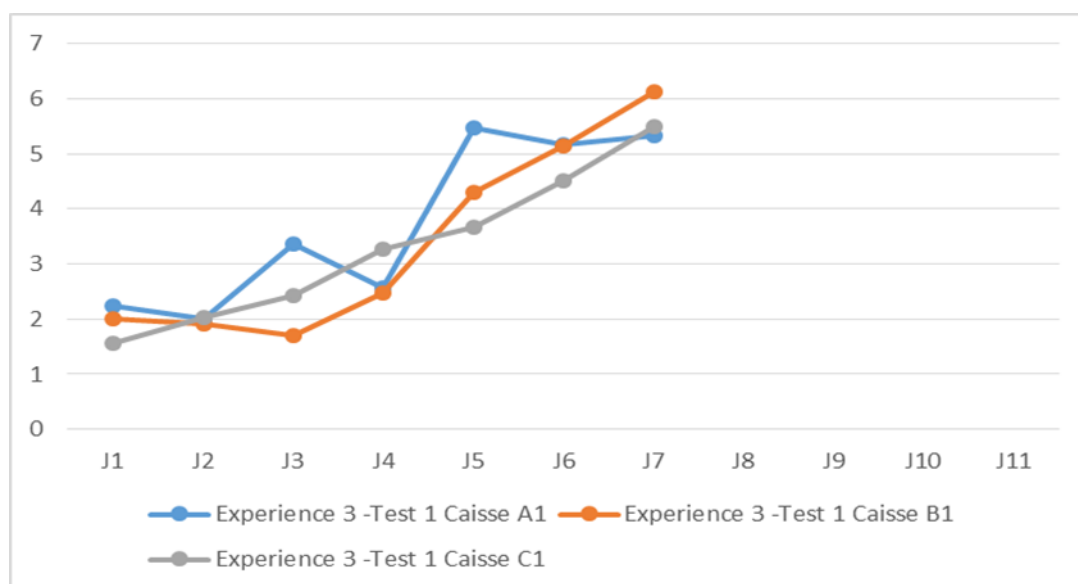
Pour ce paramètre les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux 18 ; 19 et 20 :

**Tableau 18** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des Racines - Expérience 3-test 1

	Expérience 3 -Test 1											
	Caisse A1				Caisse B1				Caisse C1			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	1,9	2	2,8	2,23	2,3	2	1,7	2,00	1,2	2	1,5	1,57
J2	1,9	2,1	2	2,00	1,9	2	1,8	1,90	1,8	2	2,3	2,03
J3	3	4,3	2,8	3,37	1,9	1,8	1,4	1,70	2,8	2,7	1,8	2,43
J4	2,2	3,5	2	2,57	2,3	1,5	3,6	2,47	1,9	3,4	4,5	3,27
J5	7,5	5,2	3,7	5,47	4,9	4,5	3,5	4,30	3,1	3	4,9	3,67
J6	5,5	6	4	5,17	5,4	5,5	4,5	5,13	4	4,5	5	4,50
J7	4,5	5	6,5	5,33	5,7	6,7	6	6,13	6	5	5,5	5,50
J8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

De ce premier test, il est constaté que les racines les plus prononcées est celles prélevées de la caisse A1 contenant de l'orge trempé dans l'eau plus de l'eau de javel. En effet, il est enregistré une longueur de racine de 7,5 cm dès le 5<sup>ème</sup> jour.

Par contre pour les deux autres caisses, il est relevé des longueurs de : 6,7 cm pour la caisse B1 (Eau + Sel) le 7<sup>ème</sup> jour et 6 cm pour la caisse C1 (Eau de Robinet) le 7<sup>ème</sup> jour également.

**Figure 49** : Présentation graphique de l'évolution de la longueur des racines –Expérience 3- test

1.

La figure 49 montre l'évolution de la longueur des racines de chaque caisse pour la troisième expérience- teste 1.

**Tableau 19** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des racines - Expérience 3-test 2.

	Expérience 3 -Test 2											
	Caisse A2				Caisse B2				Caisse C2			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J2	1,8	3	2,5	2,43	2,6	1	1,9	1,83	2,5	2,6	1	2,03
J3	2,5	3,4	4,4	3,43	3	1,5	2,4	2,30	3	2,7	3	2,90
J4	5,3	4	5	4,77	4	3,5	4	3,83	4,5	3,5	4	4,00
J5	5,5	6,9	6	6,13	5,8	4,5	6	5,43	4	5	6,5	5,17
J6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J7	6,5	5,5	7	6,33	4,7	5	5,5	5,07	5,5	6	4,7	5,40
J8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

De ce 2<sup>ème</sup> test, il est constaté également que les racines les plus prononcées est celles prélevées de la caisse A2 contenant de l'orge trempé dans l'eau plus de l'eau de javel. En effet, il est enregistré une longueur de racine de 7 cm au bout du 7<sup>ème</sup> jour.

Par contre pour les deux autres caisses, il est relevé des longueurs de : 6,5 cm pour la caisse C2 (Eau de robinet) dès le 5<sup>ème</sup> jour et 6 cm pour la caisse B2 (Eau + Sel de table) dès le 5<sup>ème</sup> jour également.

**Tableau 20** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des racines - Expérience 3-test 3

	Expérience 3 -Test 3											
	Caisse A3				Caisse B3				Caisse C3			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J2	1,8	1,3	1,5	1,53	1,4	1,3	1,4	1,37	0,9	2	1	1,30
J3	3,5	2,5	2	2,67	5	4,2	2,9	4,03	1,5	4,5	2,3	2,77
J4	4	6	4,5	4,83	6	3	4,5	4,50	3,5	4	3,9	3,80
J5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J6	8	9,5	7	8,17	4,9	5	6,2	5,37	5,5	5	4	4,83
J7	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

De ce 3<sup>ème</sup> test, il est constaté aussi que les racines les plus prononcées est celles prélevées de la caisse A3 contenant de l'orge trempé dans l'eau plus de l'eau de javel. En effet, il est enregistré une longueur de racine de 9,5 cm dès le 6<sup>ème</sup> jour.

Par contre pour les deux autres caisses, il est relevé des longueurs de : 6,2 cm pour la caisse B3 (Eau + Sel) le 6<sup>ème</sup> jour et 5,5 cm pour la caisse C3 (Eau de Robinet) le 6<sup>ème</sup> jour également.

Il est à noter pour les trois tests de la 3<sup>ème</sup> expérience les difficultés rencontrées pour opérer les prélèvements des racines du faite de la densité du tapis racinaire.

### V.3.3. Mesure de la croissance des plantules

Pour cette expérience qui a été répétée 3 fois, les résultats obtenus sont repris dans les trois tableaux 21 ; 22 et 23 :

**Tableau 21** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 3-test 1.

	Expérience 3 -Test 1											
	Caisse A1				Caisse B1				Caisse C1			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J3	1,7	1,1	1,6	1,47	0,9	0,8	0,6	0,77	2,7	1,5	1,3	1,83
J4	5,6	3,3	3,8	4,23	2,5	4	1,2	2,57	3,5	3,8	2,2	3,17
J5	5,3	5,8	4,4	5,17	2,4	5	3	3,47	6,5	4,5	5,1	5,37
J6	8,5	9,5	8,3	8,77	6,9	7,5	5,2	6,53	7	6,8	7,5	7,10
J7	11	9,8	10	10,27	8,5	9	6,5	8,00	11,5	8,5	9,6	9,87
J8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J9	15	12,5	13	13,5	14,5	12	13	13,17	15,2	12,6	12,7	13,50
J10	15,5	13,5	16	15	13,5	16	12,7	14,07	17,5	16	15	16,17
J11	19	17,5	16	17,5	16	18,5	14,5	16,33	18,5	18	17,4	17,97

De ce premier test, il est constaté que les plantules les plus prononcées est celles prélevées des caisses A1 et C1. En effet, il est enregistré respectivement des longueurs de plantules de 11 cm et 11,5 Cm dès le 7<sup>ème</sup> jour.

La photosynthèse s'est accrue au niveau des trois caisses à compter de la 6<sup>ème</sup> journée.

**Tableau 22** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 3-test 2.

	Expérience 3 - Test 2											
	Caisse A2				Caisse B2				Caisse C2			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J3	1,8	1,7	1,4	1,63	2,1	1,2	0,8	1,37	2,2	2	2,1	2,10
J4	2,7	2,4	3,5	2,87	2,5	2,7	1,7	2,30	3,3	2,8	3,7	3,27
J5	6,3	5,9	4,7	5,63	6,2	3,5	4,5	4,73	5,9	5,9	6	5,93
J6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J7	12	10	14,5	12,17	15	12	12,5	13,17	13,5	12	12	12,50
J8	16,5	15,5	13	15,00	15,5	17	15	15,83	16	16,7	15,5	16,07
J9	18,5	16,3	17	17,27	18,5	19,5	18,5	18,83	16	19,5	17,5	17,67
J10	21,5	17,3	17,5	18,77	19,5	20	21	20,17	19,5	20	19	19,50
J11	22	19,5	18	19,83	21	21	17,5	19,83	21,5	17,5	18,5	19,17

De ce 2<sup>ème</sup> test, il est constaté que la croissance des plantules s'est faite d'une façon presque équilibrée au niveau des trois caisses. En effet, au bout du 11<sup>ème</sup> jour la longueur moyenne des plantules a dépassé la barre des 19 cm.

Quant à la photosynthèse, elle s'est accrue au niveau des trois caisses à compter de la 5<sup>ème</sup> journée.

**Tableau 23** : Etat de suivi de l'évolution de la longueur des plantules - Expérience 3-test 3.

	Expérience 3 - Test 3											
	Caisse A3				Caisse B3				Caisse C3			
	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Moy
J1	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J2	0,9	0,5	1	0,80	/	/	/	/	0,8	0,7	0,6	0,70
J3	1,5	1,5	2,3	1,77	1,3	2,5	1,3	1,70	1,8	1,1	1,2	1,37
J4	3,5	2,5	2,5	2,83	4	3,4	4,2	3,87	2,6	2,5	2,7	2,60
J5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
J6	8,4	6,9	5,5	6,93	8,5	7,9	6,7	7,70	6,5	6,5	5,8	6,27
J7	8,4	5,5	7	6,97	11	12,5	13,5	12,33	8,5	6,7	9,4	8,20
J8	12,8	10,7	9	10,83	13,7	13,5	10,9	12,70	16	13,5	13,5	14,33
J9	12,5	12	13	12,50	17	17,5	14	16,17	14,5	15,5	16	15,33
J10	14,5	14	12,5	13,67	16	18	17	17,00	18	17,5	15	16,83
J11	17,5	13,5	14,5	15,17	19	16,5	15,5	17,00	18	18,5	20	18,83

De ce 3 test, il est constaté aussi que les plantules les plus prononcées est celles prélevées de la caisse C3 contenant de l'orge trempé dans l'eau de robinet. En effet, il est enregistré une longueur de plantule de 16 cm dès le 8<sup>ème</sup> jour.

Quant à la photosynthèse, elle s'est accrue au niveau des trois caisses à compter de la 6<sup>ème</sup> journée.

#### V.3.4. Mesure de poids net en Kg

**Tableau 24** : Etat de suivi de l'évolution du poids net de chaque caisse - Expérience 3-test 1.

Expérience 3 -Test N1			
Designations	Caisse A1	Caisse B1	Caisse C1
	Avec eau javel	Avec sel	Avec Eau
J1	1,47	1,05	1,39
J2	1,52	1,09	1,49
J3	1,72	1,26	1,71
J4	1,86	1,4	1,88
J5	2,07	1,6	2,12
J6	2,29	1,81	2,42
J7	2,57	2,14	2,69
J8	2,87	2,26	2,95
J9	2,98	2,29	2,97
J10	3,08	2,33	3,04
J11	3,17	2,43	3,17
Ecartype	0,640	0,529	0,660
Rendement finale	3,17	2,43	3,17

Il est relevé un rendement par type de caisse comme suit :

-Les caisses de type A : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 3,17 kg.

-Les caisses de type B : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 2,43 kg.

-Les caisses de type C : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 3,17 kg.

**Tableau 25** : Etat de suivi de l'évolution de poids net de chaque caisse- Expérience 3-test 2.

Expérience 3 -Test N2			
Designations	Caisse A2	Caisse B2	Caisse C2
jour	Avec eau javel	Avec sel	Avec Eau
J1	1,44	1,44	1,47
J2	1,53	1,52	1,62
J3	1,64	1,63	1,74
J4	1,82	1,76	1,92
J5	2,01	1,94	2,09
J6	2,23	2,17	2,29
J7	2,33	2,24	2,41
J8	2,54	2,43	2,56
J9	2,78	2,71	2,85
J10	3,04	3,03	3,15
J11	3,22	3,21	3,29
Ecartype	0,6101863	0,6040936	0,6113562
Rendement finale	3,22	3,21	3,29

Il est relevé un rendement par type de caisse comme suit :

- Les caisses de type A : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 3,22 kg.
- Les caisses de type B : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 3,21 kg.
- Les caisses de type C : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 3,29 kg.

**Tableau 26** : Etat de suivi de l'évolution de poids net de chaque caisse - Expérience 3-test 3.

Expérience 3 -Test N3			
Designations	Caisse A3	Caisse B3	Caisse C3
	Avec eau javel	Avec sel	Avec Eau
J1	1,5	1,44	1,49
J2	1,62	1,52	1,56
J3	1,7	1,62	1,65
J4	1,85	1,74	1,81
J5	1,99	1,89	1,95
J6	2,06	1,98	2,02
J7	2,11	2,04	2,11
J8	2,32	2,23	2,3
J9	2,54	2,45	2,49
J10	2,67	2,6	2,68
J11	2,82	2,74	2,8
Ecartype	0,437	0,439	0,446
Rendement final	2,82	2,74	2,8

Il est relevé un rendement par type de caisse comme suit :

- Les caisses de type A : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 2,82 kg.
- Les caisses de type B : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 2,74 kg.
- Les caisses de type C : pour 1 kg d'orge engage donne une quantité de fourrage vert de 2,80 kg.

### V.3.5. Etat sanitaire

A l'œil nu, nous avons constaté durant toutes les périodes des essais, une présence de trace de moisissures avec une couleur marron des racines et d'une verdure touchée également à sa base. Le moment de l'apparition de ces moisissures varie entre le 3<sup>ème</sup> et le 8<sup>ème</sup> jour (tableau 27).

Cette situation peut être justifiée par la persistance de l'influence des mêmes paramètres que l'expérience 1 et 2 à savoir : La densité au sein des caisses et le manque d'aération.

**Tableau 27** : Etat sanitaire expérience 3.

Etat sanitaire expérience 3					
A (eau javel)		B (sel)		C (eau de robinet)	
A1	5 <sup>ème</sup> jour	B1	3 <sup>ème</sup> jour	C1	8 <sup>ème</sup> jour
A2	6 <sup>ème</sup> jour	B2	6 <sup>ème</sup> jour	C2	6 <sup>ème</sup> jour
A3	6 <sup>ème</sup> jour	B3	5 <sup>ème</sup> jour	C3	5 <sup>ème</sup> jour
Classement par ordre de préférence					
2		3		1	

### V.4. Coût de production de l'orge hydroponique

Pour clôturer notre travail, nous avons jugé utile d'aborder la partie coût, afin de savoir est ce que c'est intéressant du point de vue économique de produire l'orge hydroponique.

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

Dans notre cas, une estimation des coûts de production du fourrage vert hydroponique est présentée en tenant compte des postes de coût identifiables, quantifiables et valorisables.

## V.4.1. Présentation de la structure de coût :

Tableau 28 : Structure de coût.

N° de poste	Matériels	Prix d'achat
Poste 1	Grain d'orge à l'état sec	-Expérience 1 : <b>85 DA.</b> -Expérience 2 et 3 : <b>60 DA</b>
Poste 2	Fournitures utilisées : a-Papier aluminium (20 m). b-Papier cuisson (10 m). c-Electricité.	a : <b>370 DA.</b> b : <b>200 DA.</b> c : /
Poste 3	Main d'œuvre	
Poste 4	Amortissement des investissements : a-Moustiquaire. b- Pulvérisateur. c- Balance. d- Matériels d'électricité. e- Elément à étage. f- Caisses en plastique (16). g- Bassines h- Tamis.	a : <b>350 DA.</b> b : <b>750 DA.</b> c : <b>6500 DA.</b> d : (expérience 1 : <b>400DA</b> ; expérience 2 et 3 : <b>3000 DA</b> ). e: <b>4000 DA.</b> f: <b>400 DA.</b> g: <b>1000 DA.</b> h: <b>600 DA.</b>

Tableau 29: Coût de production d'un Kg de FVH selon les données de l'expérience N°1 (étalée sur 09 jours).

	Caisses de l'extérieur (nombre : 2)	Caisses de l'intérieur (nombre : 2)
Poste 1 : semence	2,5 Kg X 2 X 85 DA= <b>425 DA</b>	2,5 Kg X 2 X 85 DA= <b>425 DA</b>
Poste 2 : autres matières et fournitures utilisés	a: 1,38m X 1 X 18.5 DA/m= <b>25,53 DA.</b> b: 1,38m X 1 X 20 DA/m= <b>27,60 DA.</b> <b>Total= a + b= 53,13 DA.</b>	Le même avec les caisses de l'extérieur = <b>53,13 DA.</b>
Poste 3 : Main d'œuvre	Non valorisée	Non valorisée
Poste 4 : amortissement	-Valeur total de l'investissement= <b>9250 DA.</b> -Dotation/jour= 9250 DA/365jours= <b>25,34 DA/jour.</b> -Dotation total= 25,34 DA/j X 9j= <b>228,06 DA.</b>	- Valeur total de l'investissement= <b>9650 DA.</b> - Dotation/jour= 9650 DA/365jours= <b>26,44 DA/jour.</b> -Dotation total= 26,44 DA/j X 9j= <b>237,96 DA.</b>
Total des coûts engagés	<b>706,19 DA</b>	<b>716,09 DA</b>
Production total du fourrage obtenu	<b>16,59 Kg</b>	<b>12,32 Kg</b>
Coût de production/Kg	706,19 DA/16,59Kg= <b>42,57 DA/Kg</b>	716,09 DA/12,32Kg= <b>58,12DA/Kg</b>

**Tableau 30:** Coût de production d'un Kg de FVH selon les données de l'expérience N°2 (étalée sur 10 jours).

3 caisses préparées à l'intérieur du site 2	
Poste 1 : semence	1.6Kg X 3 X 60DA/Kg= <b>288DA.</b>
Poste 2 : autres matières et fournitures utilisés	1,38m X 3 X 18,5DA/m= <b>76,59 DA.</b>
Poste 3 : Main d'œuvre	Non valorisée
Poste 4 : amortissement	- Valeur total de l'investissement à amortir sur 01 année= <b>12275DA.</b> - Valeur total de l'investissement à amortir sur 10 années (élément à étage)= <b>4000DA.</b> -Dotation/jour : 12275DA/365j= <b>33,63DA/j.</b> - Dotation/jour : (4000DA/10ans)/365j= <b>1,09DA/j.</b> -Dotation total/j= (33,63DA+1,09DA) X 10j= <b>347,20DA.</b>
Total des coûts engagés	288DA+76,59DA+347,20DA= <b>711,79DA</b>
Production total du fourrage obtenu	<b>13,51 Kg</b>
Coût de production/Kg	711,79DA/13,51Kg= <b>52,69DA/Kg</b>

**Tableau 31:** Coût de production d'un Kg de FVH selon les données de l'expérience N°3 (étalée sur 11 jours).

9 caisses préparées à l'intérieur du site 2	
Poste 1 : semence	1Kg X 9 X 60DA/Kg= <b>540DA</b>
Poste 2 : autres matières et fournitures utilisés	1,38m X 9 X 18,5DA= <b>229,77DA</b>
Poste 3 : Main d'œuvre	Non valorisée
Poste 4 : amortissement	- Valeur total de l'investissement à amortir sur 01 année= <b>12425DA.</b> - Valeur total de l'investissement à amortir sur 10 années (élément à étage)= <b>4000DA.</b> -Dotation/jour : 12425DA/365j= <b>34,04DA/j.</b> - Dotation/jour : (4000DA/10ans)/365j= <b>1,09DA/j.</b> -Dotation total/j= (34,04DA+1,09DA) X 11j= <b>386,43DA.</b>
Total des coûts engagés	<b>1156,20 DA</b>
Production total du fourrage obtenu	<b>26,85 Kg</b>
Coût de production/Kg	1156,20DA/26,85Kg= <b>43,06DA/Kg</b>

Le meilleur coût de production est obtenu dans la 3<sup>ème</sup> expérience. En effet, ces coûts en Kg par expérience sont comme ci-après :

- Expérience 1 :
  - Cas de l'extérieur : 42,57 DA/Kg.
  - Cas de l'intérieur : 58,12 DA/Kg.
- Expérience 2 :
  - Cas de l'intérieur : 52,69 DA/Kg.
- Expérience 3 :
  - Cas de l'intérieur : 43,06 DA/Kg.

Il est à noter que les coûts de production obtenus lors de l'expérience 1 particulièrement celui de l'extérieur de notre point de vu n'est pas à prendre en considération du moment où il est obtenu dans des conditions climatiques ne permettant pas une comparaison équitables avec ceux réalisés à l'intérieur des sites.

En outre, et d'une manière générale, on peut conclure que le coût de production en Kg peut être amélioré en agissant sur :

- 1) La baisse des prix d'achat des intrants :
  - matière première (orge).
  - fournitures.
- 2) Le changement de la méthode d'amortissement par passage de la méthode linéaire à la méthode croissante par exemple. En effet, le nouveau système comptable prévoit ce cas.
- 3) L'amélioration du rendement de l'orge.

# *Conclusion*

Au vu des expériences menées dans le cadre du thème de ce mémoire « La production de l'orge hydroponique à moindre coût », il nous est donné de consigner qu'elle garantit une production de fourrage vert au bout d'un délai très réduit (de 7 à 10 jours).

Cette technique apporte différents intérêts comme :

- Elle peut assurer une régularité de la production toute au long de l'année.
- Elle peut être réalisée aisément par les fermiers dans leurs exploitations.
- Elle permet une économie en ressources hydriques.
- Elle peut être étagée d'où une multiplication des surfaces de cultures.

L'atteinte d'un rendement moyen (max= 3,29 Kg de fourrage vert pour 1 Kg d'orge engagé à l'état sec). Ce dernier est la résultante des moyens rudimentaires utilisés.

Le rendement, paramètre important de point de vue économique, peut être amélioré en réunissant les conditions optimums liées à l'environnement.

On ce qui concerne l'apparition des moisissures sur l'ensemble des expériences réalisées dans les dispositions prise, en terme d'addition d'additifs, ils sont engendrer par le manque des conditions favorables.

Enfin, nous avons obtenu des résultats différents en termes de coût selon chaque expérience :

- Expérience 1 : 58,12 DA/Kg.
- Expérience 2 : 52,69 DA/Kg.
- Expérience 3 : 43,06 DA/Kg.

De là, nous concluons que le meilleur coût est celui de la 3<sup>ème</sup> expérience.

## *Références bibliographiques*

## *Références bibliographiques*

- Abbas T.E et Musharaf N.A. (2008). The effects of germination of low-tannin sorghum grains on its nutrient contents and broiler chicks performance. *Pak. J Nutr* 7, 470–474.
- Aït Rachid L. (1991). Essai comparatif de quelques lignées F6 d'orge (*Hordeum vulgare* L.). Thèse d'ingénieur. INA, El Harrach. 138 p.
- Alain V. (2003). Fondements et principes du hors-sol : Doc V 3.1 HRS 12 Ind. 10P.
- Al-Ajmi A., Salih A., Kadhim I., Othman Y. (2009). Yield and water use efficiency of barley fodder produced under hydroponic system in GCC countries using tertiary treated sewage effluents. *Journal of Phytol.* 1:342-348.
- Alaoui S-B. (2003). Conduite technique de l'orge. Production de fourrage à partir de céréales cultivées seules ou mélangées avec les légumineuses. Techniques de production des principales cultures fourragères en Bour et en irrigué. Session de formation au profit des techniciens et ingénieurs de l'ORMVA des Doukkala. Décembre 2003.
- Ali H., Miah A.G., Sabuz S.H., Asaduzzaman M et Salma U. (2019). Dietary effects of hydroponic wheat sprouted fodder on growth performance of turkey. *Res. Agric. Livest. Fish.* 6, 101–110.
- Alinaitwe J., Nalule A.S., Okello S., Nalubwama S et Galukande E. (2018). Nutritive and economic value of hydroponic barley fodder in kuroiler chicken diets. *IOSR J Agric Vet Sci* 12, 76–83.
- Al-Karaki G.N et Al-Momani N. (2011). Evaluation of Some Barley Cultivars for Green Fodder Production and Water Use Efficiency under Hydroponic Conditions in Jordan *Journal of Agricultural Sciences*, Volume 7, No.3.
- Anonyme. (2012). Move aside- hydroponics technology is here. *Gomantak Times* 11 October 2012.
- Atta M. (2016). Effect of hydroponic barley fodder on Awassi lambs performance. *J Biol, Agril Healthcare* 6(8): 60-64.

- Badr A., Müller K., Schäfer-Pregl R., El Rabey H., Effgen S et Ibrahim H. (2000). On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Mol. Biol. Evol.* 17, 499–510. doi: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a026330.
- Bagci S.A. Yilmaz A. (2003). Determination of the salt tolerance of some barley genotypes and the characteristics affecting tolerance. *Turk. J. Agric. For.* 27:253-260.
- Bakshi M.P.S., Wadhwa M et Harinder P.S Makkar. (2017). Département de nutrition animale, Guru Angad Dev Veterinary and Animal Science University, Ludhiana-141004, Inde  
\*Consultant international et professeur adjoint, Université de Hohenheim, Stuttgart, Allemagne.
- Belaid D. (1986). Aspect de la céréaliculture Algérienne. Collection le cours d'agronomie office des publications universitaire. 207 p.
- Belaid D. (1996). Aspect de la céréaliculture algérienne. Office des Publications Universitaires, Alger pp207-217.
- Bendif H. (2018). Techniques en cultures hors sol.
- Benider C. (2018). Performances de l'association céréales-légumineuses en systèmes fourragers des régions semi-arides (Doctoral dissertation).
- Benlaribi M. (1990). Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : Etude des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse de Doctorat d'état, I.S.N. Université de Constantine, 164p.
- Bessaoud O. (1999). L'Algérie agricole : de la construction du territoire à l'impossible émergence de la paysannerie. *Revue du centre de recherche en Anthropologie sociale et culturelle « INSANIYET »*. N° 7. Janvier - avril 1999. Oran. Algérie. 30 p.
- Biddinger E.J., Liu C.M., Joly R.J., Raghothama K.G. (1998). Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorous deficiency. *J. Am Soc. Hortic. Sci.* 123:330-333.
- Blattner F.R., Weising., K., Bänfer G., Maschwitz U et Fiala B. (2001) Molecular analysis of phylogenetic relationships among myrmecophytic *Macaranga* species (Euphorbiaceae). *Mol. Phylogenet. Evol.*, 19(3): 331-344

Bnsaadi N. (2011). Effet de stress salin sur l'activité de  $\alpha$ -amylase et la remobilisation de réserve de graines d'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) en germination. Mémoire magister département de biologie, Université d'Oran ES-SENIA, D'Oran P:9/.98 .

Boufenar-Zaghouane F., Zaghouane O., (2006). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC d'Alger, 1ère Ed, 152p.

Camille M. (1980). Céréales .Phytotechnie spéciale bases scientifiques et techniques de la production des principales espèces de grande culture en France. Maison rustique, PARIS ,1980. 318p

Cervantes J. (2012). Culture en intérieur. Mama Edition, 1 rue Pétion 75011 (France). P : 199-203.

Chadefaud M et Emberger L. (1960). Traité de botanique. Systématique. Les végétaux vasculaires par L. Emberger. Fasciculé Masson et Cie. Tome II, 753p.

Chavan J.K., Kadam S.S et Beuchat L.R. (1989). Nutritional improvement of cereals by sprouting. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28:5, 401-437, DOI: 10.1080/10408398909527508

Crémer S. (2014). Introduction à la reconnaissance des graminées. Fourrages Mieux asbl.

Cuddeford, D. (1989). Hydroponic Grass. *In Practice* 11(5): 211-214.

Dastar B., Moghaddam A.S., Shargh M.S et Hassani S. (2014). Effect of different levels of germinated barley on live performance and carcass traits in broiler chickens. *Poult. Sci. J.* 2, 61–69.

Dung D.D., Godwin I.R et Nolan J.V. (2010). Nutrient content and in sacco digestibility of barley grain and sprouted barley. *Journal of Animal, Veterinary Advances*; 9(19):2485-2492.

El Deebea M.M., El Awady M.N., Hegazi M.M., Abdel-Azeem F.A., El Bourdiny M.M. (2009). Engineering factors affecting hydroponics grass- fodder production. *Agricultural engineering and variables of the present epoch*: 1647-1666.

Ellis C., Swaney M.W. (1947). Nutriment film technique .Soilless growth of plants. Ed:2. 277 pp.

EUFIC (2009). Fiche d'information : les céréales complètes. Version électronique disponible sur : <http://www.eufic.org/article/fr/expid/cereales-completes/>

Falkenmark M. (2007). Shift in Thinking to Address the 21 st Century Hunger Gap Moving Focus from Blue to Green Water Management. *Water Resource Manage*, 21: 3-18.

Fazaeli H., Golmohammadi H.A., Shoayee A.A., Montajebi N et Mosharraf Sh. (2011). Performance of Feedlot Calves Fed Hydroponics Fodder Barley. *J. Agr. Sci. Tech.* Vol. 13: 367-375.

Feillet P. (2000). Le grain de blé. Composition et utilisation. Mieux comprendre. INRA. ISSN : 1144- 7605. ISBN : 2- 73806 0896- 8. 308p

Fernand P. (2014). Guide d'aide et d'informations de culture. Les entreprises fernand pigeon inc. 174 Ch. Beaudoin N. durham-sud, Qc. J0H2C0, 15p.

Fliss M. (1996). Contribution à la maîtrise et à l'optimisation du procédé de maltage: conditions de procédé, qualité fonctionnelles et organoleptiques du malt, Thèse I.N.P.L., spécialité : Génie des Procédés, Nancy.

Foury C. Martin F. Pécaut P. (1994). Avantages et difficultés de la création d' hybrides fl d' artichaut à semer. In : iv international congress on artichoke 681. 2000. p 315-322.

Franquesa M. (2014). Guide rapide de la culture de l'orge. Agroptima Blog.

Freeman, P. L., & Palmer, G. H. (1984). The structure of the pericarp and testa of barley. *Journal of the Institute of Brewing*, 90(2), pp88-94.

Giban M., Minier B et Malvosi R. (2003). Stades du blé ITCF.ARVALIS. Institut du végétale. Gilberto.2013. Table à marée, subirrigation, flux et reflux, (EBB&flood) <http://hydroponie.fr/table-maree-subirrigation-flux-reflux-ebblood>.

Girma F et Gebremariam B. (2018). Review on Hydroponic Feed Value to Livestock Production. *Journal of Scientific and Innovative Research*; 7(4): 106-109.

Graves C.J., Hurd R.G. (1983). Intermittent solution circulation in the nutrient film technique. *Acta Hort.* 133 :( In press).

Grillot. (1959). La classification des orges cultivées. *Au. Am. Plantes*, 4 : pp446-486.

Habben J. (1974). Note générale sur la culture hydroponique. 5p.

Hachi I., Akrib K et Arslane S. (2005). Caractérisation de la proline, indicateur de stress hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone méditerranéenne (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).

Hakimi M., (1993). L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro météorologiques modernes. In the agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceeding of an International symposium (6 - 10 march 1989, Tunis). Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D. PP157 - 166.

Hamdan L. (2010). Caractérisation de la communauté fongique impliquée dans la minéralisation du soufre organique dans les rhizosphères de colza et d'orge (Doctoral dissertation).

Hanchane M., (1998) : Estimation des risques climatiques en fonction de la date de semis de l'orge au Maroc. Précipitations et cultures céréalières dans le Centre-ouest du Maroc. In: Méditerranée: 88 (1). pp 51-58.

Hanchane M. (2009). Simulation de l'effet de la date de semis sur la satisfaction des besoins en eau de l'orge par le modèle CERES en climat semi-aride marocain. Science et changements planétaires/Sécheresse, 20(4), pp 354-359.

Hanifi L., (1999). Contribution à l'étude de l'hétérosis et de l'intérêt des F1, F2 et lignées Haploïdes doubles chez l'orge. Thèse de doctorat d'Etat. Univ des sciences et technologies de Lille. 177 p.

Hazmoune T., (2006) – Le semis profond comme palliatif à la sécheresse. Rôle de la coléoptile dans la levée et conséquences sur les composantes du rendement. Thèse docteur d'état. Univ Constantine ; 168p.

Hoareau D. (2012). Ecologie de la germination des espèces indigènes de la Réunion. Mémoire de stage Master 2, université de la Réunion, 64p.

Hoffman M.T et Vogel C. (2008). Climate Change Impacts on African Rangelands. Rangelands 30:12–17. Jensen, H. and A. Malter, 1995. Protected agriculture a global review. World Bank technical paper number 253. 156 p.

Höije A., M. Gröndahl K. Tømmerraas P et Gatenholm. (2005). "Isolation and characterization of physicochemical and material properties of arabinoxylans from barley husks." Carbohydrate Polymers 61(3): pp 266-275.

Hübner F et Arendt E.K. (2013). Germination of Cereal Grains as a Way to Improve the Nutritional Value: A Review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 53:8, 853-861, DOI: 10.1080/10408398.2011.562060

Jensen M.H et Collins W.L. (1985). De la production de légumes hydroponiques. Hort. Commentaires 7,

Jemimah R., Gnanaraj T., Muthuramalingam T., Devi., Thirunavukarasu., Babu M. et Arumugam, Sundaresan. (2015). Hydroponic Green Fodder Production -TANUVAS Experience

Kamanga Y. (2016). Fourrage hydroponique : Augmenter la production de lait et les revenus. The gfar blog.

Kang J.G., Kim S.Y., Om Y.H., Kim J.K. (1996). Growth and tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in aeroponic, deep flow technique and nutrient film technique culture films. J. Korean Soc. Hort. Sci. 37:24-27.

Khaldoun A. (1989). Etude du comportement de l'orge exploitée à double fin. Rev Fourrages, 117. Pp 77-88.

Kide W., Desai B et Dhekale J. (2015) Feeding effects of maize and barley hydroponic fodder on dry matter intake, nutrient digestibility and body weight gain of Konkan Kanyal goats. Life Sci Int Res J 2(2): 96-101.

Kim H.S., Lee E.M., Lee M.A., Woo I.S., Moon C.S., Lee Y.B., Kim S.Y. (1999). Production of high quality potato plantlets by autotrophic culture for aeroponic systems. J. Korean Soc. Hort. Sci. 123:330-333

Kruglyakov Yu. A. (1989). Construction of equipment for growing green fodder by a hydroponic technique. Traktory-I Sel'skokhozyaistvennyye Mashiny, 6: 24-27.

Leontovich V et Bobro M. (2007). Technology of continuous growing of hydroponic fodder. Russian Agricultural Sciences. 33. 239-241. DOI: 10.3103/S1068367407040088.

Lorenz K. (1980). Cereal sprouts: composition, nutritive value, food application. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 13: 353–385

Madjida., Chekhma., Zahra H.F., et Yasmine A.I.B. (2020). Monoculture et culture en association (Céréales-légumineuses) : Fertilisation minérale et biologique (Doctoral dissertation, Universite Mohamed Boudiaf-M'sila).

Marcon C, Hochholdinger F et Paschold A. (2013). Genetic Control of Root Organogenesis in Cereals, p 70.

- Martel Y.A et Zizka J. (1977). Effet de l'addition de soufre a une fertilisation de n, p et k sur les rendements et la qualité de l'orge cultivée en serre. *Canadian Journal of Plant Science*, 57(2), pp 597-606.
- Miralles-Bruneau M., Bigot C.E., Benard J.L., Barreira S., Forget D., Grangette D., Grondin S., Michon A., Payet M., Pellier Y., Picard A.M., Picard G.N., Picard J.P., Picard T., Reboule J.L., Valin D. (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?. 85p.
- Molina-Cano J.L., Moralejo M., Igartua E et Romagosa I. (1999): Further evidence supporting Morocco as a center of origin of barley. *Theor. Appl. Genet.*, 98: 913–918.
- Mooney J. (2005). Growing cattle feed hydroponically. *Meat livestock Australia*. 30.
- Morard P. (1995). *Les cultures végétales hors sol* Ed. Lavoisier, 208p.
- Morgan J., Hunter R.R et O'Haire R. (1992). Limiting factors in hydroponic barley grass production. In the proceeding of the 8 International congress on soil less culture, pp: 241 261.
- Morgan J., Hunter R.R et O'Haire R. (1992). Limiting factors in hydroponic barley grass production. 8th International congress on soilless culture, Hunter's Rest, South Africa.
- Mossab M. (2007). Contribution à l'étude de l'exploitation à double fin de l'orge *Hordeum vulgare* L. en zones semi-arides d'altitude (Doctoral dissertation, INA).
- Muhammad S., Afzal H et Mudassar S. (2013). Use of sprouted grains in the diets of poultry and ruminants. *Pakistan Indian Research. Journal*; 2(10):20-27.
- Multon J.L. (1982). *Conservation et Stockage Des Grains et Graines et Produits Derivés Céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux*. Ed. Lavoisier, Paris, 576 p.
- Naik P.K et Singh N.P. (2013). Hydroponics fodder production: an alternative technology for sustainable livestock production against impeding climate change. In: compendium of model training course 'Management strategies for sustainable livestock production against impending climate change'. Southern regional station, NDRI, Adugodi, Bengaluru, India. 70-75.
- Naik P.K. (2014). Hydroponics green fodder for dairy animals. *Recent Adv Anim Nutr* (Eds. Bakshi MPS and wadhwa M). 191-210.

Naik P.K., Swain B et Singh N. (2015). Production and Utilization of Hydroponics Fodder. Indian J. Anim. Nutr. 32, 1–9.

Nonigopal S. (2019). Hydroponic fodder production: an alternative technology for sustainable livestock production in india. Explor Anim Med Res, Vol.9, Issue - 2, p. 108-119

Oudina M., Bouzerzour H., (1993). Variabilité du rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous l'influence du climat des hauts plateaux sétifiens. In agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceeding of an International symposium (6 - 10 march 1989, Tunis). Ed. Jones M., Marthys G., Rijks D. PP 110 - 120.

Orabi J., Backes G., Wolday A., Yahyaoui A. et Jahoor A. (2007). The Horn of Africa as a centre of barley diversification and a potential domestication site. Theor. Appl. Genet., 114: 1117–1127.

Parry M.L et Parry C.J. (1993). Agricultural geography of barley. In the agrometeorology of rainfed barley-based farming systems. Proceedings of an international symposium, (6 - 10 march 1989, Tunis). Ed.

Jones M., Marthys G et Rijks D. (1957). PP 15 –31.

Peer D.J. et Leeson S. (1985). Nutrient content of hydroponically sprouted barley. Anim. Feed Sci. Technol. 13: 191-202.

Philippe M. (1995). Les cultures végétales hors sol. Ecole nationale supérieure agronomique de toulouse, 304p.

Prafulla K.N., Bijaya K et Swain NP. (2015). Production and Utilization of Hydroponics Fodder Indian. Journal of Animal Nutrition; 32(1):1-9.

Prats H. (1960). Vers une classification des graminées. Revue d'Agrostologie Bull. Soc Bot. France : pp 32-79.

Rajkumar G., Dipu M.T., Lalu K., Shyama K et Banakar P.S. (2017). Evaluation of hydroponics fodder as a partial feed substitute in the ration of crossbred calves. Indian J Anim Res 52(12): 1809-1813.

Reddy G.V.N., Reddy M.R. et Reddy K.K. (1988). Nutrient utilization by milch cattle fed on rations containing artificially grown fodder. Indian J. Anim. Nutr. 5 (1): 19-22.

- Ritter E., Angulo B., Riga P., Herran C., Relloso J et San J.M. (2001). Comparison of hydroponics and aeroponics cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Res.* 44:127-135.
- Runavot, J.L. (2011). Maltage à faible hydratation: dégradation des structures pariétales, diffusion et modification des protéines aleuroniques et caractérisation des barrières hydrophobes cuticulaires (Doctoral dissertation, Université de Nantes).
- Rodet J.C. (1997). Herbage naturel hydroponique et grains Germées : des vitamines naturelles pour les animaux. *Bio-bulle*.
- Romero V.M.E., Córdova Duarte G et Gallardo E.O.H. (2009). Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. Vol. 19 no. 2.
- Saidi A et Abo Omar J. (2015). The Biological and Economical Feasibility of Feeding Barley Green Fodder to Lactating AwassiEwes *Open Journal of Animal Sciences*, 5 : 99-105
- Sharif M., Hussain A et Subhani M. (2013). Use of sprouted grains in the diets of poultry and ruminants. *Indian J. Res.* 2, 4–7.
- Shipard I. (2005). *How Can I Grow and Use Sprouts as Living Food?* Stewart Publishing.
- Sneath R et McIntosh F. (2003). Review of Hydroponic Fodder Production for Beef Cattle. Department of Primary Industries: Queensland Australia 84. McKeehen, p. 54.
- Soltner D. (2005). Les grandes productions végétales. Céréales. Collection sciences et techniques agricoles. 20è édition. Paris. France, pp 21-55.
- Soltner D. (2005). Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles, 140p.
- Sriman N D., Ankit T., Vinay K P et Ghanshyam V S. (2018). Effect of nitrogen levels and its time of application on growth parameters of barley (*Hordeum vulgare L.*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*: 7(1).pp 333-338.
- ST. Pierre C.A et Gendron G. (1982). Les céréales et le maïs. Les presses de l'université Laval. Québec. P 145.
- Talalay G.S., Matserushka A.R., Kolesnikov R.O., Gvozdayov D.A. et Matserushka, V.V. (2020). Influence of Feeding with Hydroponic Green Fodder from Barley on Meat Quality of Chicken-Broilers, in: *Modern S&T Equipments and Problems in Agriculture*. pp. 225–234.

Texier W. (2015). L'hydroponique pour tous, tout sur l'horticulture à la maison – HydroScope, 357p.

Trubey C.R., Rhykerd C.L., Noller C.H., Ford D.R et George J.R. (1969). Effect of Light, Culture Solution, and Growth Period on Growth and Chemical Composition of Hydroponically Produced Oat Seedlings. In *Agronomy Journal.*, vol: 61. p 655-827.  
<https://doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100050003x>

Winsor G.W., HURD R.G et PRICE D. (1979). Nutrient film technique. *Grower's Bul. Glasshouse Crops Res. Inst., England.*

## Résumé

Dans le domaine de l'élevage, l'alimentation animale représente 70% de coût de production. Pour cela, notre travail est réalisé dans le but de produire de l'orge hydroponique à moindre coût, afin de permettre aux fermiers et aux éleveurs de pratiquer cette culture hors sol dans leurs exploitations. Cette culture hors sol est basée sur le principe de la graine germée, cette technique permet de faire pousser des tapis de jeunes plantes de céréales et d'obtenir en 7 à 10 jours une biomasse importante. La production de l'orge hydroponique pourrait être une alternative, et représente une voie d'intensification de la production de biomasse, en étant plus efficace en terme de surfaces et d'utilisation d'eau. On a utilisé des grains d'orge d'une variété locale et des matériaux simples parfois recyclés tel que des caisses à légumes et à fruits, un pulvérisateur ainsi que du papier aluminium et cuisson. Nous avons observé sur tous les essais une meilleure croissance pour les racines et les plantules qui sont atteints respectivement des longueurs optimum (7,5 cm ; 22cm), taux de germination très satisfaisant (86 à 100%), un faible rendement qui est de 3,29 Kg pour 1 Kg d'orge engagé à l'état sec, ainsi que la présence des moisissures. Nous avons commencé par la 1<sup>ère</sup> expérience pour distinguer l'environnement favorable pour la croissance du fourrage, suivi par une 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> expérience pour éliminer les moisissures.

**Mots clés** : orge, céréales, culture hors sol, hydroponie, germination, moindre coût...

## Abstract

In the field of livestock farming, animal feed accounts for 70% of production costs. Therefore, our work is aimed at producing hydroponic barley at a lower cost, in order to enable farmers and livestock breeders to practice this soilless cultivation on their farms. This soilless cultivation is based on the principle of sprouted seeds, which allows for the growth of mats of young cereal plants and the attainment of a significant biomass in 7 to 10 days. The production of hydroponic barley could be an alternative and represents a pathway to intensify biomass production, being more efficient in terms of space and water usage. We used barley grains from a local variety and simple materials, sometimes recycled, such as vegetable and fruit crates, a sprayer, as well as aluminum foil and cooking foil. We observed better growth for both roots and seedlings in all trials, reaching optimal lengths (7.5 cm; 22 cm), very satisfactory germination rates (86 to 100%), a low yield of 3.29 kg for 1 kg of dry barley input, and the presence of molds. We began with the first experiment to determine the favorable environment for forage growth, followed by a second and third experiment to eliminate the molds.

**Keywords**: barely, cereals, soilless cultivation, hydroponics, germination, lower cost...