

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

En vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Nutrition Animale et Produits d'Animaux

Thème

Essai de production de fourrage hors sol d'une variété d'orge local sans solution nutritive.

Présenté par : M^{elle} BARECHÉ Lamia

soutenu le : 09/07/2017

jury :

Président :	M. BERCHICHE M	Professeur	UMMTO
Encadreur :	M. KADI S.A	Maitre de conférences A	UMMTO
Examineurs:	M. MOUHOUS A	Maitre de conférences B	UMMTO

Promotion : 2016-2017

Remerciement

J'implore le dieu pour toutes les choses qui nous a donnés et pour son amour sans cesse.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et gratitude à mon promoteur M^{er} Kadi S A.

Je tiens également à remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Sans oublier le responsable et les travailleurs de l'unité ETS KACI.

Dédicace

A :

Toute ma famille, merci d'être là.

Tous mes ami (s)(es).

Sommaire

Liste des abréviations	07
Liste des tableaux	08
Liste des figures	09
Introduction	11

Partie bibliographie

Chapitre I : Généralité sur l'orge

I-1-Importance de l'orge dans le monde	12
I-2-Importance de l'orge en Algérie	13
I-3-Présentation de l'orge	15
I-3-1-Historique et origine de l'orge	15
I-3-2- Classification.....	16
I-3-3- Les variétés de l'orge en Algérie.....	17
I-3-4-Le cycle de développement.....	18
I-3-5-Anatomie et composition de grain d'orge	22
I-3-6-Exigence de culture de l'orge	23
I-3-7-Itinéraire technique de culture de l'orge.....	24
I-3-8-Utilisation de l'orge	24
a. Chez les animaux	24
b. Chez les humains	25

Chapitre II : Culture hors sol

II-1-Découverte de la culture hors sol.....	26
II-1-1-Définition de culture hors sol	26
II-1-2-Historique	26
II-2-Différents techniques de culture hors sol.....	28

II-2-1-Technique sans substrat	28
a. Aspersion.....	28
b. L'aquaponie.....	28
c. Le Nutrient Film Technique NFT.....	29
d. Aéroponique.....	30
II-2-2-Technique avec substrat.....	31
a. Subirrigation.....	31
b. Percolation.....	32
II-3-Types d'installations existantes.....	32
II-4-Chambre de culture.....	33
II-4-1-Eclairage	33
II-4-2-Micro-climat.....	34
II-4-3-Eau.....	35
II-5- Production de l'orge en culture hors sol.....	35
II-5-1-La semence.....	36
a) Définition.....	36
b) Qualité de semences.....	36
II-5-2-La trempe.....	36
II-5-3-L'égouttage	37
II-5-4-La germination	37
II-6-Potentiel de production	40
II-7-les avantages et les inconvénients de culture hors sol	40

Partie pratique

Rappel de l'objectif	45
1-Présentation du site expérimental.....	45
1-1- Présentation de l'unité	45
2-Travail pratique.....	46
2-1-Matériel utilisé.....	46
2-2-Conduite de la culture de l'orge hors sol	48
2-2-1- mode opératoire.....	48
2-2-2-Les conditions de mise en culture	50

2-2-3-L'irrigation.....	51
3-Mesures et observations.....	51
4-L'analyse statistique des résultats.....	52

Résultats et discussions

1-Calcul du taux de germination.....	53
2 Les modifications morphologiques des grains d'orge au cours de processus de croissance hors sol.....	54
3-Mesure de la température et de l'humidité.....	59
3-1-dans la chambre de culture	59
3-2-En plein air	59
a) La température.....	59
b) L'humidité	60
c) Taux d'arrosage	61
4-Suivi de la croissance.....	61
4-1) dans la chambre de culture	61
4-2) En plein air.....	65
Conclusion générale	71
Références bibliographiques	72
Résumé	

Liste des abréviations

CNIS : Conseil national de l'information statistique.

EC : Conductivité électrique.

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

INRAA : Institut national de la recherche agronomique d'Algérie.

ITELV : Institut technique des élevages.

Nms : nemens

OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.

MB : Matière brute.

Liste des tableaux

N° de tableau	Titre	Page
Tableau 1	Importation de blé dur, de blé tendre et de l'orge en quantité (T) et en valeur de l'année 2014 et 2015 (CNIS, 2017).	14
Tableau 2	Liste des variétés d'orge détenues par l'institut technique des grandes cultures (INRAA, 2006).	18
Tableau 3	Différents stades de développements de l'orge (L.T.C.F, 1993).	21
Tableau 4	Composition chimique des différentes variétés de graines d'orge (Arbouche, 2008).	22
Tableau 5	Teneurs en PDI en g/kg de MS des différentes variétés de graines d'orge (Arbouche, 2008).	23
Tableau 6	Teneurs en UFL et UFV (/kg de MS) des différents variété de graines d'orge (Arbouche, 2008).	23
Tableau 7	Itinéraire technique optimal-orge (Alaoui, 2003).	24
Tableau 8	Temps de germination selon l'espèce (Miralles, 2015).	37
Tableau 9	Température optimale de germination par espèce (Miralles, 2015).	39
Tableau 10	Taux de germination des grains d'orge utilisé.	53
Tableau 11	Mesure de la température en C° de l'environnement plein air pour les deux expériences.	60
Tableau 12	Taux de l'humidité de l'environnement plein air pour les deux expériences.	61
Tableau 13	Longueur des racines de l'orge germé en cm des deux expérience dans la chambre de culture.	62
Tableau 14	Hauteur de l'herbe de l'orge germé en cm de deux expérience dans la chambre de culture.	63
Tableau 15	Rendement en kg de l'orge germé de deux expérience dans la chambre de culture.	64
Tableau 16	Longueur des racines de l'orge germé en cm dans l'environnement plein air de deux expériences.	66
Tableau 17	Hauteur de l'herbe de l'orge germé en cm de deux expériences dans l'environnement plein air.	67
Tableau 18	Rendement en kg de l'orge germé de deux expériences en plein air.	69

Liste des figures

N° de figure	Titre	Page
Figure 1	Production d'orge en volume au niveau mondial de 2008/2009 à 2016/2017 (NCIS, 2017).	13
Figure 2	Les pays fournisseurs de l'Algérie en orge (CNIS, 2017).	14
Figure 3	Le croissant fertile (http://archaeology.about.com/od/domestications/qt/wheat.htm)	15
Figure 4	Orge à six rangs à gauche et orge à deux rangs à droite (GNIS, 2016).	16
Figure 5	Classification de l'orge (James, 1983).	17
Figure 6	La germination (Philippe, 2001).	19
Figure 7	Anatomie et composition de grain d'orge (Clergt, 2011).	22
Figure 8	Exemple de technique d'arrosage par aspersion (photo original, 2017).	28
Figure 9	Exemple de la technique de l'aquaponie (Christophe, 2016)	29
Figure 10	Exemple de la technique NFT (Marie-caroline, 2016).	30
Figure 11	Exemple de la technique aéroponique (agri ponie, 2008)	30
Figure 12	Exemple de technique subirrigation (Gilberto, 2013).	31
Figure 13	Schéma explique la technique percolation (wikipédia, 2017)	32
Figure 14	Installation a Circuit ouvert (photo original, 2017)	33
Figure 15	Eclairage pour la culture hors sol (A : MH, B : HPS) (www.hydrodiscount.com)	34
Figure 16	Les différents facteurs impliqués dans la qualité germinative des semences (Côme, 1993).	39
Figure 17	Chambre de culture hors sol (photos originale, 2017)	46
Figure 18	Les étapes de germination de l'orge hors sol (photos originale, 2017).	50
Figure 19	Les différentes mesures pour les différent paramètres suivis	52
Figure 20	Orge germé d'un jour	54
Figure 21	Orge germé de deux jours	55
Figure 22	Orge germé de trois jours	56
Figure 23	Orge germé de quatre jours	56
Figure 24	Orge germé de cinq jours	57
Figure 25	Orge germé de six jours	58

Figure 26	La distribution de l'orge vert hors sol aux chèvres	58
Figure 27	Cycle de production de l'orge hors sol (photos original, 2017).	59
Figure 28	Croissance des racines de l'orge germé en cm de deux expériences dans la chambre de culture	62
Figure 29	Croissance de l'herbe de l'orge germé en cm dans la chambre de culture pour les deux expériences.	63
Figure 30	Evolution de poids des plateaux en fonction de temps dans la chambre de culture pour les deux expériences.	65
Figure 31	Croissance des racines de l'orge germé en cm pour les deux expériences en plein air.	66
Figure 32	Croissance de l'herbe de l'orge germé en cm dans l'environnement plein air pour les deux experience.	68

Partie bibliographique

Introduction

Introduction

La consommation de fourrage vert par les divers animaux, permet au fermiers d'obtenir des produits de bonne qualité et de quantité. Mais ce produit vitale est sous l'influence de plusieurs paramètres qui perturbe sa production, ce qui met les fermiers face à des difficultés pour couvrir les besoins alimentaires de leur bétail (Skaff, 2001). Parmi ces difficultés : les conditions climatiques difficiles caractérisées par des précipitations qui accusent une grande variabilité mensuelle et annuelle et la dégradation des sols, ont contribué à diminuer fortement l'autosuffisance alimentaire entraînant un délaissement des ressources génétiques naturelles (Arbouche et al., 2008). Ce qui provoque un déséquilibre entre l'offre alimentaire et la demande des troupeaux.

Les fourrages « hors sol » ont un avantage d'avoir une production de qualité tout au long de l'année, y compris la période sèche où la plupart des régions comme les notre, n'ont pas assez de nourriture pour les animaux. Cette tendance se développe de plus en plus chez les éleveurs. Il s'agit de l'utilisation de l'orge germée comme fourrage pour ruminants.

L'emploi des variétés locales dans les formules alimentaires aura pour avantage leur préservation en tant que potentiel génétique et permettra de diminuer la part des importations en orge.

La culture hors sol, appelée aussi hydroponie peut-elle sauver les fermiers ? peut-elle être un espoir pour nourrir l'humanité dans un futur lointain ? Si cette production pouvait présenter une alternative viable pour sécuriser la production de fourrage locale et apporter un bénéfice réel aux éleveurs ?

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui vise à proposer une stratégie pour produire de l'orge hors sol « sans solution nutritive » comme source alternative, destiné à l'alimentation animale.

Pour cela, nous allons effectuer un stage de durée de 16 jours au sein d'unité privé « ETS production de fourrage vert hydroponique KACI » dans la wilaya de Bejaia, daïra Ouzallaguen pour arriver à confirmer ou nier la faisabilité de la production de l'orge hors sol destiné à l'alimentation de bétails.

Chapitre I

Les céréales sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, dont l'albumen amylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques. Pourquoi les céréales sont-elles revêtues et continuent-elles de revêtir une grande importance économique ? Parce qu'elles apportent sous un petit volume, une matière première très riche en calories, facilement transportable et conservable : elles constituent un aliment concentré. Le développement de l'orge est lié d'une part à sa facilité de culture, d'autre part à la productivité des variétés, et à la haute valeur énergétique (1 kg = 1. UF) de la récolte (Moule, 1971).

I-1-Importance de l'orge dans le monde

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est, à côté du blé, du maïs et du riz, l'une des céréales les plus importantes dans le monde, étant classé au quatrième rang des céréales pour la production des grains avec 38% maïs, 29% blé, 20% riz et 6% orge (Soltner, 2005). L'orge est un aliment important dans plusieurs régions du monde telles que l'Afrique du nord, le proche orient, l'Asie etc. la consommation moyenne et annuelle par personne dans ces régions varie entre 2 à 36 kg (El-Haramein et Grando, 2010). Il joue également un rôle primordial non seulement en alimentation humaine au Maghreb et dans les montagnes d'Ethiopie et le Pérou (Grando et al., 2005) mais également comme aliment de bétail en période hivernale lorsque le déficit fourrager est grand et le prix du fourrage est élevé (Khaldoum, 1989).

D'après CNIS (2017), la quantité d'orge produite dans le monde pendant les années de récolte 2008/2009 à 2016/2017, a nettement fluctué : le volume le plus élevé a été atteint durant la campagne agricole 2008/2009, avec plus de 155 millions de tonnes produites, comparé au volume de production le plus bas se situant à environ 120 millions de tonnes qui a été réalisé en 2010/2011 (figure 1).

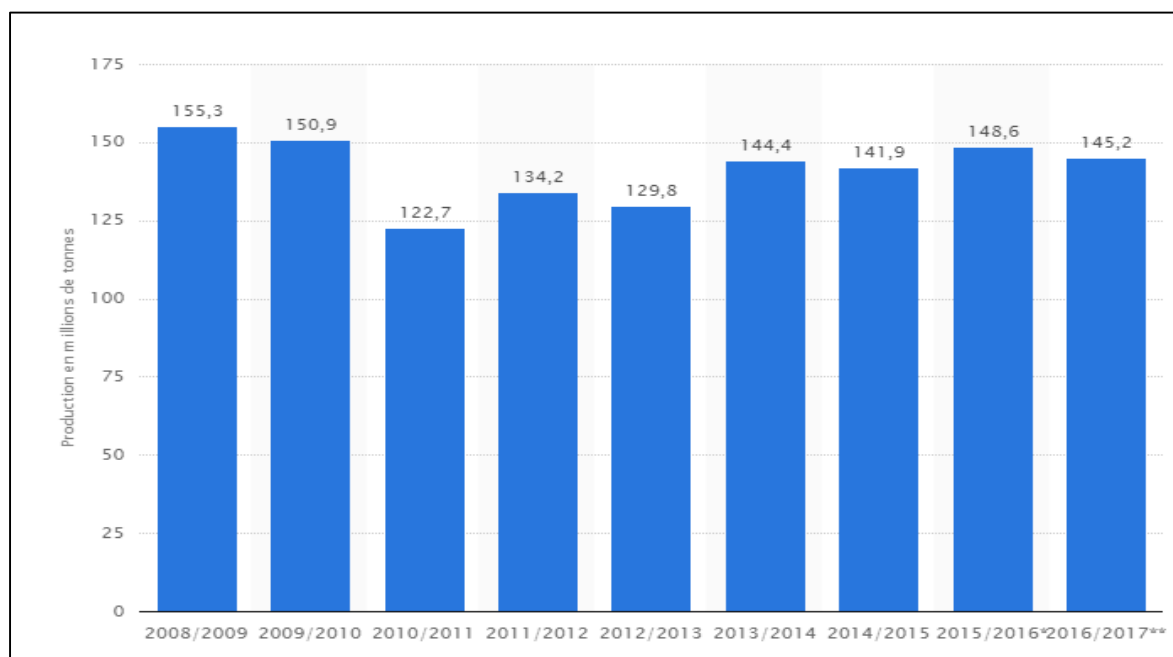


Figure 1 : Production d'orge en volume au niveau mondial de 2008/2009 à 2016/2017 (CNIS, 2017).

I-2-Importance de l'orge en Algérie

En Algérie, la culture de l'orge est pratiquée essentiellement sur les hautes plaines. Les superficies qui lui sont consacrées varient d'une année à l'autre avec une augmentation sur plus d'un siècle (1901-2005), de 1 million d'hectares, une production moyenne variant de 3 à 16 millions quintaux et une moyenne de rendement grain de $7q\ ha^{-1}$. Parmi les pays du Maghreb, l'Algérie se classe en seconde position après le Maroc, qui produit plus de 16 millions de quintaux en moyenne (KADI, 2012).

Par ailleurs, selon les données du Centre National de l'Information et des Statistiques des Douanes (CNIS), les quantités importées des céréales (blés, maïs, orge) par l'Algérie ont enregistré une hausse de 9,2 % pour l'année 2015 par rapport à 2014. Quant à la valeur des importations ; cette dernière a baissé à 3,43 milliards de dollars en 2015 contre 3,54 milliards de dollars en 2014 (soit -3,1%). Il est à souligner que la production nationale est de 37,5 millions de quintaux en 2014/2015 (tableau 1).

Tableau 1 : importation de blé dur, de blé tendre et de l'orge en quantité (T) et en valeur de l'année 2014 et 2015 (CNIS, 2017).

Années	Blé dur		Blé tendre		Orge		Maïs		Total céréales	
	Quantités (T)	Valeur Millions (USD)	Quantités (T)	Valeur Millions (USD)	Quantités (T)	Valeur Millions (USD)	Quantités (T)	Valeur Millions (USD)	Quantités (T)	Valeur Millions (USD)
2014	1 978 421	783,5	5 438 502	1 587	770 222	196,4	4 107 867	975,5	12295 012	3542,4
2015	1 763 454	782,9	6 741 393	1 612	750 025	164,5	4 167 109	871,6	13421 981	3431
variation	-10,9%	-0,1%	24%	1,6%	-2,6%	-16,2%	1,4%	-10,6%	9,2%	-3,1%
Tendance	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓

Selon le CNIS (2017), l'augmentation des quantités importé des céréales est due principalement à l'augmentation de la production mondiale et du recul de leurs prix sur les marchés mondiaux et d'une moindre demande chinoise ce qui a conduit l'OAIC à reconstituer ses stocks stratégiques (figure 2).

Le principal fournisseur de l'Algérie est la Grande Bretagne (212 304 t en 2014) et le Fédération de Russie (233 265 t en 2015).

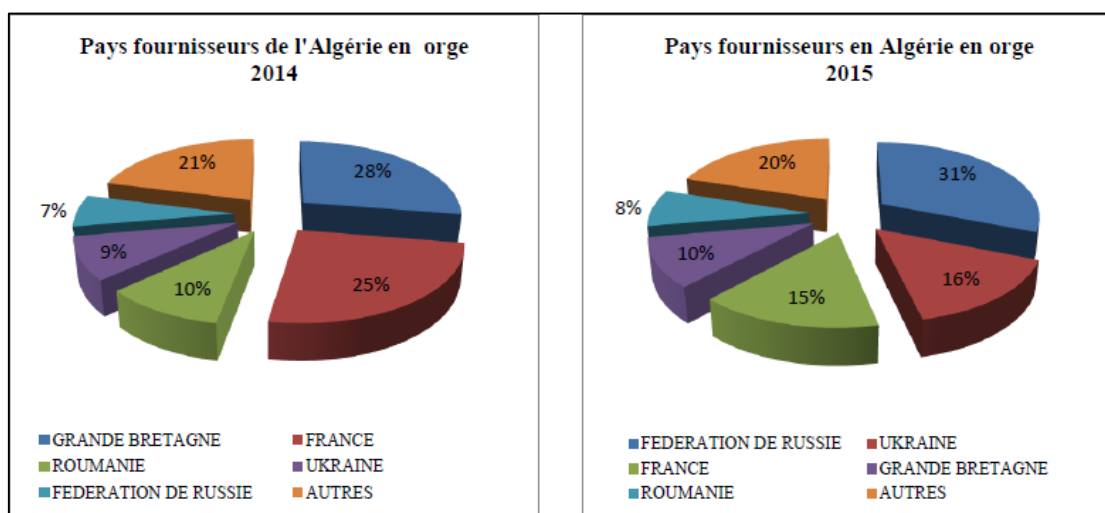


Figure 2 : les pays fournisseurs de l'Algérie en orge (CNIS, 2017).

I-3-Présentation de l'orge

I-3-1-Historique et origine de l'orge

L'orge considérant les découvertes archéologiques dans les premières régions du croissant fertile. C'est la première céréale à être domestiquée dans cette région figure 3. Les fouilles archéologiques effectuées depuis le début du siècle en Syrie et Iraq ont dévoilé la présence de caryopses d'orge provenant d'épis modifiés par le processus de domestication. Ces épis datent d'environ 10.000 ans, quelques centaines d'années avant l'apparition des blés cultivés. Pendant l'Antiquité et jusqu'au deuxième siècle av.j.c, l'orge était la céréale la plus utilisée pour l'alimentation humaine dans les régions du croissant Fertile, d'Europ centrale et du bassin méditerranéen (Rasmusson, 1992).



Figure 3 : Le croissant fertile (<http://archaeology.about.com/od/domestications/qt/wheat.htm>)

I-3-2-Classification

L'orge est une céréale très rependue, peu exigeante du point de vue sol et climat.

On distingue deux grandes espèces suivant la position des grains sur l'épi (figure 4) :

- Les orges à deux rangs
- Les orges à six rangs

Suivant la date des semis on distingue (Moule, 1971) :

- Les orges de printemps, semées au printemps récoltées l'été.
- Les orges d'hivers, semées en automne, passant l'hiver sous la terre et récoltées juste avant les orages de printemps.



Figure 4 : Orge à six rangs à gauche et orge à deux rangs à droite (GNIS, 2016).

Orge commune	
Classification	
Règne	<i>Plantae</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Liliopsida</i>
Ordre	<i>Cyperales</i>
Famille	<i>Poaceae</i>
Sous-famille	<i>Pooideae</i>
Super-tribu	<i>Triticodae</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>
Sous-tribu	<i>Hordeinae</i>
Genre	<i>Hordeum</i>
Nom binominal	
<i>Hordeum vulgare</i> L. 1753	
Classification phylogénétique	
Ordre	<i>Poales</i>
Famille	<i>Poaceae</i>

Figure 5 : classification de l'orge (James,1983).

I-3-3-les variétés de l'orge en Algérie

D'après l'INRAA (2006), plusieurs lignées d'orge sont sur le point d'être fixées suite au travail d'amélioration net de sélection. L'objectif d'amélioration fixé est une combinaison entre le potentiel de production, l'adaptation au différent zones agro-écologiques, la tolérance au stress biotique et abiotiques et la qualité technologique, avec les nouvelles variétés sélectionnées le nombre de variété autorisé à la production et à la commercialisation a atteint 24 variété (tableau 2).

Tableau 2 : liste des variétés d'orge détenues par l'institut technique des grandes cultures (INRAA, 2006).

Espèce	Nombre totale	introduites	Locale
	55	37	18
	Liste des variétés		
Orge	Acsad 68	Hermione	Rebelle
	Badia	Hispanic	Rihane 03
	Bahria	Jaidor	Saida 183
	Barberousse	Nailia	Soufara
	djebel	Majestic	Siberia
	El fouara 97	Nikel	Trichedrett
	Exito	Plaisant	Vertige
	Express	Princess	Sidi aiche

I-3-4-Le cycle de développement

A. La période végétative

🌱 **La germination** : correspond à l'entrée de la semence en vie active et au tout début de Croissance de l'embryon (figure 6).

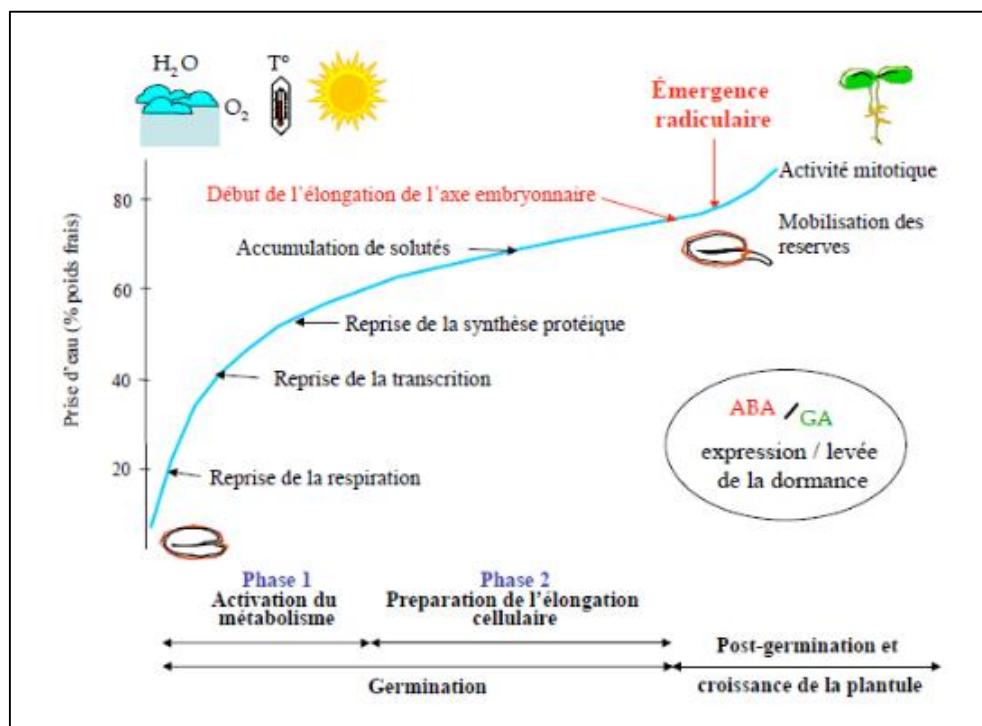


Figure 6 : la germination (Philippe, 2001).









- ✚ **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** : le début du tallage (tableau 3) est marqué par l'apparition de l'extrémité de la 1^{ère} feuille de la talle latérale puis d'autres talles naissent successivement, formant un plateau du tallage situé juste au niveau du sol. Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive (Hadria, 2006).

B. La période reproductive

- ✚ **La montaison** : ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin maître, atteint 1cm de hauteur. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement)
- ✚ **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** : est la sortie des premières étamines hors des épillets au milieu de l'épi sur 50% des épis la formation du grain se fait quand les grains du tiers moyen de l'épi parviennent à la moitié de leur développement. Ils se développent en deux stades :

- Le stade laiteux où le grain vert clair, d'un contenu laiteux atteint cette dimension définitive ; (le grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin)
- Le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement. (Le grain a perdu son humidité et l'amidon a été constitué).
 - ✚ **La maturité complète** : la teneur en humidité atteint environ 20% ; le grain est mûr et prêt à être récolté, c'est alors la période des moissons (Souilah, 2009).

Tableau 3 : différents stades de développements de l'orge (L.T.C.F, 1993).

Stades		Echelle de Feekes	caractéristiques
	Levée	1	1 ^{er} feuille perce le coléoptile 3 feuilles
	Début tallage	2	Formation de la 1 ^{er} talle
	Plain tallage	3	2 à 3 talles
	Fin tallage	4	
	Epi à 1 cm	5	Sommet de l'épi distance de 1 cm du plateau de tallage
	1 à 2 nœuds	6	01 nœud élongation de la tige
		7	2 nœuds
	Gonflement	8	Apparition de la feuille
	L'épi gonfle	9	Ligule juste visible
	La graine de la dernière feuille	10	Gaine de la dernière feuille sortie
	Epiaison	10-1	Sortie des barbes
		10-2	1/4 épiaison
		10-3	1/2 épiaison
		10-4	3/4 épiaison
		10-5	Tous les épis sortis
	Formation du grain	11-1	Grain laiteux
		11-2	Grain pâteux
		11-3	Grain dur
		11-4	Grain mûr

I-3-5-Anatomie et composition du grain d'orge

Le grain d'orge est composé de trois parties (figure 7) : les enveloppes (glumelles), l'amande (albumen) et le germé (embryon) qui est la partie vitale du grain.

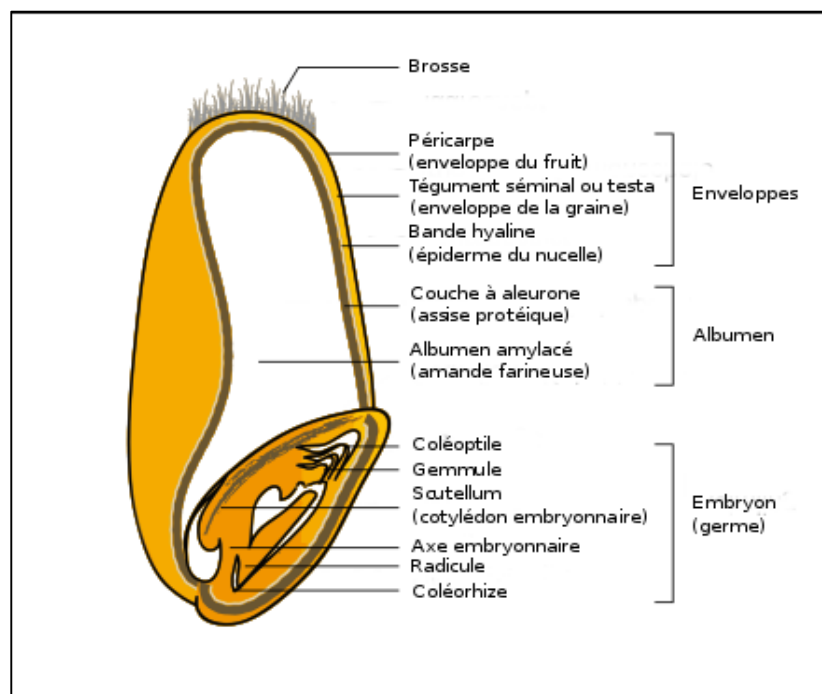


Figure 7 : Anatomie et composition du grain d'orge (Clergt, 2011).

Il est composé de : 10 à 15% d'eau, 60 à 65% d'amidon, 10 à 11% de matières azotées, 5% de cellulose, 5% d'autre matière grasse (Moule, 1971), la composition chimique et la valeur nutritionnelle de deux variétés locales de l'orge est donnée dans les tableaux 4 ,5 et 6.

Tableau 4 : composition chimique des différentes variétés de graines d'orge

(Arbouche, 2008).

variétés	MS%		MAT		CB		MG		MM		CA		P	
	m	ET	m	ET	m	ET	m	ET	m	ET	m	ET	m	ET
Tichedrett	91.5	1.2	15.5	1.5	7.8	0.6	2.2	0.3	2.6	0.6	0.4	0.06	0.3	0.03
Saida	92.5 ^b	0.9	11.2 ^b	1.8	7.8 ^a	0.8	1.6 ^b	0.2	2.7 ^a	0.8	0.3 ^a	0.04	0.2 ^a	0.07
m	92	0.5	13.3	2.1	7.8	0.0	1.9	0.3	2.6	0.05	0.3	0.05	0.2	0.02

M : moyenne, ET : écart type, MS : matière sèche, MAT : matière azoté total en % de MS, CB : cellulose brute en% de MS, MG : matière grasse en % de MS, MM : matière minérale en % de MS, CA : calcium en % de MS, P : phosphore en % de MS sur la même colonne, les valeurs qui diffèrent entre elle par au moins une lettre sont statistiquement significatives $p < 0.05$.

Tableau 5 : teneurs en PDI en g/kg de MS des différentes variétés de graines d'orge
(Arbouche, 2008).

Désignation	PDIA	ET	PDIN	ET	PDIE	ET
tichedrett	41.63	4.6	102.57	10.6	109.90	7.6
Saida	30.29	3.9	73.90	8.3	101.50	6.1
m	35.96	5.7	88.2	14.3	105.7	4.2

PDIA : protéines digestible dans l'intestin d'origine alimentaire ; PDIE : protéines digestible dans l'intestin permises par l'énergie ; PDIN : protéines digestibles dans l'intestin permise par l'azote ; ET : écart type

Tableau 6 : teneurs en UFL et UFV (/kg de MS) des différents variété de graines d'orge
(Arbouche, 2008).

Désignation	UFL	ET	UFV	ET
Tichedrett	1.03	0.07	0.99	0.04
Saida	1.03	0.04	1.01	0.05
m	1.03	0.0	1.0	0.01

UFL : unité fourragère pour la lactation ; UFV : unité fourragère pour la viande ; ET : écart type.

I-3-6-Exigence de culture de l'orge

Selon Si Bennasseur (2004) :

- Besoin en chaleur

Température favorable pour la germination : 20 à 25°C

- Besoin en eau

Environ 500 mm d'eau pendant son cycle végétatif

Plante peu sensible à la sécheresse Besoin en lumière

Plante de plein lumière

- Besoin en sols

Sols sain, pas trop compacts, légers et frais

Terre calcaire, léger et aérée

Ph de sol voisin de la neutralité

- Besoin en altitude

Depuis le niveau de la mer jusqu'à 3200 m.

I-3-7-Itinéraire technique de culture de l'orge

L'itinéraire technique optimale de l'orge passe par plusieurs étapes (tableau 7)

Tableau 7 : Itinéraire technique optimal-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-3-8-Utilisation de l'orge

1. Chez les animaux

Selon Mohammed (2013), l'orge est une céréale adaptée à l'alimentation des chevaux puisque celle-ci contient plus de phosphocalcique, de protéines et moins de cellulose et est plus énergétique que l'avoine. L'orge est de plus en plus consommée dans l'alimentation des porcins, des volailles, bovins et ovins à cause de sa meilleure rentabilité économique. De plus, cette céréale est particulièrement conseillée pour le transit intestinal et pour une bonne digestion des animaux.

2. Chez les humains

D'après Rahal (2015), l'orge fut utilisée pour la farine d'orge en complément de la farine de froment pour la fabrication du pain quand le blé manquait. Elle se retrouve encore de nos jours dans la cuisine sous forme du grain, de gruaux ou de flocons. L'orge décortiquée peut être utilisée seule (comme le riz). L'orge entre dans la composition de pâtisserie.

L'orge peut être également consommée par les nourrissons puisqu'elle a de nombreuses vertus en contenant du phosphore, du calcium, du fer, du potassium, du magnésium, des glucides complexes, des minéraux et de nombreuses vitamines (B1, B2, PP) et de la provitamine A. De plus, cette céréale réduit le risque d'hypotension, de déminéralisation, d'affections pulmonaires, d'atonie gastrique, d'hépatisme, d'entérites, de diarrhées, d'inflammation des voies urinaires, d'états fébriles...

On utilise aussi l'orge pour la fabrication du sirop d'orgeat, du whisky et de la bière.

Chapitre II

L'agriculture est une activité pratiquée par l'homme, depuis des milliers d'années, pour répondre à ses besoins alimentaires. Elle utilise le sol comme milieu ou substrat contenant les éléments nécessaires pour la croissance des plantes. Avec la maîtrise de cette activité grâce au progrès scientifique et technologique qu'a connu le secteur agricole, il est devenu possible de mener cette activité en utilisant autres substrats, voir sans substrats. Ainsi est née la culture hors sol. Ce type de culture regroupe plusieurs techniques innovantes qui se différencient par le mode d'apport des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin pour leur croissance (Mohammed, 2013).

II-1-Découverte de la culture hors sol

II-1-1-Définition de culture hors sol

Selon Philippe (1995), la culture hors sol ou cultures sans sol, scientifiquement le terme le mieux adapté puisqu'il correspond exactement aux fondements mêmes de cette technique, il est traduit littéralement dans d'autres langues : « soilless culture » en anglais, « culture senza terreno » en italien. Quant à l'hydroponique correspond à la francisation du terme américain « hydroponics »

Les cultures hors sol se définissent comme des cultures de végétaux effectuant leur cycle complet de production sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol.

II-1-2-Historique

Bien qu'il ne s'agisse pas réellement d'hydroponique, l'idée de culture hors-sol naturelle apparaît avec les jardins suspendus de Babylone. Les peuples vivant au bord de lacs de hautes montagnes du Pérou comme le Titicaca, cultivaient leurs potagers à la surface de l'eau. Les Aztèques quant à eux s'établirent dans les marécages proches de la future ville de Mexico et conçurent des sortes de radeaux faits de joncs et de roseaux recouverts d'une couche de limon nommés « chinampa » sur lesquels les agriculteurs jardinaient ; il est toujours possible de voir de nos jours. Les racines des plantes plongeaient dans l'eau des lacs : sans le savoir, ils étaient les précurseurs d'une espèce d'aquaculture primitive. Les Chinois emploient encore des techniques millénaires de culture sur gravier (CAS, 2016).

La culture hors-sol que l'on connaît de nos jours est née au XIX siècle en Allemagne. Elle fut découverte dans le cadre de recherches réalisées afin de découvrir de quoi se nourrissaient les plantes. Ce n'est qu'en 1930 que Gericke produisit le premier système hydroponique

commercial aux États-Unis. Pendant la Seconde Guerre mondiale, des Américains cultivèrent des légumes hydroponiques dans les îles volcaniques du Pacifique pour assurer l'apport en vitamine nécessaire à la bonne santé de leurs troupes qui y étaient en garnison (CAS, 2016).

II-2-Différents techniques de culture hors sol

Le terme de culture hors sol s'applique à une dizaine de techniques qui paraissent très différents les uns des autres. En fait, cette situation peut être clarifiée en classant les différents types de techniques de culture hors sol en (<http://s.martinez.free.fr>): technique sans substrat et technique avec substrat.

1) Définition de substrat

On entend par substrat une substance inerte chimiquement (qui est incapable de réagir avec d'autres substances), qui remplace la terre, et qui est utilisé comme support de culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer. Mais le substrat véhicule aussi la solution nutritive jusqu'aux racines des plantes. Il existe plusieurs substrats, ainsi que plusieurs variantes d'utilisation (Valérie, 2015).

2) Les différents substrats

Selon leur origine nous citons (Kodjo, 2015) :

- Origine minérale : perlite, laine de roche, vermiculite, bille d'argile, graviers, sable.
- Origine organique : écorce de pin, terreau, fibre de coco, tourbe.

3) Utilisation

Selon Aquavet (2014), l'utilisation de substrats dans la culture hors sol à pour objectif :

- Remplace la terre
- Ne nourrit pas la plante
- Aération suffisante des racines
- Capacité à retenir l'eau

II-2-1-Technique sans substrat

Les systèmes sans substrat peuvent être considérés comme plus simples puisqu'ils mettent directement en contact la solution nutritive (seul vecteur responsable de l'alimentation) avec les racines des plantes. D'où l'existence de trois dispositifs différents (Philippe, 1995).

a. Aspersions

Irrigation qui projette l'eau en l'air pour tomber à la surface du plateau sous forme de fines gouttelettes. C'est un réseau de conduites sous pression portant des asperseurs ou des buses, conçu pour projeter des jets ou pulvériser de l'eau sous forme de fines gouttes à la surface du plateau (FAO, 2008) (figure 8).



Figure 8 : exemple de technique d'arrosage par aspersion (photo original, 2017).

b. L'aquaponie

L'aquaponie est une combinaison entre l'aquaculture et l'hydroponie (culture hors sol des plantes grâce à de l'eau enrichie en matière minérale). Le procédé consiste à recréer un écosystème dans lequel les déjections de poissons servent d'engrais naturel aux plantes. Des bactéries, introduites par l'Homme, permettent de transformer l'ammoniac contenu dans les déjections en nitrate assimilable par les plantes (Marie-caroline, 2016).

Dans cette technique (figure 9), la solution nutritive est contenue dans un bac. Elle demande une oxygénation complémentaire de la solution nutritive pour éviter l'asphyxie des racines, via l'utilisation d'un procédé technique complexe (Mohammed, 2013), à partir d'un compresseur, d'une turbine ou plus simplement d'une pompe à air d'aquarium, ce bullage d'air favorise également le brassage de la solution qui évite un gradient de concentration d'ions autour de la racine (Philippe, 1995).

L'attrait de l'aquaponie réside donc dans son aspect non polluant, dans les économies d'eau (pouvant aller jusqu'à 90%), et dans le fait qu'il n'y ait qu'un besoin limité en engrais chimiques pour la croissance des végétaux.

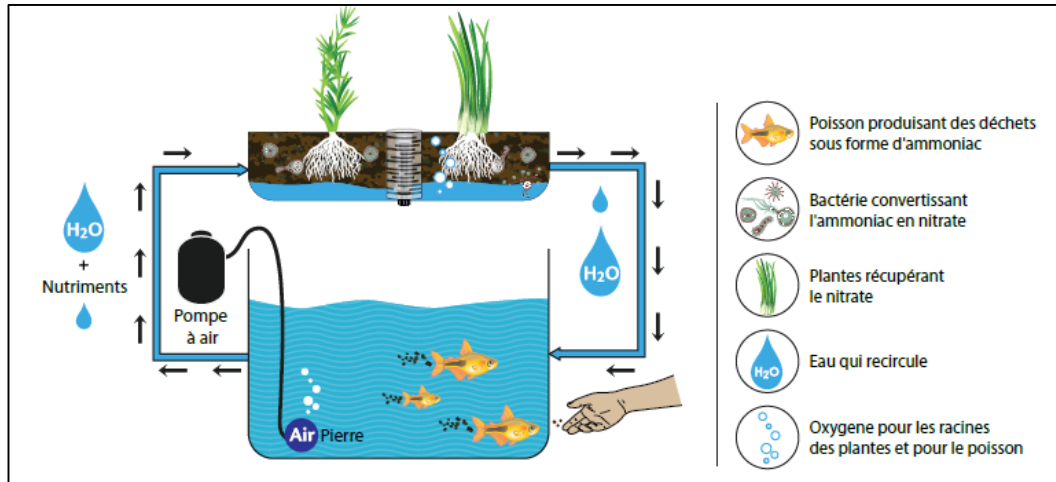


Figure 9 : Exemple de la technique de l'aquaponie (Christophe, 2016).

c. Le Nutrient Film Technique (NFT)

C'est une technique avec circulation permanent d'une solution nutritive recyclée (figure 10). Le terme NFT été utilisé pour souligner la faible épaisseur de la solution nutritive circulant à travers les racines ; cette épaisseur n'était guère supérieure à celle d'un film pour que la surface supérieure du « paillason » de racines soit dans l'air et que celle-ci soient bien alimenté en oxygène (Christiane et Yves, 1983). La solution nutritive s'enrichit en oxygène dissous au cours de son lent déplacement par échange avec l'air, au niveau de la surface du film liquide. C'est le même phénomène qui permet l'oxygénation de l'eau des fleuves et des rivières (Philippe, 1995).

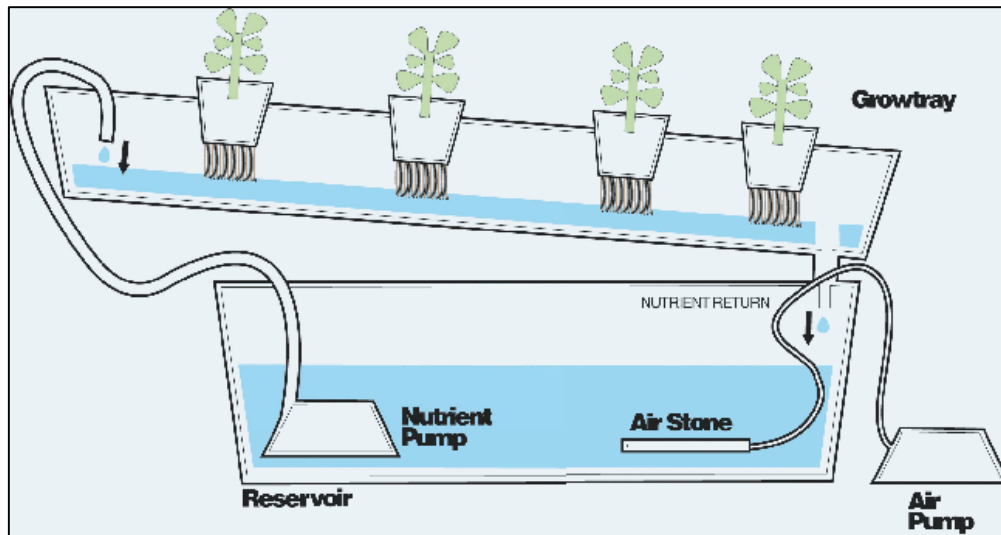


Figure 10 : Exemple de la technique NFT (Eric et Kevin, 2016).

d. Aéroponique

L'aéroponique est le système le plus sophistiqué. Les racines des plantes ne sont en contact ni avec un milieu solide ni même avec un milieu liquide (figure 11). Elles sont alimentées par un brouillard nutritif obtenu par nébulisation de la solution nutritive dans une enceinte close. L'excès de solution nutritive est récupéré puis recyclé. Bien entendu ; le système assure une excellente aération (agri ponic, 2008).



Figure 11 : exemple de la technique aéroponique (agri ponic, 2008)

II-2-2-Technique 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. Plusieurs systèmes de culture avec substrat sont utilisés tels que (Mohammed, 2013) :

A. Subirrigation

La solution nutritive pénètre dans le substrat au niveau de sa partie inférieure (figure 12), y demeure un certain temps, puis elle est évacuée par gravité dans un réservoir, après cette récupération, le cycle recommence à intervalles de temps variables. Il s'agit d'un système recyclé (Philippe, 1995).

La subirrigation est cependant utilisée en horticulture essentiellement pour les plantes en pots.

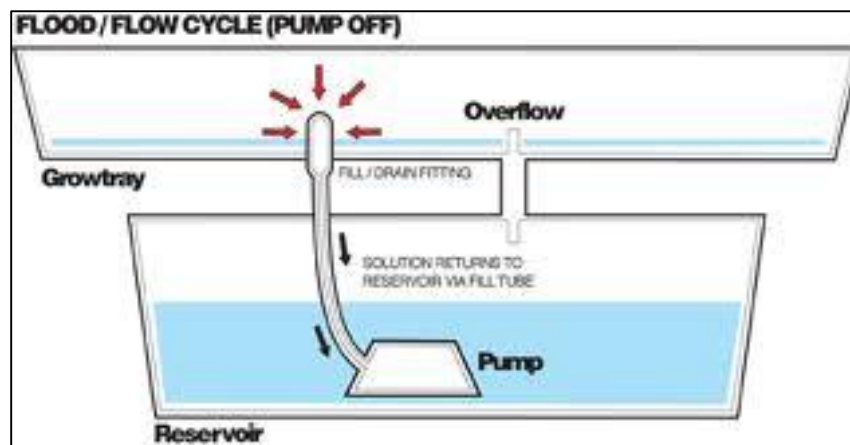


Figure 12 : Exemple de technique subirrigation (Gilberto, 2013).

b. Percolation

La solution nutritive est distribuée par irrigation discontinue à la surface supérieure du système puis percole vers le bas du substrat (figure 13). Ces systèmes fonctionnent à solution perdue, car, on générale cette dernière ni pas récupérée. C'est la technique hors sol la plus répandue actuellement en agriculture (Philippe, 1995).

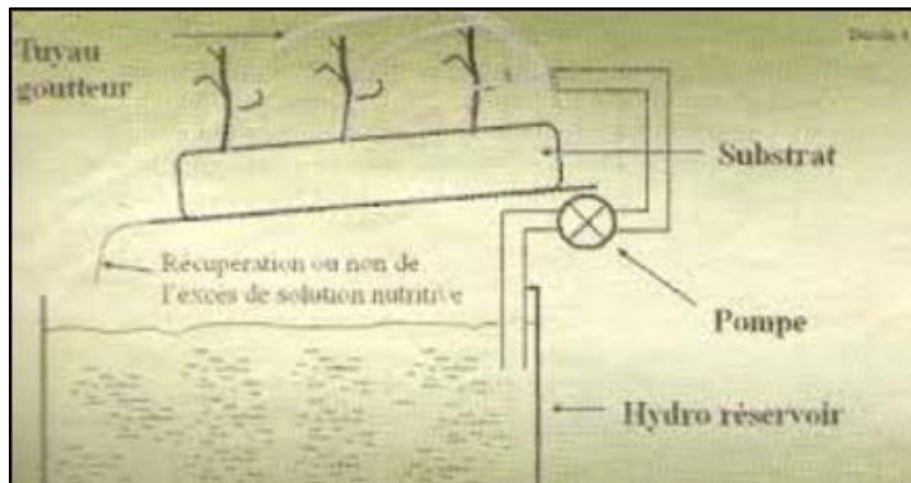


Figure 13 : schéma explique la technique percolation (wikipédia, 2017).

II-3-Types d'installations existantes

À l'échelle mondiale, la gestion de l'eau est devenue un enjeu très important. Tous s'accordent pour dire que l'avenir de l'agriculture passe par une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. La FAO croit que dans le futur, l'irrigation de déficit, la réutilisation des eaux usées et l'irrigation de précision seront des éléments-clés pour les systèmes d'irrigation (Collette et al., 2011).

En culture hors-sol, la gestion précise de l'irrigation revêt une importance capitale, compte tenu du faible volume de substrat disponible pour la rétention d'eau et du fait que la culture est à l'abri de la pluie. Pour tous types d'installations nous trouvons ; circuit ouvert ou fermé :

- a) Les installations à « solution perdue » ou en « circuit ouvert » : la solution nutritive en excédent est éliminée par drainage puis rejetée en dehors du système de culture. Mais cette solution peut être recyclée sur des cultures de plaine terre (figure 14).



Figure 14 : installation a circuit ouvert (photo original, 2017)

- b) Les installations à « solution recyclée » ou « en circuit fermé » : la solution nutritive est récupérée, recyclée (désinfectée, analysée et reconstituée) et renvoyée aux plantes (Philippe, 1995).

II-4-Chambre de culture

La chambre de culture est un espace fermé dans lequel on installe les équipements nécessaires à la reproduction des conditions extérieures de culture (climat et lumière). Elle permet de cultiver de manière productive et facilement (William, 2015).

La qualité de la chambre de culture est primordiale, dont la toile sera épaisse, résistante et étanche après fermeture. Il est impératif de respecter le cycle de vie des plantes (période de jour et période de nuit).

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 (figure 15). La quantité de l'éclairage fournie aux plantes déterminera aussi leur rendement (Fernand, 2014).

Pour choisir une ampoule, il faut connaître les règles de base :

- Les ampoules aux spectres bleus (lumière froide) favorisent la croissance, cas des néons et ampoule MH (métal halide), elles émettent un spectre lumineux blanc/bleu qui correspond à la lumière blanche que le soleil diffuse au printemps.

- Les ampoules aux spectre orange (lumière chaude) sont parfaites pour le stade de floraison et de fructification, cas des 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 (Philippe, 1995).

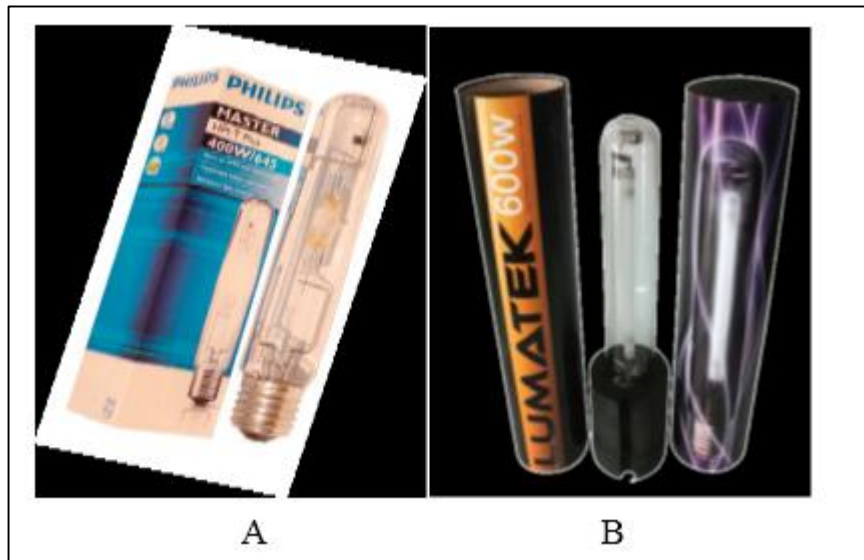


Figure 15 : éclairage pour la culture hors sol (A : MH, B : HPS) (www.hydrodiscount.com)

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. L'extracteurs et l'intracateurs 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 conseillé.

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 qui doivent être respectés :

PH et EC (conductivité électrique)

- PH : le PH détermine si la plante sera en mesure d'absorber tous les éléments nutritifs fournis lors d'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'électroconductivité est importante dans le cadre d'une culture, car, elle permet de suivre la consommation d'eau et de sels nutritifs (Bensaadi, 2011) :

- 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 électroconductivité 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- Production de l'orge en culture hors sol

Cette technique, via la mise en germination de céréales en conditions de culture hors-sol, permet la production de biomasse végétale en 7 à 15 jours. Le tapis végétal produit est composé de jeunes plantules et de leurs racines. 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 19^e 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

a. Définition

Organe de reproduction des végétaux supérieurs destiné à donner naissance à une nouvelle génération de plantes au cours du processus de germination ; il assure donc la survie de l'espèce (Multon, 1982).

b. Qualité de semences

Pour conduire aux meilleurs résultats en culture, un lot de semence doit être (chaux et foury, 1994):

- **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

La trempe est une étape essentielle du procédé de germination, dont la conduite déterminera le déroulement de toutes les opérations ultérieures. En effet, il est connu qu'aucune étape ultérieure ne permet de corriger les méfaits d'une mauvaise trempe. Le but de la trempe est d'amener l'humidité du grain de 12 – 15% à 42 – 45% afin d'initier sa germination et permet d'éliminer de la surface du grain des impuretés, micro-organismes et inhibiteurs de la germination (Wafa, 2016).

Selon Miralles et al (2015), les paramètres importants de la trempe sont : la température de l'eau, le ratio orge / eau, le diagramme de trempe, l'aération, l'extraction du CO₂, l'agitation, la variété d'orge et l'utilisation de différents additifs. Il est conseillé d'apporter 0.8 à 1 litre d'eau par un kilo de semence pour l'orge.

Les différentes variétés d'orge sont caractérisées par des taux d'humidité minimum au-dessous desquels les graines ne germent pas. Les variétés les moins exigeantes germent à partir de 30% d'humidité tandis que les variétés les plus exigeantes ne germent qu'à partir d'un taux d'humidité de 50% (cas extrêmes) (Wafa, 2016).

- Température de l'eau de trempage

La température de l'eau de trempage est très importante. En fait, elle agit sur la vitesse d'imbibition et la vitesse de dissolution, donc sur la durée de la trempage. Elle joue aussi un rôle sur la croissance des micro-organismes à la surface du grain et dans l'eau de trempage. (Fliss, 1996).

II-5-3-L'égouttage

D'après Claudie et al (2012), cette étape dure environ 24h. une vanne en dessous du bac est ouverte, l'évacuation est munie d'un filtre, de manière à retenir les graines. Si l'eau était maintenue trop longtemps, le processus de germination serait altéré, voire bloqué. On pourrait aussi voir un pourrissement débiter et des moisissures se développer.

II-5-4-La germination

Le processus de germination, dans la conception courante, est le passage de la graine au repos à la jeune plantule. La germination génère une transformation physiologique très complexe, en particulier la synthèse d'enzymes, qui activent les réactions métaboliques et confèrent aux graines germées ses propriétés nutritionnelles (Hoareau, 2012)

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

La germination est plus ou moins longue (tableau 8), selon l'espèce. Chez l'orge, une fois la graine réhydratée, les racines apparaissent en 24 heures. Au bout de 2-3 jours, les premières feuilles émergent. Au 4^{ème} jour, le développement racinaire permet l'assimilation minérale. Au 5^{ème} jour, la photosynthèse est activée (Wafa, 2016).

Tableau 8 : temps de germination selon l'espèce (Miralles, 2015).

<i>Espèce</i>	<i>Germination (trempage inclus)</i>
<i>Avoine</i>	36 à 48 h
<i>Blé</i>	36 à 48 h
<i>Mais</i>	4 à 6 jours
<i>Millet</i>	4 à 6 jours
<i>Orge</i>	36 à 48 h
<i>Riz</i>	5 à 7 h
<i>Sarrasin</i>	36 à 48 h
<i>Seigle</i>	36 à 48 h
<i>Luzerne</i>	4 jours
<i>Pois</i>	2 à 3 jours
<i>Trèfle</i>	48 h
<i>Tournesol</i>	3 jours
<i>Lin</i>	3 jours

II-5-4-1-Condition de germination

La germination ne peut avoir lieu que si l'eau, la température, l'oxygène et l'humidité sont assurées.

- Eau : est évidemment indispensable et doit être disponible dans le milieu extérieur en quantité suffisante (Heller et al, 2004). L'absorption de l'eau par la semence s'effectue par osmose, au travers de tégument qui lui-même plus au moins cellulosique, en retient des quantités importante (Diehl, 1975).
- Oxygène : seul l'oxygène dissous dans l'eau d'imbibition est utilisé par l'embryon pour ces besoins métaboliques. Ce gaz étant très peu soluble dans l'eau.
- La température : il existe pour chaque plante et chaque phase de végétation (tableau 9) des températures : minima, optima et maxima (Diehl, 1975) ; quand la température s'élève, la vitesse de germination croit (Gate et Giban, 2003).
- L'humidité de l'air qui doit être comprise entre 60 et 70%, cette fourchet favorise le développement des pousses. Le renouvellement et le brassage de l'air est essentiel pour

maitriser le taux d'humidité et maintenir le taux de CO₂ dans l'air. Un air confiné va favoriser le développement de moisissures (Wafa, 2016).

Tableau 9 : température optimale de germination par espèce (Miralles, 2015).

<i>Température (°C)</i>			
<i>Espèces</i>	min	optimum	max
<i>Avoine</i>	6	15- 24	30
<i>Blé</i>	3-5	20- 27	30 -43
<i>Mais</i>	8-10	32 - 35	40- 44
<i>Orge</i>	3-5	19- 27	30 - 40
<i>sorgho</i>	/	27 -35	/

Et d'autres facteurs qui sont liés à : génétique, conditions de la récolte etc (figure 12) :

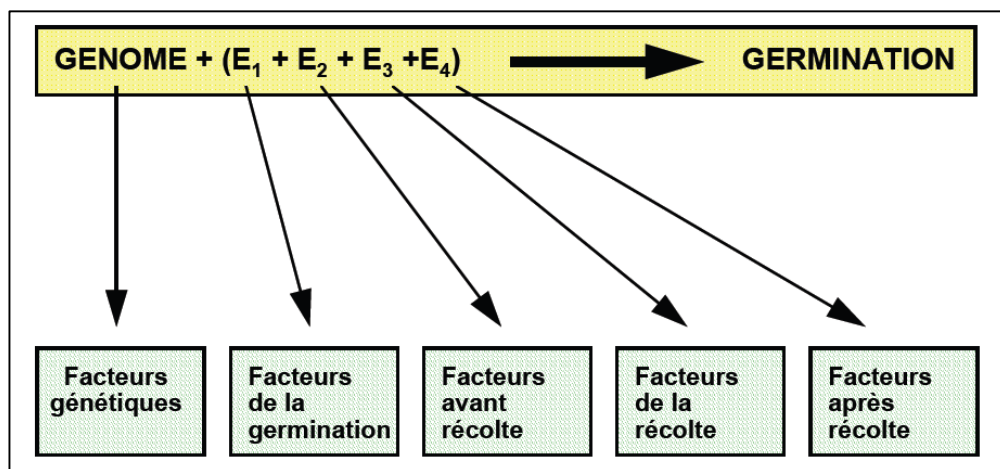


Figure 16: Les différents facteurs impliqués dans la qualité germinative des semences (Côme, 1993).

II-6-Potentiel de production

D'après l'ITELV (2014), les semences sont soumises à pré-germination de 24h et poussent sur leur plateau pendant 7 jours. Les jeunes pousses sont alors d'une hauteur de 15 à 25 cm et forment un véritable tapis. Avec un rendement de 5 à 12 kg pour une période de 7 à 15 jours (Fazaeli et al., 2012), de 2,31 et 4,89 kg de l'orge vert au bout de 6 à 10 jours selon Miralles (2015). La consommation en eau est de l'ordre de 2 à 3 litres d'eau pour produire 1kg d'herbe fraîche, alors que la culture classique nécessite 80 L par KG d'herbe (ITELV, 2014).

II-7-les avantages et les inconvénients de culture hors sol

Organisation de travail :

- Effets négatifs
- Rigueur sanitaire obligatoire ;
- Réactivité immédiate au moindre problème sanitaire ou de nutrition ;
- Prévoir du temps pour la préparation des solutions nutritives, la surveillance en cours de culture et toutes les opérations nécessaires à la fin du cycle cultural (manipulation des substrats et du réseau de distribution de la solution nutritive) ;
- Technicité requise importante.

Economie :

Selon Fremium (consulté le 2017) :

- Effets positifs
- Moins d'utilisation de produits phytosanitaires ;
- Pas de perte d'intrants si la solution nutritive est recyclée en hors-sol ou sur des cultures de pleine terre ;
- Une meilleure utilisation de l'espace.
- Effets négatifs
- Investissements variables selon le mode d'élaboration des solutions nutritives et la gestion de l'irrigation.
- Investissements pour les bâtiments risques élevés de problèmes survenant soit en cas d'erreur du planteur soit en cas de défaillance du matériel.

Agronomique

- Effets positifs
 - Potentiel de rendement élevé ;
 - Diminution du risque de contamination des cultures par les bio agresseurs ;
 - Maîtrise de l'irrigation et de la fertilisation ;
 - Un contrôle absolu de la nutrition des plantes ;
 - La conservation économie de l'eau ;
 - La totalité de l'engrais utilisé est absorbée par la plante ;
 - La réduction d'utilisation de pesticides, grâce à une meilleure santé et une croissance rapide ;
 - Utilisation optimale du potentiel génétique de la plante (Miralles, 2015) ;
 - Une production continue (365 jours par an), constante (rendement, qualité), adaptable aux besoins de l'exploitation et indépendante des aléas climatiques (périodes hivernales, cycloniques, de sécheresses).
 - Une amélioration de l'état sanitaire des animaux et des performances zootechniques (augmentation de la fécondité des géniteurs, amélioration de la croissance, une augmentation de la ponte, de la production de viande et de lait) (Fremium, consulté le 2017).

Qualité des produits

- Effets positifs
 - Meilleur aspect visuel dû à la « propreté » des produits récoltés ;
 - Moins de résidus de pesticides ;
 - À variété identique qualité gustative souvent comparable à celle des cultures de pleine terre (william, 2015).

Environnement

D'après Kouassi (2009) :

- Effets positifs
 - Traitements phytosanitaires réduits et ciblés ;
 - Faible mobilisation de surface dans un contexte de pression foncière.
- Effets négatifs

- Consommation élevée de matériaux issus de ressources non recyclables (plastiques) et production de nombreux déchets (substrats) ;
- Pollution par les solutions nutritives si elles ne sont pas recyclées.

Consommation d'énergie

- Effets positifs
- Pas de travail du sol.
- Effets négatifs
- Consommation d'énergie électrique par les pompes de distribution et les lampes.

Parie pratique

Matériels et méthodes

Rappel de l'objectif

L'objectif principal de cette étude est de produire de l'orge verte hors-sol comme source alternative dans l'alimentation animale, par l'optimisation de sa productivité et cela tout au long de l'année.

Ainsi, les objectifs spécifiques sont :

- 1) Produire de l'orge verte hors-sol sans solution nutritive.
- 2) Produire de l'orge verte hors-sol saine et en quantité importante.
- 3) Produire de l'orge hors sol durant tout l'année.

Les hypothèses sont :

- 1) La culture de l'orge hors sol sans solution nutritive, assure une croissance normale de la plante pour permettre de produire une quantité importante de fourrage vert.
- 2) La culture de l'orge hors sol permet l'obtention d'un fourrage de qualité sanitaire raisonnable pour l'alimentation des animaux.
- 3) La culture de l'orge hors sol peut s'effectuer plusieurs fois durant l'année et en différentes saisons afin d'assurer une production permanente de fourrage vert.

1-Présentation du site expérimental

L'unité où a été réalisé notre expérimentation, se situe sur un site privé de la région d'Ouzellaguen dans la wilaya de Bejaia. Elle est composée de 3 hangars sous forme de « U ». La superficie du domaine est de 900 m². Leur capacité de production est de 5 tonnes/jour.

1-1-Présentation de l'unité

- ❖ Dénomination : ETS Production de Fourrage Vert Hydroponique KACI
- ❖ Objet : produire de l'orge vert hydroponique pour l'alimentation animale
- ❖ Siège sociale : Ouzellaguen, Bejaia
- ❖ Potentiel de production : 5 tonnes/jour

2-Travail pratique

Notre stage de fin d'études a été réalisé au niveau de l'unité « ETS Production de Fourrage Vert Hydroponique KACI » du 01/04/2017 au 08/04/2017 pour la première expérience et du 22/04/2017 au 29/04/2017 pour la deuxième expérience.

2-1-Matériel utilisé

➤ Chambre de culture

Surface total : 450 m².

Les toits, les murs : à isolation thermique, en peinture antimicrobienne.

Le sol : en carrelage avec une pente pour évacuation de l'eau.



Figure 17 : Chambre de culture hors sol (photos originale, 2017).

➤ **Equipements :**

- ✓ Module : de nombre de 26 en aluminium. Longueur 5 m, hauteur 2.5 m, de capacité 156 plateaux/module ;
- ✓ Plateau : de dimension 32/70 cm et 5cm d'hauteur. Matière de fabrication et en polypropylène alimentaire ;
- ✓ Eclairage : ampoule à usage agricole a spectre lumineux rouge et bleu ;
- ✓ Interacteur, extracteur : permet le renouvellement de l'air dans la chambre ;
- ✓ Hygrostat : permet de stabiliser l'humidité ;
- ✓ Ventilateur : permet la dispersion de l'air dans la chambre ;
- ✓ Compresseur d'oxygène : source d'oxygène lors du tramp des grains ;
- ✓ Balance pour poids élevé (1- 40 kg) ;
- ✓ Thermo hygromètre : mesures de la température et de l'humidité ;
- ✓ Citerne d'eau de capacité 1000L ;
- ✓ Programmateur électrique (automate) : conçu pour gérer tous les paramètres du milieu de culture (arrosage, température, aération, humidité...) ;
- ✓ Groupe électrogène ;
- ✓ Des outils utilisés dans notre expérimentation qui sont : règle graduée, un bloc note, un appareil photos, portable digital etc.

➤ **Matériel végétale :**

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

Les grains d'orge utilisés sont issus de produits locaux de deux origine : 1^{er} de sidi bel abbasse, et le 2^{em} au niveau de Médéa de variété **Saida** de l'année en cour. L'aspect général du grain : sans aucune anomalie, propre non traités.

2-2-Conduite de la culture de l'orge hors sol

2-2-1- Mode opératoire

La germination des grains d'orge nécessite une procédure à effectuer étape par étape (figure 18). Dans notre expérimentation nous avons utilisé 6 kg de grains d'orge sec et 6 plateaux de culture, pour chacune des deux expériences soit 1.5 kg d'orge germé/plateau.

Tamisage :

Tamiser les grains à l'aide d'un tamis, pour les séparer avec les intrus, notre expérience, il n'y a pas d'intrus que des brins de chaume, et quelques grains d'autres plantes, ce qui nous confirme que les grains étaient bien stockés et récoltés dans les bonnes conditions d'hygiène.

Pesage :

Après avoir tamisé les grains, nous avons pesé 6 kg des grains d'orge pour les faire germé.

Lavage :

Laver les grains d'orge avec de l'eau plusieurs fois, jusqu'à ce que l'eau sort propre.

Trempage :

Tromper les grains dans un bac de réhydratation avec l'eau de robinet pendant 12 h à 17 h. L'eau de trempage doit être de T de 18 C°- 24 C° et de PH de 5.6 à 6.4 (pour stimuler le levé de la dormance), en présence d'une source d'oxygène à l'aide d'un compresseur d'oxygène.

Egouttage des grains :

Séparer les grains de l'eau à l'aide d'une moussiquaire, puis les placer dans des cagettes pour les égoutter pendant 12 h. C'est une étape qui englobe l'égouttage et la pré germination.

Pesage :

A la fin de l'égouttage, nous avons calculé le poids de l'orge germé qu'il faut mettre en culture dans les plateaux de culture selon la démarche suivante :

P_1 : poids de l'orge sec 6 kg.

P_2 : poids de l'orge germé 9 kg.

P_3 : poids des cagettes vides 1kg.

Poids des grains d'orge germé / plateau = $(P_2 - P_3) / P_1$.

A l'aide d'une balance, tarée, pesé 1.5 kg d'orge pré-germer. Puis les étaler manuellement d'une façon homogène dans chaque plateau.

Mise en culture :

Mettre les plateaux en position incliné dans le module de culture.

Trois plateaux dans la chambre de culture et les trois autres à l'extérieur de la chambre de culture. Les plateaux reçoivent la même quantité d'eaux, seul le facteur climatique ; température et l'humidité qui est différent entre les deux milieu (la chambre de culture et le milieu extérieur).

A noter que c'est l'automate qui gère tous les paramètres du milieu de culture (arrosage, température, aération, humidité...) une fois mit en marche automatique.

Collecte :

Au bout du 7^{em} jours, collecte des bandes de fourrage hors sol.

Lavage :

Nettoyage des plateaux à l'aide d'une brosse et de l'eau de javel diluée. Après c'est le renouvellement de l'opération sur les mêmes plateaux.

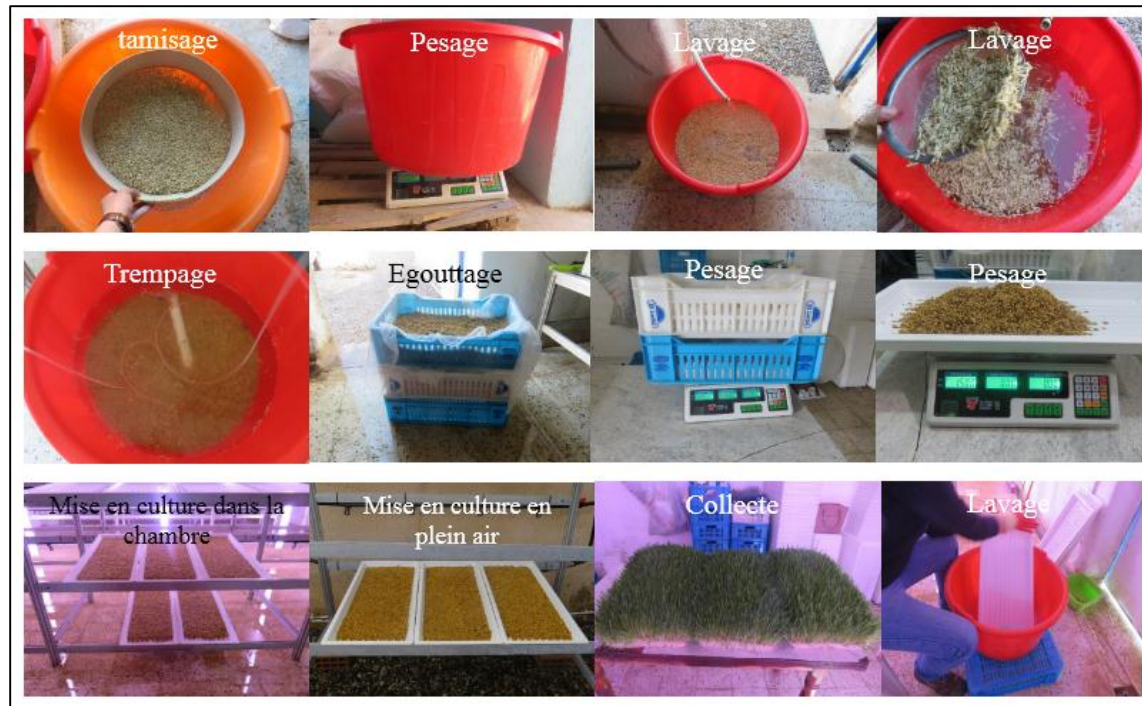


Figure 18 : les étapes de germination de l'orge hors sol (photos originale, 2017).

2-2-2-Les conditions de mise en culture

L'aspect le plus important de la culture hors sol c'est le milieu de culture qui assure le bon développement des grains germés de l'orge. Le milieu de culture utilisé dans notre expérience est composé de deux milieux différents :

Le premier est en plein air (milieu extérieur par rapport à la chambre de culture)

Le second est dans la chambre de culture. Les paramètres principaux de ce dernier sont :

- La température entre 18 et 24°C ;
- Le taux d'humidité entre 55 et 65% ;
- EC 0,8 à 1,2 ;
- PH 5,6 à 6,4 ;
- Eclairage : usage de lampes de 750 nms à spectre lumineux rouge et bleu avec un temps d'allumage de 18h/24h ;

- La ventilation, hygostat, interacteur et extracteur, doit être permanente. Elle permet le renouvellement de l'air, une stabilisation de la température et l'humidité et la dispersion de l'air à l'intérieur de la chambre.

2-2-3-L'irrigation

L'irrigation se fait automatiquement. La source d'eau utilisée est l'eau de robinet, La fréquence de l'irrigation est d'une minute (01 min) chaque 04 heure.

3-Mesures et observations

Nous avons pris soin, durant les 16 jours de notre pratique expérimentale, d'effectuer une observation rigoureuse et des mesures journalier de matériel végétale et du milieu de culture dont :

- Faculté germinative, elle est déterminée sur 100 grains prise aléatoirement. Le pourcentage des grains germées a été relevé, l'opération a été répété deux fois ;
- Mesure de la température et de l'humidité à l'aide d'un thermo hygromètre ;
- Suivi journalier du poids des plateaux de culture
- Suivi de la croissance (longueur des racines et la hauteur d'herbe en cm) des plantules à l'aide d'une règle graduée ;
- Qualité sanitaire de l'orge vert hors sol par une observation a l'œil nu.

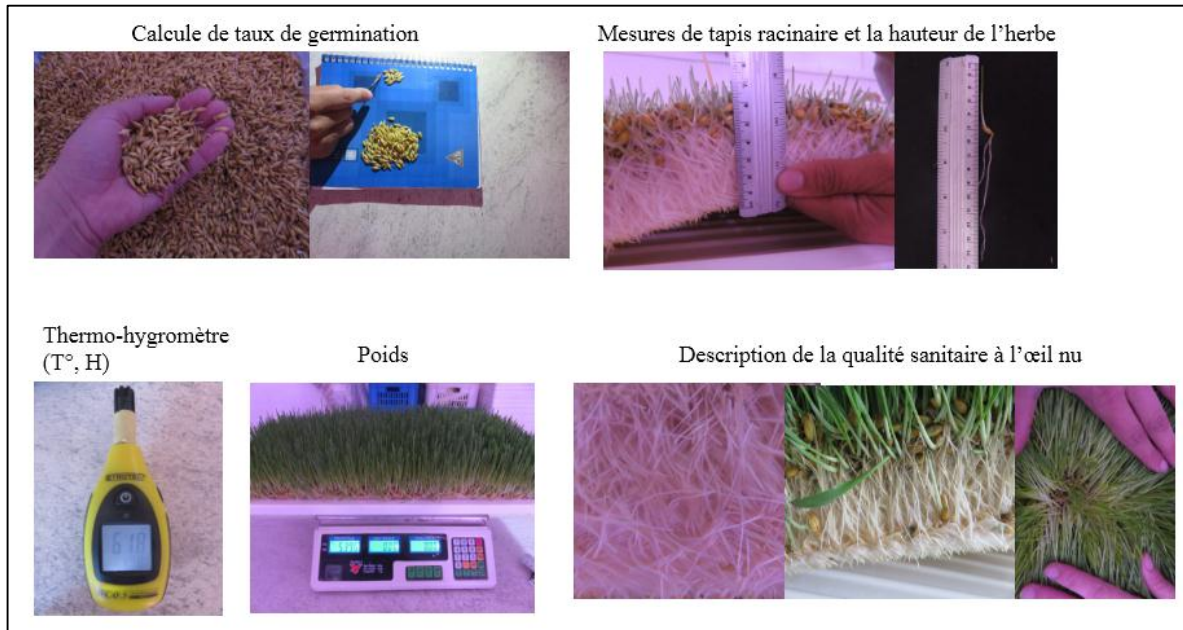


Figure 19 : les différentes mesures pour les différents paramètres suivis (photos originale, 2017).

4-l'analyse statistique des résultats

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse descriptive à l'aide du logiciel Microsoft® Excel 2016.

Les paramètres étudiés étaient : taux de germination, taille de la plantule, poids du plateau, la température et l'humidité de l'environnement de culture.

Résultats et discussions

Nous présentons dans ce chapitre une synthèse des résultats obtenu dans le cadre des essais de production hors sol d'une variété locale d'orge ; variété Saida, pour la production de fourrage vert hors sol, selon des conditions de l'environnement de culture et l'origine des graines différenciés à savoir ;

Environnement 1 : dans la chambre de culture

Environnement 2 : en plein air

Graines d'orge variété Saida d'origine 1 : Sidi Bel Abbesse

Graines d'orge variété Saida d'origine 2 : Médéa

1-Calcul du taux de germination

Le taux de germination est conditionné par le bon déroulement du trempage. Cette étape a été réalisée dans la chambre de culture pour bénéficier des bonnes conditions ; température de milieu 18°C à 24°C ; température de l'eau 18°C et un PH de 5,8 avec un taux d'humidité élevé. Enfin, nous avons additionné une source d'oxygène à l'aide d'un compresseur d'oxygène.

Après 17 h de trempage et 12 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, nous avons appliqué ensuite la règle de trois de la manière suivante (Hoareau, 2012) :

$$\text{Taux de germination} = \frac{\text{nombre de semence germé}}{\text{nombre de semence testé}} \times 100$$

Les résultats sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Taux de germination des grains d'orge utilisée.

	Taux de germination %			
	Expérience N°1		Expérience N°2	
	Echantillon n°1	Echantillon n°2	Echantillon n°1	Echantillon n°2
	75	80	94	97
Moyenne	77,5		95,5	
Ecart type	2,5		1,5	

La faculté germinative des grains d'orge utilisés dans les deux expériences sont successivement de 77% et 95% ; ce qui indique que la variété Saida a une qualité de semence doué d'une bonne faculté germinative.

La différence entre les résultats des deux expériences, pour ce qui est de la moyenne et de l'écart type qui sont respectivement de 77.5 ± 2.5 pour la première et de 95.5 ± 1.5 pour la deuxième expérience, peut-être dû au fait que les grains proviennent de deux origines différentes ce qui influe directement sur la qualité germinative des semences. Selon Côme (1993), parmi les facteurs qui influencent la capacité de germination : le climat, techniques de culture, l'âge de la plante mère, ... etc.

2-Les modifications morphologiques des grains d'orge au cours du processus de croissance hors sol.

Premier jour

Gonflement des grains d'orge, apparition des bouts des futures racines pour la majorité des grains, tandis que les autres ont déjà émis des racines de quelques millimètres (figure 20).



Figure 20: orge germé d'un jour

Deuxième jour

Des graines bien gonfler avec des racines bien distincts de quelques centimètres, pointé le bout des futures racicules (figure 21).



Figure 21 : orge germé de deux jours

Troisième jour

Nous pouvons voir, sur un pourcentage très important des grains avec un excellent départ de la croissance. Des racines bien développées du nombre de 2 à 4 racines par grain. Une racicule de quelques millimètres (figure 22).



Figure 22 : orge germé de trois jours.

Quatrième jour

Le développement des racines commence par aller en s'accélérent, nous parlons de tapis racinaire, car, les racines enchevêtrés et indissociable manuellement. L'augmentation du volume de la culture est déjà importante. Un jolie radicule vert dressée (figure 23).

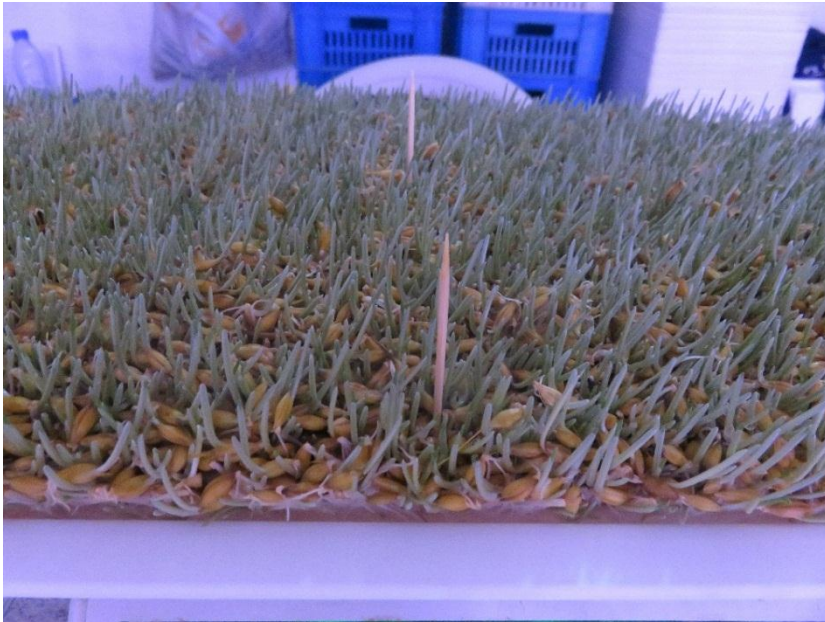


Figure 23 : orge germé de quatre jours

Cinquième jour

Un tapis racinaire bien développé et tissée. Le coléoptile, enveloppé, prend de la coloration verte dans une enveloppe transparente, tandis que pour d'autres, les feuilles sont légèrement apparues ce qui annonce le début de la photosynthèse (figure 24).

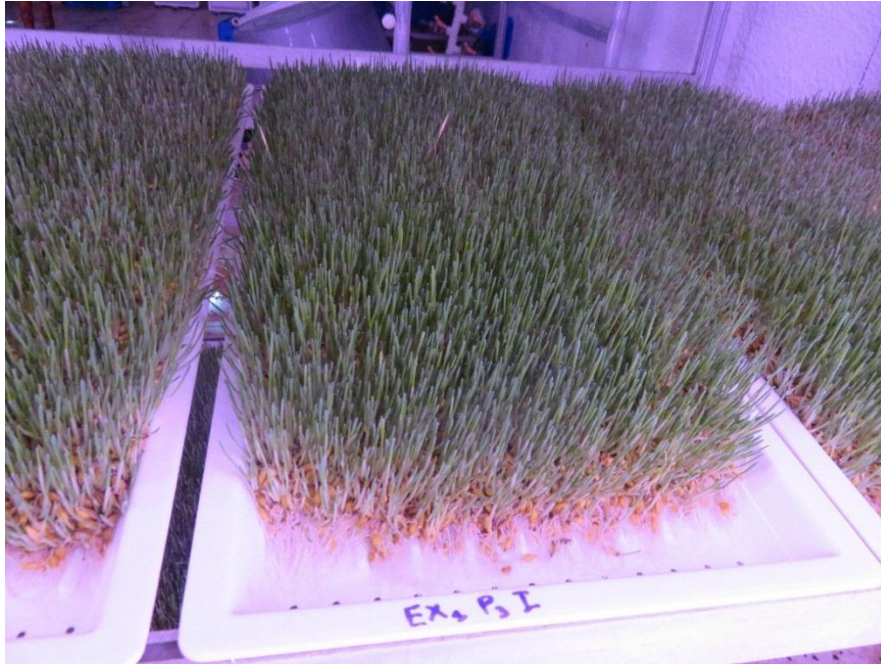


Figure 24 : orge germé de cinq jours

Sixième jour

Nous avons remarqué que c'est la journée qui présente les phases les plus surprenantes ; le tapis blanc des racines est en pleine augmentation et la masse du grain arrive à dépasser le bord des plateaux. Les feuilles accélèrent leur développement d'une manière uniforme. La photosynthèse est en pleine action (figure 25).

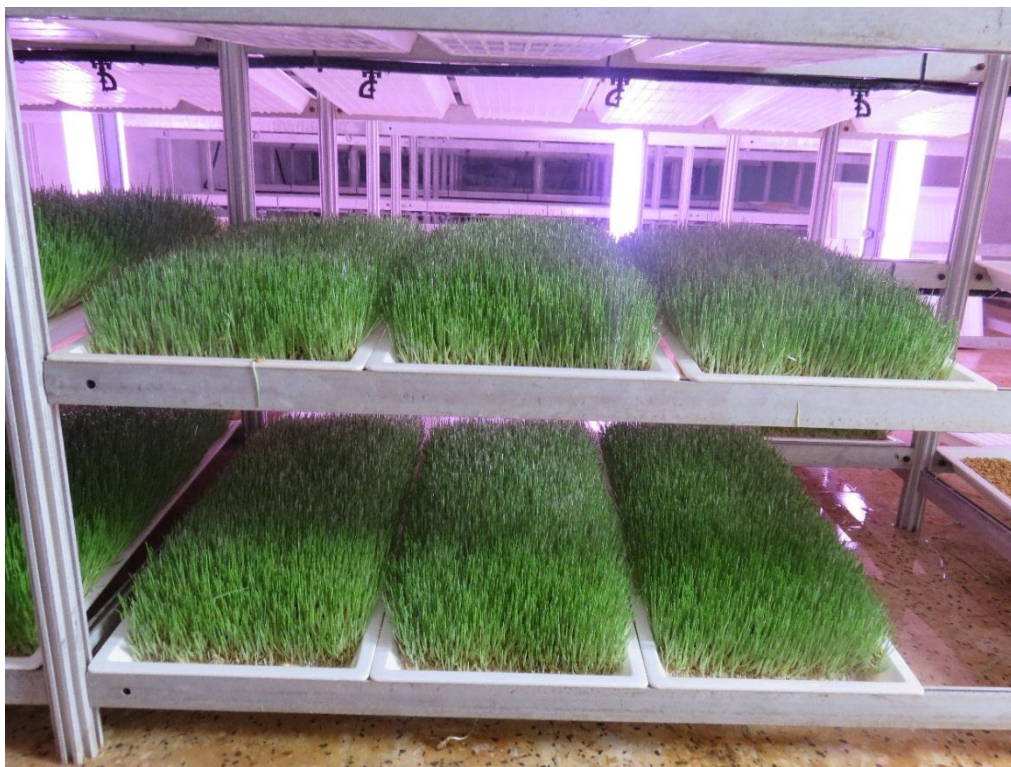


Figure 25 : orge germé de six jours

Septième jour

Le matin, la culture est menée à sa borne. Le produit est prêt à être récolté pour être consommé par les animaux (figure 26).



Figure 26: la distribution de l'orge vert hors sol aux chèvres

La figure récapitulative "27" montre l'évolution de la germination et croissance des grains d'orge germés durant sept jours.



Figure 27 : cycle de production de l'orge hors sol (photos original, 2017).

3-Mesure de la température et de l'humidité

3-1-dans la chambre de culture

La température, l'humidité et le taux d'arrosage sont maintenu dans la chambre de culture à un taux fixe (grâce à l'usage de l'automate) correspondant à la fourchette de la température et de l'humidité idéale de la croissance de l'orge, soit en moyenne 20°C pour la température et 59% pour l'humidité et une fréquence d'arrosage de 1 minute/ 4h.

3-2-En plein air

3-2-1-La température

La mesure des températures de l'environnement des expériences menées en plein air sont présentés dans le tableau 11. Les températures de l'environnement de la deuxième expérience sont en général plus élevées et plus proches de la fourchette idéale de la germination qui est de 18°C à 24°C que ceux de la première expérience. Ces différences de température pourraient influencer notablement le taux et la vitesse de croissance des plantules. Il existe pour chaque plante et chaque phase de végétation des températures : minima, optima et maxima (Diehl, 1975) ; quand la température s'élève, la vitesse de germination croît (Gate et Giban, 2003).

Tableau 11 : mesure de la température en °C de l’environnement plein air pour les deux expériences.

Expérience 1					Expérience 2				
Jours	mini	max	moyen	écart type	jours	min	max	moyen	Écart type
J0	14	17,5	16	1,27	J0	14	26,1	19,45	4,92
J1	10	28	17,38	5,98	J1	12	26,7	18,26	5,36
J2	9	24	17,72	4,88	J2	17,5	35	22,4	6,41
J3	11	18,3	15,24	2,86	J3	18,5	27,5	22,24	3,34
J4	12	19,2	15,82	2,65	J4	15	31	21,76	5,43
J5	13	18,5	15,64	1,87	J5	18,4	25,3	21,5	2,72
J6	13,5	21	16,42	2,64	J6	13	16,4	14,78	1,09
J7	8,6	20	13,82	3,80	J7	12	20	15,8	3,29

3-2-2-L’humidité

L’humidité de l’air doit être en général entre 60 et 70% et de l’ordre de 56 à 65% pour l’orge comme fourchette d’humidité favorisant le développement des pousses (Wafa, 2016).

Pour notre part, nous avons enregistré des moyennes des degrés d’humidité trop élevés entre 52.1 et 71.52% pour la première expérience et élevé pour la deuxième entre 44.2 et 67% (tableau 12).

Il est à noter que le degré d’humidité trop élevé pourrait favoriser la prolifération de parasites défavorable pour la croissance végétative et altérer la qualité sanitaire du fourrage.

Tableau 12 : taux de l'humidité de l'environnement plein air pour les deux expériences.

Expérience 1					Expérience 2				
jours	min	max	moyen	écart type	jours	min	max	moyen	écart type
J0	52	75	60,35	8,73	J0	25,9	62	44,2	14,44
J1	32	70	55,84	13,18	J1	22,9	64	44,32	14,64
J2	38	70	52,1	10,36	J2	18	70	53,04	18,54
J3	48	92	68,88	14,74	J3	38	62	52	9,61
J4	53,2	72	65,12	7,32	J4	26,3	70,5	48,76	15,02
J5	67,2	76,1	71,52	3,54	J5	52	74,5	61,7	7,38
J6	59	80	69,3	6,89	J6	59	71,9	67,18	4,51
J7	55	81,6	69,24	8,74	J7	49	72	60,88	8,46

3-2-3-Taux d'arrosage

Une fréquence d'arrosage identique à celle entretenu dans la chambre de culture à s'avoir une fréquence de 1 minute/4h en utilisant l'automate.

4-Suivi de la croissance

4-1-dans la chambre de culture

4-1-1-Mesure des racines

La longueur des racines varie de 8.4 à 8.7 cm avec une moyenne de 8.56 cm au bout du 7^{em} jours pour la première expérience (tableau 13) et de 7.3 et 7.5 cm avec une moyenne de 7.4 cm pour la deuxième expérience, bien que les conditions climatiques et le taux d'irrigation pour les deux expériences soient exactement les mêmes. Cette différence entre les résultats des deux expériences peut être due à l'origine différente des grains utilisés.

Les écarts types inférieurs à 1 dont 0.12 pour la première expérience et 0.08 pour la deuxième, affichent un degré d'homogénéité intéressant pour le paramètre croissance des racines (figure 28)

Tableau 13 : longueur des racines de l’orge germé en cm des deux expérience dans la chambre de culture.

Expérience 1					Expérience 2				
Jours	min	max	moyen	écart type	Jours	min	max	moyen	écart type
J0	0,1	0,2	0,16	0,04	J0	0,7	1	0,83	0,12
J1	0,4	2,1	1,13	0,71	J1	1,2	2,1	1,6	0,37
J2	3,6	3,8	3,7	0,08	J2	2,5	3	2,8	0,21
J3	4,5	4,7	4,6	0,08	J3	4,3	4,5	4,43	0,09
J4	5,5	5,6	5,56	0,04	J4	5	5,2	5,13	0,09
J5	6,4	6,7	6,6	0,14	J5	5,8	6,1	5,93	0,12
J6	7	7,8	6,6	0,33	J6	6,3	7	6,56	0,30
J7	8,4	8,7	8,56	0,12	J7	7,3	7,5	7,4	0,08

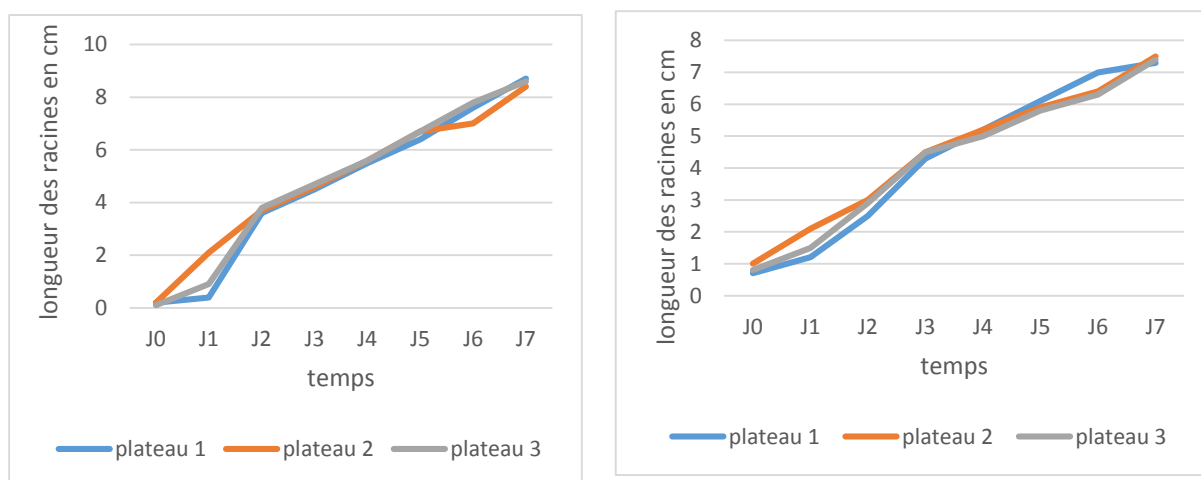


Figure 28: croissance des racines de l’orge germé en cm de deux expériences dans la chambre de culture.

4-1-2-La hauteur d’herbe

La hauteur d’herbe varie de 8 cm à 8.7 cm au bout du 7^{em} jour pour la première expérience avec une moyenne de 8,43 cm et un écart type de 0,30 cm et de 12.5 cm à 14.5 cm pour la deuxième

expérience avec une moyenne de 13.66 cm et un écart type de 0.84 (tableau 14). On est sur des valeurs supérieures à celles obtenues dans la littérature scientifique où pour une récolte entre 7 à 10 jour on obtient des valeurs de l'ordre de 6.9 à 12 cm (Miralles-Bruneau, 2015), cela peut être lié à la densité de semis, au mode d'irrigation type d'installation.

Tableau 14 : hauteur de l'herbe de l'orge germé en cm de deux expérience dans la chambre de culture.

Expérience 1					Expérience 2				
jours	min	max	moyen	écart type	Jours	min	max	moyen	écart type
J0	/	/	/	/	J0	/	/	/	/
J1	0,2	0,4	0,3	0,08	J1	0,4	0,6	0,46	0,09
J2	3,6	3,8	3,7	0,08	J2	1,2	1,5	1,3	0,14
J3	4,5	4,7	4,6	0,08	J3	1,5	2	1,73	0,20
J4	5,3	5,6	5,46	0,12	J4	3,5	4	3,73	0,20
J5	6,4	6,7	6,55	0,14	J5	5	7	6	0,81
J6	7	7,8	7,46	0,33	J6	10	12,5	11	1,08
J7	8	8,7	8,43	0,30	J7	12,5	14,5	13,66	0,84

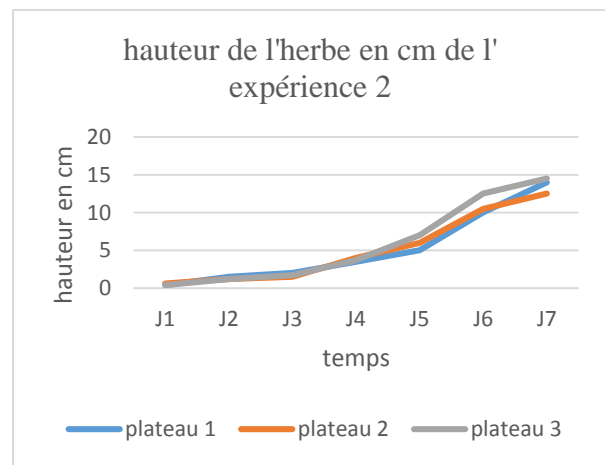
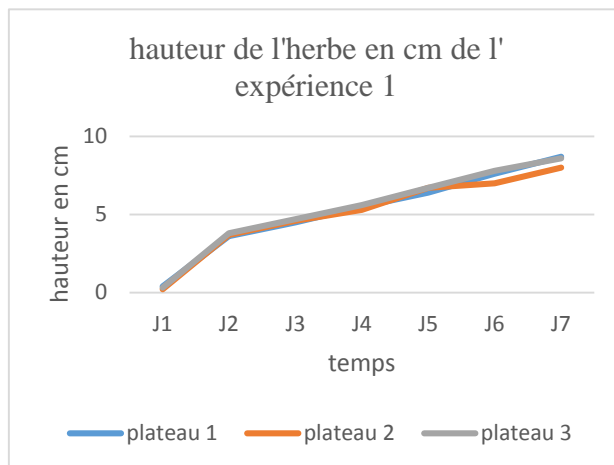


Figure 29 : croissance de l'herbe de l'orge germé en cm dans la chambre de culture pour les deux expériences.

4-1-3-Le rendement

1 kg de grains d’orge mis à germer sans solution nutritive (arrosage avec l’eau de robinet uniquement) nous donne entre 6.26 et 6.88 kg de fourrage vert (kg MB) avec une moyenne de 6.66 kg accusant un écart type de 0.28 pour la première expérience et entre 6,53 et 7 kg de fourrage vert avec une moyenne de 6.71 et un écart type de 0.20 pour la deuxième expérience (tableau 15).

Tandis que selon Chouab (2017), des valeurs de l’ordre de 4.9 kg (sans solution nutritive) et 5.3 kg (avec solution nutritive) sont produits au 7^{em} jour ce qui est inférieur à nos résultats.

Ramené à la surface cultivée, les rendements en vert sont de l’ordre de 29.73 kg MB/m² pour la première expérience et de l’ordre de 29.95 kg MB/m². Ces valeurs sont équivalentes à celle de la littérature soit 20.65 à 32 kg MB/m² produit en 8 à 10 jours pour un rendement moyen de 25.87 kg MB/m² en culture avec solution nutritive (Miralles-Bruneau, 2015) et un rendement de 5 à 12 kg pour une période de 7 à 15 jour selon une étude menée par Fazaeli et al (2012).

Tableau 15 : rendement en kg de l’orge germé de deux expérience dans la chambre de culture.

Expérience 1					Expérience 2				
Jours	min	max	moyen	écart type	Jours	min	max	moyen	écart type
J0	1,5	1,5	1,5	0	J0	1,5	1,5	1,5	0
J1	1,92	1,97	1,94	0,02	J1	2,37	2,54	2,44	0,06
J2	2,2	2,3	2,25	0,04	J2	2,72	2,92	2,82	0,08
J3	3,45	3,51	3,48	0,02	J3	3,14	3,53	3,32	0,16
J4	3,8	4	3,9	0,08	J4	3,93	4,38	4,13	0,18
J5	4,74	4,92	4,82	0,07	J5	4,91	5,39	5,13	0,19
J6	5,61	5,8	5,73	0,08	J6	5,79	6,36	6,01	0,24
J7	6,26	6,92	6,66	0,28	J7	6,53	7	6,71	0,20

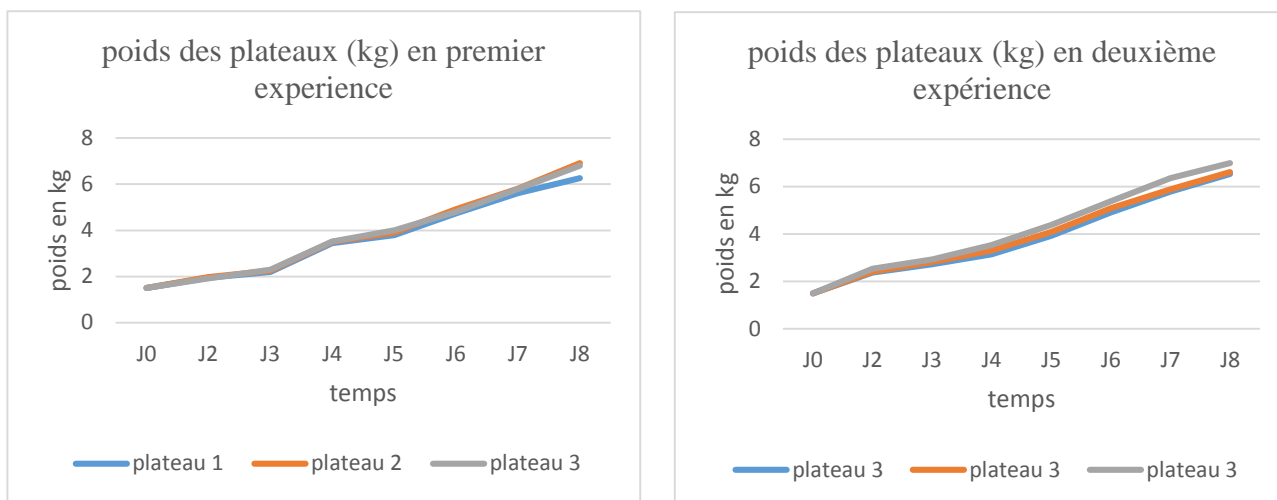


Figure 30 : Evolution de poids des plateaux en fonction de temps dans la chambre de culture pour les deux expériences.

4-1-4-Qualité sanitaire de l'orge hors sol dans la chambre de culture

A l'œil nu, nous avons constaté durant toute la période d'essai, une absence de toute trace de moisissures ou champignons avec une bonne couleur blanchâtre des racines et d'une verdure saine de la partie végétative.

4-2-En plein air

4-2-1-Mesure des racines

La longueur des racines des pousses est moins importante que celle cultivée dans la chambre de culture (tableau 16). Elle varie de 4.9 à 5 cm avec une moyenne de 4.96 cm au bout du 7^{em} jours pour la première expérience et de 6 à 6.4 cm avec une moyenne de 6,2 cm pour la deuxième expérience.

Les écarts types inférieurs à 1 dont 0.05 pour la première expérience et 0.16 pour la deuxième, affichent un degré d'homogénéité intéressant pour le paramètre croissance des racines.

Tableau 16 : longueur des racines de l'orge germé en cm dans l'environnement plein air de deux expériences.

Expérience 1					Expérience 2				
Jours	min	max	moyen	écart type	Jours	min	max	moyen	écart type
J0	0,1	0,2	0,13	0,04	J0	0,5	1,1	0,86	0,26
J1	0,5	0,8	0,6	0,14	J1	1,1	2,1	1,5	0,43
J2	0,9	1,3	1,06	0,16	J2	1,9	2,7	2,2	0,35
J3	1,9	2,2	2,06	0,12	J3	2	3,1	2,7	0,49
J4	2,3	2,5	2,43	0,09	J4	2,5	4,3	3,6	0,78
J5	3,1	3,5	3,26	0,16	J5	3,5	4,9	4,4	0,63
J6	4	4,3	4,13	0,12	J6	5	5,4	5,23	0,16
J7	4,9	5	4,96	0,04	J7	6	6,4	6,2	0,16

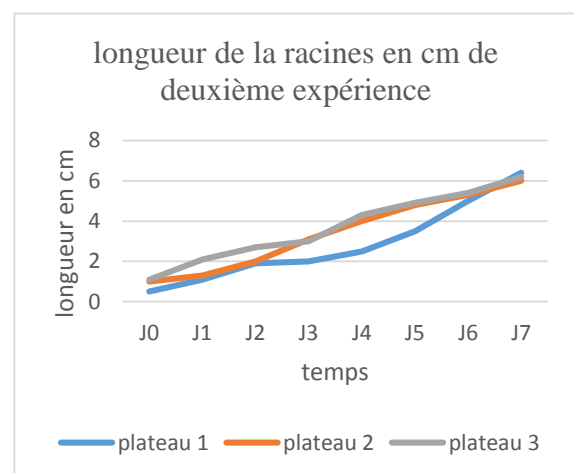
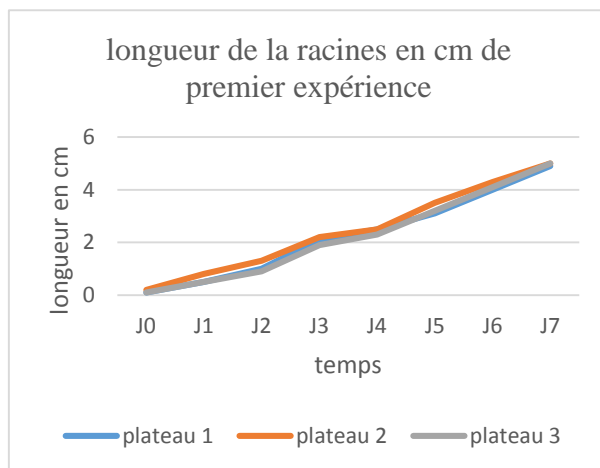


Figure 31 : croissance des racines de l'orge germé en cm pour les deux expériences en plein air.

4-2-2-La hauteur d'herbe

La hauteur d'herbe est elle aussi moins importante en plein air où elle varie de 4.9 cm à 5 cm au bout du 7^{em} jour pour la première expérience avec une moyenne de 4.96 cm et un écart type de 0,04 cm et de 9 à 10.5 cm pour la deuxième expérience avec une moyenne de 9.83 cm et un écart type de 0.76 cm. L'indicateur de la hauteur d'herbe est varié selon un ensemble de facteurs : attaque des bio-agresseurs et de combinaison des facteurs de l'environnement ; la température et l'humidité ce qui engendre une hétérogénéité de la croissance.

Tableau 17 : hauteur de l'herbe de l'orge germé en cm de deux expériences dans l'environnement plein air.

Expérience 1					Expérience 2				
Jours	min	max	moyen	écart type	Jours	min	max	moyen	écart type
J0	/	/	/	/	J0	/	/	/	/
J1	/	/	/	/	J1	/	/	/	/
J2	/	/	/	/	J2	1	1,2	1,1	0,08
J3	0,3	0,5	0,43	0,11	J3	1,17	2	1,62	0,34
J4	0,8	1	0,9	0,08	J4	2,5	4	3	0,70
J5	1,8	2	1,9	0,08	J5	5	6,9	5,63	0,89
J6	3,2	3,8	3,5	0,24	J6	9	10	9,33	0,47
J7	4,9	5	4,96	0,04	J7	9	10,5	9,83	0,62

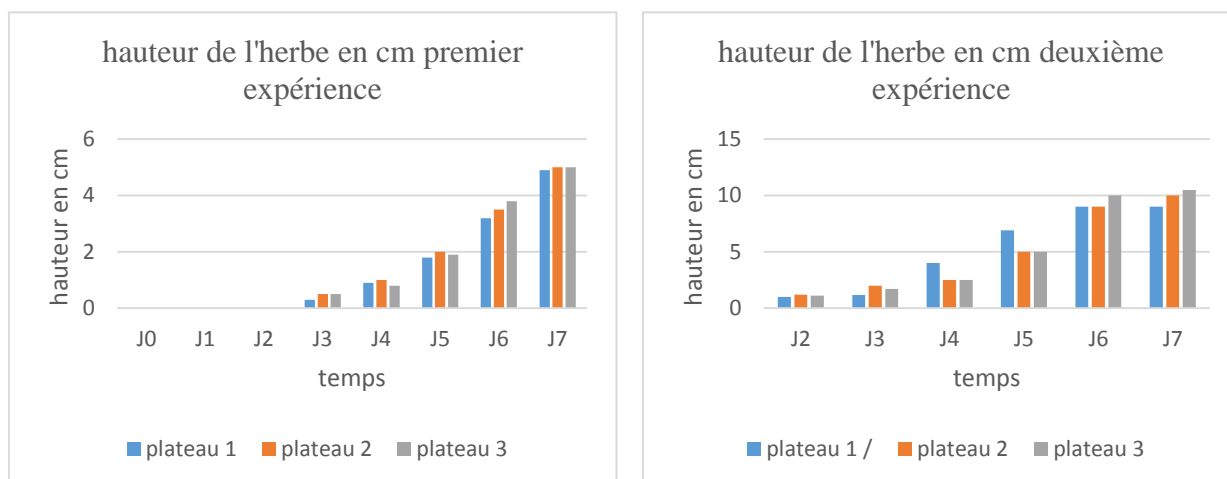


Figure 32 : croissance de l'herbe de l'orge germé en cm dans l'environnement plein air pour les deux expériences.

4-2-3-Le rendement

1 kg de graines d'orge misent à germer en plein air nous donne entre 4.2 et 4.43 kg de fourrage vert (kg MB) avec une moyenne de 4.30 kg accusant un écart type de 0.11 pour la première expérience et entre 3.74 et 4.72 kg de fourrage vert avec une moyenne de 4.35 et un écart type de 0.43 pour la deuxième expérience. Ces taux sont moins importants que ceux obtenus dans la chambre de culture avec un rendement en vert sont de l'ordre de 19.19 kg MB/m² pour la première expérience et de 19.41 kg MB/m² en moyenne. La cause de cette variation entre les deux environnements est la même que celle qui a influencé la hauteur d'herbe.

Tableau 18 : rendement en kg de l’orge germé de deux expériences en plein air.

Expérience 1					Expérience 2				
jours	min	max	moyen	écart type	jours	min	max	moyen	écart type
J0	1,5	1,5	1,5	0	J0	1,5	1,5	1,5	0
J1	1,57	1,6	1,58	0,01	J1	1,57	1,58	1,57	0,004
J2	1,7	1,81	1,74	0,04	J2	1,71	1,76	1,73	0,02
J3	2,2	2,26	2,23	0,02	J3	2,19	2,58	2,41	0,16
J4	2,49	2,61	2,53	0,05	J4	2,51	2,91	2,77	0,18
J5	3,1	3,21	3,14	0,04	J5	2,82	3,53	3,28	0,32
J6	3,67	3,83	3,73	0,06	J6	3,25	4,13	3,80	0,39
J7	4,2	4,43	4,30	0,09	J7	3,74	4,72	4,35	0,43

4-2-4-Qualité sanitaire de l’orge hors sol en plein air

A l’œil nu, nous avons constaté une présence des moisissures au niveaux des racines, et des fientes des oiseaux ce qui altère sa qualité sanitaire. Le tapis racinaire a été de couleur blanche cassée.

Les relevés de rendement effectués sur les deux lots de graines d’orge de même variété mais d’origine différente ont mis révèlent une production différenciée selon les conditions de l’environnement de culture.

Les meilleurs résultats de production de l’orge vert hors sol ont été enregistrés pour les graines cultivées dans la chambre de culture en comparaison avec celles cultivées en plein air :

Concernant les racines, les moyennes enregistrées dans la première expérience pour les deux environnements sont respectivement de $8.56 \text{ cm} \pm 0.12$ et $4.96 \text{ cm} \pm 0.04$ pour l’environnement, chambre de culture et plein air. Pour la deuxième expérience, nous avons enregistré une moyenne de $7.4 \text{ cm} \pm 0.8$ et $6.2 \text{ cm} \pm 0.16$ respectivement pour les deux environnements. A noter que l’effet oiseaux a été éliminé ce qui expliquera cette amélioration de ce paramètre à l’extérieur de la chambre de culture.

Quant à la hauteur d’herbe, les moyennes déduites dans la première expérience pour les deux environnements sont respectivement de $8.43 \text{ cm} \pm 0.30$ et $4.06 \text{ cm} \pm 0.04$ pour l’environnement chambre de culture et plein air. Pour la deuxième expérience $13.66 \text{ cm} \pm 0.84$ dans la chambre

de culture en contrepartie $9.83 \text{ cm} \pm 0.62$ pour l'environnement plein air, qui confirme que la culture dans la chambre de culture est plus rentable.

Pour ce qui est du poids, au bout du 7^{em} jour de culture, nous avons obtenu les résultats suivants : pour la première expérience, les moyennes enregistrées ont été de $6.66 \text{ kg} \pm 0.28$ dans la chambre de culture et $4.30 \text{ kg} \pm 0.09$ pour l'environnement plein air. Pour la deuxième expérience, nous avons enregistré des moyennes de $6.71 \text{ kg} \pm 0.20$ au niveau de la chambre de culture et $4.35 \text{ kg} \pm 0.43$ en plein air.

Enfin, la qualité sanitaire des deux produits des deux environnements est différente : bonne qualité au niveau de la récolte dans la chambre de culture contrairement à celle en plein air qui contient des moisissures.

Ces différences de résultats entre les deux environnements sont peut-être dû au fait que les graines d'orge cultivées en plein air sont exposées à des facteurs du milieu qui contribuent à la baisse de production tels que les aléas climatiques (vent, température, humidité...) et bio-agresseurs tels que les oiseaux, les insectes et les parasites.

Conclusion générale

La culture de l'orge vert hors sol sans solution nutritive apparaît comme plus intéressante dans la chambre de la culture, en termes de production de biomasse et de qualité sanitaire, où l'orge vert atteint un bon stade de récolte au bout du 7^{em} jour de germination avec un rendement de l'ordre de 29.84 kg MB/m². Ce rendement peut être maintenu et maximisé grâce à la première particularité de la production fourragère hors sol qui offre le moyen de faire succéder les cycles de production sans interruption. La seconde particularité de cette production est qu'elle peut être étagée ce qui permet de multiplier les surfaces de cultures en hauteur. Les potentiels de production sont donc très importants et bien au-dessus de la production fourragère classique.

En confrontant nos résultats à ceux de la littérature scientifique, il apparaît que les rendements sont équivalents à ceux obtenus par fertilisation, aussi il serait pertinent de proposer une étude comparative dans ce sens.

Il est important d'attirer l'attention sur la richesse de la récolte de la culture d'orge hors sol étant donné que ce fourrage est constitué des trois parties végétatives de la plante (racines, tige, graine) de l'orge présentant une haute qualité nutritionnelle.

Ce qui concerne la culture plein air, la production de l'orge vert hors sol a enregistré un rendement de 19,33 kg MB/m², avec une qualité sanitaire médiocre. Ce résultat est sous l'influence de climat et les bio agresseurs. Nous concluons que la culture hors sol nécessite un milieu contrôlé pour arriver à une production souhaitée.

Conclusion

Conclusion générale

La culture de l'orge vert hors sol sans solution nutritive apparaît comme plus intéressante dans la chambre de la culture, en terme de production de biomasse et sanitaire, où l'orge vert atteint un bon stade de récolte au bout du 7^{em} jour de germination avec un rendement de l'ordre de 29.84 kg MB/m². Ce rendement peut être maintenu et maximisé grâce à la première particularité de la production fourragère hors sol qui offre le moyen de faire succéder les cycles de production sans interruption. La seconde particularité de cette production est qu'elle peut être étagée ce qui permet de multiplier les surfaces de cultures en hauteur. Les potentiels de production sont donc très importants et bien au-dessus de la production fourragère classique.

En confrontant nos résultats à ceux de la littérature scientifique, il apparaît que les rendements sont équivalents à ceux obtenus par fertilisation, aussi il serait pertinent de proposer une étude comparative dans ce sens.

Il est important d'attirer l'attention sur la richesse de la récolte de la culture d'orge hors sol étant donné que ce fourrage est constitué des trois parties végétatives de la plante (racines, tige, graine) de l'orge présentant une haute qualité nutritionnelle.

Ce qui concerne la culture plein air, la production de l'orge vert hors sol a enregistré un rendement de 19.33 kg MB/m², avec une qualité sanitaire médiocre. Ce résultat est sous l'influence de climat et les bio agresseurs. Nous concluons que la culture hors sol nécessite un milieu contrôlé pour arriver à une production souhaitée.

Références bibliographique

- Agro ponic. 2008. Application de la technique aeroponique a circuit ferme dans l'agriculture. Promotion et diffusion de la technologie aéroponique dans l'agriculture, 61p.
- Alaoui SB. 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.
- Aquavet. 2014. Description du système aquaponique. Introduction de l'aquaponie dans l'enseignement et la formation professionnelle : instruments, unités d'enseignement et formation des enseignant, 21p.
- Arbouche HS. Arbouche Y. Arbouche F. Arbouche R. 2008. Valeur nutritive de quelques variétés d'orge Algériennes pour l'alimentation des ruminants. Institut nationale de la recherche agronomique d'Algérie, 6p.
- Ben Amira Chouaib. 2017. Etude de comportement de deux variétés d'orge en culture hydroponique. Mémoire de master, université Amar Telidji Laghouat, 65p.
- Chavan JK. Kadam SS. 1989. Nutritional improvement of cereals by sprouting. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 28:8, 401:437p.
- Christiane Yves. Mettauer. Hubert Tual. Yves. Huck Christiane.1983. De la connaissance du comportement physique et mécanique des sols de l'Est de la France. Agronomie, vol. 3, no 2, p 141-152.
- Christophe.2016. Aquaponie-une solution intelligente basée sur les poissons pour produire de la nourriture en utilisant des ressources limitées et peu d'eau. Smart fiche 9, 2 p.
- Claudie et al.2012. In Ben Amira Chouaib. 2017. Etude de comportement de deux variétés d'orge en culture hydroponique. Mémoire de master, université Amar Telidji Laghouat, 65p.
- Clerget Y. 2011. Biodiversité des céréales : Origine et évolution. Montbéliard, 17p.
- CNIS.2015. Statistiques du commerce extérieur de l'Algérie. Ministère des finances, direction générale des douanes. Période: Année 2015.
- CNIS.2017. Statistiques du commerce extérieur de l'Algérie. Ministère des finances, direction générale des douanes. Période : Année 2017.
- Collette L et al. 2011. Save and Grow: a policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production, FAO.

- Côme.1993. In Hoareau Dominique. 2012. Ecologie de la germination des espèces indigènes de la Réunion. Mémoire de stage Master 2, université de la Réunion, 64p.
- Diehl. Halilat MT. Dogar MA. 1975. Influence de la fertilisation azotée et potassique sur le comportement du blé en zones Sahariennes. Annales de l'Institut national agronomique-El Harrach (Alger), vol. 20, no 1, p 18-28.
- El Haramein FJ. Grando S. 2010. Determination of iron and zinc content in food barley. In: Ceccarelli Sand Grando S. 2010. Proceedings of the 10th Inter. Barley Genetics Symposium, 5 – 10 April 2008, Alexandria, Egypt. Aleppo, Syria: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), 603 - 605.
- Eric Dargent. Kevin Morgan-Rothschild. 2015. Zipgrow culture vertical. Atelier d'Eté de l'Agriculture Urbaine et de la Biodiversité, 23p.
- FAO. 2008. Bulletin F.A.O.de statistique. Vol.1, 109p.
- Fernand Pigeon. 2014. Guide d'aide et d'informations de culture. Les entreprises fernand pigeon inc. 174 Ch. Beaudoin N. durham-sud, Qc. J0H2C0, 15p.
- Foury C. Martin F. Pécaut P. 1994. Avantages et difficultés de la création d'hybrides F1 d'artichaut à semer. In : iv international congress on artichoke 681. 2000. p 315-322.
- Fremium Fodder. Consulté le 2017. Bruchure : graine au forrage en 7jours, 12p.
- Gate et Giban.2003.in Miralles-Bruneau M. 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, 84p.
- Giban M. Minier B. 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-ebb&flood>.
- GNIS. 2016. Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants. Statistique annuelle et séries chronologiques Semences et plants, 85 pages.
- Graber A. Antenen N. Junge R. 2014. The multifunctional aquaponic system at ZHAW used as research and training lab. In Conference VIVUS : Transmission of Innovations, Knowledge and Practical Experience into Everyday Practice. Strahinj: Biotehniški

center, Naklo. [http://www. bc-naklo. si/uploads/media/29-Graber-Antenen-Junge-Z](http://www.bc-naklo.si/uploads/media/29-Graber-Antenen-Junge-Z).

Grando et al., 2005.in N Souhila. 2009. Diversité de 13 génotypes d'orge et de 13 génotypes de blé tendre : étude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de magister en biologie végétale, université de mentouri de Constantine, 187p.

Guiga Wafa .2016. Identification des inhibiteurs de la germination de l'orge et mise au point d'un procédé de traitement des eaux de trempé en malterie en vue de leur recyclage. Mémoire de doctorat en procédés biotechnologiques et alimentaire. Institut national polytechnique de lorraine, 198p.

Hadria R. 2006. Adaptation et spatialisation des modèles strics pour la gestion d'un périmètre céréalier irriguée en milieu semi-aride. Thèse de doctorat. Université Cadi AYYAD Samlalia- Marrakech.

Hamoun et al. Consulté 2017. Les produits céréaliers intermédiaires. Institut agro-alimentaire de Lille avenue Paul Langevin 59650 Villeneuve d'Ascq, 140p.

Heller et al.2004. Physiologie végétale. Tome 2. Développement. Ed. Masson, Paris, 215 p.

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

INRAA.2006. Deuxième rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques, 68p.

Institut technique des élevages. 2014. Production de fourrage hors sol. SARL. AGRICULTURE BIOPHYTO ALGERIENNE, 24p.

James A. Duke. 1983. *Hordeum vulgare* L. Handbook of energy crops unpublished. Purdue university. Centre for new crops et plants products.

James A. Duke. 1983. *Hordeum vulgare* L. Handbook of energy crops unpublished. Purdue university. Centre for new crops et plants products.

KADI.Z .2012. Sélection de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) pour la tolérance aux stress abiotiques. Mémoire de doctorat en sciences, biologie végétale, université Ferhat Abbas Sétif, p 134.

- Khaldoum Khaldoun A. Chery J. Monneveux P. 1989. Étude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomie*, vol. 10, no 5, p. 369-379.
- Kodjo. 2015. La culture hors sol ou hydroponie : une technique à vulgariser. Production végétale ANADRER/DR Sud (Abidjan), 3p.
- Kouassi Simplicie. 2009. Fiche technico-économique : culture hydroponique de la tomate, bureau d'étude, de réalisation et d'évaluation de projets, 11p.
- Miralles-Bruneau M. 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 - Sicarévia. 84p.
- Mohammed Essadaoui. 2013. Bulletin de l'IMIST d'information technologique. Industrie agroalimentaire. N° 25, 34p.
- Mohammed. Makhlof M. Benmahammed A. Hassous KL. Bouzerzour H. 2003. Variabilité génotypique de la réponse à la double exploitation chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) cultivées dans les oasis de la région d'Adrar (Algérie). Mémoire doctorat, institut national d'agronomie, 114p.
- Moule. 1971. Phytotechnie spéciale II céréale. La maison rustique-Paris, 95 p.
- Omar Zeghouane. 2013. Bulletin des grandes cultures. Institut technique des grandes cultures El-Harrach. 8p.
- Philippe Grappin. 2001. Germination des semences. Dossier de l'environnement de l'INRA, vol. 21, 43-64 p.
- Philippe M. 1995. Les cultures végétales hors sol. Ecole nationale supérieure agronomique de toulouse, 304p.
- Rahal Bouziane H. 2015. L'orge en Algérie : passé, présent et importance pour la sécurité alimentaire, face aux nouveaux défis. INRAA centre de recherche de Mahdi Boualem, 18p.
- Rasmusson DC. 1992. Barley breeding at present and in the future. In Munck L (ed.): *Barley Genetics VI*, vol. II. Munksgaard Int. Publ. Ltd. Copenhagen, 865-877 p.
- Skaff. Wadih. 2001. Rôle de la pulpe de betterave dans l'amélioration de la production laitière et des matières grasses et protéiques du lait de vache. Mémoire de diplôme d'études approfondies (DEA) agroalimentaire assurance-qualité, institut national agronomique Parie-Grignon (INA P-G), 45p.

Souhila N. 2009. Diversité de 13 génotypes d'orge et de 13 génotypes de blé tendre : étude des caractères de production et d'adaptation. Mémoire de magister en biologie végétale, université de mentouri de Constantine, 187p.

Soltner D. 2005. Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles, 140p.

Valérie P. 2015. Irrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors sol du fraiseizr, des enjeux pour une production optimisée. Mémoire, Maitrise en sols et environnement. Maitre science (M. Sc). Université LAVAL, 81p.

William. 2015.L'hydroponique pour tous, tout sur l'horticulture à la maison – HydroScope, 357p.

Site internet

<http://archaeology.about.com/od/domestications/qt/wheat.htm>

<http://s.martinez.free.fr>

www.hydrodiscount.com

www.premiumfodder.com

Résumé

L'essai de production de la variété de l'orge (*Hordeum vulgare* L) locale hors sol évalué dans deux environnements et origines différentes, a abouti à des résultats intéressants au niveau de la chambre de culture, où l'environnement artificiel est contrôlé selon les besoins de développement de l'orge germé (T 20°C, H 59%, le taux d'arrosage est de 1minute/4h). Nous avons collecté un rendement de 29,68 kg MB/m² et de qualité sanitaire intéressante, contrairement au plein air où les conditions climatiques non contrôlées, nous avons enregistré un rendement de 19,33 kg MB/m² avec une qualité sanitaire peu satisfaisante.

Mot clé : hors sol, sans solution nutritive, chambre de culture, plein air, orge, variété locale.