

Liste des abréviations

Ca :	Calcium
CB :	Cellulose brute
CT :	Cendre Total
EE :	Extrait Ethéré
Ha :	Hectare
MAD :	Matière azotée digestible
MAT :	Matière azotée totale
MM :	Matières minérales
MO :	Matière organique
MS :	Matière sèche
N :	Azote
NFT :	Nutrient Film Technique
NS :	Azote soluble
NT :	Azote totale
P :	Phosphore
PDIE :	Protéine Digestibles dans l'Intestin permises par l'Energie
PDIN :	Protéine Digestibles dans l'Intestin permises par l'Azote
UF :	Unité Fourragère
UFL :	Unité Fourragère Lait
UFV :	Unité Fourragère Viande

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I: Fondements théoriques de l'hydroponique	
I. Introduction	3
II. Historique de la culture hydroponique	3
III. La relation de la plante avec son milieu	5
IV. La différence entre la terre et l'hydroponie	5
V. Différents systèmes de la culture hydroponique	7
1. Système hydroponique actifs et passifs	7
a) Un système hydroponique passif	7
b) Un système hydroponique actif	8
2. les systèmes hydroponiques avec et sans substrat	8
a) Systèmes sans substrat (liquide de culture)	8
➤ Aquiculture	9
➤ Technique du film nutritif (N.F.T.)	9
➤ Aéroponie	10
➤ Ultraponie	11
b) Systèmes avec substrat	11
➤ Système de table à marées (Flux-reflux)	15
➤ Système de goutte à goutte	15
➤ Système à flux continu	16
VI. Exigences de la culture hydroponique	16
VII. Les avantages de l'hydroponie	21
VIII. Inconvénients de l'hydroponie	26
IX. Les Etapes Principales De l'agriculture Hors Sol Des Cultures Maraicheres	29
1. Choix d'un terrain ou d'un espace.	29
2. La préparation du terrain.	29
3. Le semis et la pépinière.	29
4. Le repiquage et la plantation.	30
5. La conduite de la culture (entretien de la plantation).	31
6. La récolte.	31

X. Entretien et propreté	31
X. Soins essentiels	32
1. Température	32
2. L'humidité	33
3. L'extraction de l'air	33
4. La ventilation	34
5. La Chaleur	34
6. La Lumière	34
7. Pollinisation	35
XII. Identifier et corriger les problèmes	35
XII. Les 6 erreurs à ne pas commettre dans l'hydroponie	43
XIII. Est ce que c'est Bio ?	44
XIV. Conclusion	45

Chapitre II : Présentation botanique de l'orge et ses principales caractéristiques

I. Taxonomie de l'orge	46
II. Les principales caractéristiques de l'orge	48
1. Morphologie et structure du grain	48
2. Conditions de la germination	49
a) Conditions de germination externes ou liées au milieu	49
b) Conditions de germination internes	50

Chapitre III: Fondements théoriques de l'hydroponique et techniques de production du fourrage en vert

I. La technique de l'orge hydroponique	53
1. Principe	53
2. La mise en place du système	54
3. Le fonctionnement du système hydroponique	55
a) Paramètres du système	55
b) Les étapes nécessaires pour stimuler la germination	56
II. Avantages d'utilisation de la technique d'hydroponie	57
III. Intervention dans l'alimentation des animaux	59
IV. La valeur nutritive	62
V. La Qualité nutritive	66
VI. Pourquoi le fourrage vert est indispensable pour une bonne production ?	68
VII. Profil mycologique	72

CHAPITRE IV : Analyse empirique (Etude quantitative et qualitative du fourrage vert hydroponique)

I. Matériel et méthodes	76
1. Matériel	76
a) Présentation des unités de production	76
b) Techniques et procédures de transformation	78
2. Protocole expérimental	79
3. Analyses chimiques et méthodes de calcul	80
a) Conditionnement des échantillons à analyser	80
b) Détermination de la teneur en matière sèche	80
c) Broyage des échantillons	80
d) Détermination des teneurs en cendres totales et en matière organique	81
e) Détermination de la teneur en matières azotées	82
f) Dosage de la cellulose brute par la méthode de Weende	83
g) Dosage des matières grasses	84
h) La méthode de calcul des valeurs protéiques et énergétiques	85
i) La méthode de spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR)	87
II. Résultats et discussion	88
1. Rendement quantitatif	88
a) Evolution du taux de matière sèche	88
b) Evolution du poids de l'orge germée	89
2. Rendement qualitatif	90
a) Valeur nutritive	90
b) Valeurs protéiques et énergétiques	93
Conclusion Générale	95
Références bibliographiques	96

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La plupart des producteurs hydroponiques commerciaux combinent la technologie hydroponique avec un environnement contrôlé pour obtenir les produits de la plus haute qualité. Dans une structure verte, vous pouvez contrôler la température ambiante, l'humidité et les niveaux de lumière, ce qui vous permet de croître tout au long de l'année.

Dans les pays qui manquent de ressources fourragères, l'alimentation des bétails représente la charge la plus importante pour la production animale. Ces pays et régions sont directement dépendants d'autres pays producteurs et fournisseurs de matières premières fourragères.

En effet, dans de nombreuses petites exploitations, l'élevage est bien souvent le seul moyen de subsistance pour la famille. Cependant, la taille réduite des exploitations, la transformation des systèmes de production, la perte des pâturages par réduction des terres de parcours et la disparition ou la diminution de la jachère ainsi que la succession de plusieurs années de sécheresse, rendent pratiquement impossible toute augmentation du rendement des animaux.

Comme les ruminants sont en premier lieu des valorisateurs de la cellulose, les fourrages doivent être considérés comme facteurs essentiels d'amélioration de la production, de la productivité et de la rentabilité du secteur lait et du secteur viande.

Sachant que le fourrage en vert est l'aliment prioritaire pour la majorité des animaux d'élevage et particulièrement des ruminants, son déficit limite toute augmentation du rendement des animaux. Ce qui oblige les éleveurs d'utiliser excessivement le concentré qui est un aliment coûteux. Cette situation entraîne par conséquent une hausse continue des prix des produits d'origine animale comme la viande, le lait et les œufs touchant ainsi le pouvoir d'achat du consommateur. D'autres techniques peuvent améliorer le potentiel fourrager notamment la culture hydroponique qui paraît intéressante et permet de produire un fourrage de qualité appréciée par les animaux.

La science de l'hydroponie prouve que le sol n'est pas nécessaire pour la croissance des plantes, mais les éléments, les minéraux et les éléments nutritifs que contient le sol sont nécessaires. Le sol est simplement le titulaire des nutriments, un endroit où les racines des plantes vivent traditionnellement et une base de soutien pour la structure de la plante.

L'hydroponie permet à un agriculteur de cultiver des plantes de manière plus efficace et productive avec moins de travail et de temps requis.

Le fourrage vert hydroponique est adopté dans plusieurs pays qui ont du affronté ce type de problématique comme l'Amérique latine, l'Australie, l'Europe et récemment le Moyen Orient

où cette technique a connu un large succès. En effet, grâce à la culture hydroponique, nous pouvons produire sur une surface très réduite, une quantité garantie de fourrage vert 100% naturel et quel que soient les conditions climatiques. Cette technologie produit de manière constante une herbe de qualité optimale et de consistance printanière tout au long de l'année, indépendamment des vicissitudes saisonnières.

Es-tu que le fourrage hydroponique peut être une solution pour assurer la rentabilité de notre élevage ??

Pour répondre à cette question j'ai fait ce travail qui s'intéresse aux questions suivantes :

- Qu'est-ce que la culture hydroponique ?
- Quels sont ses différents systèmes ?
- Comment fonctionne le système hydroponique du fourrage en vert ?
- La production fourragère par hydroponie est-elle rentable ?

Chapitre I

Chapitre I: Fondements théoriques de l'hydroponique

Ce chapitre est réservé aux concepts de la culture hydroponie en général

VI. Introduction

Du grec ponos : effort et hydro : eau, est la culture de plantes réalisée sur substrat neutre et inerte (de type sable, pouzzolane, billes d'argile, etc.).

Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte les sels minéraux et nutriments essentiels à la plante. Ce procédé a de nombreux avantages : moindre consommation d'eau, croissance contrôlée et rapide, moins d'attaque de nuisibles du sol, meilleure maîtrise de la précocité.

La culture hydroponique permet également une automatisation de la culture : température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide «EC », ventilation.

La culture hydroponique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains légumes sous serre. Cette technique de culture s'est développée pour aboutir aujourd'hui à l'aéroponie et depuis très récemment l'ultraponie. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nyctéméral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an (Texier, 2013).

VII. Historique de la culture hydroponique

La culture hydroponique est considérée actuellement comme une pratique moderne, mais la culture des plantes dans des conteneurs par-dessus du sol a été tentée à différentes époques à travers l'histoire.

Les peintures murales trouvées dans le temple de Deir el Bahari semblent être le premier cas documenté de plantes cultivées en conteneur (Naville, 1913). Les arbres matures étaient transférés de leur pays d'origine vers le palais du roi et ensuite cultivés en culture hors-sol lorsque les sols locaux n'étaient pas adaptés pour la plante. Beaucoup d'anciennes civilisations ont utilisé la culture hors-sol pour leurs productions agricoles. Dans les dessins hiéroglyphiques égyptiens remontant à plusieurs centaines d'années avant J-C montre la culture des plantes dans l'eau. Les jardins Aztèques flottants utilisés pour certaines cultures. Le jardin suspendu de Babylone est aussi un bon exemple de la culture hors-sol.

La publication la plus ancienne sur la culture hors-sol était le livre Sylva Sylvarum publié en 1627 par Francis Bacon ; et après cela, la culture de l'eau est devenue une technique de

recherche populaire. En 1699, John Woodward a publié ses expériences de la culture de l'eau avec la menthe verte. En 1859-1860, les découvertes des botanistes allemands Julius von Sachs et Wilhelm Knop ont abouti à un développement de la technique de la culture hors-sol. Cette technique de culture est devenue rapidement un standard de la recherche et de l'enseignement qui est encore largement utilisé et considéré actuellement comme un type de la culture hydroponique.

En 1929, William Frederick Gerick Berkeley a fait publiquement la promotion de cette culture comme solution utilisée pour la production agricole. Gerick a fait pousser des tomates à vingt-cinq pieds de haut dans des solutions nutritives minérales plutôt que le sol. Il a aussi inventé le terme de la culture hydroponique en 1937 pour la culture des plantes dans l'eau (du grec hydro, «eau», et ponos, «travail»). Un des premiers succès de la culture hydroponique a eu lieu à Wake Island où la culture hydroponique était utilisée pour cultiver des légumes pour les passagers. Dans les années 1960, Allen Cooper en Angleterre a développé la technique du film des éléments nutritifs. Le terrain du Pavillon à Epcot Center de Walt Disney World a ouvert en 1982 et figure en bonne place parmi les différents types des techniques hydroponiques.

Durant les années 1960 et 70, les fermes commerciales de la culture hydroponique ont été développées à Abu Dhabi, en Arizona, Belgique, Californie, Danemark, Allemagne, Hollande, Iran, Italie, Japon, la Fédération de Russie et d'autres pays.

Au cours des années 1980, de nombreuses fermes hydroponiques automatisées et informatisées ont été établies dans le monde entier. Au cours des dernières décennies, la NASA a effectué des recherches approfondies en hydroponie pour leur système contrôlé de soutien à la vie écologique ou CELSS. (Jorge C., 2013)



Figure 47 : jardine suspendus de Babylone

VIII. La relation de la plante avec son milieu

Les conditions mentionnées dans l'introduction (meilleur rendement, maturité plus rapide, résultats uniformes) sont des caractéristiques d'une bonne relation entre la plante et son milieu. Celle-ci n'a pas besoin de terre, comme telle, mais des réserves d'éléments nutritifs et de l'humidité contenus dans la terre ainsi que du support qu'elle lui offre. Tout milieu propice à la culture peut rencontrer ces exigences et offrir un support adéquat. Dans un milieu stérile dépourvu de ces réserves, on peut s'assurer que chaque plante reçoive la quantité exacte d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires à sa croissance.

En effet, tandis que la terre tend à absorber l'eau et les éléments nutritifs aux dépens de la plante, rendant plus complexe de déterminer la quantité d'eau et d'engrais nécessaire à sa croissance, La culture hydroponique, elle, est tout autre car ces éléments sont dissous et la solution est absorbée par la plante en doses exactes et à des intervalles réguliers.

IX. La différence entre la terre et l'hydroponie

Quelles sont les différences entre la culture en terre et la culture hors sol?

Déjà il est bon de rappeler qu'une plante issue d'une culture hydroponique n'aura pas forcément :

- un meilleur goût qu'une plante cultivée en terre
- une taille supérieure à une plante cultivée en terre

- des buds plus compacte qu'en terre
- un effet supérieur à une plante cultivée en terre et vice versa.

Il est tout à fait possible de faire des cultures de quantité astronomique aussi bien en terre qu'en hydro.

Tout comme il est tout à fait possible de réaliser des cultures de qualité avec les 2 types de cultures.

Passons en revue les avantages et inconvénients de chaque culture :

➤ **Inconvénients de la culture en terre :**

- saleté accrue due à la manipulation de terre
- obligation d'arroser régulièrement
- présence accrue de « squatteurs » dans le substrat
- difficulté d'apprécier l'arrosage pour un débutant
- difficulté pour gérer les engrais pour un débutant
- difficulté d'éradiquer les maladies et autre champignons
- demande un minimum d'expérience pour élaborer un bon terreau
- rendement inférieur à celui d'une culture hydroponique

➤ **Avantages de la culture en terre :**

- goût un peu plus « roots » parfois
- coût de revient d'une installation de départ moindre
- consommation d'engrais inférieure à celle de la culture hydroponique
- possibilité de pratiquer une culture bio
- entretien simplifié du matériel
- récolte plus importante si c'est en extérieur
- pas de vérification du pH ni de l'EC à effectuer régulièrement
- limitation des problèmes de pH du à l'effet tampon de la terre

➤ **Inconvénients de la culture hydroponique :**

- Coût élevé au commencement de la culture du à l'achat du matériel
- Obligation de surveiller régulièrement le pH et l'EC
- Consommation accrue d'engrais
- Obligation d'accroître la sécurité à cause de la proximité de l'eau et des câbles
- Nécessite d'utiliser des bacs de qualité suffisante pour éviter les fuites pendant l'absence du cultivateur et les problèmes qui vont avec (débarquement des pompiers, et peut être des fonctionnaires de police....)

➤ Avantages de la culture hydroponique :

- Possibilité de s'absenter quelques jours grâce à l'automatisation relative d'un système hydroponique
- Rendements souvent supérieur à celui d'une culture en terre (suivant l'expérience bien sur)
- Traitement simplifié des carences, maladie ou champignons par rapport à la terre
- Propreté optimale
- Substrat réutilisable à l'infini (billes d'argile)
- Pas de souci de sur/sous arrosage
- Un seul système est nécessaire pour tout le cycle

Source (cannaweed, 2008)

X. Différents systèmes de la culture hydroponique

Nous allons faire une distinction entre les systèmes de culture actifs et passifs. (Comme nous pourrions faire une distinction entre les systèmes hydroponiques avec et sans substrat)

1. Système hydroponique actifs et passifs :

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

c) Un système hydroponique passif

Utilise les propriétés du substrat (ou d'une mèche) pour acheminer l'eau et les nutriments aux racines par capillarité.

Ces systèmes conviennent aux amateurs de plantes distraits. En effet, le système distribue en permanence l'eau aux plantes et il suffit de compléter la réserve de solution nutritive.



Figure 48 : système hydroponique passif

Source : Hydrobox Team

d) Un système hydroponique actif

Utilise des pompes qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique pour distribuer la solution nutritive.

Les systèmes hydroponiques actifs sont les plus performantes ; irrigation est déclenché quand il faut et à la juste quantité, conformément aux besoins des plantes.

La circulation de la solution nutritive dans un système actif permet d'augmenter la concentration en dioxygène (O₂) et d'homogénéiser la soupe nutritive. Ils permettent aussi d'obtenir des cycles de saturation en eau/sécheresse du substrat, contrairement aux systèmes passifs. (Certaines plantes comme le Laurier rose -Nerium oleander- demandent des alternances d'irrigation et sécheresse pour fleurir).

Ces dernières années ont vu les unités de système hydroponique passif en net recul par rapport au système hydroponique actif. En effet, ces derniers sont plus performants.

Cependant, face au contexte de « crise de l'énergie » et en attendant les systèmes actifs à énergie renouvelable nous semblait judicieux de parler de ces systèmes passifs

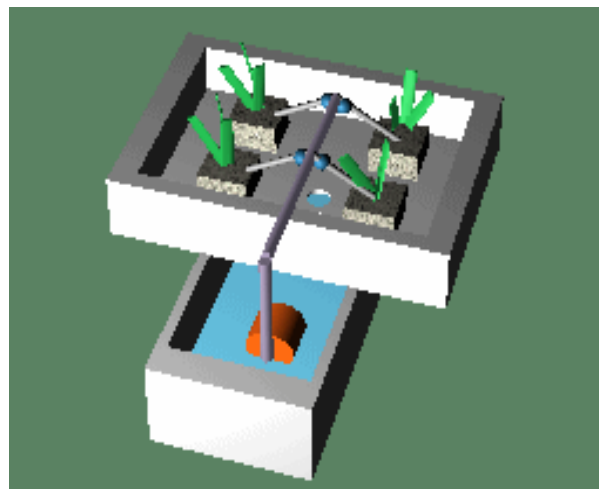


Figure 49 : système hydroponique actif

Source : Hydrobox Team

2. les systèmes hydroponiques avec et sans substrat

c) Systèmes sans substrat (liquide de culture)

La plante est soutenue au-dessus des racines, carton, plastique, bois ou du fil de fer, les racines sont en permanence ou par intermittence immergées dans une solution nutritive. Ce système comprend la culture dans les tubes, technique du film nutritif (nutriment film technique :

NFT) et les inondations hydroponiques. Dans la plupart de ces systèmes, la solution nutritive est réutilisée (Ellis et Swaney, 1947).

i. Aquiculture

Dans l'aquiculture, 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. L'aquiculture reste de ce fait un système destiné à la recherche et peu développé dans la pratique (Cervantes, 2012).



Figure 50 : système aquiculture

i. Technique du film nutritif (N.F.T.)

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

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

Un avantage principal du système NFT par rapport aux autres est qu'il nécessite moins de solution nutritive. Il est donc plus facile de chauffer la solution pendant l'hiver pour obtenir les températures optimales pour la croissance des racines et de la refroidir pendant les étés chauds dans les zones arides ou tropicales (Graves 1983).

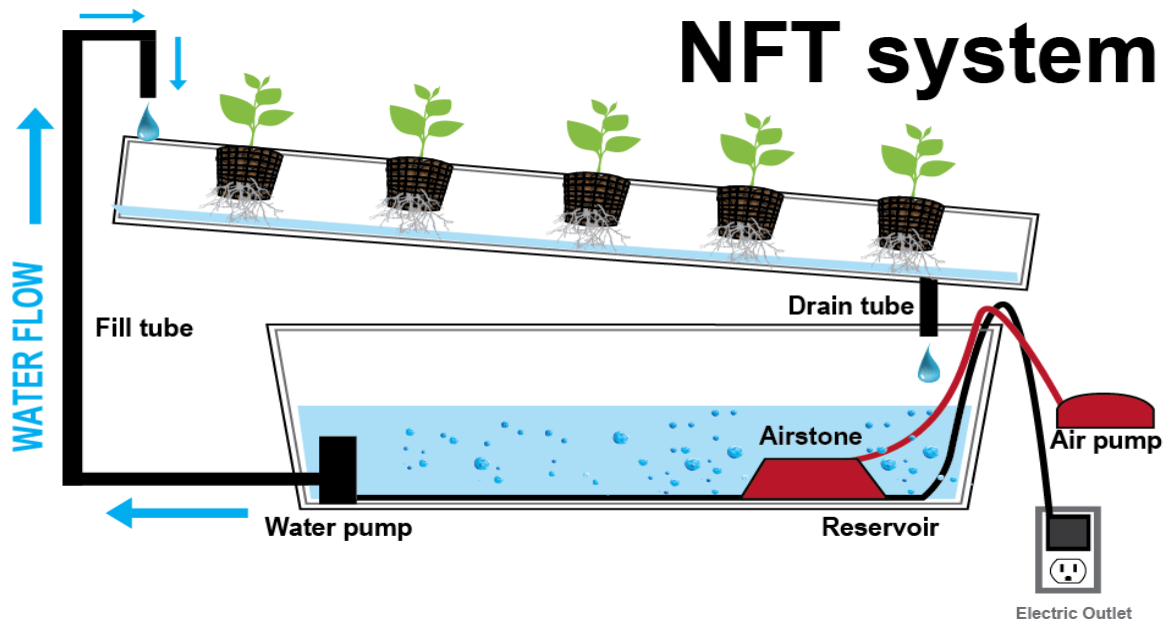


Figure 51: système NFT

Source (google)

iii. Aéroponie

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

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

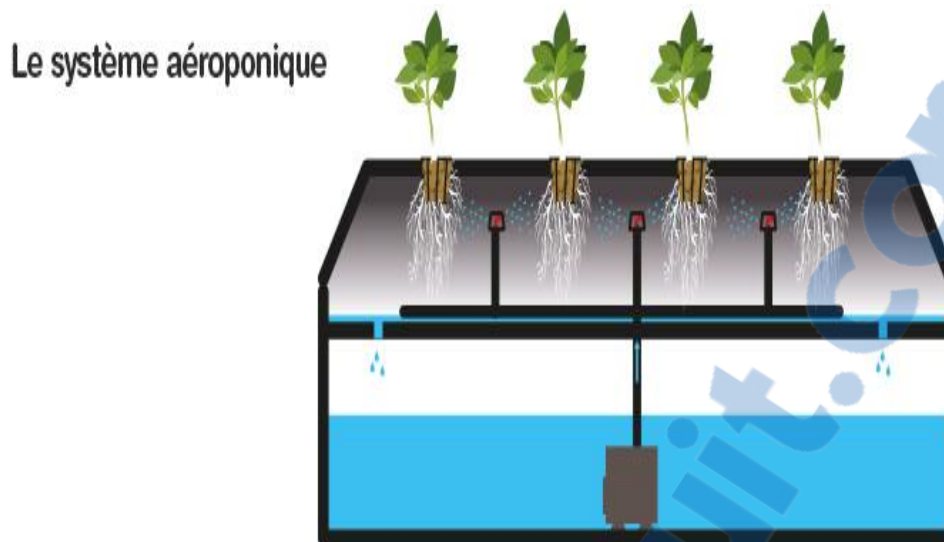


Figure 52 : système aéroponie

Source :(google)

iv. Ultraponie

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

d) Systèmes avec substrat

Cette technique se rapproche le plus de ce qui se passe dans le sol pour une culture traditionnelle par l'alternance irrigation/drainage. En outre, le substrat assure aussi une réserve d'eau et d'éléments nutritifs contrairement aux techniques sans substrat. Elle fait appel à un support solide qui contribue à l'oxygénation. Par ailleurs, elle présente de nombreux inconvénients concernant le renouvellement et le recyclage des substrats utilisés.

i. L'origine minérale:

- Naturels (extraits) : graviers, sables, pouzzolane.
- Manufacturés: laine de roche, laine de verre, argile expansée, vermiculite, perlite. (Alain, 2003)

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

Le sable : favorise le drainage et empêche les mélanges de s'agglomérer. On peut utiliser aussi bien du sable d'horticulture que du sable de construction, mais il faut éviter le sable de pierre à chaux. Le sable est très lourd et il est le plus souvent remplacé par la perlite et la vermiculite. On peut toutefois en lester le fond des récipients s'il y a menace de basculement. Le sable peut servir d'ingrédient minoritaire dans les systèmes à réservoir, à goûte-à-goûte, à mèche et à table à marée. La finesse de son grain, jointe à son poids élevé, fait qu'il a tendance à migrer vers le fond du récipient au fil du temps.

La laine de roche : est le substrat de culture inerte le plus employé en horticulture. Ce matériel est obtenu par la fusion d'un mélange de basalte, de calcaire et de coke, dégradé en fibres stables qui résistent à la biodégradation pendant une longue période (Morard, 1995).

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

La vermiculite : est une argile phylliteuse (en feuillet ou mica) qui contient de l'eau. Lorsqu'elle est traitée à une chaleur d'environ 1100°C, l'eau comprise entre les feuillets provoque un gonflement de 10 à 12 fois l'épaisseur initiale produisant des fragments de 1 à 6 mm (Morard, 1995).

La perlite : est un sable siliceux d'origine volcanique chauffé à plus de 1000°C qui fond et gonfle d'environ vingt fois son volume. Il en résulte des perles blanches vitreuses, légères, très poreuses, contenant 75% de silice initial (Blanc, 1987; Morard, 1995).

ii. L'origine organique :

- Naturels: tourbe, terreau, cèdre rouge, écorces de pin, fibres de coco.
- Synthétiques: matériaux plastiques expansés, billes de polystyrène, mousse de polyuréthane, grains d'eaux (polycrylamides) (Alain, 2003).

La tourbe : est de la mousse décomposée. Elle peut retenir une énorme quantité d'eau et elle est utilisée par de nombreuses marques de terreau pour ses qualités nutritives (Bunt, 1988). Il ne faut utiliser que de la tourbe « pH ajusté » ou « pH équilibré ». La tourbe est fine et granuleuse; sèche, elle résiste à l'imprégnation par l'eau; c'est pourquoi il faut la pré-humidifier dans son emballage.

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

Le polystyrène expansé : sert à alléger les substrats. Ce matériau neutre présente une capacité de rétention nulle, sa surface hydrophobe ne retient pas le liquide. Le polystyrène s'emploie donc le plus souvent en combinaison avec d'autres matériaux. Utilisé seul sous forme de billes expansées, il est également très efficace pour le paillage dans les serres froides. Lavable, réutilisable et neutre ; donc adapté aux espèces non acidophiles, il constitue un matériau de paillage appréciable dans la culture hydroponique étant exempt de tout parasite.

Tableau 8 : Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique

Les substrats organiques	Les substrats minéraux
<p data-bbox="437 421 587 450">Polystyrène</p> 	<p data-bbox="1018 434 1219 463">Argile expansée</p> 
<p data-bbox="448 824 576 853">La tourbe</p> 	<p data-bbox="1023 808 1214 837">Laine de roche</p> 
<p data-bbox="459 1317 564 1346">Terreau</p> 	<p data-bbox="1043 1317 1193 1346">Vermiculite</p> 

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

➤ **Système de table à marées (Flux-reflux)**

Parfois appelés « inondation-drainage », ils se composent d'une table étanche à rebords. La table est périodiquement inondée grâce à l'eau d'un réservoir. Dès que la table est pleine, le substrat est irrigué, la pompe s'arrête automatiquement, ce qui permet à l'eau de s'écouler.

Les petits systèmes de ce genre sont disponibles auprès des marques spécialisées dans l'hydroponie. L'acquisition d'un système entier s'avérera peut-être plus aisée que la recherche des pièces une à une. De tous les systèmes hydroponiques d'eau vive, les tables à marées sont les moins chers à installer et ceux qui réclament le moins de maintenance. Ils génèrent peu de problèmes de plomberie. En effet, comme ils utilisent uniquement des conduites d'un diamètre relativement important, il est rare qu'ils se retrouvent bouchés.

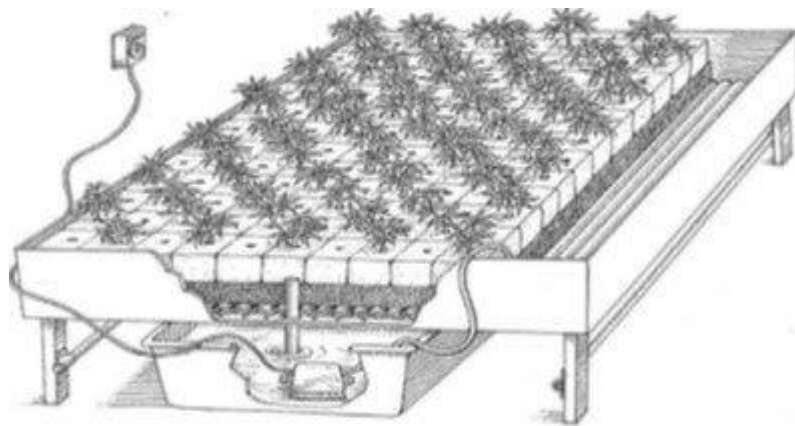


Figure 53 : Le système de table à marées (Flux-reflux).

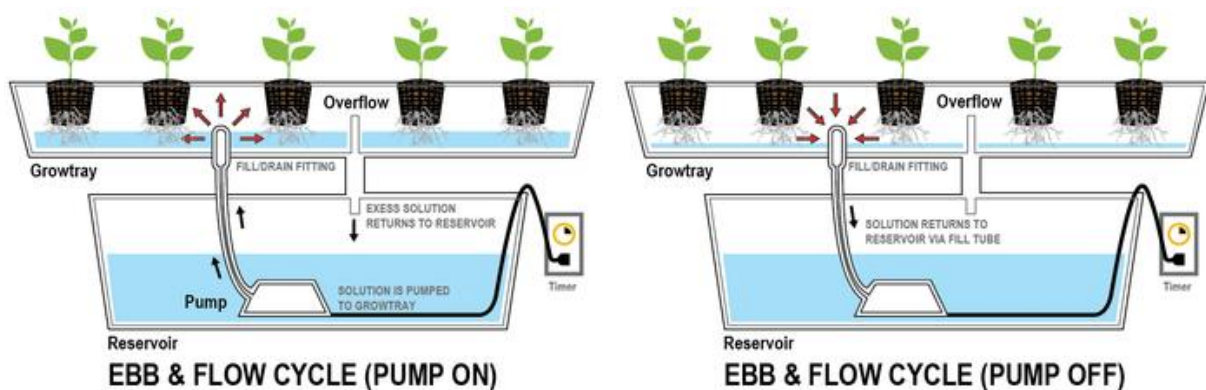


Figure 54 : Fonctionnement d'une table à marée

➤ **Système de goutte à goutte**

Ces systèmes utilisent une pompe qui amène l'eau au-dessus du substrat via un goûte-à-goutte. L'eau s'infiltre à travers le substrat, redescend dans le réservoir et est prête à être réinjectée. Les systèmes goûte-à-goutte sont faciles à installer. L'eau est pompée dans un réservoir,

généralement situé sous l'espace planté, jusqu'aux goutte-à-goutte, un pour chaque plant. Les plants eux-mêmes peuvent être installés dans les pots individuels ou sur un plateau commun. L'eau circule à travers les pots et revient dans le réservoir. La capacité du réservoir doit être d'environ 40 litres au mètre carré de plantation. Les marques spécialisées dans l'hydroponie commercialisent un certain nombre de systèmes de goutte-à-goutte ingénieux. Certains d'entre eux réutilisent l'eau de chaque pot, avec un plant par pot. D'autres réutilisent l'eau d'un réservoir central. Les deux systèmes marchent bien.

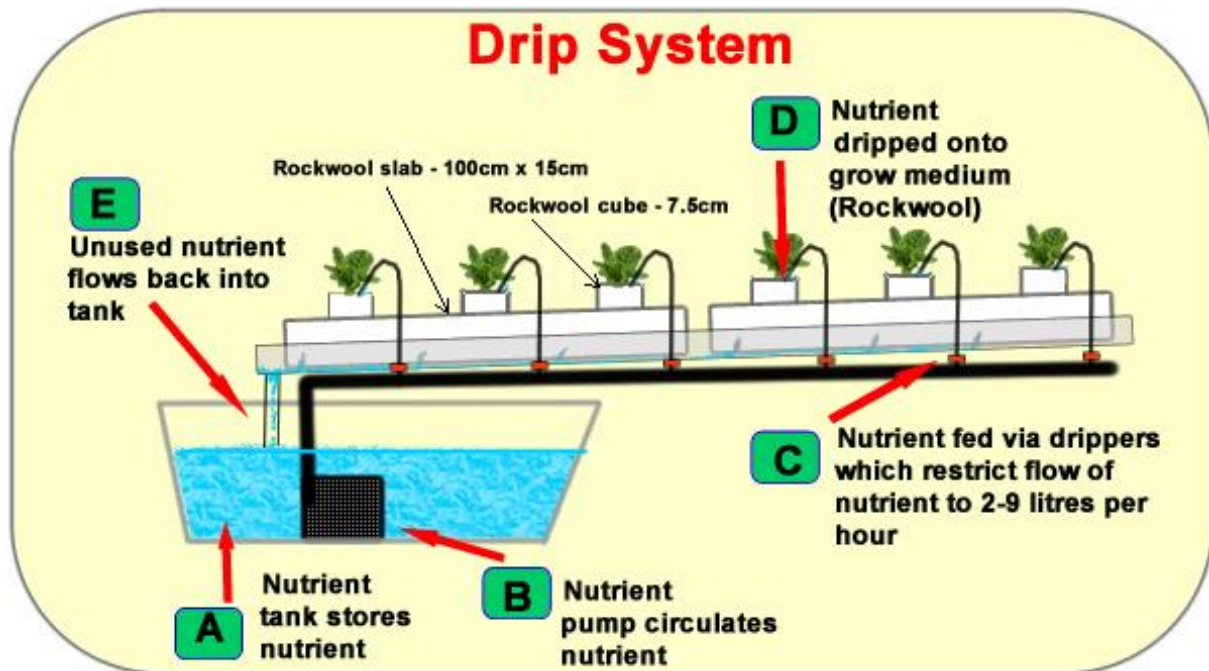


Figure 55: système goutte à goutte

➤ Système à flux continu

Ce système est généralement de petite taille et constitué de plusieurs petites unités. Ce système a des applications multiples. Il est surtout utilisé pour la culture de plantes culinaires ou aromatiques. Les plantes poussent dans des bacs opaques remplis le plus souvent de billes d'argile, car ce substrat n'engendre pas de déchets et donc n'encrasse pas le réservoir qui est placé en-dessous. Pour éviter que les racines ne soient abîmées, une pompe à air envoie la solution dans une colonne de pompage, puis la répartit par un anneau de distribution.

X. Exigences de la culture hydroponique

La culture hors-sol exige souvent plus de soins et d'entretien que les cultures traditionnelles en terre. Lorsqu'on utilise les techniques de culture hors-sol (essentiellement pratiquée sous serre ou sous abri), il faut raisonner par rapport à tout un système et ne pas porter son attention sur un élément ou un paramètre isolé. La culture hydroponique exige une parfaite

maîtrise de l'ensemble du système car en cas d'échec, davantage d'éléments peuvent dysfonctionner :

- un éclairage adéquat (éclairage artificiel, minuterie, etc.)
- un système de culture et d'irrigation contrôlé et entretenu (contenants, Submersibles ou des pompes à eau ordinaire, régulation, désinfection, substrats appropriés...)
- un contrôle environnemental (température ambiante et des solutions, hygrométrie, enrichissement en dioxyde de carbone...)
- un contrôle des niveaux de concentration des éléments nutritifs par une CE mètre
- un contrôle du pH de l'eau et la solution nutritive par pH mètre (Raviv et Heinrich, 2008).

➤ **Solution nutritive**

On distingue deux principales catégories de nutriments :

Les sels minéraux : Azote (N), Phosphore (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Chlore (Cl), Magnésium (Mg), Sodium (Na), Soufre(S), etc.

Les Oligo-éléments : Fer (Fe), Cuivre (Cu), Brome (Br), Cobalt (Co), Zinc (Zn), Aluminium (Al), Silicium (Si), Manganèse (Mn), Molybdène (Mo), Iode, Sélénium, Vanadium, etc.

Parmi les facteurs qui influence les systèmes hydroponiques, la solution nutritive qui est considérée comme l'un des plus importants facteurs déterminants du rendement et de la qualité des cultures.

Une solution nutritive pour les systèmes hydroponiques est une solution aqueuse contenant principalement des ions inorganiques de sels solubles des éléments essentiels pour les plantes supérieures. Finalement, certains composés organiques tels que les chélates de fer peuvent être présents (Steiner, 1968). Un élément essentiel a un rôle clairement physiologique et son absence empêche le cycle de vie de la plante complètement (Taiz et Zeiger, 1998). Actuellement 17 éléments sont considérés comme essentiels pour la plupart des plantes, ce sont le carbone, hydrogène, oxygène, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, soufre, fer, cuivre, zinc, manganèse, molybdène, bore, chlore et nickel (Salisbury et Ross, 1994). À l'exception du carbone (C) et l'oxygène (O) qui sont fournis dans l'atmosphère. Les éléments essentiels sont obtenus à partir du milieu de croissance. Autres éléments comme le sodium, Silicon, vanadium, sélénium, cobalt, aluminium et iode parmi d'autres, sont considérés comme utiles parce que certains d'entre eux peuvent stimuler la croissance, ou compenser les effets toxiques d'autres éléments ou même remplacer les éléments nutritifs essentiels dans un rôle moins spécifique (Trejo-Téllez et coll., 2007). Les solutions nutritives les plus élémentaires sont envisagées avec une composition comportant l'azote, le phosphore,

le potassium, le calcium, le magnésium et le soufre qui sont complétées par des micronutriments.

La composition nutritionnelle détermine la conductivité électrique et la pression osmotique de la solution. En outre, il y a d'autres paramètres qui définissent une solution nutritive comme indiqué ci-dessous en détail.

➤ Gestion de la solution nutritive

Bien que la nutrition optimale soit facile à réaliser dans la culture hors-sol, la gestion incorrecte de la solution nutritive peut endommager les plantes et conduire à un échec complet. Manipuler avec précaution le niveau de pH de la solution nutritive, la température et la conductivité électrique et le remplacement de la solution à chaque fois que c'est nécessaire conduira à la réussite d'un jardin de culture hors-sol.

➤ Le pH

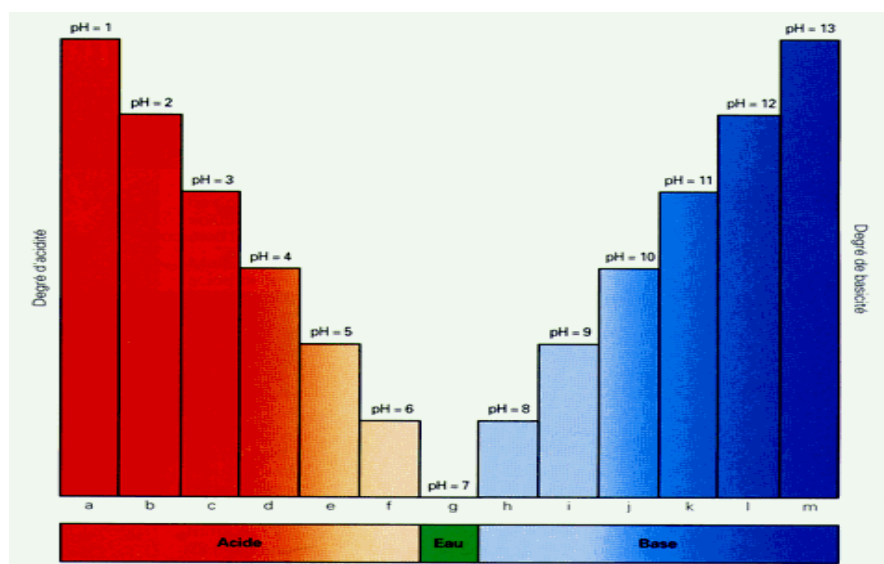


Figure 56 : les niveaux de ph

Le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité sur une échelle de 1 à 14. La gamme de pH optimale pour la solution nutritive de culture hors-sol est comprise entre 5,8 et 6,5. Plus le pH d'une solution nutritive dépasse la gamme de pH recommandée, plus on a de chances d'échouer. Les carences nutritionnelles apparaîtront ou des symptômes de toxicité se développeront si le pH est supérieur ou inférieur à la fourchette recommandée pour les différentes cultures. La valeur du pH détermine la disponibilité des nutriments pour les plantes. En conséquence, son réglage doit être fait tous les jours.

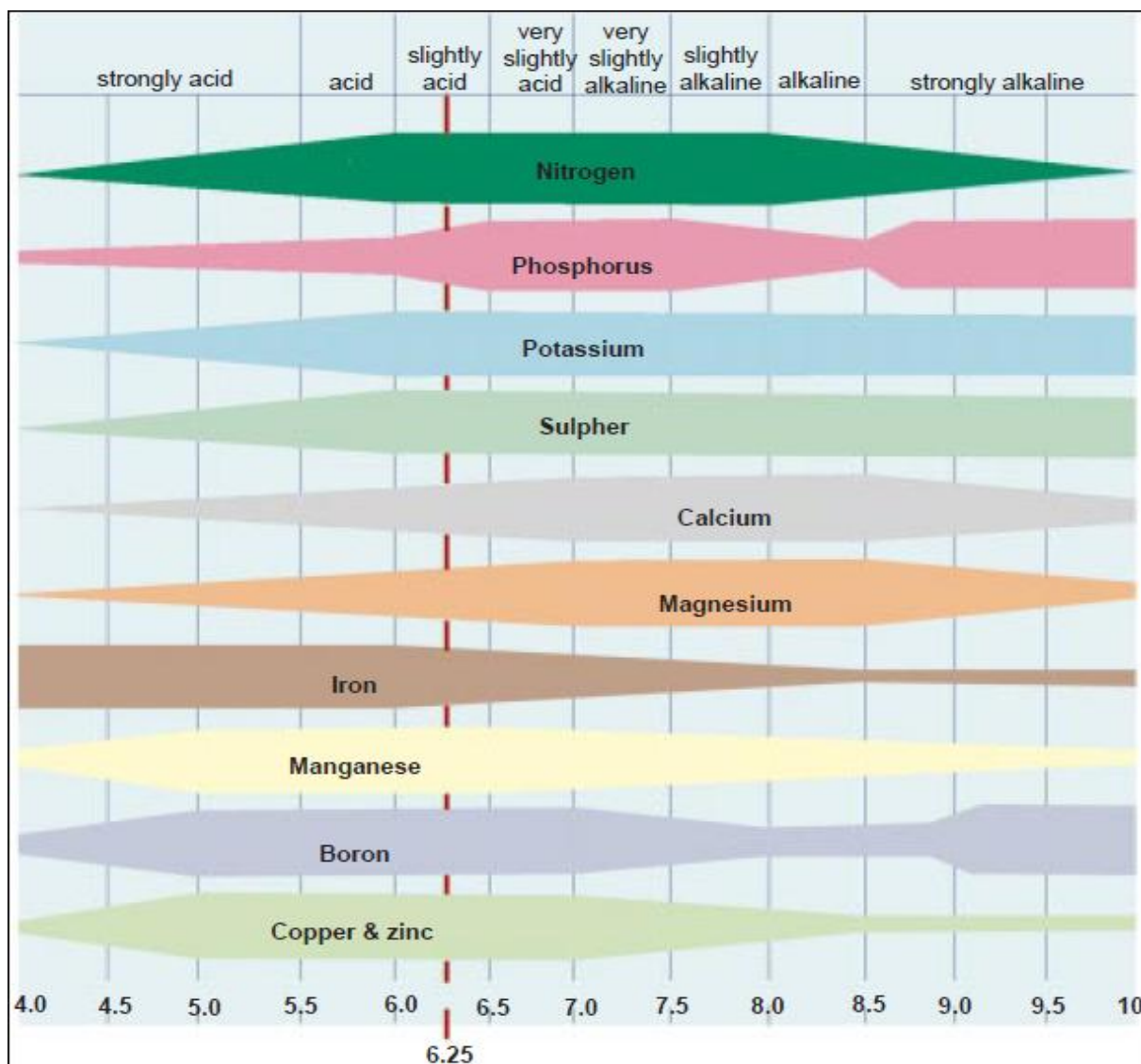


Figure 57 : Graphique montrant la disponibilité des éléments nutritifs à différents niveaux de pH.

Si le pH de votre solution ne se situe pas entre 5,6 et 6,5 (de façon générale) essayer les remèdes suivant:

À une solution alcaline, ajouter une cuillère à table de vinaigre blanc pour 13,60 litres d'eau et vérifié le degré de pH toutes les 8 heures; le vinaigre met parfois plusieurs heures à agir sur la solution. L'emploi du vinaigre n'est néanmoins qu'une mesure temporaire. De façon général, il est instable pour donner satisfaction plus que quelques jours.

À une solution trop acide, ajoutez tout simplement du bicarbonate de soude. Il est difficile de spécifier ici la quantité à cause des grandes variations dans la qualité de l'eau et l'équilibre de la solution. Essayer une cuillère à table par 13,60 litres d'eau. L'expérience sera votre meilleur guide.

Si vous voulez être plus précis, ajoutez de l'acide phosphorique à une solution trop alcaline. Il est beaucoup moins dangereux que les acides communément employés par les maraîchers. Ne vous laissez pas effrayer par le mot acide; utilisé judicieusement, l'acide phosphorique est presque inoffensif. En cas d'éclaboussure, veuillez seulement vous laver avec du bicarbonate de soude et de l'eau.

Comment fait-on le test du pH? Les deux méthodes les plus simples et rapides sont le test au papier tournesol et celui des indicateurs colorés. Ces deux indicateurs sont disponibles un peu partout, comme par exemple dans les clubs piscines. Ils sont faciles d'utilisation et suffisamment précis. Le test du pH doit se faire de façon hebdomadaire.

Tableau : Pour plus de précision, voici une liste qui vous indique le niveau de pH idéal pour certains légumes, fruits et plantes aromatiques.

Tableau 9 : Le niveau de pH idéal pour certains légumes, fruits et plantes aromatiques.

Ail	5,5-8,0	Épinard	6,0-7,5
Aubergine	5,5-6,5	Fève de soja	6,0-7,0
Bette à carde	6,0-7,5	Fraise	5,0-6,5
Betterave	6,0-7,5	Haricot de Lima	6,0-7,0
Brocoli	6,0-7,0	Haricot vert	6,0-7,5
Cantaloup	6,0-7,5	Laitue	6,0-7,0
Carotte	5,5-7,0	Moutarde	6,0-7,5
Céleri	5,8-7,0	Navet	5,5-6,8
Chicorée	5,0-6,5	Oignon	6,0-7,0
Chou	6,0-7,5	Okra	6,0-7,5
Chou de Bruxelles	6,0-7,5	Panais	5,5-7,0
Chou-fleur	5,5-7,5	Pastèque	5,5-6,5
Chou frisé	6,0-7,5	Persil	5,0-7,0
Chou-rave	6,0-7,5	Poireau	6,0-8,0
Ciboulette	6,0-7,0	Pois	6,0-7,5
Concombre	5,5-7,0	Poivron	5,5-7,0
Courge d'été	6,0-7,5	Radis	6,0-7,0
Courge d'hiver	5,5-7,0	Sauge	5,5-6,5
Cresson	6,0-8,0	Thym	5,5-7,0
Endive	5,8-7,0	Tomate	5,5-7,5

➤ **Conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique indique la concentration de la solution nutritive, telle que mesurée par un CE mètre. L'unité de mesure de la CE est le dS/m. Une limitation de la CE n'indique que la concentration totale de la solution et non celle de chaque élément des composants nutritifs. La CE idéale est spécifique à chaque culture et dépend des conditions environnementales (Sonneveld et Voogt, 2009). Toutefois, les valeurs de la CE pour les systèmes hydroponiques sont de 1,5 à 2,5 ds m⁻¹. Une CE supérieure empêche l'absorption des nutriments en augmentant la pression osmotique, alors qu'une CE inférieure peut gravement affecter la santé des plantes et le rendement (Samarakoon et al., 2006). La diminution dans l'absorption d'eau est fortement corolaire à la CE (Dalton et al., 1997). Lorsque les plantes absorbent les nutriments et l'eau de la solution, la concentration totale de sel, à savoir, la CE de la solution change. Si la CE est supérieure à la gamme recommandée, l'eau fraîche doit être ajoutée pour la diluer. Si elle est inférieure, il faut ajouter des éléments nutritifs pour augmenter sa concentration. (Nelson, 2003).

➤ **Température**

La température de la solution nutritive présente une relation directe avec la quantité d'oxygène consommée par les plantes, et une relation inverse de l'oxygène dissous en elle. La température affecte également la solubilité des engrais et de la capacité de l'absorption des racines. Il est évidemment important de contrôler cette variable en particulier dans un climat extrême. Chaque espèce végétale a une température minimale et maximale pour la croissance, ce qui nécessite l'installation des systèmes de chauffage ou de refroidissement pour équilibrer la température de la solution nutritive. Les rendements diminuent lorsque la température de la solution nutritive augmente pendant les périodes chaudes (Jensen, 1999). Au cours de la circulation d'eau la chaleur peut s'échanger entre la solution nutritive et l'eau stockée dans la conduite d'eau souterraine. En outre, cette circulation peut chauffer la solution nutritive qui devenue trop froide dans les nuits froides de l'hiver (Hidaka et al., 2008).

XI. Les avantages de l'hydroponie

Peut-être ne voyez-vous pas l'utilité d'investir dans un système hydroponique quand vous pouvez mettre une plante en pot et l'y faire pousser à peu de frais. Pour tout dire, je pense que ce n'est pas la bonne façon d'appréhender les choses, et qu'il existe d'innombrables raisons d'avoir recours aux technologies hydroponiques. Passons en revue ce que peut apporter l'hydroponie, d'abord à l'échelle de la planète, puis dans votre propre espace de culture.

➤ **Le contrôle de la nutrition :** Le premier avantage – et il est de taille – est de vous permettre un contrôle absolu de la nutrition de vos plantes. Seuls les éléments que vous introduisez dans l'eau sont présents dans la zone racinaire, dans les proportions que vous avez choisies. À tout moment, vous pouvez vérifier la qualité et la quantité de nutriments dissous dans l'eau. N'oubliez pas que c'est grâce aux technologies hydroponiques que la science végétale a progressé ces deux derniers siècles, en particulier dans le domaine de la nutrition des plantes. Aujourd'hui, la plupart des recherches autour du végétal se font à l'aide de l'hydroponie. D'un autre côté, l'hydroponie est également utilisée dans la recherche sur les gènes et sur le transfert génétique. . (William T, 2013).

➤ **La conservation de l'eau :** Ne vous méprenez pas : une plante a besoin de transpirer une certaine quantité d'eau pour se garantir une croissance saine. La rapidité avec laquelle les plantes pousse et s'étoffent en hydroponie suppose une grande consommation d'eau. Cependant, toute l'eau utilisée sera transpirée par la plante, sans le moindre gaspillage par infiltration dans le sol ou par évaporation. Si l'on compare avec la culture des mêmes plantes en terre, les économies d'eau sont positivement impressionnantes. Certes, de récentes innovations en matière d'irrigation, consistant à arroser les plantes directement au pied plutôt que d'asperger d'eau tout un champ, ont considérablement réduit la consommation d'eau en horticulture ; mais l'hydroponie demeure bien plus efficace à cet égard .(William T, 2013).

➤ **La conservation de l'engrais :** De la même façon, la totalité de l'engrais utilisé est absorbée par la plante. Rien ne se perd dans le sol, ce qui écarte le danger de polluer les nappes phréatiques et de réduire la vie microbienne dans le sol (William T, 2013).

➤ **La réduction de l'utilisation de pesticides, grâce à une meilleure santé et une croissance plus rapide :** Le mot « pesticide », du reste, est impropre ! Il faudrait plutôt parler de « biocide », dans la mesure où ce genre de produit tue tout ce qui vit (mais qui irait acheter du biocide ?).

Beaucoup de gens pensent que les pesticides ne suppriment que les insectes nuisibles.

En réalité, ces produits ne font pas de distinction, et éliminent aussi les organismes bénéfiques pour la plante. Leur utilisation devrait être exceptionnelle. Bien conduite, la culture hydroponique assure à la plante une croissance saine et rapide, lui permettant ainsi de surmonter les attaques de nuisibles ou, du moins, d'y résister. Cela ne signifie pas que vous n'aurez plus jamais besoin d'agir contre les nuisibles, mais cette nécessité sera réduite, et vous pourrez remédier aux problèmes que vous rencontrerez de façon plus douce, sans éradiquer tout organisme vivant dans le voisinage de vos plantes. Cet argument, bien entendu, n'est valable que pour les plantes annuelles à croissance rapide. . (William T, 2013).

Pour les plantes vivaces, c'est plus discutable, même si la vigueur dont fait preuve une plante obtenue par procédé hydroponique aide également dans ce domaine

➤ **L'inutilité d'un recours aux herbicides :** Ce point est assez évident. Dans les plateaux et les rigoles en plastique, il n'y a pas de place pour les mauvaises herbes. L'hydroponie, parce qu'elle permet de se passer d'herbicides et d'éliminer les nuisibles de façon moins agressive, est une technologie assez propre. (William T, 2013).

➤ **La vigueur d'une plante dont la culture a été amorcée dans un système hydroponique :** Si vous conservez une plante-mère dans un système hydroponique en vue de la cloner, puis que vous transplantez les rejetons en terre à l'extérieur, ceux-ci seront plus vigoureux que si la plante-mère avait poussé en terre. J'en ai moi-même fait l'expérience à plusieurs reprises, et la différence est toujours flagrante. (William T, 2013).

➤ **L'utilisation optimale du potentiel génétique de la plante :** On représente souvent une opération de culture comme une chaîne dont le maillon le plus faible définit la solidité. Appliquée à la croissance végétale, cette image signifie qu'il y a toujours un facteur inhibant. Ce peut être la lumière, le dioxyde de carbone (CO₂), l'humidité, une carence nutritionnelle ou bien d'autres choses encore ! Grâce à l'hydroponie, on supprime la plupart des maillons faibles de la chaîne, en particulier tout ce qui se rapporte au blocage des éléments dans la terre, ce qui est très fréquent pour de multiples raisons. En hydroponie, la plante bénéficie de conditions optimales pour exprimer tout son potentiel. C'est la génétique qui pourrait devenir le maillon faible, si vous ne choisissez pas bien votre variété. Au fil des ans, nous avons fait pousser dans notre serre des plantes immenses, qu'on n'avait jamais vues si grandes en pleine nature ; nous ne faisons rien de spécial, nous avons simplement renforcé les maillons faibles. La plupart du temps, l'hydroponie permet d'offrir aux plantes des conditions idéales de nutrition, de luminosité, de température et d'humidité. Le maillon faible, alors, devient le dioxyde de carbone (William T, 2013).

➤ **De meilleurs volumes, une meilleure qualité :** Il va de soi qu'en améliorant l'état de santé général de vos plantes, vous améliorerez aussi le résultat de votre culture, autrement dit votre récolte. Les produits obtenus par procédé hydroponique sont visiblement plus gros que ceux issus de la terre. Tout à coup, une tomate cerise n'a plus de cerise que le nom ! En outre, du point de vue nutritionnel, de nombreuses analyses ont systématiquement révélé une teneur bien supérieure, parfois doublée, en vitamines et en sels minéraux. C'est également vrai pour les principes actifs des plantes médicinales. (William T, 2013).

➤ **L'accès aux racines :** Vérifier la santé des racines quand bon semble devient un jeu d'enfant. La plupart des systèmes hydroponiques le permettent, ce qui facilite le traitement

de problèmes tels que la présence éventuelle d'un agent pathogène ; pris à temps, cela se résout facilement.

L'accès aux racines vous apprendra également beaucoup sur la santé et le développement futur de vos plantes. L'expérience aidant, vous serez en mesure de reconnaître les boutures vivantes qui forment de belles racines saines... mais qui ne présentent pas une bonne implantation autour de la tige. Je m'y suis si bien habitué que je trouve étrange de faire pousser une plante sans pouvoir regarder ses racines.

Mais cela va plus loin, pour la plupart des plantes médicinales, c'est (exclusivement, ou du moins partiellement) dans les racines que se trouvent les principes actifs. Dans certains cas, les principes actifs contenus dans les racines ne sont pas les mêmes que ceux contenus dans la partie aérienne de la plante, et il est impossible d'extraire ceux des racines sans détruire la plante. Par conséquent, de nombreuses plantes médicinales sont récoltées à l'excès dans la nature, parfois jusqu'à l'extinction. Dans les systèmes hydroponiques fermés, les racines nues sont plongées dans un flot continu de nutriments. De cette façon, on peut récolter une grande quantité de racines quasiment en permanence sans détruire les plantes. Bien entendu, il faut couper simultanément certaines parties aériennes de la plante pour préserver son équilibre ; cette biomasse sert parfois à l'extraction d'autres éléments, d'autres fois elle est simplement compostée. Les racines ainsi récoltées restent propres et ne nécessitent ni lavage, ni autre manipulation avant l'extraction. En outre, elles présentent une haute teneur en principes actifs. Cette concentration peut encore être augmentée en adaptant la nutrition de la plante au type de molécule que l'on veut produire. On peut également améliorer la croissance des racines elles-mêmes en contrôlant la quantité d'oxygène dissous dans la solution nutritive. Dans ce domaine comme dans tous les autres lorsqu'il est question de culture, il est indispensable de s'assurer qu'il existe bien un marché, et d'organiser la commercialisation du produit en amont de la production. (William T, 2013).

Cependant, la production de racines médicinales est moins risquée que celle des fruits et légumes, car les racines, une fois séchées, peuvent se conserver longtemps sans être endommagées. Cet aspect ouvre de nouveaux horizons pour l'industrie des cultures sous serre aujourd'hui menacée.

➤ **La production d'une grande quantité de biomasse :** Grâce à l'hydroponie, c'est possible. Le niveau élevé de nitrate dans la solution nutritive suscite une croissance végétative phénoménale. C'est un avantage si l'on a besoin d'une grande quantité de feuillage. On pourrait se servir de bassins hydroponiques pour assainir des eaux lourdement polluées. La conséquence indirecte de ce procédé de dépollution serait la production d'une grande quantité

de verdure, qui pourrait à son tour être transformée en carburant. Cette technologie existe : de nombreuses expérimentations concluantes ont été menées sur ce sujet, notamment au Portugal, où un institut de recherche est parvenu à dépolluer les effluents d'une porcherie – on peut difficilement faire plus polluant ! – tout en obtenant une récolte plus que rentable. Pourquoi cette méthode n'est-elle pas plus répandue, voilà qui reste un mystère à mes yeux. (William T, 2013).

Voyons à présent les avantages plus spécifiquement liés aux chambres de culture :

➤ **Une meilleure utilisation de l'espace :** La natte racinaire n'a pas besoin de s'étendre autant qu'en pleine terre. Les plantes reçoivent toute la nutrition dont elles ont besoin sur une surface réduite, sans qu'il y ait de réelle compétition entre elles. En conséquence, elles peuvent pousser bien plus près les unes des autres qu'en terre. C'est ce qui rend possible des pratiques telles que la « mer de verdure », une technique avec laquelle on peut obtenir une densité végétale impressionnante : en effet, celle-ci peut atteindre 60 à 70 plantes au mètre carré. Sans aller jusque-là, nous verrons un peu plus loin que, sous lumière artificielle, mieux vaut cultiver beaucoup de petites plantes qu'un petit nombre de grandes. L'hydroponie est tout à fait appropriée pour ce genre de technique (William T, 2013).

➤ **Pas de sac de terreau à porter :** À mes yeux, c'est un grand avantage. Pour tout dire, c'est même à cause de cela que j'en suis venu à l'hydro. Dans les années 1980, lorsque j'ai décidé de construire ma première chambre de culture, j'ai frémi à la seule idée de devoir traîner tous ces sacs trop lourds.

Dans une maison, ce n'est pas tellement un problème, mais, quand on habite en appartement, ce n'est vraiment pas pratique de devoir porter un si grand nombre de sacs remplis de terreau. Cela peut même devenir franchement pénible. L'hydro génère peu de déchets, et il n'y a pas non plus grand-chose à remplacer entre chaque cycle de culture, ce qui en fait la technologie idéale si l'on dispose d'un espace réduit. C'est une certaine paresse qui m'a poussé à m'intéresser aux technologies permettant de cultiver des plantes dans l'eau, et cet intérêt ne s'est pas démenti depuis. Je n'ai jamais regretté ce choix et rien ne me ferait remettre mes plantes en terre. Je préfère oeuvrer à enrichir l'eau avec les éléments bénéfiques de la terre. (William T, 2013).

➤ **Le contrôle de la nutrition :** Je rappelle cet avantage ici car, dans ce contexte, il prend un autre sens. Contrairement à certaines plantes comme les tomates, les poivrons et bien d'autres encore qui poussent et se reproduisent simultanément, il existe un groupe de plantes qui passent d'abord par une phase végétative marquée avant de fleurir et de fructifier.

Ces plantes-là requièrent une nutrition tout à fait différente selon qu'elles en sont à la première ou à la seconde phase

Il est possible de leur apporter ces nutriments différents dans le cas d'une culture en terre, mais au prix d'un certain gaspillage, en les arrosant fréquemment d'une grande quantité d'eau. En hydro, il suffit de vider le réservoir et de le remplir de nouveau. Et, bien entendu, la solution utilisée en phase végétative n'est pas perdue. Vous pouvez la réutiliser pour arroser vos plantes d'intérieur et votre jardin au lieu de l'évacuer avec les eaux usées. À mon sens, ce changement radical dans la composition de la solution nutritive est l'une des raisons pour lesquelles la floraison et la fructification sont plus rapides : la plante reçoit à la fois un signal fort indiquant qu'il est temps de fleurir et tous les nutriments nécessaires pour le faire. Au bout de tant d'années de pratique de l'hydroponie, je m'étonne encore de voir à quel point une infime modification dans l'équilibre de la solution nutritive peut jouer sur la croissance d'une plante, que ce soit en termes de morphologie, de saveur ou de valeur nutritionnelle. Il semblerait que ce soit la composition en sels de la solution nutritive qui influe le plus sur le produit final (William T, 2013).

➤ **La croissance rapide des plantes-mères :** Une plante cultivée par procédé hydroponique avec une nutrition riche en azote développe un feuillage très fourni. Certains le trouvent même excessif, mais, si vous avez besoin de produire en permanence un grand nombre de boutures, rien ne vaut une plante-mère cultivée dans un système hydroponique efficace. L'industrie horticole y a largement recours pour multiplier en grandes quantités toute une variété d'espèces végétales. Les clones ainsi obtenus peuvent à leur tour être cultivés aussi bien en hydroponie qu'en pleine terre, où ils auront la robustesse propre aux boutures... voire un peu plus (William T, 2013).

XII. Inconvénients de l'hydroponie

La première et la plus importante d'entre elles, c'est que les plantes n'ont pas de protection en cas d'erreur de votre part. La terre a un pouvoir tampon. Autrement dit, elle a la capacité de maintenir une certaine stabilité autour de la masse racinaire. Dans un sol sain, tous les paramètres physiques et biologiques sont en équilibre. Si vous apportez à vos plantes trop d'engrais, un mélange non adapté ou un liquide au mauvais pH, les micro-organismes présents dans la couche supérieure du sol et la chimie du sol elle-même auront tendance à rétablir l'équilibre. C'est également le cas en hydro, mais dans une moindre mesure. La solution nutritive a aussi un pouvoir tampon, en particulier concernant le pH, mais cela n'a rien de comparable avec la terre. Un détail aussi trivial qu'un pH-mètre mal réglé peut avoir

des conséquences dramatiques, comme la destruction de toutes vos plantes en une seule journée ! Ce genre de chose arrive vite en hydro. Pour illustrer mon propos, j'aime bien évoquer l'image de la voiture de course : au volant d'une voiture de course, on roule bien plus vite que dans la voiture familiale, mais un accident peut avoir des conséquences bien plus graves. Avec l'hydroponie, c'est la même chose. C'est si rapide qu'on peut littéralement voir les plantes pousser... mais on peut aussi les tuer en une heure !

La température est aussi un aspect délicat. En hydro, la température idéale à maintenir dans la zone racinaire pour que la croissance soit maximale est comprise entre 18 et 22°C.

Les racines peuvent tolérer bien plus. Jusqu'à 26°C environ, il ne se passe rien ; ensuite, la croissance ralentit, et, au-delà de 35°C, racines et plantes meurent rapidement à cause du manque d'oxygène. Il existe des méthodes pour lutter contre la chaleur – nous les verrons un peu plus loin –, mais c'est un sérieux inconvénient, en particulier dans les pays tropicaux ou en intérieur, où la lumière artificielle génère beaucoup de chaleur. (William T, 2013).

Autre désavantage, l'hydroponie ne convient pas à toutes les cultures. Les tubercules et légumes racines tels que les carottes ou les pommes de terre, qui s'extraient directement du sol, nécessitent des systèmes très spécifiques et d'une conception complexe. L'aspect économique n'est pas à négliger non plus. Par exemple, le blé pousserait très bien dans un système hydroponique, mais ce ne serait pas économiquement viable. Ce sont la situation géographique et le marché local qui détermineront si une culture peut être rentable ou non.

J'entends souvent d'autres critiques lors de conversations autour de l'hydro. Les deux principales objections sont le coût élevé de l'installation et le fait que le procédé ne soit pas naturel. J'ai même entendu l'expression « plantes sous perfusion » dans le sens médical du terme (William T, 2013).

Il est vrai que les systèmes hydroponiques peuvent être onéreux ; cependant, avec la culture en intérieur, on rentre vite dans ses frais. La raison en est simple : l'électricité est chère. Quand on fait pousser des plantes sous lumière artificielle, on a hâte de voir la récolte arriver, car, entre les lampes et la gestion des paramètres climatiques, la dépense en électricité est significative, même pour une opération de petite envergure. Plus tôt se fait la récolte, moins chère est la production. L'hydroponie fait gagner du temps, beaucoup de temps. Et, dans ce cas, le temps, c'est vraiment de l'argent ! (William T, 2013).

Quant au fait que ce ne soit pas un procédé naturel, je trouve la question discutable. Après tout, qu'est-ce qui est naturel ? Quand on sème tout un champ d'une même variété, cela n'a rien de naturel. La nature, c'est la diversité. Si l'on réfléchit bien, par définition, aucune forme d'agriculture n'est naturelle, aussi étrange que cela puisse paraître. À l'époque où l'homme en

était encore au stade du chasseur-cueilleur, son impact sur l'écosystème était quasi nul. Comme tous les autres organismes vivants, il prélevait sa nourriture dans son environnement sans le modifier. Les problèmes ont commencé à apparaître au stade agraire, lorsqu'on s'est mis à cultiver dans des champs. C'est ce qui a permis à l'homme de passer d'un mode de vie nomade à un mode de vie sédentaire. Bientôt, les villages sont devenus des villes, puis des cités-états, qui sont entrées en lutte pour étendre leur territoire. C'est ainsi qu'est née notre civilisation actuelle. Tous les problèmes que nous connaissons aujourd'hui nous ramènent au premier homme qui a ensemencé un champ (William T, 2013).

L'hydroponie, avec ses tuyaux en plastique et ses sels minéraux, peut sembler étrange à première vue, mais, en définitive, elle n'est ni plus ni moins naturelle que l'agriculture proprement dite.

Curieusement, cela ne gêne personne d'apporter des sels minéraux à ses plantes en pot. Tout le monde le fait à tour de bras, au risque de laisser les nutriments s'infiltrer dans les nappes phréatiques ou se retrouver dans les égouts de la ville. À l'inverse, on s'émeut à l'idée d'utiliser ces mêmes sels minéraux, sous une forme pourtant plus pure, dans l'espace sécurisé d'une gouttière en plastique. On considère que faire baigner des racines dans une solution nutritive est contre-nature, alors qu'on pratique sans hésiter la fertilisation foliaire, un phénomène pourtant peu courant dans la nature, vous me l'accorderez (William T, 2013).

Il existe de nombreuses îles où la terre ne peut suffire à nourrir les grandes populations de touristes, des pays tropicaux où les sols grouillent de nuisibles voraces, et même des régions totalement dépourvues de terres arables. Partout où la culture organique ne peut suffire, l'hydroponie peut être l'une des solutions pour répondre aux besoins en nourriture sans détruire l'environnement. C'est un type d'agriculture qui peut fournir des médicaments et des produits nourrissants et savoureux en des lieux où ce ne serait pas possible autrement. Que ce soit naturel ou non n'a aucune importance ! Ces points ayant été établis, il est temps d'entrer dans le vif du sujet. En premier lieu, nous allons passer en revue les différents systèmes regroupés sous l'appellation « hydroponie », et ceux que l'on peut trouver en magasin aujourd'hui. Nous verrons également quelles sont les technologies hydroponiques les mieux adaptées à chaque phase de croissance en chambre de culture (William T, 2013).

XIII. Les étapes principales de l'agriculture hors sol des cultures maraichères

1. Choix d'un terrain ou d'un espace.
2. La préparation du terrain.
3. Le semis et la pépinière.
4. Le repiquage et la plantation.
5. La conduite de la culture (entretien de la plantation).
6. La récolte.

1. Choix d'un terrain ou d'un espace

- Un terrain avec un point d'eau (puits ou rivière etc) à proximité pour irriguer vos plantes
- Assurez-vous de choisir un espace bien plat et bien à niveau (éviter surtout les terrains dénivelés)
- La qualité de la terre ou du sol n'a aucune importance en agriculture hors sol puisque nous ne cultivons pas en terre.
- Le terrain peut être sableux, argileux, carrelé, cimenté, inondable etc.

2. La préparation du terrain

- Le terrain doit être désherbé et mis à niveau (surface plate sans dénivellement)
- Couverture du terrain avec une bâche pour isoler les sacs de culture du sol et empêcher la pousse des herbes.
- Mise en place des tuteurs pour chaque pied de culture
- Mise en place du système d'irrigation ou arrosage.
- Si possible clôturer le terrain pour réduire les sabotages causés par les animaux ou autres
- Réserver un petit espace sur le terrain pour construire une ombrière ou un abri pour vos pépinières.
- Elle peut être réalisée soit en plein air ou sous abris ou sous serre.

3. Le semis et la pépinière

- Etape la plus importante de l'agriculture hors sol
- La réussite de votre plantation passe par la qualité de vos pépinières.
- Semer les graines de tomate ou piment dans le terreau Coco SOL pépinière dans des petits pots troués ou dans des plaques alvéolées.
- Elle dure environ 3 à 4 semaines avant le repiquage
- Nécessite un bon suivi



Figure 58 : étape de semis et pépinière

4. Le repiquage et la plantation

- Le repiquage est le passage de la pépinière à la plantation proprement dite
- Il peut se faire soit dans des sachets de culture ou des pots ou des bacs contenant du Coco SOL plantation
- Remplir les sachets de culture ou pots avec du Coco SOL plantation
- Transplanter délicatement les plantules issues de la pépinière dans les sachets de culture ou autres
- Etape nécessitant de la délicatesse pour éviter le stress des racines ou la cassure des tiges.
- Mise en place des tuteurs pour chaque plante si nécessaire



Figure 59 : étape de repiquage et la plantation

Source (coco-sol)

5. La conduite de la culture (entretien de la plantation)

- Irrigation quotidienne des plantes soit à l'arrosoir ou à l'aide d'un système goutte à goutte

- Application régulière d'engrais depuis la pépinière pour assurer la bonne croissance des plantes.
- Application régulière et par alternance des produits phytosanitaires depuis la pépinière pour lutter contre les maladies
- La taille, l'ébourgeonnage et l'étêtage des plantes.

6. La récolte

- La formation des fruits passe par l'étape de la floraison et la pollinisation.
- Le cycle des cultures maraichères est en général de 3 mois maxi avant le début de la récolte.
- Certains insectes tels les abeilles sont de bons pollinisateurs favorisant la fécondation et l'apparition rapide des fruits de tomate.
- La maturité des premiers légumes ou fruits annonce le début de la récolte



Figure 60: étape de récolte

Source(Google)

XI. Entretien et propreté

Aucune installation ne peut fonctionner longtemps sans intervention. S'il est vrai que la culture hydroponique diminue le nombre de tâches imposées au jardinier, elle ne les élimine pas pour autant! Même l'installation la plus automatisée requiert des soins réguliers. Il est bon de jeter un coup d'œil sur chacune de vos jardinière une ou deux fois par jour afin de vous assurer que tout fonctionne bien. Vérifiez le réservoir et voyez s'il y a suffisamment de solution en circulation. Ces organismes vivants ont des besoins qui se modifient d'une journée à l'autre. Vous devriez être en mesure de décider d'un simple coup d'œil si vos plantes ont besoin d'un quelconque traitement.

Ne laissez pas le milieu de culture se saturer (la présence de bulles à la surface vous l'indiquera) et surveillez les traces de moisissures.

Ne laissez pas s'accumuler la poussière, les feuilles mortes ou tout autre débris organiques. Sinon, vous exposez vos plantes à des maladies ou vous risquez de voir apparaître des insectes, attirés par les matières décomposées.

James Sholto Douglas déconseille de fumer près des jardinières hydroponiques, petites ou grandes. Dans son livre "Advance guide to hydroponics", l'auteur prétend que: "[...] les virus sont souvent transportés par les feuilles de tabac sèches. La main et le visage du fumeur peuvent contaminer et infecter, par un simple toucher, une plante susceptible d'attraper des maladies [...]"

Pour stériliser des bacs achetés ou qui n'ont pas servi depuis longtemps, versez-y une tasse d'eau de Javel dans 19 litres (5 gallons) d'eau. Bouchez les trous d'évacuation et laissez l'installation ainsi pendant 30 minutes. Ensuite laissez l'eau s'écouler et rincez tout le système à l'eau claire et continuez pendant environ une demi-heure.

XII. Soins essentiels

1. Température :

La température de l'air est un facteur externe très important pour la culture de végétaux en hydroponie.

Ce facteur commande en grande partie la vitesse des réactions chimiques, enzymatiques du métabolisme et le développement des plantes. (Germination, transformation des bourgeons végétatifs en bourgeons reproducteurs).

La température que le cultivateur doit maintenir dans son espace de culture dépend avant tout de l'origine géographique de la plante cultivée.

En effet, celles-ci ont des exigences particulières en terme de température tout au long de leurs développements: pour la germination, la croissance végétative, l'induction florale (thermo-induction).

Le métabolisme est l'ensemble des transformations chimiques qui se déroulent dans les cellules ou organisme vivant. On peut diviser ces réactions en deux:

Le catabolisme regroupe les processus de dégradations des molécules suivi de la libération d'énergie.

L'anabolisme rassemble les réactions de synthèse de macromolécules qui demande la consommation d'énergie.

2. L'humidité :

Dans un abri de culture en hydroponie, l'eau est soumise aux variations de températures qui vont la mettre dans tous ses états (liquides, gazeux, mais pas solides)

Quand l'atmosphère d'un abri s'échauffe, la masse d'air va mobiliser une grande quantité d'eau sous forme de vapeur : ce qui réduit l'humidité relative.

En effet, la quantité d'eau reste la même, mais cette masse d'air chaude demande plus d'eau pour être saturée.

A pression constante du niveau de la mer, une masse d'air saturée à 23°C est contenue dans 20 grammes d'eau par mètre cube d'air. A 20°C cette masse d'air saturée n'en contient plus que 17gr/m³ et environ 13gr/m³ à 15°C.

A l'inverse, lors du refroidissement de l'abri de culture, la capacité de masse d'air à retenir la vapeur d'eau est réduite. L'eau sous forme de vapeur va se « condenser » (liquéfier pour être exact) sur les parois de l'abri, sur les végétaux : c'est ce qu'on appelle la liquéfaction.

Exemple :

Un abri dont l'air a une température de 24°C et l'humidité relative est de 60% subit une chute brutale de température de 7°C. (À cause de panne de chauffage). L'horticulteur ne dispose pas de brasseurs d'air et n'est pas renouvelé.

Cet abaissement de la température induit une perte de la capacité de la masse d'air à contenir de l'eau. Le degré hygrométrique augmente: Le thermomètre indique 17°C et l'hygromètre 90%.

Si la température descend au dessous de 16°C, l'eau se liquéfiera sur les plantes et les parois de l'abri.

Ce phénomène intervient la nuit (surtout avant la levée du jour) et à des conséquences sur l'aspect sanitaire d'une culture que nous verrons par la suite.

3. L'extraction de l'air :

Elle permet donc de renouveler l'air, par conséquent de mieux gérer la température, qui a tendance à s'élever bien au-delà (particulièrement dans les espaces réduits et/ou avec des lampes puissantes de type MH/HPS) de la limite fatidique des 28/29°C : à partir desquels les stomates commencent à se fermer, et donc une fois ce seuil franchi la croissance n'est plus optimale. Se reporter à la rubrique extraction d'air de notre catalogue afin de connaître l'extraction dont vous avez besoin.

L'extraction doit fonctionner en permanence, de jour comme de nuit, ici aussi les plantes transpirent.

Sinon, on accroît fortement les problèmes... Ces pathologies étant notamment favorisées par une humidité excessive.

Contrairement à ce que peuvent en penser certains, une plante ne dort pas, c'est simplement son métabolisme qui varie :

De jour >> consommation de CO₂ et rejet d'O₂

De nuit >> consommation d'O₂ et rejet de CO₂.

Par conséquent, si on lui apporte du CO₂ de jour, pourquoi ne devrait-on pas lui apporter de l'O₂ la nuit ? La réponse tombe sous le sens.

4. La ventilation :

De jour, cela sert à brasser et homogénéiser le CO₂ contenu dans l'air, et à apporter de l'air neuf aux stomates. Par ailleurs, une ventilation est également nécessaire afin de fortifier les branches, pour qu'elles puissent supporter le poids des grosses buds à venir. Mais attention, la ventilation est aussi indispensable de nuit. Car à ce moment là l'humidité relative augmente considérablement, ainsi en brassant l'air on diminue les risques de condensation dus à l'expiration des feuilles. Car les gouttelettes ainsi formées, à l'allumage des lampes, causeront des brûlures ; de plus, l'humidité entre deux feuilles en contact, si elle survient régulièrement, engendrera des moisissures.

5. La Chaleur

Le processus fondamental de photosynthèse se réalise uniquement lorsque l'air autour de la plante est suffisamment chaud. Dans une pièce froide ou qui subit des écarts importants de température, le processus de photosynthèse peut se produire de façon intermittente, partiellement ou même pas du tout. Dans une plante où l'air est trop frais, les plantes connaissent une croissance plus lente, voir nulle. On peut se servir d'un thermomètre ordinaire pour prendre la température d'une pièce à l'endroit précis où sera la jardinière. Voyez comment il fait le matin, l'après-midi et le soir. La température idéale se situe entre 16 et 21 degrés Celsius et une température de 10 degrés est idéal pour la nuit (ou au moins 4 degrés plus fraîche que le jour). Si la température est la même le jour que la nuit, vos plantes tenteront de produire de l'énergie alors qu'elles devraient plutôt assimiler celle produite durant la journée.

6. La Lumière

La lumière est une composante essentielle du processus de photosynthèse par lequel les plantes produisent l'énergie nécessaire à leur croissance. La photosynthèse s'interrompt en l'absence de lumière. C'est pourquoi il faut toujours installer vos plantes près d'un endroit qui reçoit de la lumière chaque jour. La lumière, à l'instar de l'humidité, n'est jamais fournie en

trop grande quantité. Dans nos appartement, il y a fréquemment une insuffisance de lumière ou encore, une intensité plus faible que celle requise par la plupart des plantes. De toute évidence, il faut installer les plantes là où il y a le plus de lumière. Si aucune de vos fenêtres n'offrent une lumière vive et directe, vous n'aurez d'autre choix que de recourir à une lumière artificielle. Cette dernière peu transformer l'apparence de vos pièce tout en procurant suffisamment de lumière à vos plantes. Il ne faut pas utiliser n'importe quel type d'éclairage. Les ampoules à incandescence, celles du type de la plupart des lampes ne font pas l'affaire. Il y a maintenant un vaste choix de lampes pour le jardinage tels que les tubes fluorescent, les lampe halogènes à haute pression de sodium (HP) et les lampes à haute intensité (HID), à différents coûts et à différentes intensités pour un monde ou le vert est bien diversifié.

7. Pollinisation

En tant que structures protégées efficacement Empêcher les insectes d'atteindre les cultures, la pollinisation par Les insectes ne se déroulent pas dans les zones protégées Structures. Aussi le manque de flux d'air naturel aussi Réduit les chances de pollinisation naturelle.

Les températures élevées sont généralement observées à l'intérieur Les structures protégées interfèrent également avec La pollinisation car elle réduit la viabilité du pollen. Par conséquent, la pollinisation artificielle doit être effectuée par l'utilisation de vibreurs mécaniques. Soufflantes Peut être utilisé pour améliorer le flux d'air à l'intérieur du Structures.

Les hormones peuvent également être utilisées pour Augmenter les chances de pollinisation à l'intérieur Structures protégées.

XIII. Identifier et corriger les problèmes

➤ Carence en calcium (les feuilles se rabougrissent) :

La carence en calcium s'explique par un déplacement insuffisant de l'eau à l'intérieur de la plante. Le calcium se déplace dans les conduits d'eau de la plante, et non dans les conduits de nutriments. Par conséquent, les carences en calcium sont souvent liées au climat dans la zone de culture. Un taux d'humidité élevé la nuit empêche l'assimilation du calcium, et ce, même si la solution nutritive contient assez de Ca. De plus, des fluctuations importantes d'humidité entre le jour et la nuit perturberont le transport de Ca dans la plante et entraîneront une pourriture apicale.

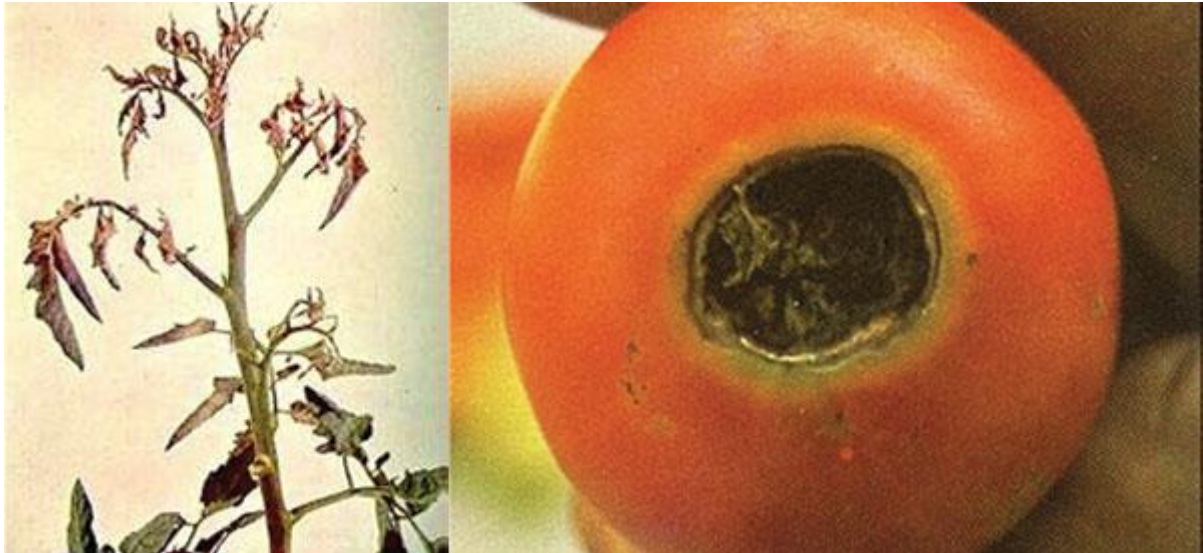


Figure 61 : les symptômes de la Carence en calcium

Source : (grodan)

Diagnostic 1 : On peut souvent reconnaître une carence en calcium lorsque les jeunes feuilles se courbent vers le bas. Si les plus vieilles feuilles se courbent, il y a probablement un problème dans la zone racinaire (ce qui réduit aussi l'absorption du calcium).

Solution : Réduire l'humidité dans la zone de culture. Ajoutez des ventilateurs pour améliorer la circulation d'air.

Diagnostic 2 : La pourriture apicale ou une carence évidente en Ca dans les feuilles est provoquée par un mauvais développement racinaire. C'est le résultat (A) d'une température trop basse dans le substrat ou (B) de la présence d'un agent pathogène dans les racines, tel que le pythium ou le phytophthora. Le calcium est absorbé par la partie adjacente à l'extrémité des racines. Si les racines ne se développent pas activement, aucune nouvelle extrémité de racines ne se formera, ce qui réduira l'absorption de Ca.

Solution A : Si la température est trop basse dans le substrat, il suffit d'augmenter la température dans le réservoir jusqu'à 20 °C (68 °F). Si les plantes sont à l'extérieur, prenez un tapis chauffant, réglez-le à la même température et placez-le sous le pain.

Solution B : Le pythium devient problématique si les pains sont trop mouillés durant la nuit. Cessez l'irrigation au bon moment afin que le contenu d'eau dans le pain puisse descendre à 55 % avant d'éteindre les lumières.

➤ **Les boutures ne s'enracinent pas :**

Diagnostic : L'eau de votre robinet contient trop de chloramine (toxine pour la plante). Les chloramines sont utilisées par plusieurs usines de traitement des eaux et se retrouvent donc souvent dans l'eau du robinet. Les chloramines tuent les bactéries bénéfiques dans la zone

racinaire. Qui plus est, les chloramines sont très dangereuses pour la croissance de la plante et leur toxicité se propage facilement dans la plante.

Solution : Utilisez un filtre au charbon pour l'eau de votre robinet avant d'arroser vos plantes. Les chloramines sont tout aussi dangereuses en irrigation par inondation qu'en irrigation goutte à goutte. Un filtre au charbon résoudra assurément ce problème. Des rumeurs circulent à savoir qu'il y aurait une pomme de douche économique sur le marché qui élimine aussi les chloramines. Autrement, utilisez de l'eau embouteillée pour vos boutures/semis (source :grodan).

➤ **Les semences ont germé, mais ont une teinte brunâtre :**



Figure 62 : pourriture des racines

Source : (grodan)

Diagnostic : Si vous avez utilisé une de pythium qui provoque la fonte des semis (pourriture des racines). Le pythium peut faire périr les semis en une seule nuit. C'est un champignon que l'on retrouve naturellement dans plusieurs types de sols (et de tourbes). Si les conditions sont humides et chaudes et qu'on est en présence d'eau stagnante, le pythium endommagera les semis qui tentent de pousser.

Solution : Si le problème de pythium persiste, ajoutez un fongicide (utilisez seulement 10 % de la dose recommandée) dans votre eau.

➤ le mildiou ou le blanc



Figure 63 : feuille touché par le mildiou

Source : (grodan)

Le blanc (powdery mildew) et le mildiou (downy mildew) sont deux maladies de la même famille. Il est important de savoir les différencier.

Le blanc, ou oïdium : des taches blanches apparaissent sur la surface des feuilles.

Le mildiou : des taches jaunes et fanées sur la surface des feuilles, pourtant ce champignon vit en fait sous la feuille. Le blanc et le mildiou sont très difficiles à éradiquer. Même si vous nettoyez la pièce méticuleusement, la prochaine culture est quand même à risque, car les spores flottent dans l'air et peuvent se poser sur les nouvelles plantes pour les infecter.

Solution - Étape 1 : Sortir les vieilles plantes de la pièce. Ne pas entrer dans la pièce pendant 24 heures (ainsi, les spores peuvent se poser sur les surfaces). Ensuite, entrer dans la pièce et vaporiser partout à l'aide d'un pesticide contre le mildiou et le blanc. Finalement, utiliser une solution diluée avec 10 % d'eau de Javel et essuyer/nettoyer toute la pièce minutieusement.

Solution – Étape 2 : Pour l'entretien quotidien, vérifier toutes les plantes pour détecter tout signe de mildiou ou de blanc. Si vous détectez quelque chose, vaporiser la plante infectée et ses voisines immédiatement. Vaporiser sur le dessus des feuilles pour le blanc et sous les feuilles pour le mildiou. L'humidité élevée augmente les risques de blanc et de mildiou. Assurez-vous que les ventilateurs fournissent une bonne circulation d'air partout dans la pièce (source : glodan)

➤ **Formation d'algues**

Chaque fois qu'il y a une surface pâle et mouillée avec des nutriments et de l'eau, des algues se formeront. Les algues ne sont pas nocives pour les plantes, mais en grosse quantité (surtout les algues « noires » mortes), elles attirent les fongicoles. Pour cette raison, il est préférable de minimiser la formation d'algues. La formation extrême d'algues peut faire en sorte que la solution nutritive acheminée par les goutteurs glisse au lieu de pénétrer.

Diagnostic : Lorsqu'il y a un excès d'algues sur le dessus du bloc, les fongicoles et les mouches de rivage pondent leurs oeufs dans les algues et les larves écloses se nourrissent des algues. Lorsque la population de fongicoles devient très importante, les larves peuvent même attaquer les racines et provoquer une surinfection de pythium (pourriture des racines). D'un autre côté, les mouches du rivage ne se nourrissent pas des mottes de racines, mais elles laissent leurs excréments sur les plantes/fruits.

Solution : Le couvercle de plastique CUBECAP® fonctionne à merveille pour éliminer la quasi-totalité des algues. Cependant, il augmente la température dans le bloc lorsqu'il fait chaud, puisque l'évaporation est réduite. Donc, assurez vous de maintenir la température dans le réservoir à un maximum de 21 °C (70 °F). Une température trop élevée peut entraîner des infections bactériennes. Si vous éprouvez des problèmes d'infection bactérienne, lorsque les blocs sont bien enracinés dans les pains ou dans le mélange de rempotage, déplacez le tube de goutte à goutte vers le bas sur le côté du bloc. Un dessus plus sec aide à prévenir les infections bactériennes.

➤ **Croissance chétive de la plante**

Les plantes en mauvaise santé présentent une croissance chétive puisque leur système racinaire est affaibli.

Diagnostic : La température dans le réservoir est de 26 °C (79 °F). Une telle chaleur affaiblit les racines, ce qui les rend sujettes aux champignons et aux maladies. Ceux-ci peuvent provoquer des dommages dévastateurs. Habituellement, l'eau du réservoir devrait être plus froide de quelques degrés par rapport au maximum mentionné ci-dessus, c'est-à-dire 18-23 °C (65-73 °F), puisque l'eau se réchauffe normalement lorsqu'elle entre dans le pain ou le bloc.

Solution : Maintenir la température à l'intérieur de la laine de roche entre 59 °F et 70 °F, la fourchette idéale étant de 18 °C à 21 °C (65 °F à 70 °F). Si la température passe sous la barre de 59 °F, la croissance de la plante peut être dérangée.

➤ Feuilles anormales ou irrégulières



Figure 64 : quelques feuilles anormales ou irrégulières

▪ Les feuilles se courbent vers le haut

Diagnostic : Il se peut que la plante ait capté trop de lumière. Les feuilles se courbent vers le haut pour se protéger si la lumière est trop intense ou dure trop longtemps.

Solution : Élever la lampe de culture de 6 à 8 pouces. Si les plantes sont à l'extérieur, utiliser une toile pour créer de l'ombre aux plantes entre 10 h et 14 h.

▪ Flétrissement de la bordure supérieure des feuilles

Diagnostic : Lorsque la bordure supérieure d'une feuille se flétrit, il s'agit généralement d'un changement trop rapide le matin. Il se peut que la pièce soit réchauffée lorsque les lumières s'allument, mais les plantes sont encore froides.

Solution : Démarrer le chauffage environ 1 heure avant que les lumières s'allument.

▪ Les feuilles font des bulles

Diagnostic : Si la température est trop basse, les feuilles feront de petites bulles au lieu de se courber.

Solution : Pour la plupart des plantes, essayez de maintenir la température ambiante entre 18 °C et 21 °C (65 °F et 70 °F).

▪ Feuilles fragiles et décolorées

Diagnostic : Les feuilles fragiles et décolorées peuvent être provoquées par le virus de la tache bronzée de la tomate, transmis par des insectes (thrips). Habituellement, ceci est problématique uniquement si vous êtes à proximité d'autres horticulteurs ou si vous cultivez à l'extérieur.

Solution : Les thrips sont assez faciles à éradiquer et plusieurs remèdes existent. Toutefois, rien ne vaut la prévention. Vaporisez vos plantes dès le premier jour avec un insecticide biologique (savon) par exemple. Habituellement, les thrips peuvent être gérés efficacement et sans dommage avec 1 à 3 vaporisations par semaine (source : grodan).

➤ **Insectes à carapace molle (comme les aphidiens)**

Diagnostic : Découverte d'insectes inhabituels et à carapace molle sur les plantes.

Solution : Lorsque vous avez des problèmes avec des insectes à carapace molle, voici une méthode économique pour vous en débarrasser. Ajoutez 5 grammes de levure chimique (poudre à pâte) dans un litre de solution nutritive, et vaporisez vos plantes. Vous pouvez répéter cette procédure jusqu'à 3 fois. Au-delà de 3 fois, vous risquez d'endommager la plante. Éliminez l'eau drainée lors de chaque traitement. La levure chimique assèche les insectes (comme les aphidiens) et les élimine (source : grodan).



Figure 65: des insectes à carapace molle

(Source : grodan)

➤ **Humidité**

On abordera plus précisément dans la partie réservée aux pathologies des plantes comment l'humidité influence le développement des ravageurs et maladies.

Un espace de culture dont le degré hygrométrique est excessif sera propice au développement de certains pathogènes, comme les moisissures (maladies cryptogamiques).

C'est la même chose avec un défaut d'humidité (Tétranyches, ou araignées rouges)

Ainsi, la maîtrise de l'humidité, constitue une base de lutte prophylactique (adj : qui préserve l'état sanitaire d'une plante de tout ce qui pourrait lui être nuisible).

En d'autres termes, le maintien d'un taux hygrométrique acceptable permet de limiter l'installation et la progression d'une pathologie.



Figure 66: maladies cryptogamiques

(Source :@hydroponics)

Sachez cependant que les maladies cryptogamiques (maladies causées par des champignons) se développent plus facilement avec une hygrométrie élevée, et air un stagnant. L'oïdium est une exception puisque ce champignon qui cause les maladies, appelées « maladie du blanc » se développe avec une atmosphère plus sèche.

La contamination d'une plante par des spores de champignons pathogènes alliés à une forte humidité (supérieur à 70%) entraîne généralement une progression de la maladie et une extension à toute l'enceinte de culture.

En effet, avec une humidité excessive et avec une baisse de la de température (la nuit) il se crée de la condensation sur les plantes et les parois de l'espace de culture. Ces « gouttes » vont disparaître avec le lever du jour. Seulement, en attendant cette évaporation de l'eau, la plante offre toutes les conditions pour l'installation de maladies cryptogamiques. (Elle offre aux champignons le gîte et le couvert)

Ces pathologies cryptogamiques peuvent détruire tout, ou partie d'une plante cultivée. Elles peuvent aussi s'étendre très rapidement à toute la culture grâce à des conditions de dissémination favorables (hygrométrie élevé, pas d'agitation de l'air)

Dans la culture de fraises par exemple, le manque de circulation d'air, dans la masse végétale crée une humidité excessive. (« Un bulbe d'humidité »). Ce sont les bouquets de fleurs ainsi que les fruits (enfin les réceptacles floraux) qui sont préférentiellement touché par le botrytis. (Botrytis cinerea).

Comment faire ?

Pour réduire l'humidité d'un espace de culture, et ainsi ne pas créer un environnement propice aux pathologies cryptogamiques, l'horticulteur doit:

- Dans tout les cas, renouveler la masse d'air de l'abri: serre, tunnel, chambre de culture.
- Installer un ventilateur qui brassera l'air et aura une action asséchante sur les plantes.
- Augmenter la température de l'espace de culture ET extraire l'air de l'abri.

Si malgré tout ces dispositions l'humidité est encore en surplus, il faudra prévoir une légère diminution du nombre de plantes cultivées sur une surface.

Et le contraire me direz-vous !

A contrario, un manque d'humidité crée un terrain propice pour d'autres pathologies (*Tetranychus urticae*). Mais il est plus difficile de gérer ce problème, qui intervient généralement en été (température élevée combinée à des vents à l'action desséchante): il faudrait réduire, la température, le nombre de renouvellement de l'air du volume cultivé, tout en s'assurant un maintien de CO₂ à des teneurs acceptables pour les végétaux..

Dans ce cas de figure, l'installation d'un humidificateur, d'un système de brumisation ou d'un Fog-system permettrait d'augmenter facilement l'humidité.

REGLE D'OR

Vous protégerez la chambre de culture des insectes nuisibles en adoptant quelques simples mesures d'hygiène : lavage des mains, utilisation d'outils propres et balayage régulier du sol.

XIV. Les 6 erreurs à ne pas commettre dans l'hydroponie

Quand on se décide à se lancer dans une culture d'intérieur, les doutes et les incertitudes sont souvent au rendez-vous. On essaie et on veut bien faire, on souhaite optimiser sa culture, voir ses plants pousser dans les meilleures conditions possibles.

Mais devant ce défi quelque peu ardu, il existe néanmoins certaines règles à respecter et par conséquent, des erreurs qu'il est possible d'éviter pour optimiser votre plantation indoor.

Voici les erreurs à ne pas commettre pour vous assurer une récolte abondante et satisfaisante.

1. Ignorer les bases de la botanique spécialisée: Vos plants sont particulièrement résistants lorsque les bases de la botanique ont été convenablement appliquées.

Aujourd'hui, il existe énormément de documentation (forums, sites Web, livres, e-book) pour s'initier à diverses techniques mais n'oubliez pas les bases : apprenez à gérer la lumière, la

température, le pH de vos plants, à comprendre la gestion de la circulation de l'air ou de déterminer la qualité du sol.

2. Utiliser des pots trop petits : Que vos plantations soient indoor principalement ou en extérieur, elles auront besoin d'espace pour développer leurs racines et ainsi grandir dans les meilleures conditions.

Si les racines sont à l'étroit, la croissance sera rapidement bloquée.

Utilisez plutôt des pots conséquents (entre 15 et 20 litres) ou, si vous le pouvez, plantez directement en terre.

3. Ne pas surveiller ses plants : Cultiver des plants indoor est un travail de tous les jours qui requiert une certaine vigilance. Pour être en bonne santé, vos plantations dépendent des soins que vous leur prodiguez.

Assurez-vous que vos plantations aient suffisamment d'air, de lumière et que la température soit stable.

Méfiez-vous des possibles feuilles flétries ou des feuilles décolorées, vérifiez l'état de la plante en regardant sous ses feuilles.

4. Sur-tailler ses plantes : C'est un travers et une erreur très répandue. Il est recommandé, pour donner un petit coup de boost à la croissance de vos plants, de les tailler, ainsi ils seront plus vigoureux. Mais lorsque vous les taillez trop, cela risque de les tuer, tout simplement.

Commencez toujours par tailler les branches les plus basses et ne taillez jamais durant la floraison pour ne pas affaiblir les plants.

5. Ignorer le pH : Voici encore une base à ne pas ignorer en botanique, quel que soit le type de plantation par ailleurs.

Lorsque le pH est incorrect, vos plants vont développer des carences en nutriments.

Testez toujours le pH de vos plants indoor, après avoir donné les engrais ou utilisez un kit de test pH pour ne pas vous tromper.

6. Sur-arroser : Là encore, comme pour la sur-taille, le sur-arrosage est très fréquent.

Trop d'eau peut faire mourir le plant et lorsque le sol est totalement détrempé, les racines peuvent simplement moisir.

N'oubliez pas d'utiliser un bon terreau pour bien drainer la terre et faites des trous pour garantir une humidité constante.

XIV. Est ce que c'est Bio ?

Nous pratiquons ce que nous appelons l'agriculture raisonnée. Nous nous imposons les mêmes défis que l'agriculture biologique, mais le label Bio ne s'applique qu'aux cultures en

terre.

Nous nous engageons à utiliser des méthodes de culture durables et responsables, nous n'utilisons pas de pesticide ni d'herbicide. Nous privilégions la lutte biologique pour défendre nos plantes contre les attaques d'insectes ravageurs. L'eau que nous utilisons est récupérée et recyclée, nos déchets verts sont compostés, nous livrons nos produits le jour même de leur récolte et sur commande pour éviter le gaspillage. Nous privilégions des races de plantes en nous basant sur leur goût et non sur leur résistance au transport. Pour contrer une importation peu écologique des espèces importées depuis l'Asie qui arrivent donc fatiguées du transport, nous offrons aux restaurateurs les mêmes plantes, fraîches que nous produisons localement. Offrir un aliment savoureux et sain est notre priorité.

XV. Conclusion

Alors quoique vos besoins et intentions soient en matière d'hydroponie, nous vous encourageons à populariser cette technique. Ce mode de culture deviendra de plus en plus populaire auprès du jardinier amateur qui a le souci de respecter son environnement.

Après quelques expériences peut-être deviendrez-vous un adepte de la culture hydroponique. Tant mieux ! Mais ne gardez pas cela pour vous, partagez votre enthousiasme avec votre entourage. Plusieurs personnes n'ont encore jamais entendu parler de ce mode de culture, et il est fort possible que le récit de vos expériences racontées de vive voix les incite à essayer à leur tour.

Chapitre II

Chapitre II: Présentation botanique de l'orge et ses principales caractéristiques

Rustique et parfaitement adaptée au climat du bassin méditerranéen, l'orge est la principale céréale cultivée depuis l'Antiquité. Partant de l'époque des Grecs et au Moyen Age, elle était cuisinée sous forme de galettes et de bouillie, conservée sous forme de pain d'orge, puis utilisée dans la brasserie qui était l'une des activités des bourgeois et elle a fini par envahir au XIX siècle l'Amérique du Sud et toute l'Europe. Dans ce contexte, nous allons s'intéresser à l'étude de l'orge qui est une céréale à paille la plus anciennement cultivée. Ce chapitre va nous détailler la taxonomie de l'orge ainsi que ses principales caractéristiques.

I. Taxonomie de l'orge

Depuis plus d'un siècle, la variabilité du genre *Hordeum* constitue un problème pour certains botanistes. Il existe plus de quarante taxons (Bothmer et Jacobsen, 1985; Bothmer, 1992; Kochieva et al., 2001). La délimitation taxonomique du genre n'est toujours pas résolue de façon satisfaisante. En se basant sur la morphologie, le genre *Hordeum* L. est subdivisé en quatre sections : *Hordeum*, *Anisolepis*, *Critesion* et *Stenostachys*. La section *Hordeum* est composée d'espèces vivaces et annuelles et ayant une distribution Eurasienne allant de la Méditerranée à l'Ouest et l'Asie centrale. Cette section inclus essentiellement trois espèces à savoir: *Hordeum vulgare* L., *Hordeum bulbosum* L. et *Hordeum murinum* L. (Bothmer et Jacobsen, 1985; Zohary et Hopf, 1988; Bothmer, 1992).

D'après Chadefaud et Emberger (1960), Prats (1960) et Feillet (2000), l'orge cultivée appartient à la classification suivante :

Règne	Plantae (Règne végétale)
Embranchement	Magnoliophyta (Angiosperme)
Classe	Liliopsida (Monocotylédones)
Sous-classe	Commelinidae
Ordre	Poales (Cyperales)
Famille	Poaceae (Graminées)
Genre	<i>Hordeum</i>
Espèce	<i>Hordeum vulgare</i> L.

Rasmusson (1987), note que le genre *Hordeum* comprend des espèces diploïdes ($2n=14$) dont les biotypes cultivés comme *Hordeum Vulgare*, *Hordeum Distichum*, *Hordeum intermedium* et sauvages comme *Hordeum spontaneum*, *Hordeum agriocrithon* et *Hordeum pusillum*.

L'espèce tétraploïde ($2n=28$) est constituée uniquement des biotypes sauvages comme *Hordeum murinum*, *Hordeum bulbosum*, *Hordeum jubatum* et *Hordeum nodosum*. Linné (1755) in Grillo (1959), classent les orges selon le degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi en deux groupes

(Fig.21):

- **le groupe des orges à six rangs** : dont les épillets médians et latéraux sont fertiles et qui se subdivise selon le degré de compacité de l'épi en :
 - *Hordeum hexastichum* L. (escourgeon) a un épi compact composé sur chaque axe du rachis de 3 épillets fertiles.
 - *Hordeum tétrastichum* L. a un épi lâche composé sur chaque axe du rachis de 2 épillets fertiles.
- **Le groupe des orges à deux rangs** : dont les épillets médians seuls sont fertiles et qui comprend l'*Hordeum distichum* L. qui a un épi aplati et lâche. Cet épi est composé de deux rangées d'épillets fertiles, sur chaque axe du rachis, entouré de 4 épillets stériles.



Figure 67 : L'orge a 6 rangs et l'orge a 2 rangs

Erroux (1956) distingue au niveau de l'espèce *Hordeum vulgare* L. les types *Pallidum*, dont l'épi est de faible densité à section rectangulaire. Ce sont les orges à quatre rangs et les types

Parallelum et Pyramidatum, dont les épis sont plus denses à section hexagonale dites orges à six rangs.

Soltner (2005), a classé les orges en trois groupes selon leur milieu de culture qui sont :

- **Les orges d'hiver** dont le cycle de développement varie de 240 à 265 jours, s'implantent en automne. Ces orges ont besoin pour assurer leur montaison, de température vernalisante qui manifeste un degré plus au moins élevé de résistance au froid hivernal.

- **Les orges de printemps** dont le cycle de développement est très court (environ 120 à 150 jours), s'implantent au printemps. Ces orges n'ont aucun besoin de vernalisation pour assurer leur montaison.

- **Les orges alternatives** qui sont intermédiaires au plan tolérance au froid, entre les orges d'hiver et celles de printemps.

Enfin, Amer et al. (2013) a révisé l'identité taxonomique et clarifié les relations intra et inter spécifiques entre les taxons sauvages et les taxons cultivées du genre *Hordeum*.

En Algérie, on cultive le plus souvent les espèces suivantes :

- *Hordeum distichum* (O. 2 rangs)
- *Hordeum Vulgare* (O. 4 rangs)
- *Hordeum hexastichum* (O. 6 rangs)

II. Les principales caractéristiques de l'orge

1. Morphologie et structure du grain

La forme du grain varie non seulement en fonction des espèces, mais aussi au sein d'une même espèce. Elle peut également varier en fonction de la variété considérée. Le grain d'orge est le fruit appelé caryopse. Il est caractérisé par la présence d'un sillon. Lors de la dessiccation, le grain d'orge se sépare de la tige en restant inséré entre ses enveloppes (glumes et glumelles) on parle de grain vêtu (Fig.22).

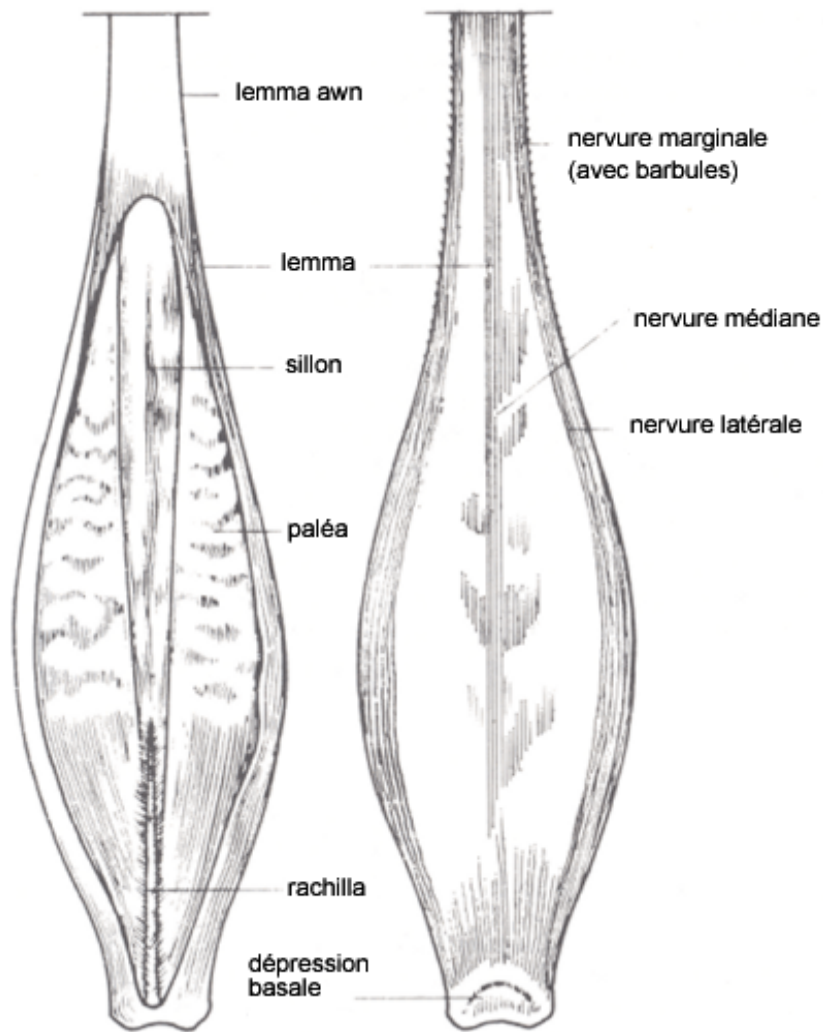


Figure 68: Morphologie de grain d'orge

2. Conditions de la germination

Dans les conditions naturelles, le grain ne doit pas germer rapidement. En effet, le processus de la germination se déclenche à des moments bien précis favorables à la croissance et au développement de ce grain.

De nombreux paramètres internes et externes sont indispensables pour la bonne germination du grain. La présence de l'eau, de la température et de la lumière redémarre les activités cellulaires et provoque de profondes transformations du grain. L'embryon commence à se développer en une racine, une tige et des feuilles et entame sa croissance pour donner l'adulte capable de se reproduire (Laberche, 2010).

a) Conditions de germination externes ou liées au milieu

Pour germer, tous grains et graines ont besoin en plus d'eau, d'oxygène, de chaleur et éventuellement de lumière. L'oxygène doit être à la pression ordinaire de l'atmosphère ; les grains ne germent ni dans le vide ni sous une pression très élevée. Cet oxygène se combine

avec les glucides et les lipides que renferme le grain lors des processus de respiration. Sous l'influence de l'humidité, le grain gonfle, les enveloppes éclatent et se ramollissent.

La température nécessaire à la germination est variable suivant le grain. L'orge (*Hordeum vulgare* L. Poaceae) germe entre 5 et 37,7°C, sa température optimale est de 28,7°C. Le maïs (*Zea mays* L. Poaceae) germe entre 9,5 et 46,2°C, sa température optimale est de 33,7°C. Il existe des grains, notamment ceux des plantes dites pyrophytes, qui vivent dans des milieux sujets aux fréquents incendies, survivent très bien au passage du feu. Chez certaines espèces mêmes, le feu ou une chaleur intense est nécessaire à la germination. La chaleur, en effet dégrade les composés phénoliques et les résines présents dans les téguments de la graine et qui inhibent la germination en temps normal. Ces substances étant dégradées, l'enveloppe de la graine devient alors perméable à l'air et à l'eau. La dormance est levée et le grain peut alors commencer à germer. Par contre, un grain qui a commencé son processus de germination est beaucoup plus vulnérable à la chaleur qu'un grain en dormance. Exposer un grain germé à une température de cet ordre a un effet létal.

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

b) Conditions de germination internes

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

➤ **Le contrôle de la germination par les régulateurs de croissance :**

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

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

➤ **L'inhibition mécanique :**

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

➤ **L'inhibition tégumentaire :**

Des dérivés phénoliques aux propriétés antimicrobiennes stockés dans les téguments des grains jouent également le rôle d'inhibiteur des processus germinatifs (Laberche, 2010); c'est l'inhibition tégumentaire. Ces dérivés peuvent soit avoir une action spécifique en bloquant la mobilisation des réserves, soit empêcher l'eau de mouiller le grain du fait de leur caractère hydrophobe. Généralement, ils s'oxydent lentement avec le temps. Dans la nature, ces composés inhibiteurs sont évacués du grain par lessivage lors des précipitations. Ainsi, la germination d'un grain est contrôlée par de nombreux facteurs (Fig.23).

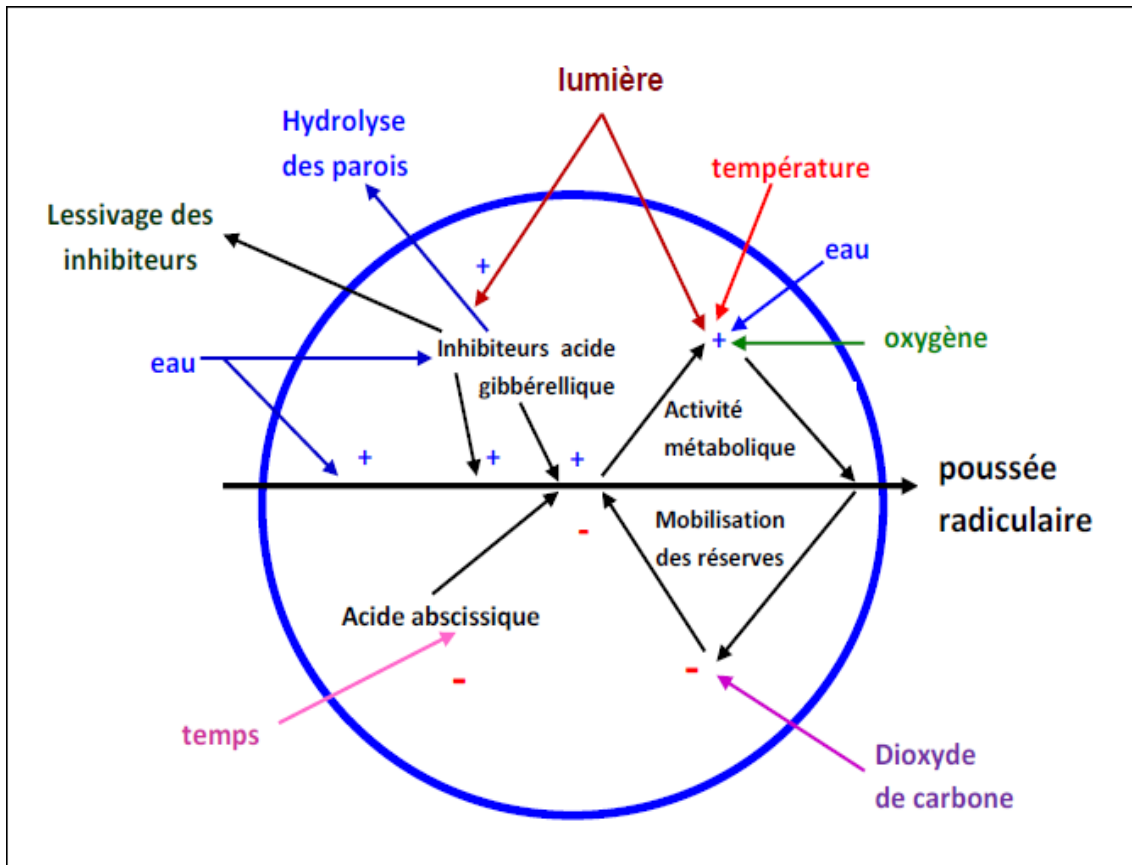


Figure 69: Les facteurs internes et externes qui agissent sur la germination

Toutes les conditions de germination doivent être satisfaites en même temps pour qu'il ait levée de dormance puis poussée radicaire.

Dans ces deux sections, nous avons présenté la classification de l'orge et ses principales caractéristiques afin d'éclaircir la compréhension des chapitres suivants.

CHAPITRE III

Chapitre 3 : Fondements théoriques de l'hydroponique et techniques de production du fourrage en vert

Ce chapitre est réservé aux concepts des techniques de productions du fourrage vert hydroponique. Différentes études ont été réalisées afin d'analyser la valeur nutritive de ce fourrage vert et ont montré que la germination entraîne une nette modification de la composition chimique du grain de l'orge.

VIII. La technique de l'orge hydroponique

1. Principe

La production fourragère de l'orge hydroponique consiste à faire germer des grains, pendant 7 jours, en leur apportant les nutriments nécessaires avec une humidité optimale afin d'obtenir une verdure en hors sol apte à être ingérée et digérée par les animaux (Fig.24). Le tapis est obtenu avec des racines blanches en dessous et des pousses vertes en dessus (Fig.25)

Généralement, ce tapis fourrager est entre 15 et 30 cm de longueur. Pour un kilogramme de grains secs, le poids du fourrage frais varie entre 7 et 9 kg, ce qui correspond à 0.9 à 1.1 kg de matière sèche



Figure 70 : Illustration de la transformation de l'orge en grains en fourrage vert hydroponique prêt à être consommé par les animaux et après 7 jours de germination



Figure 71: Le fourrage d'orge est récolté en une seule natte

2. La mise en place du système

Pour la production d'une tonne de fourrage hydroponique, l'unité de production doit être d'une taille moyenne de 100m². Elle est divisée en deux parties (Fig.26) :

- La première partie est consacrée pour la culture de fourrage et représente 70% de la superficie totale de plancher.
- La seconde partie est réservée à la préparation des grains qui vont être mis à la production et ou les réservoirs d'éléments nutritifs et les pompes de systèmes.



Figure 72 : La mise en place du système

3. Le fonctionnement du système hydroponique

a) Paramètres du système : L'environnement du système est contrôlé activement afin de maintenir les températures optimales, les niveaux de ventilation appropriée, l'humidité, la concentration et le pH de la solution nutritive ainsi que la lumière et ceci grâce à une gamme d'équipements essentiels à la remise du fourrage (Carruthers, 2003).

- **La température :** Le système est équipé par des commandes d'automatisation du climat afin de maintenir les conditions de la température idéale pour la germination qui est entre 17 et 20°C (Clergeau et Clergeau, 1996). Dans les installations simples, cet intervalle peut varier en fonction de la saison. Il sera donc judicieux de choisir un local bien isolé pour faire augmenter la température en hivers et la faire diminuer en été. Ce problème est souvent résolu avec les germoirs climatisés.

- **L'humidité :** C'est un paramètre qui exige un contrôle sévère puisque son excès peut provoquer des nombreux problèmes durant la période production du fourrage hydroponique. On note particulièrement la multiplication éventuelle de quelques champignons qui peuvent être nuisibles à la santé de l'animal et allant jusqu'à la diminution de leurs performances (Myers, 1974). Cependant, il faut ajouter des additifs dans l'eau du pré-trempeage du grain afin de réduire au maximum possible le risque de moisissures. De même, une attention particulière doit être prise pour assurer l'hygiène des plateaux de culture. Ces plateaux doivent être bien nettoyés après chaque récolte et avant le semis de la nouvelle culture. (The New Zealand Merino Company, 2011).

- **La lumière :** Plusieurs études montrent que la lumière n'est pas nécessaire pour faire germer les grains. En effet, un peu de lumière pendant la deuxième moitié de la période de germination favorise certainement la photosynthèse et l'écologisation du fourrage. Si les plantes sont cultivées sans lumière ou à trop faible intensité de lumière, leur photosynthèse sera inexistante ou minimale (Hillier et Perry, 1969 ; Bidwell, 1974 : cité dans Peer et Leeson 1985). Ces plantes ou plantules doivent compter sur leurs réserves de graisse et d'amidon pour pouvoir satisfaire leur besoin en énergie. Morgan et al. (1992) ont constaté que le fourrage disposé à la lumière uniquement le 8ième jour sera vilainement jaune, tandis qu'un niveau très élevé de lumière provoque une diminution de la hauteur de l'herbe. L'éclairage avant le 3ième jour paraît d'une importance limitée vu que Wagner (1984), cité par Morgan et al. (1992), suggère que la photosynthèse n'est pas importante pour le métabolisme des plantes jusqu'à la fin du 5ième jour où les chloroplastes deviennent activés.

- **L'apport en solution nutritive:** Compte tenu de l'inertie biologique et physique du

substrat, la plante doit être constamment alimentée en nutriments et en oligo-éléments qui doivent être apportés par la solution nutritive. Les éléments majeurs nécessaires à la croissance d'une plante sont généralement des minéraux que les plantes peuvent les puiser du sol. La majorité des plantes en croissance ont besoin des éléments nutritifs suivants :

- **L'azote** : C'est l'élément fondamental de la matière vivante. Il favorise la production de feuilles et la croissance de la tige. La plupart des composés organiques végétaux contiennent de l'azote et ce depuis les acides aminés simples jusqu'aux protéines les plus complexes. La chlorophylle elle-même, qui capte l'énergie solaire, est un composé organique contenant notamment de l'azote et du magnésium.
- **Le potassium** : Il exerce une action directe sur l'assimilation chlorophyllienne et sur la migration des sucres vers les organes de réserves. Il agit également sur la synthèse des matières azotées et contribue à régler les rapports de la plante avec l'eau (résistance à la sécheresse).
- **Le calcium** : Avec la magnésie, neutralise de nombreux acides organiques comme l'acide oxalique, par exemple et empêche l'empoisonnement de résidus simples et la pourriture de la plante par elle-même.
- **Le magnésium** : En cas de carence, les feuilles deviennent jaunâtres. Mais s'il est utilisé en grandes quantités, les plantes trouvent leurs feuilles enroulées qui finissent par tomber (Quinte science, 2014).

b) Les étapes nécessaires pour stimuler la germination

- **Le trempage** : Il consiste à faire absorber de l'eau aux grains et ainsi à faire lever la dormance. Cette étape est réalisée dans un bac de trempage où le grain est imbibé dans une solution nutritive pendant 24 heures avant le semis. Cependant, cette opération consiste à déclencher le métabolisme de la matière de réserve que contient le grain et qui va être utilisée pour la croissance et le développement des fourrages (Sneath et Mc Intosh, 2003).

- **L'égouttage** : Généralement, cette étape dure environ 24 heures. Pour faciliter l'écoulement de l'eau d'égouttage, une vanne manuelle d'un système d'ouverture est placée au dessous du bac. Elle est équipée d'un filtre permettant de retenir les graines. Il faut noter que la présence de l'eau très longtemps peut altérer voire même bloquer le processus de germination. On assiste ainsi à un début de pourrissement des grains et même au développement des moisissures (GAB 65, 2011).

IX. Avantages d'utilisation de la technique d'hydroponie

Une production garantie de fourrage vert 100% naturel chaque jour, quelles que soient les conditions climatiques.

Cette technologie produit de manière constante une herbe de qualité optimale et de consistance printanière tout au long de l'année, indépendamment des vicissitudes saisonnières.

La possibilité de bâtir et de respecter un programme scientifique d'alimentation tenant compte des besoins nutritifs des animaux ainsi que des objectifs de performances. Le fourrage vert hydroponique permet une optimisation des performances zootechniques : augmentation de la production laitière, accélération du processus d'engraissement avec une rotation plus rapide du capital investi dans le cheptel, meilleure résistance aux maladies, meilleures performances reproductrices, meilleur goût du lait et de ses produits dérivés, etc. La technologie opérant sans sol, il n'y a donc pas de déchets: 1 T = 1 T nette. L'entièreté de la masse fourragère est consommée par les animaux, y compris les racines. Gain d'eau de plus de 98%. La consommation d'eau représente moins de 2% de la quantité d'eau qu'il faudrait pour irriguer des espaces de culture traditionnels pour un rendement similaire.

La consommation électrique est faible et sa part dans le coût de revient du fourrage est négligeable compte tenu de la production intensive.

Le coût de revient du fourrage est très faible comparé au coût des aliments traditionnels alors que les valeurs nutritives contenues dans le fourrage sont élevées et constantes tout au long de l'année.

La technologie est d'un intérêt vital dans de nombreuses applications :

- Régions souffrant de conditions climatiques défavorables (sécheresse, désertification...)
- Rentabilisation d'exploitations dont les zones de pâturages sont trop restreintes (régions montagneuses, îles,...).
- Pays où le coût du terrain est élevé.
- Régions où les préoccupations écologiques sont à la recherche de solutions pour lutter contre les processus de dégradation des sols, d'érosion et de déforestation par manque de terres de pâtures
- Zones touchées par des catastrophes naturelles ou différentes formes de pollutions.
- Grâce aux unités de production de Fourrage Vert, la création de nombreuses industries de

traitement et de transformation en aval des filières « lait » et « viande » (production de beurre, margarine, milk-shakes, yaourt, viande en conserve, etc.) peuvent être à la base d'un véritable essor économique et favoriser l'emploi de manière significative, en créant ou améliorant le bien-être, même dans des régions où de tels développements agricoles n'étaient jadis qu'un rêve utopique dans des circonstances traditionnelles.

- En garantissant l'indépendance et l'autonomie en fourrage vert, la technologie assure une meilleure planification de l'activité d'élevage et une meilleure gestion financière de l'exploitation. En effet, dans des circonstances traditionnelles, les pertes et les coûts engendrés lors de la survenance d'un événement défavorable (sécheresse, désertification, ...) sont importants et peuvent faire ressentir leurs effets pendant plusieurs années sur la rentabilité de l'exploitation: mortalité, coût de la transhumance, hausse du prix des aliments traditionnels, faiblesse du bétail le rendant plus vulnérable aux maladies, diminution importante du « cash-flow » de l'exploitation d'élevage ou apparition de « cash-drain » empêchant toute politique de réinvestissement et de croissance. L'attitude fataliste du fermier qui était due à la grande dépendance du hasard (aléas climatiques) fait place maintenant à une gestion rationnelle en fonction des objectifs.

- Une unité industrielle de production de Fourrage Vert est un investissement très rentable. Toutes les études réalisées dans le monde montrent des résultats exceptionnels relatifs à la rentabilité du capital, ainsi qu'à la rentabilité de l'investissement et à la période de récupération du capital investi. C'est pourquoi de tels projets mériteraient d'être considérés par des investisseurs qui sont ouverts aux sciences et aux technologies.

- **Coûts d'investissement faibles**

D'énormes économies sur les biens d'équipement peuvent être faites.

- **Machinerie**

Ce système réduit considérablement la nécessité de préparer la terre, de semer, pulvériser, récolter et mettre en balles. Chaque partie de ce processus utilise des machines coûteuses telles que des tracteurs, moissonneuses batteuses et les presses.

- **Les Terres**

Une utilisation plus efficace et rentable de la terre pour produire du fourrage pour le bétail est rendu possible en utilisant l'une de nos unités hydroponiques.

Gain important de terrains. Par exemple, une Usine de Fourrage Vert d'une capacité de 20 T/jour occupe une superficie d'environ 1.700 m et peut remplacer la capacité de production de 200 hectares de pâturages. Par conséquent, les terres gagnées grâce à l'utilisation de la

technologie peuvent être affectées à d'autres usages, contribuant ainsi, par la diversification des cultures, à une productivité accrue de l'exploitation agricole.

- **Les avantages économiques**

Economie d'eau : Les économies d'utilisation d'eau sont très importantes. L'utilisation de la technique du film nutritif (NFT) est au cœur de cette économie, avec l'eau constamment remise en circulation. L'agriculture est soumise à une pression accrue des gouvernements afin de réduire la consommation d'eau, en particulier sur les cultures agricoles. L'utilisation de ce système garantit que votre production quotidienne de fourrage frais ne compromette pas l'approvisionnement en eau.

Utilisation efficace des terres : L'utilisation d'un système de culture vertical est essentielle pour la production en grand volume de fourrage frais sur une petite surface. Par exemple, le système HF 2000 produira régulièrement plus de 3 000 Kg par m² par an. Cela fait d'énormes économies sur les parcelles nécessaires à la culture/production alimentaire.

Economie dans la main d'œuvre : Avec nos systèmes, une seule personne travaillant 2 à 3 heures par jour est nécessaire afin de récolter, semer et effectuer les autres tâches du processus de croissance (cela varie en fonction du système).

Sans pesticide : Le mélange nutritif ne contient aucun pesticide et la production de fourrage à l'intérieur de notre environnement contrôlé élimine toute nécessité de pulvérisation sur la culture.

Environnement sans poussière : L'absence de poussière au cours de notre processus de production signifie moins de problèmes respiratoires autant pour les animaux que les humains.

Réduction de la production de méthane chez les vaches et les moutons : Les vaches sont responsables pour environ 18% de gaz à effet de serre dans le monde. Une des raisons est la mastication constante de l'herbe ruminée. En mangeant notre fourrage, elles pourront digérer plus de nourriture, réduire le volume qui est régurgité et donc la production de méthane qui y est associée.

X. Intervention dans l'alimentation des animaux

Le fourrage en vert issu de la culture hydroponique est destiné essentiellement à l'alimentation des animaux:

1. Les bovins laitiers

Il est bien connu qu'une vache ne reçoit que 20% de l'énergie produite par la digestion d'une alimentation à base de graines comme la luzerne et le maïs pour produire du lait.

Le fourrage hydroponique, gorgé de substances nutritives et d'enzymes, est tellement plus facile à digérer que l'animal utilise beaucoup moins d'énergie lors de la digestion, et donc beaucoup plus en production de lait et en croissance.

2. Les bovins d'embouche

- Amélioration de la prise de poids
- Amélioration dans la graisse et le persillage
- Amélioration du bien-être général du cheptel
- Amélioration de l'état du pelage
- Amélioration de la fertilité

Nos agriculteurs nous révèlent que, pendant l'hiver, lorsqu'ils nourrissent leurs taureaux avec des graines germées comme partie intégrante de leur alimentation, ils ont obtenu une prise de poids de 41% par rapport au groupe témoin nourri avec un régime normal hivernal.

Ainsi, les avantages pour la santé des animaux se transforment en avantages pour les agriculteurs, avec de meilleurs prix sur les marchés et plus de viande par animal à l'abattoir.

3. Les Moutons

- Amélioration de la qualité de la laine
- Augmentation de la fertilité
- Moins d'usure dentaire

Les avantages pour les moutons sont bien connus. Ils vont de la simple survie d'un grand nombre de moutons dans des conditions météorologiques extrêmes à l'amélioration de la condition de la laine, l'augmentation de la fertilité / taux de conception et l'amélioration du taux de natalité / diminution du taux de mortalité infantile.

En contrepartie, ils conduisent à de meilleurs prix pour les moutons sur le marché puisque l'agriculteur peut revendre lorsque les prix sont les meilleurs pour lui.

4. Les chèvres

- Gain de poids
- Des sabots plus sains
- Amélioration de la fertilité

La fabrication et la distribution de la viande de chèvre est l'une des plus grandes industries de viande dans le monde.

Un agriculteur à Victoria, en Australie, qui possède 3500 chèvres, souligne que les chèvres nourries avec du fourrage engraisseront plus rapidement, ont un plus beau pelage et des sabots plus sains, surtout lorsque la saison est humide. En outre, les taux de conception et de natalité

sont grandement accrus par rapport à ceux des chèvres ayant un régime normal de pâturage et de matière sèche / céréales, en particulier pendant les mois d'hiver.

5. La volaille

- Plus d'œufs
- Des œufs plus gros
- Des jaunes d'œufs foncés

Des essais en Tasmanie ont montré que, lorsqu'alimenté avec du fourrage, 20 poulets fermiers d'un an ont augmenté leur ponte de 5 par jour à 15 par jour dans les 3 semaines d'introduction au fourrage.

En outre, les jaunes d'œufs sont visiblement plus foncés. Ces essais se poursuivent, mais montrent de bons résultats à ce jour.

6. Les chevaux:

- Amélioration de la robe
- Meilleure performance des chevaux de course
- Amélioration de l'hydratation après la compétition ou le travail
- Réduction des factures vétérinaires
- Des coûts alimentaires plus bas

Après avoir effectué des essais avec des chevaux de course, nous pouvons affirmer, avec un degré élevé de crédibilité, qu'après les avoir nourris avec un complément de graines germées pendant 3 mois, la victoire et le ratio du placement n'ont jamais été meilleurs qu'auparavant.

En outre, l'incidence de coliques, les problèmes respiratoires et les ulcères de l'intestin ont été considérablement réduits dans l'ensemble de l'écurie. L'incroyable digestibilité des graines germées frais a permis de réduire les coliques et les ulcères. L'absence de poussière dans le fourrage vert par rapport à l'alimentation sèche aide à la respiration.

7. Les cervidés

Les avantages de notre système pour les cervidés élevés pour la venaison sont les suivants :

- Prise de poids
- Amélioration du pelage
- Amélioration de la fertilité

Les cervidés bénéficient beaucoup de l'alimentation quotidienne de fourrage de graines germées frais. Notre étude de cas témoigne de l'efficacité de l'alimentation fourragère par rapport à un régime alimentaire normal de pâturage et de foin.

8. Les animaux du zoo

La grande majorité de l'alimentation des animaux du zoo est achetée et transportée à partir de sources externes.

De nos jours, de plus en plus de zoos se penchent sur la façon dont ils peuvent nourrir leurs animaux d'une manière responsable, avec une production alimentaire locale, réduisant ainsi leurs coûts et, plus important, sera bénéfique pour la santé de leurs animaux.

Une grande majorité de zoos ont des ruminants et autres animaux de pâturage qui se nourrissent principalement d'herbe ou substitut tel que le foin.

Des animaux comme les chameaux, éléphants, girafes, okapis, tapirs, rhinocéros, antilopes (y compris les impalas, koudous, gnous, oryx, springboks, gazelles, élans, dik-dik, etc.), zèbre, bisons, buffles, cerfs, sans parler de la ménagerie avec les bovins, moutons, chevaux, chèvres et porcs pourraient bénéficier de l'alimentation quotidienne de fourrage de graines germées frais.

XI. La valeur nutritive

Les aliments contiennent de nombreux types de matériaux organiques et inorganiques tels que les glucides, les protéines, les fibres, les minéraux et les vitamines. Les nutriments issus de ces matériaux déterminent la valeur nutritive de l'aliment. Le tableau III, ci-dessous présente l'analyse des éléments nutritifs pour une gamme de types d'aliments y compris le fourrage hydroponique.

Tableau 10 : Teneurs en éléments nutritifs d'une gamme de sources d'alimentation

Aliments	Matière sèche (%)	Energie métabolisable (MJ / kg MS)	Protéines brutes(%)
Grains d'orge	88	12	10
Avoine	91	10	9
Paille d'orge	89	6	2
Ensilage	43	9	14
Foins	86	8	10
Triticale ensilé	42	9	10
Orge hydroponique	9,9	11	24

Source : Hinton(2007)

Chavan et Kadam(1989), ont conclu que les changements nutritionnels souhaitables qui se produisent pendant la germination sont principalement dues à la dégradation des composés complexes en une forme plus simple, à la transformation en constituants essentiels et à la répartition des constituants indésirables sur le plan nutritionnel.

De même, et d'après les mêmes Auteurs cités par Sneath et McIntosh (2003), la germination des grains provoque une augmentation des activités de l'hydrolyse des enzymes, des améliorations dans le contenu de protéines totales, des graisses, de certains acides aminés essentiels, du total des sucres et des vitamines du groupe B et une diminution de la matière sèche ainsi que l'amidon.

Le tableau IV ci-dessous illustre l'évolution des teneurs en quelques nutriments de l'orge hydroponique durant les 5 premiers jours de germination.

Tableau 11 : Evolution des teneurs en glucides solubles, en amidon, en azote total et soluble (En % de la matière sèche)

	Extrait aqueux	Glucides solubles	Amidon	N total (NT)	N soluble (NS)	NS /NT
Orge	12,5	4,4	59,8	2,14	0,41	19,2
Après égouttage	14,9	5,6	58,6	2,13	0,43	20,2
Germination j1	10,9	8,3	49,1	2,18	0,53	24,3
Germination j2	30,5	12,9	48,2	2,22	0,67	30,2
Germination j3	38,8	15,6	39,8	2,29	0,88	38,4
Germination j4	46,0	16,5	33,7	2,43	0,92	37,9
Germination j5	37,0	12,9	24,0	2,68	1,23	45,4

Source : Dermaquilly (1987)

D'autre part, pour le grain d'orge ayant absorbé de l'eau pour germer, sa teneur en eau devient plus importante (de l'ordre de 88,5%) que celle de l'orge en grain (de l'ordre de 11%). De ce fait, la germination du grain se traduit par une perte de la matière sèche qui varie en moyenne de l'ordre de 20 à 25%. Par conséquent, la diminution des teneurs en éléments nutritifs souvent observée lors de cette germination est tout à fait normale puisque la plantule utilise les réserves du grain pour ses propres synthèses (Dermaquilly, 1987).

Concernant la valeur énergétique des repousses hydroponiques, elle est généralement plus faible que celle du grain d'origine. Ceci se traduit par une perte d'énergie brute de l'ordre de 2% en comparant l'orge en vert hydroponique et le grain d'origine (Dermaquilly, 1987).

Durant la germination, l'amidon est transformé en sucres simples et solubles qui vont être utilisés par la plantule comme source d'énergie pour la respiration et d'autres synthèses (Sneath et Mc Intosh, 2003). Cette transformation reflète l'augmentation de la teneur du fourrage hydroponique en cellulose d'une manière importante (Dermaquilly, 1987).

Selon les expériences faites par Kaeffer (2013), les valeurs énergétiques et protéiques sont mentionnées dans le tableau V, ci-dessous :

Tableau 12 : Comparaison des valeurs énergétiques et protéiques de l'orge en grains et de l'orge germée.

	orge	Orge germée
Energie / kg de MS		
UFL	1,16	1,11
UFV	1,16	1,08
Protéines en g / kg de MS		
MAD	99	126
PDIN	80	107
PDIE	100	102

Source : Kaeffer (2013)

Quant à la valeur protéique du produit hydroponique, on note que la germination stimule l'activation des enzymes qui hydrolysent les protéines en leurs composants simples (Dung et al. 2010). Cette hydrolyse assure l'augmentation des concentrations en acides aminés au sein du grain et de la tige (Chavan et Kadam, 1989). Néanmoins, Sneath et Mc Intosh (2003) indiquent que près de la moitié de l'augmentation de la teneur en protéines brutes est due à la réduction de la matière sèche enregistrée durant la germination. Cette réduction concentre le poids des protéines présentes et donne par conséquent des teneurs plus élevées sans aucune augmentation réelle des matières azotées.

Ce phénomène se trouve parfaitement confirmé par Dermaquilly (1987) qui indique que l'augmentation de la teneur en matières azotées n'est qu'un simple effet relatif à la disparition des autres constituants.

D'autre part, Sneath et Mc Intosh (2003) indiquent que la teneur en vitamines se trouve généralement améliorée au stade de germination. Cependant, cette augmentation est si faible que son importance pratique ne peut pas répondre aux besoins nutritionnels quant on utilise des rations à base de céréales. Enfin, le tableau VI, récapitule les teneurs moyennes en quelques nutriments de base de l'orge hydroponique.

Tableau 13 : Teneurs en quelques nutriments et minéraux de l'orge hydroponique

Nutriments et minéraux	En % par rapport à la matière sèche
Protéines brutes	20,2
Matières grasses	4,3
Cellulose brute	11,3
Amidon	15,4
Calcium	0,15
Phosphore	0,46
Energie métabolisable (ruminants)	12,1 MJ par Kg de MS

Source : Hartsliet (2012)

XII. La Qualité nutritive

**Figure 73 : un tapi vert d'orge hydroponique**

a) Les graines germées dans le contexte actuel

Des résultats d'études munis par les ministères de l'agriculture de plusieurs pays, vis-à-vis la rentabilité nutritionnelle et économique du fourrage germé hydroponique L'utilisation de céréales germées apparaît déjà comme un bon complément en vitamines et minéraux pour une ration. Cet apport pourra constituer une part réduite de la ration comme une part plus importante. Tout le troupeau pourra en recevoir, mais s'il faut faire des choix, il sera judicieux de préférer les animaux faibles, les mères en début de lactation, les reproducteurs, les vaches

avant la mise à l'herbe par exemple. Sans toute fois oublier les animaux mono gastriques tel que chevaux et lapins; l'orge germée leur est bien bénéfique.

b) Apport minérale et vitaminé Scientifiquement prouvé

La germination augmenterait les valeurs protéiques et glucidiques des graines ? C'est à cet effet que les études et articles publiés divergent. Cependant, l'amélioration des teneurs en vitamines et minéraux n'est pas remise en cause. La littérature scientifique semble s'accorder sur l'augmentation de la valeur en vitamines (A, B, C) et des minéraux, notamment le phosphore et le calcium. L'apport en vitamines améliorera la croissance et la défense immunitaire. L'efficacité digestive sera améliorée, l'assimilation du reste de la ration aussi. L'effet sur l'appétence permettra aussi, lorsque les graines germées sont mélangées au reste de la ration, d'augmenter les quantités ingérées. C'est certainement la raison pour laquelle les animaux se portent très bien. La levée de dormance lors de la germination permet d'activer des enzymes et d'en synthétiser de nouvelles (les enzymes glucidiques comme l'amylase, la cellulase et les protéolytiques comme les protéases et les lipidiques comme les lipases...). Ces composés sont des catalyseurs biologiques qui permettent de découper les chaînes d'atomes. On obtient des molécules plus petites et plus facilement assimilables. L'amidon et la cellulose se transforment en sucres simples, les protéines en acides aminés et les lipides en sucres. D'autres transformations concernent la diminution des facteurs antitrypsiques . Diminution aussi de l'acide phytique par augmentation de la pytase qui permettra une meilleure assimilation des minéraux...

XIII. Pourquoi le fourrage vert est indispensable pour une bonne production ?



Figure 74 : bovins laitiers se nourrissent d'orge hydroponique

La valeur alimentaire d'un fourrage se caractérise par 2 facteurs :

- sa valeur nutritive ou concentration en différents éléments nutritifs;
- la quantité de fourrage volontairement ingérée par l'animal est exprimée par la matière organique digestible MOD (g/kg de matière sèche).

La concentration en énergie ou valeur énergétique est le facteur limitant essentiel de la valeur nutritive; elle est exprimée par l'unité fourragère UF (par kg de matière sèche : UFL pour le lait et UFV pour la viande).

Le coefficient de digestibilité du fourrage vert varie de 50 à 85%, avec des variations encore plus grandes de la valeur énergétique: de 0,30 à 1,00 UF par kg de matière sèche.

Au cours du premier cycle des graminées, la digestibilité dépend de son stade de végétation. Elle présente des valeurs élevées au début du premier cycle (80 à 85%) et diminue ensuite de façon continue et rapide (0,5 à 0,6 point par jour) pour atteindre à la maturité jusqu'à 50%. Pour un ruminant, notamment lors du premier cycle de végétation, la quantité ingérée diminue avec les différents stades de végétation, la production qu'il va pouvoir assurer va même

diminuer beaucoup plus que celle de la digestibilité des fourrages qui lui sont offerts. Ainsi pour une vache laitière, quand la digestibilité de la plante fourragère diminue de 80 à 65 %, la production laitière diminue elle de plus de 30%.

La matière organique digestible (MOD) s'explique essentiellement par la teneur en parois végétales qui augmente avec la croissance de la plante : plus elle se développe (plus elle est incrustées de lignine), moins elle est digestible : une augmentation de la teneur en parois indigestibles de 10 g/kg de MS entraîne une diminution de la digestibilité de 1 point et de la valeur UFL de 0,02 unité.

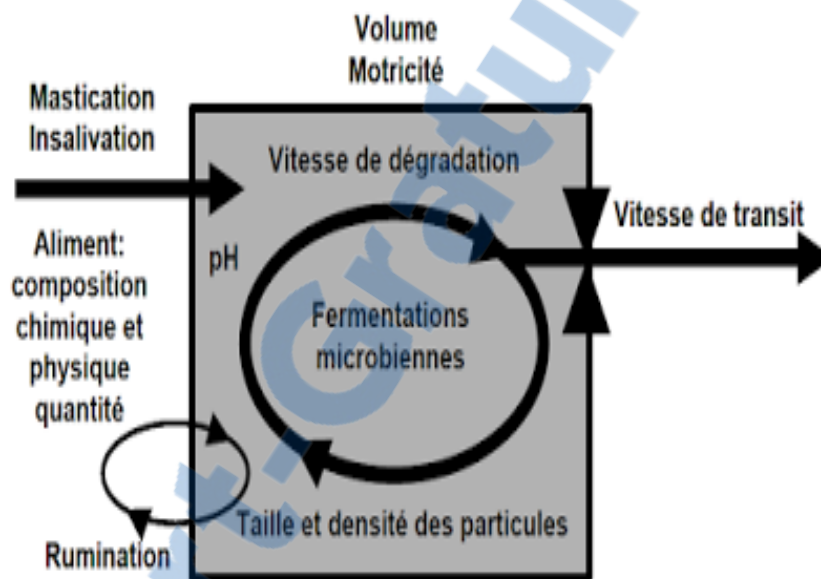


Figure 75 : schéma qui explique la relation entre la valeur énergétique et de la valeur nutritive

Dans une prairie, on constate la diminution de la valeur énergétique avec le stade de végétation au cours des cycles. Elle est lente tant que la plante est végétative, la diminution de la valeur énergétique s'accélère pour les graminées à partir de la montaison. La digestibilité diminue aussi avec la croissance de la plante. Pour l'alimentation des ruminants, les résultats sont très bons en début de cycle, mais diminuent au fur et à mesure de la croissance de la plante fourragère.



Figure 76 : cheval se nourris de fourrage hydroponique

D'autres valeurs sont à prendre en considération dans un fourrage :

- La valeur azotée des fourrages s'exprime par leur teneur en protéines digestibles dans l'intestin (PDI) afin d'intégrer les remaniements importants des protéines dans le rumen. Pour les graminées et les légumineuses fourragères, la valeur azotée augmente avec la valeur énergétique (figure 1b). A même valeur énergétique, cependant, les légumineuses ont une valeur azotée supérieure à celle des graminées.

- Les unités d'encombrement (UE) expriment l'ingestibilité des fourrages, c'est-à-dire leur capacité à être ingérés en plus ou moins grande quantités lorsqu'ils sont distribués à volonté. Plus un fourrage est encombrant, moins il est ingestible. L'encombrement d'un fourrage est proportionnel à son temps de séjour dans le rumen, il est lié à la teneur en parois végétales des plantes.

- La teneur minérale des fourrages : les éléments minéraux majeurs, phosphore (P), calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), sodium (Na) et chlore (Cl). Les besoins des animaux et l'apport alimentaire s'expriment en éléments absorbables.

Les valeurs des fourrages aussi bien de graminées que de légumineuses des prairies dépendent donc du cycle de végétation, du mode de conservation du fourrage et de sa teneur en azote sur sa dégradabilité dans le rumen et sur la digestibilité de l'azote alimentaire dans l'intestin.

Que ce passe-t-il pour le fourrage vert hydroponique ? Il est encore plus avantageux que le fourrage de prairie ou de pâturage, sa qualité est constante tout au long de l'année. Elle est

sensiblement la même que pour une jeune herbe de début de cycle, aussi bien pour la valeur énergétique (UF) que pour la digestibilité (MOD). En plus les animaux mangent aussi bien l'herbe que ses racines qui sont riches en amidons : ce qui augmente encore sa valeur. Pour une bonne alimentation des ruminants, il faut augmenter la part de l'herbe pâturée (qui peut être aussi remplacé par du fourrage vert hydroponique). Cependant, son principal inconvénient réside dans ses valeurs excédentaires en protéines digestibles, qui favorisent des rejets azotés importants. Une grande diversité de fourrage est donc nécessaire. Il faut toujours chercher à optimiser les rations alimentaires, en tenant compte de leur composition chimique, de la valeur nutritive, de l'ingestibilité et de la valeur minérale.

Pour obtenir une bonne production de notre élevage, il est indispensable d'équilibrer les rations alimentaires en utilisant une grande partie en fourrage vert (de 40 à 60%), soit de prairie, soit en fourrage vert hydroponique. Ce qui nous garantit une bonne ingestion et une composition alimentaire riche. Ceci devra impérativement être complété avec une alimentation en sec (foins, aliments concentré et autres...). Enfin, il faut savoir que répartir les rations en plusieurs fois par jour favorisent mieux la digestion et permet une meilleure production du cheptel aussi bien en lait qu'en viande.

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

XIV. Profil mycologique

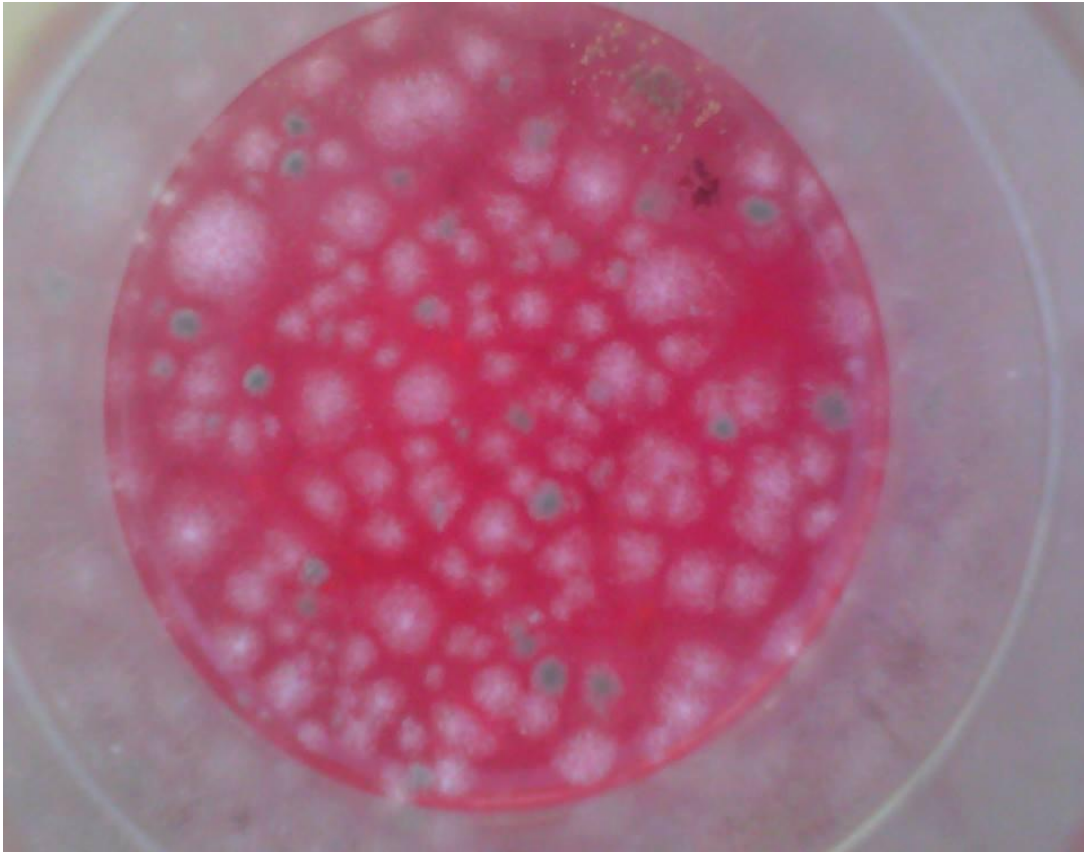


Figure 77 : Les moisissures

Les moisissures ennemies n°1 du fourrage hydroponique

Parce qu'elles se développent dans les mêmes conditions que le fourrage vert hydroponique, les moisissures font des ravages quand on ne sait pas se prémunir. Les principales sont la moisissure bleue, la moisissure verte et la moisissure toile d'araignée (coton gris).

La moisissure bleue (*Penicillium*)

Des spores bleu-vert abondantes sont produites à la surface (*Aspergillus* est similaire). Les conditions de croissance sont quasiment identiques aux autres moisissures. Le *Penicillium* utilise des hydrates de carbone simple comme la cellulose et l'amidon disponibles dans la graine. Les spores sont aéroportées et omniprésentes.

La moisissure verte

La moisissure verte est causée par le *Trichoderma harzianum*, elle se caractérise par un mycélium agressif blanc qui se développe à la surface de l'enveloppe et provoque une légère décomposition. C'est lors de la sporulation qu'il prend sa couleur verte.

La moisissure toile d'araignée (Mycélium cotonneux)

Elle se forme à la surface des cultures. Lorsqu'elle entre en contact avec une graine, elle est entièrement recouverte d'un fin voile mycélien et provoque un léger moisi. Le Mycélium cotonneux est un parasite naturel. La moisissure « toile d'araignée » a un réseau de mycélium très fin.

Pour les combattre, une désinfection rigoureuse est primordiale. Nettoyage des étagères, des murs, du sol et des plateaux Il existe plusieurs produits pour nettoyer ces surfaces, notamment ceux à base de chlore. Aussi une humidité trop importante favorise l'apparition de ces moisissures. Diminuer l'humidité ou augmenter la circulation d'air réduit les risques de contamination.

CHAPITRE IV

CHAPITRE IV : Analyse empirique (Etude quantitative et qualitative du fourrage vert hydroponique)

Dans ce contexte, notre étude expérimentale portera, en premier lieu, sur le suivi de l'évolution au cours de la germination de la production en matière sèche, de la composition chimique, de la valeur azotée et de la valeur énergétique de l'orge en vert hydroponique issue de notre unité de production. Notre unité utilise un système de production qui est considérée comme automatisé.

I. Matériel et méthodes

1. Matériel

a) Présentation de l'unité de production :

Une unité de production d'orge hydroponique fait partie de ma propre propriété privé ; qui se trouve à l'ouest de sidi mdjahed sur la route vers sidi mbarek exactement a Zaouia Tghalimet (centre-ouest de la wilaya de Tlemcen) daira de beni boussaid.



Figure 78 : Photo satellitaire de notre unité de production

Notre étude a été réalisée au sein de cette unité, on utilise un système de production qui est considérée comme un système automatique et sophistiqué. Ce système se distingue non seulement par son auto contrôle des différents paramètres environnementaux, mais aussi par son auto arrosage. Notre unité est une sorte de chambre de production d'une capacité de 100 Kg par jour de matière brute et faisant 10 mètres de long, 9.2 mètre de large et 3 mètre de hauteur. Cette unité de production est équipée d'un climatiseur, de 3 ventilateurs (deux qui sont installés latéralement sur les cotés droit et à gauche et un 3ième qui est installé en haut), un humidificateur, 14 lampes (10 qui sont installées latéralement à droit et à gauche et 4 autres qui sont installées en haut) et d'un système automatisé d'irrigation. Au milieu de cette chambre, 2 trames sont installées en ligne comprenant chacune 10 niveaux. Sur chaque niveau, 22 plateaux en plastique spécial sont installés sous une forme de bande légèrement inclinée (Fig.). Les plateaux, au nombre de 126 par trame, mesurent 68 cm de long et 28 cm de large. Avec un poids moyen est de 500 grammes, ces plateaux se trouvent aussi perforés sur la largeur afin d'éviter la stagnation de l'eau d'arrosage. Le système d'irrigation est composé de deux pompes liées chacune à un réservoir à flotteur (un 1ier réservoir pour la solution nutritive et un second pour l'eau distillé) permettant d'alimenter d'une manière alternée des buses d'arrosage installées au dessus des plateaux. Ces buses pulvérisent les solutions sur un rayon de 1.5 mètre. Le tout est lié directement à un tableau de bord qui contrôle à la fois la température, la lumière, l'humidité et même la fréquence de l'arrosage. Des bacs spéciaux pour le trempage et pour l'égouttage (poreux) ayant des dimensions de 60 cm de long, 40 cm de large et 30 cm de hauteur sont disponibles.

Pour ce système automatique, le contrôle des différents paramètres environnementaux se fait par l'intermédiaire d'un tableau de commande qui ajuste automatiquement chaque paramètre indépendamment des conditions climatiques de l'extérieur. En effet, une fois la température intérieure du local se trouve en dessous ou en dessus des 18°C, le climatiseur se déclenche automatiquement pour l'ajuster. L'humidité relative est toujours maintenue aux alentours de 70% au maximum. L'éclairage est toujours assuré par l'intermédiaire des dix lampes installées. Quant à l'arrosage, il est programmé pour une fréquence de 6 fois par jour. Les plateaux sont arrosés 2 fois par de l'eau distillé et 4 fois avec solution nutritive.



Figure 79 : Disposition des trames de l'unité de production



Figure 80 : un tableau de commande

b) Techniques et procédures de transformation

La variété de l'orge utilisée est celle de l'orge locale de consommation, La technique de la transformation de l'orge en grains en fourrage vert se résume dans les étapes suivantes :

Le tamisage : il est effectué pour éliminer les impuretés.

Lavage avec de l'eau : les grains d'orge tamisés seront par la suite lavés avec de l'eau (de l'ordre de 1 litre d'eau par kg d'orge).

Stérilisation : trempage de l'orge dans l'eau javellisée pendant 15 minutes puis rinçage (12 ml de javel et 12% chlore par litre d'eau).

Trempage : le trempage se fait suivant 3 étapes successives :

Trempage des grains pendant 15 heures dans de l'eau oxygénée afin d'accélérer la germination (1 litre d'eau par kg d'orge).

Extraire l'eau et laisser les grains se reposer pendant une heure.

Trempage à nouveau des grains pendant 8 heures, mais cette fois ci dans une solution antibactérienne (ajout de 50 g du produit appelé CO1 dans un litre d'eau et ce pour un kg d'orge).

L'égouttage : il se fait pendant 48 heures à l'obscurité dans les bacs poreux.

La mise en plateau : elle se fait juste après l'égouttage. Les plateaux doivent être superposés et contenant chacun 1.5 kg d'orge trempée, ce qui correspond à 1 kg de grains secs.

La récolte : elle se fait après 7 jours de la mise en plateaux.

2. Protocole expérimental

Pour mieux confirmer l'importance de l'hydroponie dans le domaine de l'alimentation animale, nous proposons d'étudier le rendement de la production de l'orge hydroponique non seulement du côté «quantité produite», mais aussi du côté «qualité du produit». Ceci va nous permettre éventuellement d'étudier même la rentabilité de notre système.

En vue de suivre l'évolution au cours de la germination de la production de la matière hydroponique dans un premier temps, puis de la composition chimique et de la valeur nutritive de l'orge hydroponique, des pesées ont été réalisées sur deux plateaux choisis au hasard (deux répétitions) pour chaque jour de germination. Partant du jour (J0) qui est le jour de la mise en plateau du grain trempé, (J1) qui est le jour suivant ... jusqu'au jour (J7) qui est le jour de la récolte, le poids du contenu en matière brute de chaque plateau a été enregistré. Une fois pesé, le contenu de chaque plateau sera utilisé pour effectuer le prélèvement d'un échantillon. Ce dernier qui est à la fois homogène et représentatif dans sa composition physique et chimique, doit être ramené rapidement au laboratoire du « mairerie de maghnia » pour effectuer toutes les analyses nécessaires. Chaque échantillon prélevé en quantité suffisante pour réaliser toutes les analyses, doit être bien identifié et bien renfermé dans des sachets plastiques.

Parallèlement, et seulement pour les plateaux du 7ème jour de germination, des petits échantillons de quelques cm² ont été écartés à part pour pouvoir non seulement évaluer le taux de germination des grains observé.

3. Analyses chimiques et méthodes de calcul

Une fois l'échantillonnage est réalisé, la conservation de l'aliment prélevé est absolument nécessaire en vu de réaliser les analyses au laboratoire ultérieurement.

a) Conditionnement des échantillons à analyser

L'échantillon doit être conditionné de sorte à éliminer au maximum possible la quantité d'eau qu'il peut contenir. Cette opération va nous permettre non seulement la reconnaissance de la teneur en eau de l'aliment, mais aussi de faciliter le broyage et la conservation des échantillons. La technique de conditionnement la plus répandue à l'échelle mondiale est l'utilisation de températures assez basses pour le séchage (de l'ordre de 65°C).

b) Détermination de la teneur en matière sèche

Comme décrite précédemment, la technique la plus utilisée pour mesurer la teneur en matière sèche d'un échantillon quelconque, consiste à la mise de l'échantillon dans une étuve dont la température est généralement compris entre 60 et 80°C et jusqu'à poids constant (AOAC, 1990). L'opération consiste à placer l'échantillon dans des creusets identifiés préalablement séchés et tarés pour être pesé et séché à l'étuve jusqu'à un poids constant. Les creusets contenant l'échantillon séché seront par la suite pesés après quelques minutes de refroidissement dans un dessiccateur.

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

$$MS\% = (P2 - P0 / P1 - P0) * 100$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P0 : \text{poids du creuset vide (g)} \\ P1 : \text{poids du creuset avec la matière fraîche (g)} \\ P2 : \text{poids du creuset avec la matière sèche (g)} \end{array} \right.$$

c) Broyage des échantillons

Le broyage des échantillons permet d'homogénéiser au maximum possible l'échantillon à analyser. L'échantillon est finement broyé au moyen d'un moulin muni d'un tamis ayant des mailles de 1 mm (AOAC, 1990). Dans notre cas, un premier broyage de 3 à 5 mm a été réalisé pour éviter l'échauffement des particules alimentaires, puis refaire le broyage à 1 mm (Fig.). Généralement le broyage se fait par l'intermédiaire d'un moulin à marteaux. Enfin, et après broyage, l'échantillon doit être conservé dans des flacons plastiques portant des étiquettes sur lesquelles seront indiqués tous les renseignements concernant l'échantillon en question. Ces

flacons, une fois bien fermés, doivent être mis dans un endroit loin de l'humidité et de la lumière permettant une bonne conservation de l'échantillon en attente des analyses ultérieures.

Une fois la teneur en matière sèche est déterminée pour chaque répétition, pour chaque jour de germination on procède par le regroupement des deux répétitions après broyage pour le reste des analyses.

Au moment des analyses, l'échantillon qui est séché et broyé doit être en parallèle soumis à une analyse de la teneur en matière sèche dite analytique (MSa) vu que cet échantillon ne peut jamais être à l'air libre à 100% de matière sèche. Elle se fait par séchage à l'étuve à 105°C durant 24 heures d'une prise d'essai de 5 grammes d'échantillon.

d) Détermination des teneurs en cendres totales et en matière organique

La matière sèche d'un échantillon quelconque est constituée d'une première fraction renfermant tous les constituants organiques (hydrates de carbonnes, lipides, matière azotées et vitamines) et d'une seconde fraction inorganique renfermant les minéraux. Cette dernière fraction représente la quantité de cendres totales (CT) que peut contenir l'échantillon analysé. Sa teneur est obtenue après calcination à 550°C dans un four à moufle d'une prise d'essai de l'échantillon jusqu'à l'obtention de cendres blanches ou grises (AOAC, 1990). Cette prise d'essai qui est généralement de 1 à 2 g pour les fourrages, est pesée avec précision dans des creusets en porcelaine préalablement tarés. L'incinération dure pratiquement 6 à 7 heures. Après calcination, les creusets seront refroidis dans un dessiccateur pour être enfin pesés avec leurs résidus.

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

$$CT\% = (P2 - CV / P1 - CV) *MSa*100$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P1 : \text{Poids du creuset avant calcination (g)} \\ P2 : \text{Poids du creuset après calcination (g)} \\ CV : \text{poids du creuset vide (g)} \\ MSa : MS\% /100. \end{array} \right.$$

La teneur en matière organique (MO) sera ainsi égale à :

$$MO\% = 100 - CT\%$$

e) Détermination de la teneur en matières azotées

Les matières azotées sont subdivisées en matière azotées protéiques (les protéines vraies de l'aliment) et en matières azotées non protéiques (autres formes azotées notamment les amines, les amides, les nitrates, les nitrites, l' NH_3 , les acides aminés libres ...). Par ailleurs, il existe plusieurs techniques de dosage permettant de quantifier ces différentes fractions azotées.

La teneur en matière azotées totales ou en protéines brutes d'un échantillon peut être obtenue en dosant l'azote total (N) qu'il contient selon la méthode de Kjeldahl. Cette technique a été mise au point pour la première fois en 1883 par Johan Kjeldahl. Elle comporte trois étapes principales et successives (AOAC, 1990; 1995; 1999).

Pour la 1^{ère} étape, l'azote organique que contient l'échantillon est transformé en azote minéral et ce en présence de H_2SO_4 concentré (95% au minimum).

La 2^{ème} étape (qui est la distillation) consiste à déplacer l'azote minéral formé en présence de la soude caustique NaOH (30%) et par entrainement à la vapeur puis recueilli quantitativement dans une solution standard de réception. Celle-ci est constituée essentiellement d'acide borique et d'un indicateur coloré (2g de rouge de méthyle + 1g de bleu de méthylène pour 1000 ml). Cette étape est souvent réalisée par l'intermédiaire d'un distillateur qui est généralement du type semi-automatique (Fig.35).



Figure 81: distillateur semi automatique utilisé

Pour la 3^{ème} étape, la quantité d'azote ainsi recueillie est titrée par l'intermédiaire d'un acide ayant une normalité connue. La quantité d'acide nécessaire pour réaliser cette titrations est

mesurée à l'aide d'un titrateur (Fig.36). Cette procédure qui est la plus utilisée, se base sur le virement du milieu vers sa couleur initiale.



Figure 82 : titrateur utilisé

La teneur en azote ou en MAT de l'échantillon est ainsi calculée comme suit:

$$N\% = ((V - V_0) \cdot N \cdot 14,01) / PE \cdot MSa \cdot 100$$

$$MAT\% = N\% \cdot 6,25$$

V_0 : ml d'HCl utilisé pour la titration des blancs

V : ml d'HCl utilisé pour la titration de l'échantillon

N : normalité de l' HCl utilisé

14,01 : facteur d'équivalence, 1ml d'HCl 1N titre 14,01 mg d'azote

PE : prise d'essai (en mg)

MSa : MSa% /100

f) Dosage de la cellulose brute par la méthode de Weende

La méthode de Weende est l'une des méthodes les plus utilisées pour doser les constituants des parois cellulaires des végétaux. Elle permet de doser la matière organique exemptée des graisses et insoluble en milieux acide et alcalin, conventionnellement appelée cellulose brute. En effet, l'échantillon conditionné est hydrolysé successivement par une solution acide diluée (H₂SO₄ : 0,26 N) et ensuite par une solution alcaline diluée (KOH : 0,23N) (AOAC, 1990 ; 1995). La cellulose brute représente une fraction indéterminée de cellulose, d'hémicellulose et

de lignine. Les deux traitements successifs sont généralement réalisés par l'intermédiaire d'un extracteur analyseur du type semi-automatique permettant le nettoyage des particules résiduelles après chaque traitement (Fig.37).



Figure 83 : Extracteur analyseur du type semi-automatique

La teneur en cellulose brute est ainsi calculée comme suit :

$$CB\% = (P1-P2) / PE * MSa * 100$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P1 : \text{poids du creuset après séchage à } 105^{\circ}\text{C (g)} \\ P2 : \text{poids du creuset après calcination (g)} \\ PE : \text{prise d'essai (g)} \\ MSa : MS\% \text{ a } / 100. \end{array} \right.$$

g) Dosage des matières grasses

Les lipides constituent un groupe de substances organiques très énergétiques, insolubles dans l'eau, mais solubles dans les solvants organiques. Concernant les aliments destinés à l'alimentation des animaux d'élevage, le dosage des lipides se limite à une détermination de la teneur en matières grasses totales. La détermination de la teneur en matières grasses est basée sur la solubilisation de ces dernières dans un solvant approprié et volatil. L'extraction des matières grasses avec le solvant peut évidemment entraîner d'autres substances organiques

tels que les vitamines liposolubles et les pigments chlorophylliens. C'est pour cette raison qu'on parle plutôt d'extrait éthéré que de matières grasses totales.

L'extraction peut se faire par le système de Soxhlet. Ce dosage consiste à réaliser une extraction continue à l'aide de l'appareil Soxhlet (Fig.38) en utilisant l'éther di-éthylique comme solvant (AOAC, 1990).



Figure 84: Appareil de Soxhlet

Le pourcentage d'extrait éthéré est ainsi obtenu comme suit :

$$EE\% = (P2 - P1) / (PE * MSa) * 100$$

- P1 : poids du flacon vide (g)
- P2 : poids du flacon après séchage à 105°C (g)
- PE : prise d'essai (g)
- MSa : MSa% /100.

h) La méthode de calcul des valeurs protéiques et énergétiques

➤ Valeur de PDI d'un aliment :

PDI = quantité d'acides aminés réellement absorbée au niveau de l'intestin

$$PDI = PDIA + PDIM$$

Avec :

PDIA : protéines réellement digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire (non dégradées au niveau du rumen).

PDIA = MAT. fraction azotée non dégradée. AAa. dr

= MAT. [1,11. (1 - DT)] . 1,0. dr

PDIA = 1,11. MAT. (1 - DT). dr

AAa : taux d'acides aminés dans les matières azotées alimentaires non dégradées au niveau du rumen
 DT : dégradabilité théorique des matières azotées alimentaires obtenue par la technique des sachets de nylon «taux de passage des particules à travers le rumen $k = 0,06 /h$ »
 Le facteur 1,11 : la fraction non dégradée «in vivo» correspond à 1,11 fois la fraction non dégradée «in sacco»
 dr : digestibilité réelle des acides aminés dans l'intestin.

PDIM: protéines réellement digestibles dans l'intestin d'origine microbienne (quantité de microorganismes fabriquée dans le rumen lors de la protéosynthèse tout en tenant compte de l'énergie fermentescible et de la matière azotée fermentescible).

➤ **Si l'azote fermentescible est le facteur limitant :**

PDIMN = MAT. fraction azotée dégradée «in vivo». Captation. AAm. drm

PDIMN = MAT. [1 - 1,11. (1 - DT)] . 0,9. 0,8. 0,8

PDIMN = 0,64. MAT. (DT - 0,10)

AAm : taux d'acides aminés dans les matières azotées microbiennes
 drm : digestibilité réelle des acides aminés microbiens dans l'intestin = 0,8

➤ **Si l'énergie fermentescible est le facteur limitant :**

PDIME = énergie fermentée. Efficacité. AAm. dr m

PDIME = MOF. 0,145. 0,8. 0,8

PDIME = 0,093. MOF

MOF = MOD - matière azotée non dégradable – matière grasse - produits de fermentation des ensilages
 On admet que 145g de matières azotées microbiennes sont synthétisées à partir d'un kg de MOF

$$\text{PDIN} = \text{PDIA} + \text{PDIMN} \text{ (permise par l'azote)}$$

$$\text{PDIE} = \text{PDIA} + \text{PDIME} \text{ (permise par l'énergie)}$$

- **Valeur d'UFL d'un aliment :**

L'UFL est la valeur énergétique nette de lactation fournie par un kg d'orge pris comme référence (87% MS) ; ce qui correspond à 1700 kcal d'EN de lactation.

$$1 \text{ UFL} = 1700 \text{ kcal d'EN}^1$$

Avec :

EN¹ : L'énergie nette utilisée pour la lactation

- **Valeur d'UFV d'un aliment :**

L'UFV est la valeur énergétique nette d'un kg d'orge pris comme référence (87% MS) utilisé par un animal à l'engrais et dont le niveau de production est de 1,5 ; ce qui correspond à 1820 kcal d'EN(e + eng).

$$1 \text{ UFV} = 1820 \text{ kcal d'EN(e + eng)}$$

(EN : à raison de 2/3 pour l'entretien et 1/3 pour l'engraissement)

i) La méthode de spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR)

La spectrométrie dans le proche infrarouge est une méthode d'analyse dont le principe repose sur l'absorption d'un rayonnement électromagnétique par la matière organique d'un échantillon. Cette technique physique et non destructive s'est largement répandue, vue sa simplicité, sa reproductibilité et sa rapidité. Le proche infrarouge a été largement utilisé dans de nombreux domaines et particulièrement dans l'étude de la valeur alimentaire des fourrages chez les ruminants (Samuel et Ian, 1993 ; Kamoun, 2008). Le proche infrarouge désigne le domaine spectral des radiations électromagnétiques dont les longueurs d'ondes sont comprises entre la fin du visible et l'infrarouge moyen, soit entre 800 et 2500 nm (BIPEA, 1994). Le dosage d'un constituant par SPIR est basé sur le fait que les différents types de liaisons chimiques présentent des absorptions spécifiques (telles que N-H pour les protéines et C-H pour les sucres). De ce fait, l'énergie absorbée se trouve proportionnelle au nombre des liaisons chimiques irradiée. Donc, chaque type se trouve caractérisé par des bandes d'absorption spécifiques.

Le principe de l'analyse consiste à sélectionner dans un premier temps un nombre représentatif d'échantillons pour les analyser par les méthodes officielles de laboratoire décrites précédemment. Par la suite, un calibrage doit être effectué permettant de lier les valeurs chimiques observées avec les données spectrales spécifiques. Cette base de données permet en fait d'établir des modèles prédictifs qui sont généralement spécifiques. Ce calibrage spécifique va nous permettre par conséquent d'estimer directement la composition chimique et même la valeur nutritive d'un échantillon qui fait partie du même type d'aliments sélectionnés. La fiabilité de la méthode est fonction de la précision du calibrage effectué.

L'analyse complète des échantillons prélevés (teneurs en MAT, en CB, en EE, en amidon, en MM ou CT, en Ca, en P, en MAD, en UFL, en UFV, en PDIN et en PDIE) a été réalisée par SPIR au laboratoire d'analyse des aliments (INRA ALGER) qui fait partie de la Direction de l'Amélioration Génétique de l'Office de l'Élevage et des Pâturages. Le modèle prédictif qui a été choisi et retenu pour ce type d'analyse est un modèle spécifique aux céréales. Il faut noter que les valeurs obtenues à partir de ce modèle présentent une certaine gamme d'erreurs, mais les données spectrales restent toujours proches des bandes spectrales sélectionnées.

II. Résultats et discussion

1. Rendement quantitatif

a) Evolution du taux de matière sèche :

Au cours de la germination de l'orge, le taux de matière sèche a connu une diminution très remarquable. En passant du grain sec vers le fourrage vert hydroponique, ce taux diminue suivant un rythme qui dépend du système de production. Ce taux passe de 90% à 58% après 24h de contact avec l'humidité et puis à 19% durant le jour J7 (240 heures après contact des grains avec l'eau). Ces variations sont illustrées au-dessous dans la figure 39 :

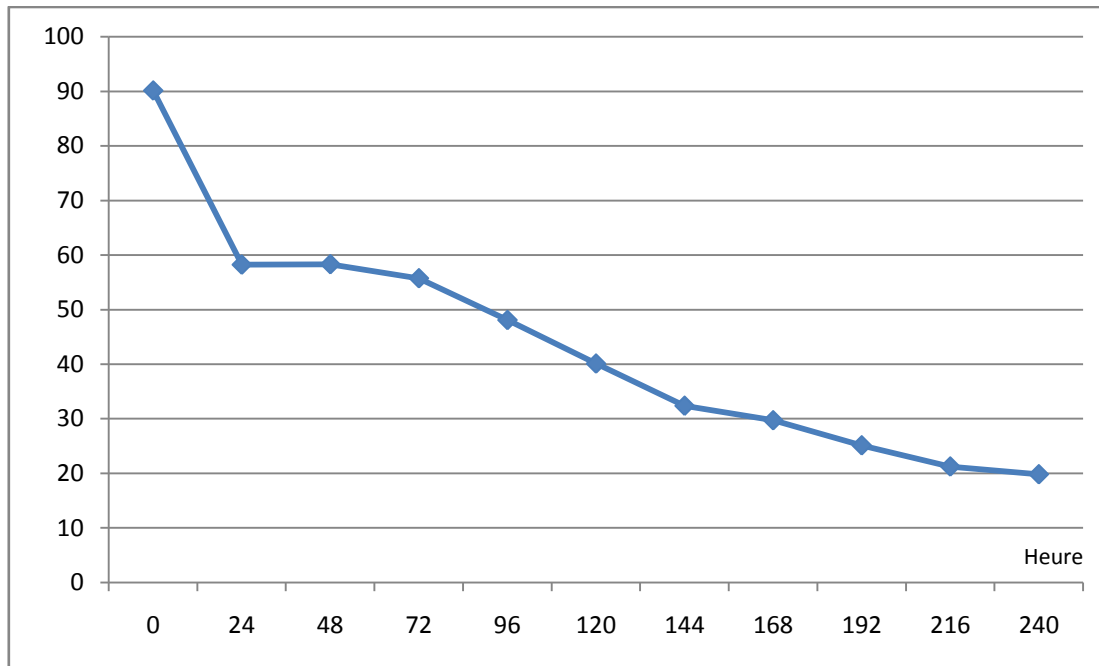


Figure 85 : Evolution du taux de la matière sèche (en %)

b) Evolution du poids de l'orge germée :

Le poids des grains secs (en MS) est de 940 g mais juste après les procédés de trempage et d'obscurité, il diminue légèrement à 840 g puis il augmente pour atteindre un maximum de 1,5 kg pour le jour J5. Par la suite, il rechute de nouveau pour atteindre 1,25 kg le jour J7 (Fig.40).

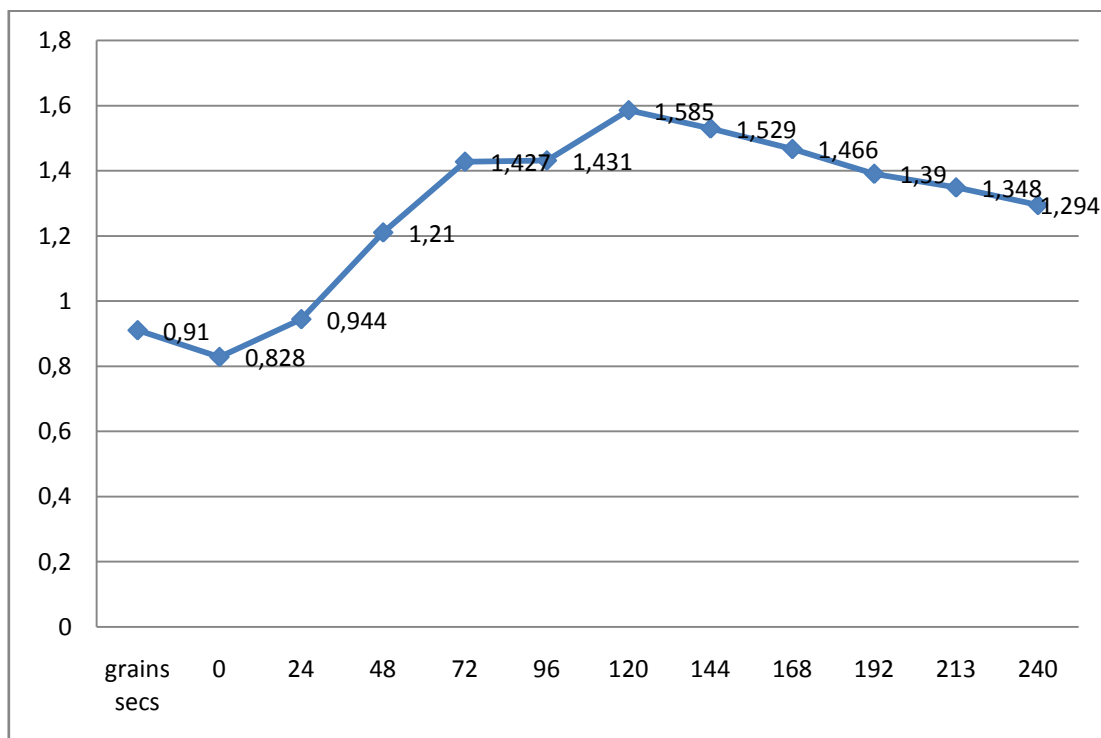


Figure 86 : Evolution du poids de l'orge germée en kg de matière sèche

2. Rendement qualitatif

A. Valeur nutritive

a) Teneur en amidon

Au cours de la germination, le seul composant qui subie une diminution est l'amidon. Il est transformé en sucres simples et solubles employés par la plantule pour sa respiration et pour la synthèse de ses tissus. Pour notre système le pourcentage de l'amidon diminue durant la germination de 51,6% à 14,4% (Fig.41). D'après Hartslief (2012), le pourcentage d'amidon du fourrage vert hydroponique est de l'ordre de 15,4%. Cette valeur est très proche de celle de notre échantillon

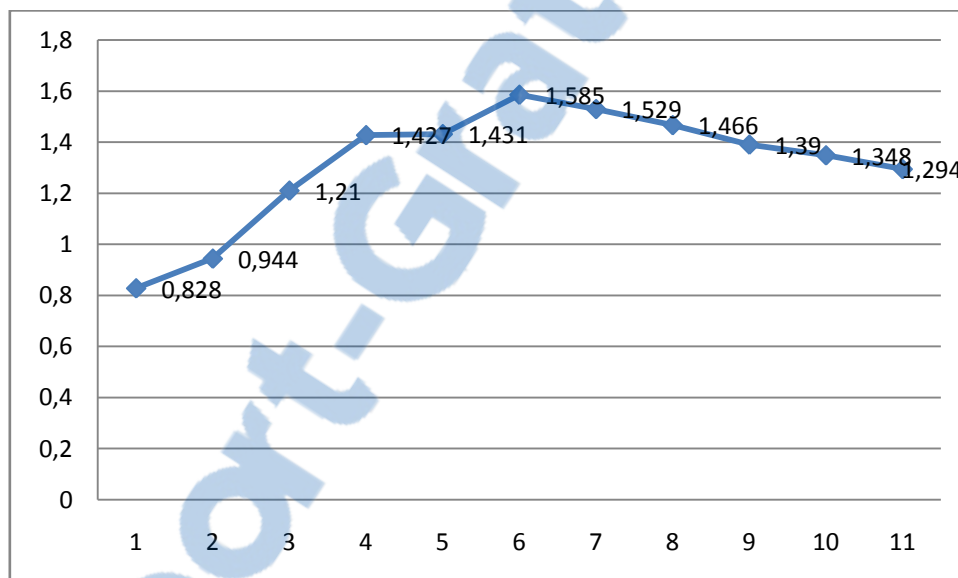


Figure 87 : Evolution de la teneur en amidon

b) Teneur en MAT

La teneur en matières azotées totales évolue, en passant de 6,9% pour les grains secs à 12,9% pour le fourrage vert hydroponique du jour J7. Ces variations sont illustrées dans la figure 42. En effet, cette augmentation est due à la protéolyse des protéines de l'endosperme avec libération des acides aminés libres. Ces acides aminés libres vont être utilisés comme source azotée pour la synthèse des acides aminés de l'embryon. En comparant ces résultats avec ceux de Hartslief (2012) ayant une teneur en MAT de 20,2% pour le fourrage vert hydroponique, on constate que nos résultats obtenus par notre système.

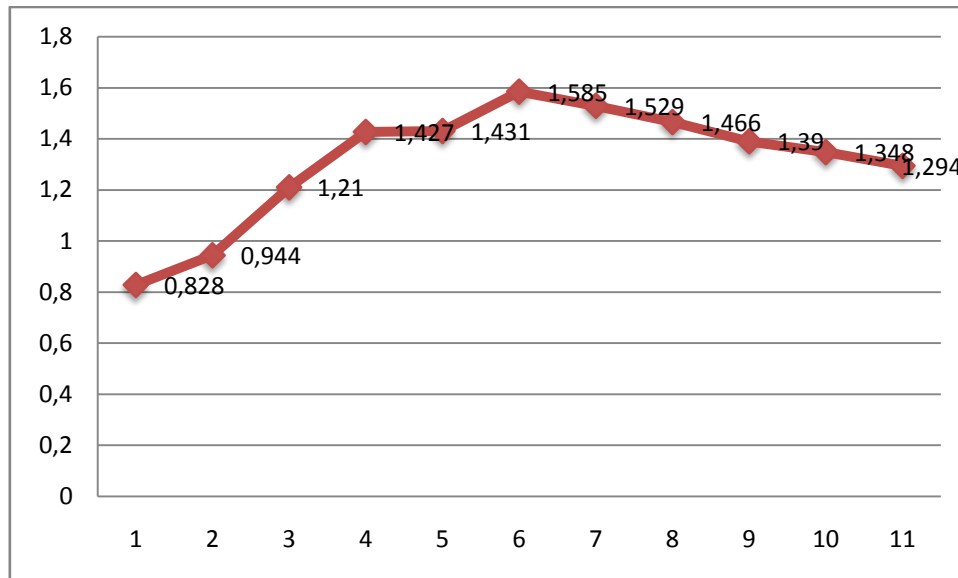


Figure 88 : Evolution de la teneur en matières azotées totales

c) Teneur en CB

La germination de l'orge a entraîné une augmentation remarquable de la teneur en cellulose brute, cette teneur augmente de 5,2% pour les grains secs à 12,6% pour l'orge germée (Fig.43). En comparant ces valeurs avec celles de Hartsliel (2012) qui sont de l'ordre de 11,3 %, nous constatons que notre résultat est très proche.

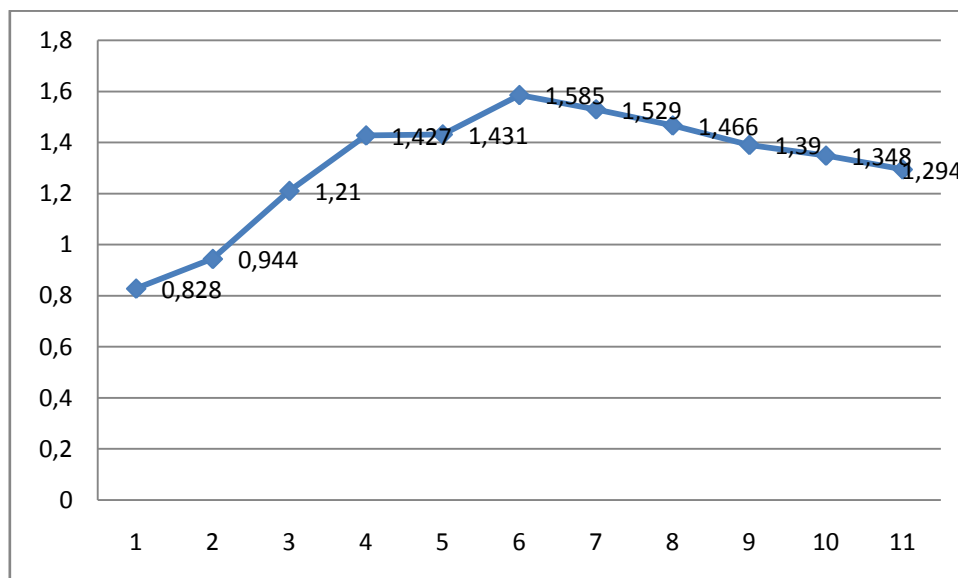


Figure 89 : Evolution de la teneur en cellulose brute

d) Extrait étheré

L'extrait étheré ou la matière grasse brute totale des grains secs augmente suite à la germination. La teneur en EE par rapport à la matière sèche des grains secs augmente de 4,1% à 4,16 % pour le jour J7. (Fig.44). En revenant aux résultats trouvés par Hartsliel (2012) ayant un pourcentage de 4,3%, nous pouvons conclure que nos résultats sont très proches

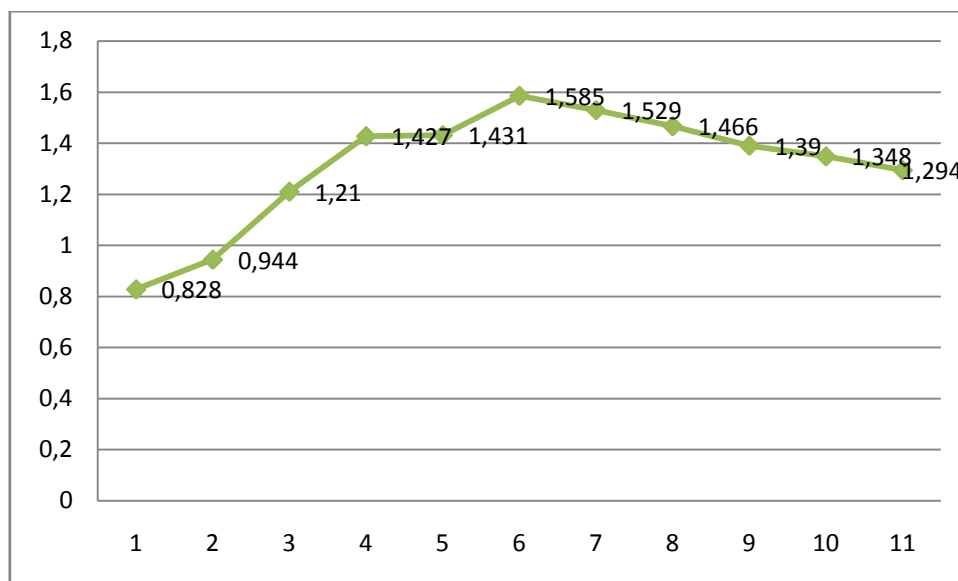


Figure 90: Evolution de la teneur en extrait éthéré

e) Teneur en Calcium

Pour les grains secs utilisés pour la production de la verdure, la teneur en Calcium est de 3,6 g / kg de MS. Cependant, lors du jour J7 elle augmente légèrement à 3,7 g / kg de MS (Fig.). Selon Hartsliet (2012), la quantité de Calcium est de 1,5 g/kg de MS. Nous remarquons que le résultat est beaucoup plus élevé que cette valeur.

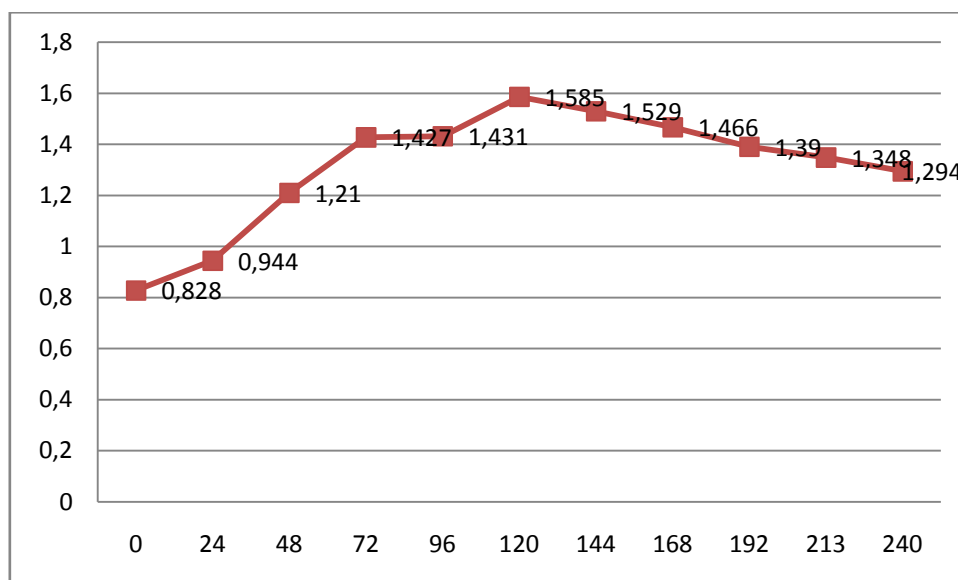


Figure 91 : Evolution de la teneur en Calcium

f) Teneur en Phosphore

La quantité de Phosphore augmente au cours de la germination. D'après la figure 34, la quantité présente de Phosphore dans les grains secs est égale à 8,7g/kg de MS. Pour le jour J7,

elle passe respectivement à 10.5g/kg de MS. D'après Hartsliet (2012), la quantité de Phosphore présente dans le fourrage vert hydroponique est de l'ordre de 4,6g/kg de MS. Nous constatons que cette valeur est plus faible que le résultat que nous avons obtenu.

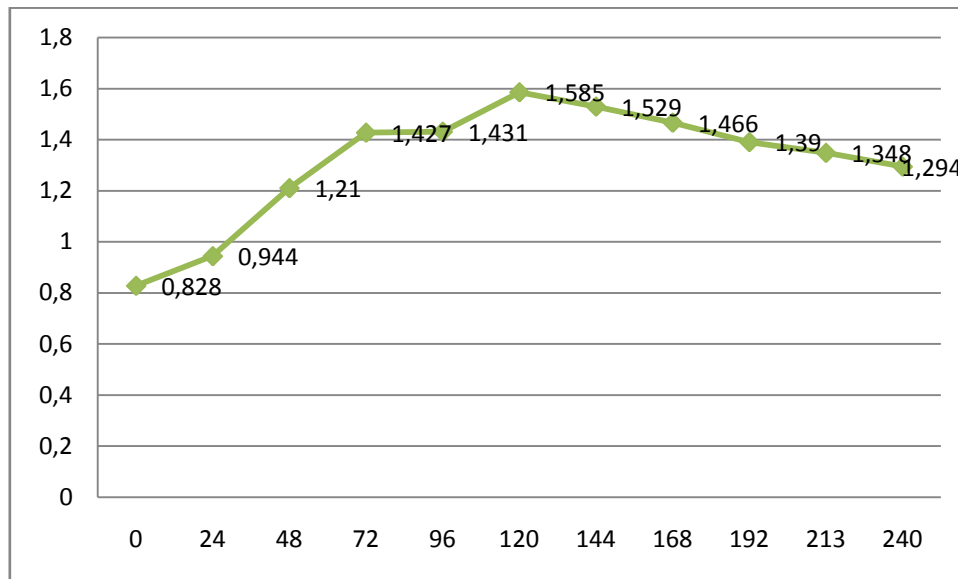


Figure 92 : Evolution de la teneur en Phosphore

B. Valeurs protéiques et énergétiques

La quantité de MAD a augmenté considérablement après la germination. Les grains d'orge utilisés contiennent 55g/Kg de MAD par kg de MS. Après les 7 jours de germination passés dans l'unité de production, cette teneur en MAD devient égale à 103.1 g/kg de MS pour la verdure. (Tab.7).

Tableau 14 : tableau Comparatif des valeurs protéiques et énergétiques entre orge en grains et fourrage vert hydroponique

	Protéines			Energie	
	MAD g/kg MS	PDIN g/kg de MS	PDIE g/kg de MS	UFL/kg de MS	UFV/kg de MS
Orge en grains	55	48.2	87.7	1.12	1.11
Fourrage vert hydroponique	103.1	89.3	102.5	0.97	0.93

D'après Kaeffer (2013), la quantité de MAD des grains de l'orge passe de 99 à 126 g/kg de MS après les 7 jours de germination. Nous constatons que la quantité de MAD contenue dans le fourrage vert hydroponique dépend de la quantité initiale de MAD contenue dans les grains. D'autre part, la germination entraîne aussi une augmentation des PDIN et des PDIE. Pour notre système la quantité de PDIN passe respectivement de 48,2 à 89,3 g/kg de MS. En comparant ce résultat avec ce de Kaeffer (2013), ayant un taux d'augmentation pour la quantité de PDIN de 2% pour la quantité de PDIE, nous remarquons que le résultat obtenu par notre expérience est bien meilleurs.

Le tableau VII ci-dessus montre qu'après la germination, les valeurs énergétiques d'UFL et d'UFV ont diminué légèrement, la quantité d'UFL contenue dans le fourrage vert hydroponique a diminué d'un taux de 13% par rapport aux grains d'orge initiaux. La quantité d'UFV passe après la germination respectivement de MS et de 1,11 à 0,93 UFV/kg de MS, ce qui correspond à un tau de diminution de 16% respectivement.

Ces résultats sont légèrement plus faibles par rapport à ceux obtenus par la nutritionniste Kaeffer (2013) ayant des taux de diminution de 4,3% pour L'UFL et 7% pour L'UFV.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous a permis d'apprécier d'une manière détaillée notre système qui est utilisé pour la production du fourrage hydroponique et comme exemple notre étude a porté sur l'orge. Après notre étude nous nous sommes rendu compte que la germination entraîne des changements considérables dans la composition chimique de l'orge en grain. Nos résultats d'analyse des éléments nutritifs sont généralement conformes ou parfois légèrement différents à ceux saisis par d'autres chercheurs ayant fait des expériences sur le fourrage en vert.

D'autre part, le fourrage vert hydroponique produit au cours de notre étude présente une bonne qualité sanitaire. Les germes connus pathogènes sont totalement absents.

Il faut signaler que lors de cette étude, nous sommes rendu compte que les informations concernant les valeurs énergétiques et azotés des fourrages produits sont très limitées et nécessite une actualisation (.....).

Le fourrage vert hydroponique, indépendant des conditions climatiques pouvant être disponible tout au long de l'année, pourra être une solution pour combler une partie du déficit en ressources fourragères.

Jusqu' à présent la culture de l'orge en Algérie s'est basée sur un arrosage pluviométrique. la culture hydroponique de cette céréale nous permet de maîtriser sa demande en eau.

On a intérêt d'approfondir cette étude, surtout, en réalisant des essais sur l'introduction de la verdure sur les vaches laitières et sur les taurillons d'engraissement. Pour la production des fourrages vert hydroponiques, l'avenir s'annonce prometteur.

Enfin, pour le futur, et avec l'urbanisation et la diminution des sols cultivables, les cultures en hors sol restent une alternative fortement envisageable. En adoptant de telle technique, indépendante des conditions climatiques, nous pouvons garantir même partiellement une certaine couverture des besoins des animaux. Reste à bien maîtriser les différents systèmes de production qui peuvent être utilisés pour avoir un rendement élevé quantitativement et qualitativement. Ce qui permettra vraisemblablement une meilleure utilisation de l'eau d'une part, et d'autre part une limite de l'utilisation des herbicides qui peuvent être nuisibles à la santé animale et humaine.

Références bibliographiques

Bibliographie

- 1) FRONTY, Laura, Hydroculture et hydroponie: les cultures sans sols, Dargau, 1982
- 2) BRIDWELL, Raymond, Hydroponic Gardening, Woodbridge Press, 1974
- 3) RABY, Georges, Le jardinage sans terre: tout sur la culture hydroponique
Édition L'étincelle, 1978
- 4) DICKERMAN, Alexandra et John, Discovering Hydroponics Gardening
Woodbridge Press Publishing Co., 1975
- 6) El Kati S., (2014). - Fourrage vert hydroponique.
- 7) Hydroponic fodder production: an analysis of the practical and commercial opportunity
(2011). - The New Zealand Merino Company.
- 8) Kaeffer C., (2013). - Céréales et des fourrages hydroponiques : utilisation en alimentation animale.
- 9) Carruthers S., (2003). - Green Feed-Livestock Fodder Shed.
- 10) Kamoun M., (2008). - Recueil de méthodes d'analyses et de mesures utilisées en alimentation animale. Ecole Nationale de Médecine Vétérinaire.
- 11) Laberche J.C., (2010). - Biologie végétale 3ème édition. Dunod, 2010 : 212-215
- 12) Texier W., (2013). - L'hydroponie pour tous. Mama editions, 7 rue Pétion, 75011 Paris France. 13-20.
- 13) Moreau C. & Moreau M., (1960). - La pullulation d'une moisissure toxique « l'Aspergillus calavatus ».
- 14) Demarquilly C., (1987). - Valeur nutritive de l'orge germée. Bull. Techn. CNRZ, Theix, INRA, 68: 19-23.
- 15) Bussiéras J. & Chermette R., (1993). - Parasitologie Vétérinaire : Mycologie -Abrégé de Parasitologie Vétérinaire- Fascicule V. Service de parasitologie, Ecole Nationale vétérinaire d'Alfort p : 179.
- 16) Morard., (1995).- Principles of Plant Nutrition- Dordrecht ; Boston : Kluwer Academic Publishers.
- 17) Mukhopad Yu., (1994). - Cultivating green forage and vegetables in the Buryat Republic.
- 18) Soltner D., (2005). - Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p.
- 19) Cervantes J., (2012). - Culture en intérieur. Mama Edition, 1 rue Pétion 75011 (France). P : 199-203.

- 20) Jorge C.,(2013). – Culture en intérieur - La bible du jardinage indoor - Master Edition Broché –
- 21) Michel B.,(2016).- La culture indoor : Hydroponie, éclairage, ventilation, engrais – Master edition Broché-
- 22) William Texier., (2015).- L'Hydroponie pour tous - Les dix clés de l'horticulture à la maison - Mini édition Broché
- 23) Jorge C.,(2014).- Culture en intérieur - Master édition Broché
- 24) Hartsleif A., (2012). - Dairy Cow Fodder Replacement Diet Trail.

Webographie:

- 1) www.premiumfodder.com
- 2) <http://www.techniquesdelevage.fr>
- 3) www.consoglobe.com
- 4) <http://hydroponie.fr>
- 5) <http://www.cannaweed.com>
- 6) <http://www.cuisineculinaire.com/forums/hydroponie->
- 7) <https://agronomie.info/fr>
- 8) www.peterdolyconsultancy.com.au/fodder-fodder_photos.htm
- 9) <http://www.teamdemise.com>
- 10) <http://grodan101.com/fr>

Résumé

Dans le domaine de l'alimentation animale, le fourrage occupe une place importante et particulièrement des ruminants. Toutefois, la production fourragère dans plusieurs pays rencontre des problèmes de déficit des emblavures. Notre travail a pour objectif de vérifier si la production du fourrage vert par hydroponie peut être une parmi les alternatives qui peuvent être adoptées pour combler ce déficit.

En faisant une étude quantitative et qualitative, nous avons constaté que le rendement quantitatif et même qualitatif de la production de l'orge hydroponique peut-être meilleur avec ce dernier. Les germes connus comme pathogènes sont totalement absents dans nos produits hydroponiques issus des deux systèmes utilisés.

L'orge hydroponique présente beaucoup d'avantages vus de son excellente qualité, il assure une réduction des coûts alimentaires et des factures vétérinaires, c'est un fourrage sans pesticides et sans poussières ce qui améliore la santé animale et la prise du poids. L'orge hydroponique est un fourrage frais, régulier, nutritif, riche en vitamines et enzymes en été comme en hiver, ce qui améliore la digestion, il se digère beaucoup mieux que les céréales.

Mots clés: orge, hydroponie, fourrage, unité fourragère.

Abstract

In the field of the animal feeds, fodder occupies an important place and particularly ruminants. However, the fodder production in several countries encounters problems of deficit of emblavures. Our work aims to check if the production of green fodder by hydroponie can be one among the alternatives which can be adopted to make up this deficit.

By making a study quantitative and qualitative, we noted that the quantitative and even qualitative output of the production of the hydroponic barley perhaps better with this last. The known germs as pathogenic are completely absent in our hydroponic products resulting from the two systems used.

The hydroponic barley presents many advantages seen of its excellent quality, it ensures a cost cutting food and invoices veterinary surgeons, it is a fodder without pesticides and dustfree what improves animal health and the catch of the weight. The hydroponic barley is a fodder fresh, regular, nutritive, rich in vitamins and enzymes in summer as in winter, which improves digestion, it is digested much better than cereals.

Keywords: barley, hydroponie, fodder, fodder unit

ت لخيص

في مجال التغذية الحيوانية، يشغل العلف مكانة هامة في تغذية المواشي و خاصة المجترة غير أن إنتاج العلف في بلادنا يواجه صعوبات من حيث نقص المساحات الزراعية الخاصة به: يضطلع عملنا بهدف و هو تقييم ما إذا كانت الزراعة المائية للأعلاف الخضراء حلا من بين الحلول التي بإمكانها أن تكون معتمدة من أجل تعويض في إنتاج الأعلاف و من خلال إجراء دراسة كمية و نوعية عن إنتاجنا لاحظنا أن استنبات الشعير يكون أفضل، الجراثيم المعروفة كمسببات للأمراض غائبة تماما في هذا المنتج. الشعير المستنبت يوفر لنا عدة فوائد نظرا لنوعيته الممتازة، إنه يضمن انخفاض في أسعار الغذاء و الفواتير البيطرية، إنه علف خال من المبيدات و الغبار مما يحسن صحة الحيوان و يساعده على أخذ الوزن، الشعير المستنبت هو علق جديد، متوازن، مغذي، غني بالفيتامينات و الإنزيمات في الصيف كما في الشتاء و يحسن عملية الهضم، فقد يتم هضمه أفضل بكثير من الحبوب. التغذية بهذا العلف الطازج يؤدي الحيوان إلى استخدام كميات أقل من الطاقة أثناء عملية الهضم سواء من أجل إنتاج الحليب أم اكتساب الوزن. كلمات البحث: الشعير، الزراعة المائية، العلف، وحدة العلف.