



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE - BLIDA 1 -

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologies

MEMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : Biotechnologie Végétale

THEME :

ETUDE DU COMPORTEMENT DE QUATRE VARIETES DE LAITUE (*LACTUCA SATIVA*) CULTIVEES DANS DIFFERENTS MILIEUX DE CULTURE

Réalisé par :

Alem Amira

Chohra Hadjer

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Boutahraoui SA. (MAA)

Promoteur : Pr. Benmoussa M.

Co-promoteur : Mlle. Adrouche D. (Ingénieur d'état en agronomie – INRAA)

Examineur : Mr. Derouiche B. (MAA)

Blida, Septembre, 2016

REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tout ALLAH -le tout puissant- de nous avoir guidé durant toute notre formation.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à la contribution, de près ou de loin, de plusieurs personnes à qui on voudrait témoigner toute notre reconnaissance ;

On voudrait tout d'abord adresser toute notre gratitude au directeur de ce mémoire, Pr Benmoussa, de l'université - Blida 1 -, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Sa modestie et sa riche expérience nous ont inspiré une grande admiration à son égard.

On tient aussi à remercier vivement le directeur de KOPIA, Dr. Park Sanggu ainsi que l'ancien directeur Dr. Pae Doham qui ont, tous deux, accepté de nous accueillir en stage au sein de leur organisme et de nous fournir tout ce qui était nécessaire pour le bon déroulement de notre expérimentation.

On témoigne notre reconnaissance, et notre gratitude à Mlle Adrouche pour tout le temps qu'elle a consacré, à ses multiples relectures et ses précieuses critiques et corrections.

Nos remerciements sont également adressés aux stagiaires du projet KOPIA : Lee Oakjin, Lee Sihun et Lee Sumin de nous avoir fournis les informations nécessaires concernant les variétés de laitue coréenne et d'avoir été là depuis le tout début, pour leur disponibilité incessante et leurs conseils précieux.

On adresse nos sincères remerciements à Mr Remdane qui nous a apporté son aide et ses encouragements. A Mr. Abad et Mr. Abdellah qui nous ont apporté leur aide compétente et efficace dans le choix des techniques statistiques et dans l'analyse des résultats obtenus ainsi qu'ils ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant nos recherches.

Nous remercions également Mme. Yatta et Mr Semiani qui nous ont accordé l'accès au laboratoire de la station expérimentale de Berraki.

On remercie nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous. Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous nous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.

Ensuite, *at last but not the least, thank you to my sister Sara and our brothers Abdou et Hamza*

Un remerciement spécial à nos copines, pour leurs encouragements lors de la préparation de ce mémoire : Ryma, Ratiba, Hadjer, Meriem et Hiba qui nous ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

DEDICACES

Afin d'être reconnaissant envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à effectuer ce travail de recherche, je dédie ce mémoire :

À ma très chère mère *Salima* pour son soutien moral, et pour tous les sentiments d'affection et d'amour qui représentent pour moi le pilier de tous mes efforts.

À tous les membres de ma famille, et surtout à ma sœur *Sara* et à mon frère *Abdou*.

À ma famille *Tegguer*, et spécialement à toi chère Mima *Hadji*
A. " Rabi yerahmek ".

Et à tous mes chers amis ;

Rima, Hadjer CH., Ratiba, Hadjer, Meriem,...

DEDICACES

Afin d'être reconnaissante envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à effectuer ce travail de recherche, je dédie ce mémoire :

À ma très chère mère **Nadjia** pour son soutien moral, et pour tous les sentiments d'affection et d'amour qui représentent pour moi le pilier de tous mes efforts.

À tous les membres de ma famille : à **mes tantes, mon oncle, mes cousines** ainsi qu'à mes deux frères **Oussama et Hamza**.

Je dédie ce travail spécialement à mes grands-parents **Yemma et Baba sido** Rabi yerhamkom.

Et à tous mes chers ami(e)s :

Hiba, Rafik, Mina, Hadjer, Tiba, Meriem, Madjid et Remdane.

RÉSUMÉ

L'expérimentation a été réalisée au niveau de KOPIA-INRAA. L'objectif général de cette étude est l'amélioration de la productivité de laitue en qualité aussi qu'en quantité. Pour ce fait, le comportement des quatre variétés de laitue, deux coréennes (*Jeok Chi Ma* et *Dduk Sseom Jeok Chuk Myeon*) et deux algériennes introduites pour exploitation (*Merveille des 4 saisons* et *Blonde de Paris*) dans différents milieux de culture (hydroponie, sol artificiel et sol) a été étudié. Les résultats de l'expérience effectuée sous-serre montrent que dans ces 3 milieux, la variété « *Jeok Chi Ma* » présente la meilleure croissance en hauteur, tandis que c'est la variété « *Merveille des 4 saisons* » qui a formé plus de feuilles. En sol, c'est la variété « *Blonde de Paris* » qui présente le meilleur poids frais et sec de la partie végétative. Ainsi, les analyses statistiques établies révèlent en général que le milieu sol s'avère meilleur pour la production de laitue de qualité.

Mots clés :

Laitue - Comportement - Variété - Milieux de culture

ABSTRACT

The experiment was established at KOPIA-INRAA. The main objective of this study is the improvement of the productivity of lettuce and its quality. Therefore, the behavior of 4 varieties of lettuce, two Korean varieties (*Jeok Chi Ma* and *Dduk Sseom Jeok Chuk Myeon*) and two Algerian varieties introduced for exploitation (*Merveille des 4 saisons* and *Blonde de Paris*), in different mediums (hydroponics, artificial soil and soil) was studied. Results of the experiment, conducted under greenhouses, showed that in the three mediums, the variety “*Jeok Chi Ma*” presented the best height growth, while “*Merveille des 4 saisons*” has formed more leaves than the other varieties. In soil, “*Blonde de Paris*” has the best fresh and dry weight of the vegetative part. Thus, the established statistical analyzes reveal in general that “soil” turned out the best medium for the production of a lettuce of a good quality.

Key words

Lettuce – Behavior – Variety - Mediums

الملخص

تم إجراء التجربة على مستوى المعهد الوطني للعلوم الفلاحية (KOPIA-INRAA). الهدف من هذه الدراسة هو تحسين إنتاجية الخس نوعا و كماً. لهذا، تمت دراسة سلوك أربعة أنواع من الخس، اثنان منها كورية (*Jeok Chi Ma* و *Dduk Sseom Jeok Chuk Myeon*) و الاثنان الأخرين جزائرية مستوردة بهدف الاستغلال (*Merveille des 4 saisons* و *Blonde de Paris*) في ثلاثة أوساط زراعية مختلفة (ماء، تربة اصطناعية و تربة طبيعية). نتائج التجربة التي أجريت في البيت البلاستيكي تبين ان نوع "*Jeok Chi Ma*" يعرض أفضل نمو في الطول في الأوساط الثلاثة. بينما شكّل نوع "*Merveille des 4 saisons*" أكثر عدد من الأوراق. بينما في التربة، فنوع "*Blonde de Paris*" أعطى أكبر وزن رطب وجاف للجزء العلوي للخس. وهكذا، فإن التحليلات الإحصائية تكشف بشكل عام أن التربة هي أفضل وسط لإنتاج خس ذو جودة عالية.

الكلمات المفتاحية :

الخس – سلوك – نوع – وسط زراعي

TABLE DES MATIERES

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION 1

PARTIE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Généralité sur la laitue

I.1. Origine	5
I.2. Description	5
I.2.1. Description botanique	5
I.2.1.1. Classification	5
I.2.1.2. Classement variétal de <i>Lactuca sativa</i> L.	6
I.2.2. Description morphologique	8
I.2.2.1. Racine	8
I.2.2.2. Feuille	8
I.2.2.3. Fleur	10
I.2.2.4. Graine	11
I.2.3. Composition de laitue	11
I.2.4. Stades physiologiques de la laitue	13
I.3. Exigences de la culture	14
I.3.1. Exigences climatiques	14
I.3.1.1. Température	15
I.3.1.2. Lumière	15
I.3.2. Exigences édaphiques	16
I.3.3. Exigences hydriques	16
I.3.4. Exigences nutritionnelles	16
I.4. Maladies et ravageurs	17
I.5. La production de la laitue dans le monde	18

CHAPITRE II : Généralité sur les milieux de culture

II.1. Historique	21
II.2. Définition	21
II.3. Intérêts	22
II.4. Les différents systèmes hydroponiques	23
II.4.1. La culture sans substrat	25
II.4.1.1. Le système DFT	25
II.4.2. La culture avec substrat	26
II.4.2.1. Système hydroponique de goutte-à-goutte	26
II.5. Les substrats hydroponiques	27
II.6. La solution nutritive	29
II.7. Gestion de la solution nutritive	29
II.7.1. Conductivité électrique (CE)	29
II.7.2. pH	30
II.8. Hydroponie dans le monde	30

PARTIE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

III.1. Objectif	33
III.2. Présentation de la structure d'accueil	33
III.3. Dispositif expérimental	34
III.3.1. Abris	34
III.3.2. Supports de culture	34
III.3.3. Systèmes d'irrigation	36
III.3.4. Équipements	38
III.4. Matériel végétal	39
III.4.1. Variété 'Merveille des quatre saisons'	40
III.4.2. Variété 'Blonde de paris'	40
III.4.3. Variété 'Jeok chi ma'	41

III.4.4. Variété ‘ <i>Dduk sseom jeok chuk myeon</i> ’	42
III.5. Milieux de culture utilisés	42
III.5.1. Milieu de culture hydroponique « sans substrat »	42
III.5.2. Milieu de culture hydroponique « avec substrat »	43
III.5.3. Milieu de culture en sol	43
III.6. Préparation des solutions nutritives	43
III.7. Conduite de l’expérimentation	45
III.7.1. Etape « semis en pépinière »	45
III.7.2. Etape de repiquage	47
III.8. Paramètres mesurés	50
III.8.1. Croissance en hauteur	51
III.8.2. Nombre de feuilles	51
III.8.3. Poids de la partie végétative et de la partie racinaire	51
III.8.4. Poids sec de la partie végétative	53

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

IV.1. Croissance en hauteur	55
IV.2. Nombre de feuilles	59
IV.3. Poids de la partie végétative et de la partie racinaire	62
IV.4. Poids sec de la partie végétative	66
CONCLUSION	68

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES ANNEXES

.

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Forme en section longitudinale de la pomme de laitue	6
Figure 02 : Principaux types de laitue cultivée	7
Figure 03 : Limbe : division ; Feuille : forme	9
Figure 04 : Aspect morphologique d'un fleuron de laitue	10
Figure 05 : Aspect morphologique et schéma d'un capitule de laitue	10
Figure 06 : Aspect morphologique d'un fruit (akène) contenant la graine de laitue	11
Figure 07 : Stades phrénologiques de la laitue	13
Figure 08 : Aspect morphologique d'un capitule de laitue avant l'autopollinisation (A), en cours d'autopollinisation (B), après autofécondation (C) et après deux semaines de l'autofécondation (D)	14
Figure 09 : Répartition par pays de la production européenne de la laitue en 2008	19
Figure 10 : Système fermé	24
Figure 11 : Système DFT	26
Figure 12 : Système goutte-à-goutte	27
Figure 13 : Les substrats les plus couramment utilisés	28
Figure 14 : Localisation des serres de la station expérimentale de KOPIA – INRAA	33
Figure 15 : (a) Serre bi-chapelle ; (b) Serre en filet	34
Figure 16 : (a) Lit hydroponique rempli de solution nutritive ; (b) Lit hydroponique rempli avec le mélange (tourbe de mousse + perlite)	35
Figure 17 : (a) Parcelle labourée ; (b) Parcelle recouverte d'un paillage plastique	35
Figure 18 : Système DFT	36
Figure 19 : Station de tête	36
Figure 20 : Système d'irrigation goutte-à-goutte	37
Figure 21 : Système d'irrigation manuel par aspersion	37
Figure 22 : Unité de contrôle	38
Figure 23 : Refroidisseur d'eau	38
Figure 24 : Extracteur d'air	39
Figure 25 : Thermomètre	39
Figure 26 : Semences de <i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>Merveille des quatre saisons</i>	40
Figure 27 : Semences de <i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>Blonde de Paris</i>	41
Figure 28 : Semences de <i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>Jeok chi ma</i>	41

Figure 29 : Semence de <i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>Dduk sseom jeok chuk myeon</i>	42
Figure 30 : Motoculteur	43
Figure 31 : Semences des quatre variétés de laitue utilisées	45
Figure 32 : (a) bacs à semis ; (b) mélange (tourbe de mousse + perlite)	46
Figure 33 : Les quatres varietés de laitue mis en pipiniere	46
Figure 34 : Système d'irrigation de la pépinière	46
Figure 35 : Etapes de transplantation en milieu hydroponique « sans substrat »	48
Figure 36 : Les quatre variétés de laitues utilisées dans le milieu hydroponique a « avec substrat »	49
Figure 37 : (a) Transplantation de laitue en sol ; (b) Les plantules de laitue repique en sol sous mini-serre	50
Figure 38 : Dispositif de recolte et peser	52
Figure 39 : Etapes de determination de la matiere seche	53
Figure 40 : Évolution de la hauteur des 4 variétés de laitues en fonction du temps en « hydroponie »	55
Figure 41 : Évolution de la hauteur des 4 variétés de laitues en fonction du temps en « sol artificiel »	55
Figure 42 : Évolution de la hauteur des 4 variétés de laitues en fonction du temps en « sol »	56
Figure 43 : Évolution de nombre de feuilles des 4 variétés de laitues en fonction du temps en « hydroponie »	59
Figure 44 : Évolution de nombre de feuilles des 4 variétés de laitues en fonction du temps en « sol artificiel »	59
Figure 45 : Évolution de nombre de feuilles des 4 variétés de laitues en fonction du temps en « sol »	60
Figure 46 : Poids frais de la partie végétative des 4 variétés de laitue dans les 3 milieux de culture	62
Figure 47 : Poids frais de la partie racinaire des 4 variétés de laitue dans les 3 milieux de culture	62
Figure 48 : Poids sec de la partie végétative des 4 variétés de laitue dans les 3 milieux de culture	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Feuille : teinte de la couleur verte des feuilles externes / intensité de la couleur des feuilles externes	9
Tableau 02 : Constituants alimentaires de la laitue (en g pour 100g)	12
Tableau 03 : Teneur en éléments des principes types de laitue (pour 100 g de produits frais)	12
Tableau 04 : Incidences des longueurs de jours et des températures sur la laitue	15
Tableau 05 : Description des systèmes de culture hydroponiques	25
Tableau 06 : Compositions minérales de la solution nutritive utilisée	44
Tableau 07 : Interactions (Milieu*Variété) pour le paramètre (Hauteur)	56
Tableau 08 : Interactions (Milieu*Variété) pour le paramètre (Nombre de feuilles)	60
Tableau 09 : Poids produit par variété dans les 3 milieux	64
Tableau 10 : Interactions (Milieu*Variété) pour le paramètre (Matière sèche)	66

LISTE DES ABREVIATIONS

***B.P.** : Blonde de paris*

***D.S.J.C.M.** : Dduk seom jeok chuk myeon*

***J.C.M** : Jeok chi ma*

***M.Q.S.** : Merveille des 4 saisons*

INTRODUCTION

La laitue est un légume-feuille annuelle de la famille des *Asteraceae* dont la partie aérienne est consommée majoritairement fraîche ou en salade mixte. C'est l'un des légumes les plus répandus et appréciés. D'après Plamondon-Duchesneau (2011), elle est considérée comme un aliment sain non seulement pour ses qualités diététiques et organoleptiques mais aussi pour sa facilité de préparation. De plus, ce légume a une grande importance à la fois économique et alimentaire. Selon Coelho et *al.* (2005), la laitue est un légume très populaire qui est beaucoup consommé et qui constitue une importance économique à travers le monde entier. En effet, les qualités nutritionnelles de la laitue sont attribuées à la présence, dans les feuilles, de vitamines B et C, de caroténoïdes et de fibres. La teneur varie en fonction de plusieurs facteurs tels que la variété, les conditions de croissance et la période de récolte (Nicolle et *al.*, 2004 ; Altunkaya et Gokmen, 2009).

Ce légume est très populaire partout dans le monde avec une production de plus de 21 millions de tonnes cultivées chaque année. Les principaux producteurs mondiaux sont la Chine et les États-Unis avec des productions annuelles dépassant 10 et 4 millions de tonnes respectivement. Parmi d'autres grands producteurs de laitues au monde, citons l'Italie, l'Espagne et la France avec des productions annuelles s'étalant entre 4 et 9 millions de tonnes de laitues (FAO, 2004). Selon David (2013), Les Européens et les Américains sont à la fois les plus grands producteurs et consommateurs de laitues.

En Algérie, les statistiques de la production de la laitue ne sont pas comptables. Mais aussi pouvons assurer d'après enquête auprès des marchés de gros que la consommation de laitue est en évolution. Alilat et Boukraâ (2014) rapportent que le prix de laitue atteint jusqu'à 70-80 DA/kg, alors que c'est pratiquement la pleine saison de production pour ce produit agricole très demandé. Or, le prix de la laitue a atteint 220 DA le kg, Cette flambée des prix et notamment de la laitue a mis les citoyens en rogne d'autant qu'il s'agit d'un produit de saison et très demandé.

La laitue peut être cultivée toute l'année, mais elle présente cependant certaines difficultés pour les producteurs, vu qu'elle est sensible aux conditions climatiques (Maltais,

2007). C'est pour cela qu'elle est cultivée en plein champ ou sous abris (tunnels ou multi-chapelles) comme elle peut être cultivée en hors sol. L'évolution des méthodes de production a permis aux serristes de cultiver de la laitue toute l'année. Selon Elmhirst (2006), la laitue de serre est cultivée principalement en milieu hors-sol, à l'aide d'une technique de culture hors-sol.

Bien que la laitue ne soit pas considérée comme élément essentiel dans les productions agricoles autant que les céréales et la pomme de terre. Cependant cette culture maraichère est indispensable dans le menu algérien. A l'heure actuelle, les connaissances sur la laitue sont insuffisantes pour donner plus de flexibilité au consommateur sur cette culture. Pour satisfaire la demande de la population et donc en vue d'augmentation de la production de nouvelles techniques à savoir les cultures en hors-sol s'avèrent nécessaire.

C'est dans le contexte de combler ce vide dans les informations pour la laitue, que ce travail a été fait en vue d'apprécier la production de laitue avec cette nouvelle technique, pour tirer un meilleur parti de cette technologie dans le but de la maîtriser et de l'utiliser selon notre stratégie et nos objectifs.

PARTIE 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1

GENERALITE SUR LA LAITUE

I.1. Origine

D'après Plamondon-Duchesneau (2011), La laitue serait d'origine méditerranéenne et sa découverte serait survenue avant J.C., elle fût introduite en France en 1389. Ensuite, sa culture se serait poursuivie en Europe du Nord, puis en Australie vu les nombreuses croisières européennes, puis en Amérique par les premiers voyageurs, à partir de 1494.

Ainsi que des espèces originaires d'Égypte, d'abord utilisée pour leurs propriétés médicinales devenue aliment, on a d'ailleurs trouvé des traces de laitues dans certaines tombes égyptiennes datant de 4500 ans av. J.C. (Labrie et Ménard, 2012). Deux siècles plus tard, les Romains la dégustaient au début d'un repas, sa culture s'est par la suite répandue dans le reste de l'Europe (Pedneault, 2005 ; Bohlmann, 2011).

Emmett (1992) indique que la laitue cultivée (*Lactuca sativa* L.) a été développée à partir de croisement de la laitue sauvage *L. scariola* L. ou *L. virosa* L.

I.2. Description

I.2.1. Description botanique

La laitue appartient à l'une des plus grandes familles botaniques « *les Astéracées* », Elle comporte le 1/10ème de toutes les espèces des angiospermes connus (Ouhibi, 2015). Pitrat et Foury (2003) déterminent que le genre *Lactuca* est très vaste, avec plus de 100 espèces recensées à travers le monde.

I.2.1.1. Classification APG II

- **Règne** : Plantae
- **Ordre** : Asterales
- **Famille** : Asteraceae
- **Genre** : *Lactuca*
- **Espèce** : *lactuca sativa*

Zorrig (2015) démontre que la laitue (*Lactuca sativa* L.) est une plante qui appartient à la famille des *Astéracées* (ex *composées*), division des *magnoliophytes*, et la classe des *magnoliopsides*.

L'une des espèces de laitue les plus communes, *Lactuca sativa* L., est une plante herbacée annuelle de jours longs à cycle court, consommée à l'état jeune avant la montée en graine (Verolet, 2001). Selon Valade (2013), elle est caractérisée par la présence de « lait », le lactarium, liquide blanc collant qui s'écoule des blessures des feuilles ou tiges, qui lui a donné son nom. Bouché (2012) identifie que la laitue est une espèce diploïde ($2n=18$) son génome est d'une taille très grande (entre 2.6 et 2.7 Gb), cleistogames (dont les fleurs ne s'ouvrent pas) à dominante autogame (autopollinisation). Néanmoins, la pollinisation croisée n'est pas totalement exclue, le risque de croisement, réalisé par les insectes, est faible (1 à 6%).

I.2.1.2. Classement variétal de *Lactuca sativa* L.

D'après Plamondon-Duchesneau (2011), *L. sativa* est une espèce très polymorphe. Plusieurs types de plantes ont été définis au stade commercialisable en fonction de la forme de la pomme (**Figure 01**) ainsi que la forme et de la texture des feuilles. Des dénominations très différentes ont été utilisées dans la pratique et l'unité botanique n'est guère perçue par le consommateur.

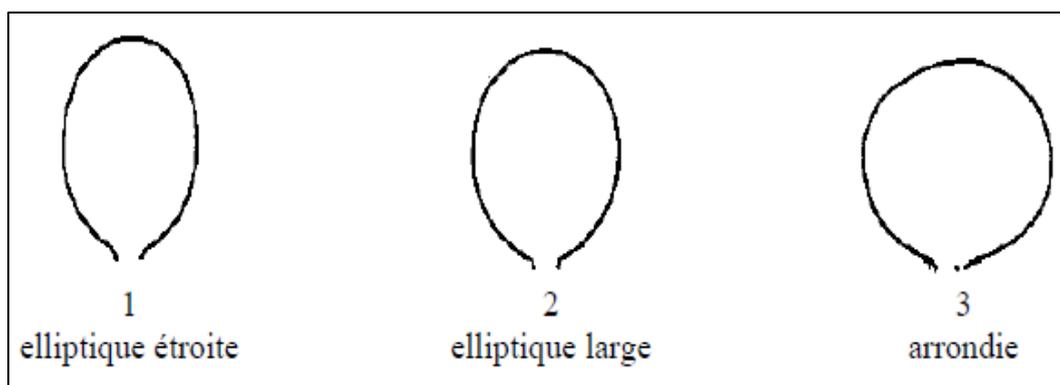


Figure 01 : Forme en section longitudinale de la pomme de laitue. (UPOV, 2013)

Au XIX^e siècle, cinq variétés botaniques ont été définies. Cette nomenclature est tombée en désuétude et été remplacée par des cultigrupes définis par quelques caractères morphologiques (**Figure 02**). (Pitrat et Foury, 2003 ; Valade, 2013 ; Zorrig, 2015)

1. Le groupe le plus important est celui des laitues pommées (Lafitte, 1985). Comprenant les laitues beurres à feuilles tendres et nervures pennées et les laitues batavia à feuilles plus craquantes et nervures parallèles. Ces deux types ont des pommes assez rondes. Les batavias ont été elle-même subdivisées en batavia et iceberg.
2. Les laitues grasses sont des laitues pommées à feuilles épaisses, assez craquantes et nervures pennées.
3. les laitues romaines sont des laitues à feuilles oblongues et craquantes avec une grosse nervure centrale ; elles ont une pomme allongée.
4. les laitues à couper ne pommant généralement pas. elles se présentent comme un bouquet de feuilles ouvert ; selon la forme des feuilles, plus ou moins lobées ou découpées.
5. Les laitues tiges, ou laitues asperge ou celtuce ne forment jamais de pomme ; elles sont cultivées pour leurs tiges renflées que l'on mange cuites, surtout en Asie.



Figure 02 : Principaux types de laitue cultivée, plante entière et coupe longitudinale. (a) : Laitue beurre ; (b) : Batavia ; (c) : Laitues à couper ; (d) : Romaines. (Barrière, 2015)

Suivant A.I.C.P.C et *al.* (1985), une autre classification tient compte de l'époque de culture :

a. Laitues de plein champ (Laitues d'hiver) :

- Laitues de printemps
- Laitues d'été

b. Laitues d'abris (Laitues d'automne) :

- Laitues d'hiver
- Laitues de printemps
- Laitues d'été

I.2.2. Description morphologique

Selon Pitrat et Foury (2003), La laitue cultivée se distingue des formes sauvages par plusieurs caractères morphologiques dits de domestication : formation d'une pomme, ou tout au moins d'un stade végétatif marqué, avec un grand nombre de feuilles formant un paquet plus ou moins serré, absence d'épines sous les feuilles, diminution du latex et de l'amertume, capitules resserrés dans les bractées permettant de retenir les graines sur la plante à maturité.

I.2.2.1. Racine

Verolet (2001) démontre que le système racinaire de la laitue est pivotant. La ramification de la racine pivotante est variable selon le type et l'état du sol et elle se trouve habituellement entre 0 et 30 centimètres dans le sol (Jenni et Bourgeois, 2008). Les laitues ont des racines plutôt superficielles, peu profond (< 60 cm) (Beniest et *al.*, 1987 ; Carrier, 2008)

I.2.2.2. Feuilles

Les laitues offrent une diversité étonnante, à feuilles lisses ou cloquées, tendres ou croquantes. Les feuilles peuvent être dressées, étalées, ondulées, frisées ou profondément découpées selon les variétés (**Figure 03**). Leur couleur varie également : verte, rouge ou bicolore, la coloration rouge est due à un pigment, l'anthocyane (**Tableau 01**) (Lafitte, 1985).

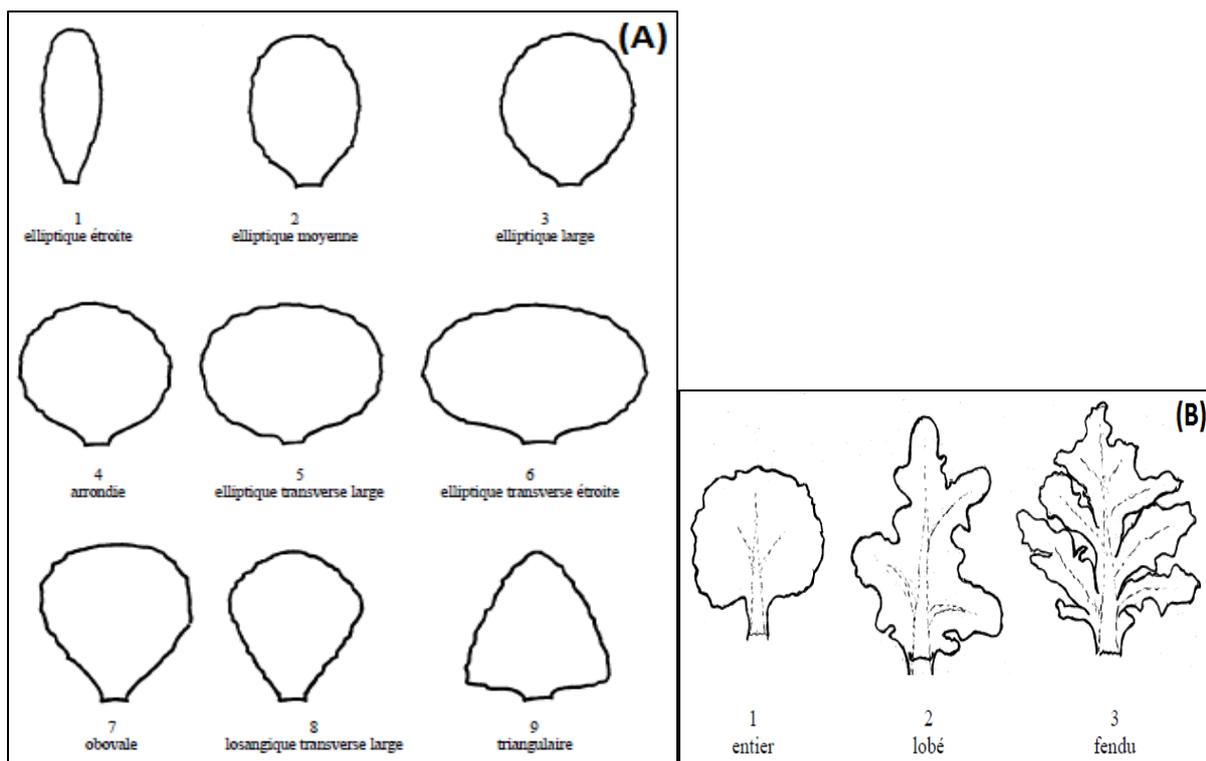


Figure 03 : (A) Limbe : division. ; (B) : Feuille : forme. (UPOV, 2013)

Tableau 01 : Feuille : teinte de la couleur verte des feuilles externes / intensité de la couleur des feuilles externes.

Intensité de la couleur (c. 19)	Teinte de la couleur verte (c. 18)			
	1 absente	2 jaunâtre	3 grisâtre	4 rougeâtre
1 très claire	Krizet	Marbello Black Seeded Simpson	Hohlblättriger Butter	
3 claire	Blonde maraichère, Mondial, Reskia	Blondine (= Viktoria), Locarno, Pia	Celtuce, Kinemontepas, Natina	Brauner Trotzkopf, Maravilla de Verano
5 moyenne	Florian, Frillblond, Sunrise, Tête de Nîmes	Australische Gele, Dorée de printemps, Gotte jaune d'or	Clarion, Du bon jardinier, Durango, Kelvin	Lollo rossa, Pirat, Prizehead (= Frisée d'Amérique)
7 foncée	Baby Star, Donatello, Verpia, Waldemann Dark Green	Batavia, Chicon	Chou de Naples (= Webb's Wonderful), Galaxy, Toledo	Merveille des quatre saisons, Rosa, Rouge d'Hiver
9 très foncée	Pavane		(Sudia)	Liberty, Malibu, Pentared, Revolution

(UPOV, 2013)

1.2.2.3. Fleur

Zorrig (2015) indique que les plantes de laitue portent de nombreux capitules (appelés couramment fleurs) de 10 à 15 fleurons (**Figure 04**). Tous les fleurons sont ligulés et présentent un développement quasi synchrone. Les ligules sont jaunes avec, chez certaines variétés, la face externe anthocyanée. La ligule correspond à 5 pétales soudés que l'on peut identifier en comptant ses dents. L'inflorescence ne s'ouvre qu'une fois, le matin après le lever du soleil. À l'écartement des ligules, les stigmates ne sont pas visibles. Ils sont entièrement à l'intérieur du manchon des 5 étamines. Puis le style s'allonge et le stigmate apparaît déjà chargé de pollen ; si les conditions climatiques sont bonnes, dans les minutes qui suivent, le capitule se referme et l'unique ovule de chaque fleuron est fécondé (**Figure 05**).

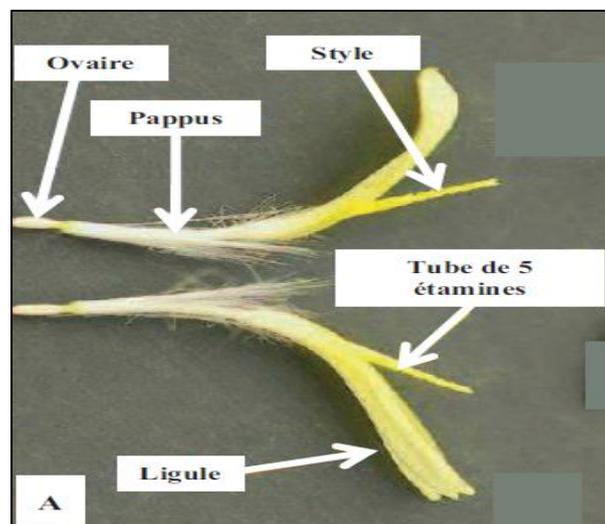


Figure 04 : Aspect morphologique d'un fleuron de laitue. (Zorrig, 2015)

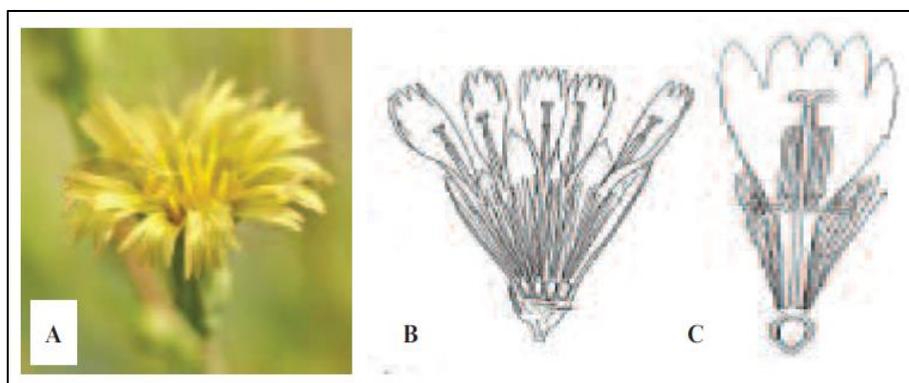


Figure 05 : Aspect morphologique (A) et schéma d'un capitule de laitue (appelé couramment fleur) (B), chaque capitule porte de 10 à 15 fleurons (C). (Zorrig, 2015)

I.2.2.4. Graine

Zorrig (2015) présente que la « graine » (de type akène) est formée de deux parties, le corps de la graine, dur, oblong, de couleur brun foncé (graines noires) ou blanc-crème (graines blanches), et le bec portant une aigrette ou pappus qui est éliminé au battage (**Figure 06**). Elle porte en surface 5 à 15 stries de couleur grise ou brune (A.I.C.P.C et *al.*, 1985).

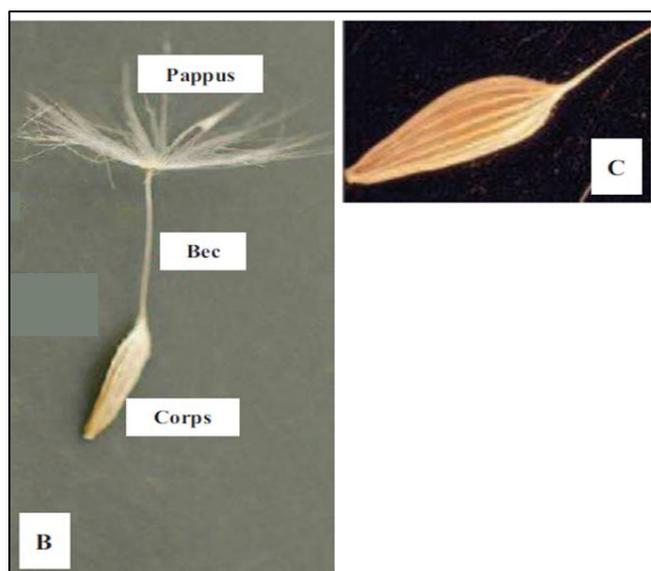


Figure 06 : Aspect morphologique d'un fruit (akène) contenant la graine de laitue (B et C).
(Zorrig, 2015)

I.2.3. Composition de laitue

La partie consommable de la laitue contient environ 95 % d'eau (Plamondon-Duchesneau, 2011 ; Pitrat et Foury, 2003). Du point de vue nutritionnel, Ramirez (2015) rapporte la laitue a une place importante puisqu'elle contient des vitamines A, B, C, E, et des minéraux comme le calcium et le fer (**Tableau 02**). En plus, les qualités nutritionnelles de la laitue sont attribuées à la présence, dans les feuilles, de fibres alimentaires (1,5 %), de sucres (0,9 %), et de caroténoïdes (Nicolle et *al.*, 2004). En effet, une série d'études récentes de Altunkaya et Gokmen (2009) ; Mulabagal et *al.*, (2010) ont démontré que plusieurs variétés de laitue contiennent des composées phénoliques ayant une activité antioxydante. Ainsi, Vries (1997) montre que Les graines, riches en vitamines E, sont aussi exploitées pour leur teneur en huile, qui peut représenter jusqu'à 35 % de leur poids.

Tableau 02 : Constituants alimentaires de la laitue (en g pour 100g).

Constituants	Quantités moyennes	Variations	Observations
Eau	95,00	93,00-96,00	-
Protéines	1,25	0,80-1,63	-
Lipides	0,22	0,17-0,25	-
Sucres	0,92	-	Glucose : 0,36 Fructose : 0,47 Sucrose : 0,09
Fibres	1,52	-	Celluloses et Hémi-celluloses (Solubles : 0,15 / Insolubles : 1,37)
Minéraux	0,72	0,34-1,04	-

(Boyer, 2010)

Évidemment, la composition varie d'une variété à une autre (**Tableau 03**) selon les conditions et le type de laitue et la période de récolte (Dupont *et al.*, 2000 ; Boyer, 2010). Thicoïpé (1997) détermine que pour 100 g de la laitue, la valeur nutritive maximale est de 36 kJ (8,6 kcal) et la valeur calorique totale est de 44 kJ (10 kcal). Bien que la laitue relativement pauvre en apport nutritionnels, elle joue un rôle important dans notre équilibre alimentaire à cause des fortes quantités consommées.

Tableau 03 : Teneur en éléments des principes types de laitue (pour 100 g de produits frais).

Type de laitue	Minéraux (mg)				Vitamines	
	Ca	P	Fe	K	A (UI)	C (mg)
Batavia iceberg	22	26	1,5	166	470	7
Beurre	35	26	1,8	260	1065	8
À couper	68	25	1,4	264	1900	18
Romaine	44	35	1,3	277	1925	22

(Pitrat et Foury, 2003)

I.2.4. Stades physiologiques de la laitue

Plamondon-Duchesneau (2011) ; Valade (2013) ; Zorrig (2015) déterminent que le cycle de développement de la laitue est effectué entre 10 et 15 semaines selon la variété et la région de production, il est constitué de 2 phases bien distinctes, où la plante montre différents aspects à différents stades végétatifs (**Figure 07**) :

- **Une phase végétative**, pendant ce stade il y a formation d'une pomme plus ou moins serrée. C'est le stade utilisé pour la commercialisation. Durant cette phase, la plante de laitue forme d'abord une rosette de feuilles entières. Puis survient la période de pomaison, au cours de laquelle se différencient les types de laitue. En effet, les feuilles se redressent, s'imbriquent plus ou moins, aboutissant à la formation d'une pomme fermée ou d'un ensemble de feuilles serrées formant un bouquet ouvert. Ce sont les conditions climatiques qui déterminent si la pomme de laitue sera plus ou moins serrée.
- **Une phase reproductrice**, elle se traduit par l'élongation de la tige centrale (montaison), aboutit à la floraison et à la production de graines. La montaison est plus ou moins rapide selon les conditions climatiques.

A la fin de la montaison, les plantes peuvent mesurer de 1 à 1,5m de haut et portent de nombreux capitules de 10 à 15 fleurons dont le développement est quasi synchrone.

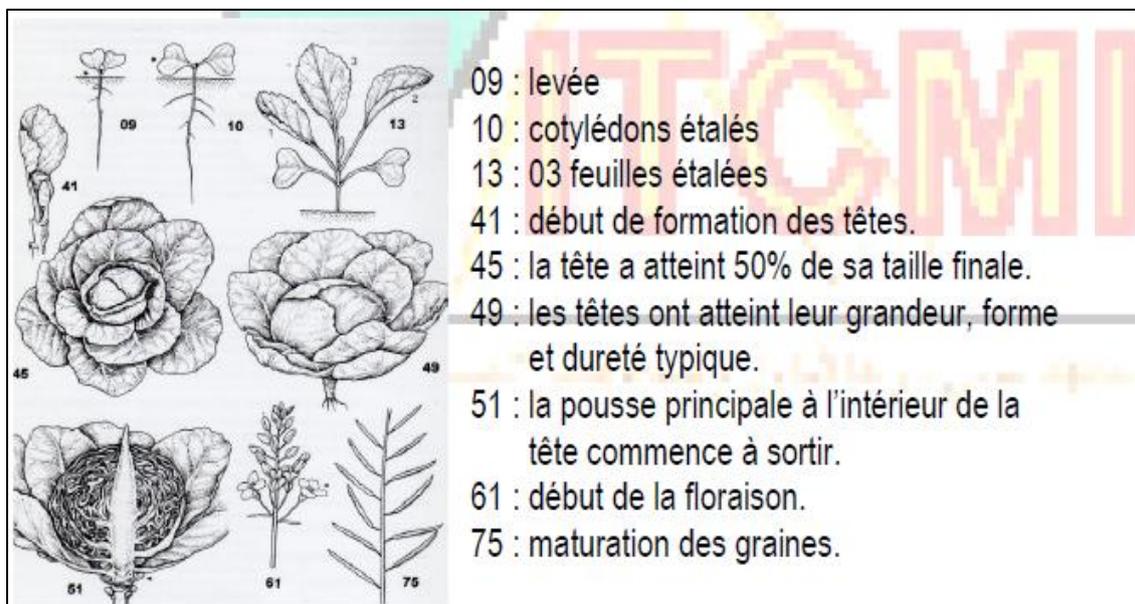


Figure 07 : Stades phénologiques de la laitue. (ITCMI, 2010)

La graine va grossir dans les 15 jours suivants l'ouverture du capitule (**Figure 08**). À maturité, elle est enfermée dans les bractées et reste sur la plante.



Figure 08 : Aspect morphologique d'un capitule de laitue avant l'autopollinisation (A), en cours d'autopollinisation (B), après autofécondation (C) et après deux semaines de l'autofécondation (D). (Zorrig, 2015)

I.3. Exigences de la culture

I.3.1. Exigences climatiques

Selon Verolet (2001) ; Maltais (2007), La culture de la laitue présente cependant plusieurs difficultés. Elle est sensible aux conditions climatiques telles que la photopériode de même que la température. La croissance végétative est d'autant plus rapide que les jours sont longs (13 heures de luminosité par jour et plus) et la température élevée (optimum à 20°C) ; mais elle est également possible sous faible éclaircissement et basses températures selon les cultivars. (**Tableau 04**)

Tableau 04 : Incidences des longueurs de jours et des températures sur la laitue

Lumière	Température	Effet sur la croissance
jours croissants	températures élevées	bon volume bonne pommaison
jours croissants	températures basses	ralentissement du cycle
jours décroissants	températures élevées	cœurs soufflés
jours décroissants	températures basses	bonne pommaison

(Delamarre, 2011)

I.3.1.1. Température

La plus grande partie des cultures légumières préfère la fraîcheur de la saison sèche pour une production optimale. Parmi elles, on trouve la laitue. Cette dernière est adaptée aux climats frais, avec des températures optimales de croissance oscillant entre 7 et 24 °C (Jenni, 2010). D'après Waycott et Ryder (1993), des températures trop élevées risquent de diminuer la qualité et le rendement de la laitue, d'entraîner la formation de pommes lâches lorsque la luminosité est faible et provoquent l'étiollement ou la montaison précoce des laitues au champ. Par contre, La présence de latex blanc et d'anthocyanes (selon les cultivars) est favorisée par les basses températures. Après la formation de la pomme, la tige subit une elongation et l'apex évolue en hampe florale (Ramirez, 2015).

Suivant Mansouri (2008), le climat méditerranéen lui convient très bien pour des productions d'automne, d'hiver et de printemps. Les cultures d'été sont toujours compliquées sous le climat méditerranéen à cause des excès de chaleur et des températures de nuit souvent trop chaudes. De petites cultures d'été existent pour des circuits de commercialisation courts.

I.3.1.2. Lumière

La laitue est une plante de jours longs à cycle court, Beniest et *al.* (1987) ; (ITCMI, 2010) ; (Ouhibi, 2015) montrent que cette culture est très exigeante en lumière, elle a besoin d'un nombre déterminé d'heures de lumière pour pouvoir produire des récoltes.

I.3.2. Exigences édaphiques

Kuepper et *al.* (2002) explique que la laitue est sensible à l'asphyxie, elle s'adapte tout de même à une grande variété de sols surtout les sols limoneux-sableux à limoneux-argileux selon, mais elle préfère les sols riches en matière organique sols riches en matière organique et avec une bonne fertilité comme les sols organiques appelés « terres noires ». Pour ces sols, un $\text{pH} > 6$ et une bonne capillarité favorisent grandement le développement de la laitue, vu que c'est une plante qui ne supporte ni acidité ni salinité du sol ou de l'eau de l'irrigation.

D'après Mansouri (2008), les types de sols qui conviennent aux salades doivent être :

- De léger (type sableux, sablo limoneux, limoneux) à légèrement argileux
- Profond, souple et de préférence drainant
- pH compris entre 6-8 avec $\text{pH} < 6$ étant néfastes à la laitue.

Par ailleurs, la laitue est très exigeante en humidité du sol, elle aime les sols humifères et frais, meubles, propres et aérés.

I.3.3. Exigences hydriques

Pour ce qui est des besoins en eau, il est important d'irriguer après la transplantation ou le semis afin de favoriser la reprise du plant ou la germination. Beaulieu (2006) montre que lors du développement foliaire, le stress hydrique provoque une baisse de rendement des irrigations moyennes de 125 à 175 mm d'eau sont donc apportés pour éviter cette baisse. Un arrosage régulier est nécessaire pour une croissance optimale de la laitue.

I.3.4. Exigences nutritionnelles

D'après Beniest et *al.* (1987) ; Kuepper et *al.* (2002), la laitue est sensible aux excès de sels minéraux, elle est même classée parmi les cultures maraîchères les plus sensibles à la présence de sels dans l'eau d'irrigation ou dans le sol.

I.4. Maladies et ravageurs

Plamondon-Duchesneau (2011) ; Valade (2013) indiquent que les laitues peuvent être infectées par un grand nombre de bioagresseurs appartenant aux principaux taxons du vivant : champignons, bactéries, insectes et virus

- Maladies cryptogamiques : (Annexe 01)

Le mildiou, la moisissure grise et la pourriture basale sont les plus rencontrés.

L'agent du mildiou de la laitue est l'un des principaux bioagresseurs. La présence de ce champignon, le *Brémia*, laisse la face inférieure des feuilles se couvrir d'une poussière blanche, puis celles-ci se dessèchent ou pourrissent (Lafitte, 1985).

D'autres champignons agressant les cultures de laitue existent tel que *Botrytis*, *Sclerotinia minor*, *Rhizoctonia solani*.

- Maladies bactériennes : (Annexe 02)

Causées par deux genres de bactéries : Foliaires tel que *Xanthomonas campestris pv. vitians* ou racinaires comme *Rhizomonas suberifaciens*.

- Maladies virales : (Annexe 03)

Les principaux virus sont le LMV (*Lettuce Mosaïque Virus*) est transmis par les pucerons, provoque déformation ou jaunissement des feuilles (Lafitte, 1985).

Le Big Vein et la tache orangée transmis par des champignons du genre *Oplidium* sp. Les laitues touchées ne sont pas commercialisables. Contre ces maladies, mettre en place des actions préventives. (Camoin L., 2014)

- Maladies physiologiques :

On aperçoit brûlure apicale, nervation brune et montaison prématurée, etc.

Au Québec, des pertes importantes de laitue sont causées par la brûlure de la pointe, désordre physiologique qu'on nomme également pourriture apicale ou nécrose marginale ou « tipburn ». Aujourd'hui, Jenni et Dubuc (2000) ; Corriveau (2011) ; Wissemeiller et Zhühlke (2002) ont établi que la brûlure de la pointe est un désordre causé par une déficience en calcium dans la marge de feuilles. Elles se manifestent habituellement par des nécroses brunes dans la marge de jeunes feuilles en développement.

- Insectes et ravageurs : (Annexe 04)

Des Insectes dont des pucerons et des thrips. Fort heureusement, la laitue n'est attaquée que par relativement peu d'insectes, surtout des pucerons, des thrips et des nématodes à galles qui peuvent causer d'importantes pertes de rendement dans les cultures de laitues.

I.5. La production de la laitue dans le monde

La production annuelle mondiale de laitue représente plus de 21 millions de tonnes, dont 10 et 4 millions de tonnes en Chine et aux États-Unis, respectivement. L'Italie, l'Espagne, l'Inde et la France produisent annuellement entre 4 et 9 millions de tonnes de laitues (FAO, 2004).

David (2013) montre que l'union européenne est le troisième producteur et consommateurs de laitues. Aujourd'hui le volume de production européen de salade se situe autour de 3 millions de tonnes. Des pays tels que l'Espagne, l'Italie ou encore la Belgique exportent en masse et d'autres comme l'Allemagne et la Grande-Bretagne importent (**Figure 09**). Quant aux Pays-Bas et la France les importations et les exportations s'équilibrent. Les principaux types cultivés en Europe sont les laitues beurre, les batavias, les laitues à couper et les romaines (Thicoipe, 1997).

Selon Maisonneuve et Pitrat (2006) ; Mansouri (2008), le marché européen de la salade est dominé par les productions espagnoles, italiennes et françaises, Avec près de 250 000 tonnes produit par an, la France est le 3^{ème} producteur Européen de laitues. En France, avec 382 000 t et 12 500 ha, la laitue est la deuxième production maraîchère en valeur, la batavia est le premier type commercial avec 38% de la production devant les laitues à couper (31%) et les laitues beurre (28%). La salade est produite dans de nombreux départements français en plein champ et sous serres froides. En 2006, la surface est estimée à 17.000 ha pour 465.000 tonnes.

Maltais (2007) ; Ramirez (2015) rapportent que la laitue se retrouve au deuxième rang parmi les cinq légumes les plus consommés au Canada. Elle est également l'une des productions maraîchères de plein champ les plus cultivées au Québec, occupant la deuxième place en superficie. Au Canada, il y a seulement 3,5 % des terres cultivées qui servent à la production de laitue. Au Québec, on consomme principalement la laitue pommée, la laitue Boston, la laitue frisée et la laitue Romaine. Au Québec, la laitue Iceberg occupe 70 % des superficies cultivées tandis que la laitue Romaine n'en occupe que 20 % et la laitue en feuilles ou frisée, que 10 %; la laitue Boston ou beurre est surtout cultivée en serre.

En Suisse, On vend chaque année 140 000 tonnes de salade. La salade iceberg : en Suisse, elle est devenue entretemps la championne Des salades, suivie par la scarole et la laitue pommée (Bohlmann, 2011).

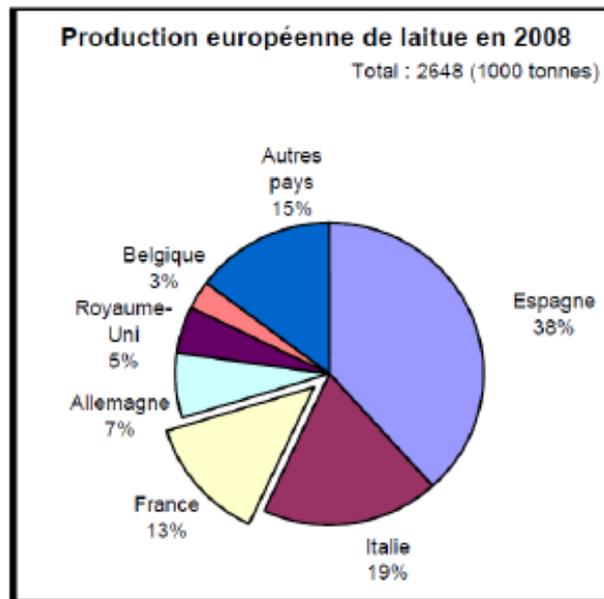


Figure 09 : Répartition par pays de la production européenne de la laitue en 2008. (Valade, 2012)

En Algérie, toutes les zones d'Algérie sont des zones de production de laitue. Les variétés les plus cultivées sont : Laitue à couper (*frisée d'Amérique*) ; Laitue pommées (*Reine de mai, Gotte jaune d'or, Batavia, Merveille des 4 saisons, Têtue de Nimes, Divina*) ; Laitue romaines (*Balen, Dlonde maraîchère*) (ITCMI, 2010).

CHAPITRE 2

GENERALITE SUR LES MILIEUX DE

CULTURE

II.1. Historique

La culture de plantes sur l'eau était pratiquée à l'époque des Aztèques (- 600 avant J.-C.), et était utilisée pour les jardins suspendus de Babylone auxquels il est souvent fait référence comme à la première utilisation connue de l'hydroponie. (Texier, 2014)

C'est en 1860 que deux chercheurs allemands ont réussi à faire pousser des plantes sur un milieu composé uniquement d'eau et de sels minéraux. Avec l'aide d'un agrochimiste du nom de « Knop », il posa les premières fondations de la culture à base d'eau. Cette découverte a permis de mieux connaître la physiologie de la nutrition et le rôle des éléments minéraux. (Boutracheh et *al.*, 2013)

La technique hors-sol a été introduite en Amérique latine et en Europe dans les années 70. La culture hors-sol s'est, en effet, développée d'abord dans le nord, en Hollande, pays où elle occupe les plus grandes surfaces, ensuite en Belgique, en Espagne, en France, en Italie et en Grèce. (Durand, 1995)

Dans la période 1920 - 1930 : le Dr William F. Gericke, considéré comme le père de l'hydroponie moderne, accomplit deux pas importants dans ce domaine : il fut le premier à sortir la culture à base d'eau des laboratoires pour l'appliquer au commerce, et il inventa le terme « hydroponie ».

De 1995 à nos jours : la branche commerciale de l'hydroponie a connu une progression assez rapide. (Texier, 2014)

II.2. Définition

Bien qu'au fil des ans, de nombreuses définitions aient été accolées à la culture hydroponique, celle-ci demeure bien décrite par la définition stricte que voici : « La culture des plantes dans une solution nutritive aérée dans laquelle on retrouve les minéraux essentiels. Légèrement modifiée, celle-ci pourrait s'énoncer comme suit : « La culture des plantes dans un milieu de croissance inorganique tel que le sable, le gravier, la perlite, la laine de roche, etc., ou organique, tel que la sphaigne, l'écorce de pin, le coir, la sciure de bois, etc., sur lequel une

solution nutritive est répandue de façon périodique ». Mais, pour la plupart des gens, la culture hydroponique demeurera toujours « une technique pour faire pousser des plantes sans terre ». (Benton Jones Jr., 2007)

Le Petit Robert de la langue française définit la culture hydroponique comme culture de plantes terrestres réalisée à l'aide de substances nutritives, sans le support d'un sol. ». Le terme « hydroponique » est réservé à la culture dans l'eau seule, tandis que l'expression « hors-sol » se réfère spécifiquement à la culture dans un substrat. Le mot « hydroponique » vient du grec « hydro », qui signifie « eau », et « ponos », qui signifie « travail ». On peut l'interpréter de différentes façons : « l'eau au travail », « le travail avec l'eau », ou encore « le travail de l'eau ».

Quant à Cervantes (2014), il définit l'hydroponie comme étant l'art et la manière de faire pousser des plantes sans terre, le plus souvent sur un support de culture inerte.

La culture hors-sol, appelée également l'hydroponie ou culture hydroponique, est la culture des plantes réalisée sur un substrat neutre et inerte (c.à.d. une substance inerte chimiquement, qui remplace la terre, et qui est utilisé comme support de culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer. Il véhicule aussi la solution nutritive jusqu'aux racines des plantes). Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution contenant les sels minéraux et les nutriments essentiels à la plante. (Boutracheh et *al.*, 2013)

II.3. Intérêts

Parmi les nombreux avantages des productions hydroponiques (réduction de la main d'œuvre, augmentation de la productivité, les besoins en eau inférieurs et le contrôle de la nutrition des cultures (Vu, 2008). Certains sont plus importants dans le cas précis des pays de la région méditerranéenne : (Padilla et *al.*, 2006)

- **Premièrement**, l'eau est certainement le facteur le plus important pour la production végétale surtout dans le cas de la production méditerranéenne. C'est un facteur limitant non seulement du point de vue de la disponibilité mais également de la qualité. D'où l'avantage des systèmes de culture hydroponique.

Fondamentalement, Bradley et Marulanda (2000) ; UNDP (1996) rapporte que la culture hydroponique peut être considérée comme un système de production économique en eau, parce qu'il n'a besoins que de seulement 10 à 20% d'eau compare à la culture en sol pour la même production. Cette économie d'eau est un avantage majeur de la production hydroponique dans des régions méditerranéenne ou l'eau est un bien rare.

- *Deuxièmement*, dans des régions de la méditerranée ou les surfaces en sols cultivable sont limites, les productions hydroponiques sont une alternative intéressante.
- *Troisièmement*, la production hydroponique pourrait induire des rendements plus élevés. De plus, la culture hors-sol offre une alternative idéale pour cultiver des cultures lorsque le sol n'est pas convenable (terres marocaines impropres à la production par excès d'usage du bromure de méthyle) ou lorsqu'il n'a pas de sol du tout (comme dans certaines régions de certains pays méditerranéens : Egypte, Libye ...).

Guérineau (2003) ; Sarraf (2011) ; Morard (1995) mettent en reliefs les autres avantages qu'offre ce mode de culture, à savoir qu'il permet de supprimer les problèmes liés au sol (sol salin, sol pauvre etc.), la simplification de techniques culturales et l'obtention de produits de meilleure qualité (produits plus propres pas de souilles de terre et moins de résidus de pesticides). L'hydroponie permet également une automatisation de la culture ; température, éclairage, ventilation, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs.

II.4. Les différents systèmes hydroponiques

Tous les systèmes hydroponiques sont plus ou moins composés des mêmes éléments : un réservoir, une pompe, un système de support, des tuyaux d'arrivée d'eau, des tuyaux d'évacuation et un conteneur de culture, qu'il s'agisse d'une rigole ou d'un plateau. Néanmoins, il existe de nombreuses façons de concevoir et d'organiser ces différents éléments. C'est pourquoi on trouvera diverses classes et sous-classes de systèmes. Ils peuvent être classifiés en fonction de plusieurs critères : à base de substrat ou sans substrat, à solution perdue ou à solution recyclée (Texier, 2014)

Selon Cervantes (2014), les systèmes actuels peuvent se différencier par le mode d'apport de la solution nutritive, on distingue :

- **D'une part**, les installations à « solution perdue » ou en « circuit ouvert ». Pour ce type, la solution nutritive en excédent est éliminée par drainage puis rejetée en dehors du système de culture.
- **D'autre part**, dans les installations à « solution recyclée » ou « en circuit fermé », la solution nutritive est récupérée, recyclée (désinfectée, analysée et reconstituée) et renvoyée aux plantes. Ces installations sont de plus en plus adoptées pour des raisons d'économie et de respect de l'environnement. **(Figure 10)**

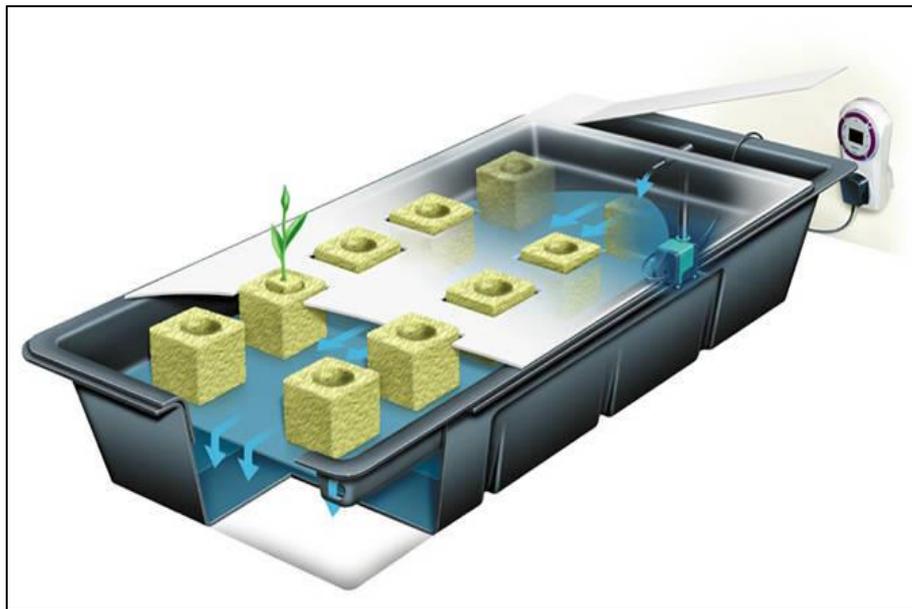


Figure 10 : Système fermé (Anonyme, 2012)

Tandis que Padilla et *al.* (2006) classent les systèmes de culture hors sol selon l'utilisation d'un support ou non, en deux grandes catégories : les cultures sans substrat et avec substrat ; **(Tableau 05)**

Tableau 05 : Description des systèmes de culture hydroponiques

Culture en solution (vraie hydroponique)	Systèmes d'agrégat		
	Milieu inorganique ("Hydroponique")		Milieu organique
	Milieu naturel	Milieu synthétique	
Solution statique Solution circulante 'Aeroponics'	Sable, Gravier Laine de roche Laine de verre Perlite Vermiculite Pierre ponce	Tapis de mousse (PUR) "Oasis" (mousse de plastique) Hydrogel	Sciure, Ecorce Copeau de bois Tourbe, Toison Marc Fibres de Coco

(Padilla et al., 2006)

II.4.1. La culture sans substrat

Connue aussi sous le nom de « Culture en solution » ou « vraie culture hydroponique », où la solution nutritive est recyclée après ré-aération, ajustement du pH et des niveaux nutritifs « systèmes fermé » De plus, elle présente l'avantage de désinfecter plus facilement l'installation.

Pour cette culture, on distingue plusieurs techniques à savoir : l'aquaculture, l'aéroponie et la NFT (Nutriment Film Technique), le DFT (Deep Flow Technique).

II.4.1.1. Système DFT

Le système hydroponique DFT est constitué d'un réservoir contenant une solution nutritive où les plantes sont placées sur une plate forme avec les racines complètement immergés dans cette solution. La recirculation se produit à travers un mécanisme d'entrée-sortie typique à l'aide d'une pompe (Corrêa et al., 2009).**(Figure 11)**



Figure 11 : Système DFT (Anonyme)

II.4.2. La culture avec substrat

Appelée aussi « culture sur substrat », où la solution nutritive est fournie aux plantes par l'intermédiaire d'un système d'irrigation spécifique, et la solution récupérée est soit éliminée directement (système ouvert) soit recyclée (système fermé). Cette technique 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 (Olympios, 2002).

Plusieurs systèmes de culture avec substrat sont utilisés tels que : le système goutte à goutte, le système à marée, et le système à flux continu.

II.4.2.1. Système hydroponique de goutte-à-goutte

Les systèmes hydroponiques de goutte-à-goutte sont très efficaces et productifs. La solution nutritive est distribuée au goutte-à-goutte au pied de chaque plante par des tubes ou des anneaux. Une fois drainée par le support, la solution est recueillie dans le réservoir ou elle est ré-oxygénée grâce à une petite pompe à air immergée. Elle est ensuite redistribuée au pied

de la plante et ainsi de suite. La laine de roche, les gravillons, la fibre de coco, les billes d'argile et le mica expansé sont les supports de culture le plus souvent utilisés (**Figure 12**). Ces systèmes modulables peuvent être individuels ou reliés entre eux et alimentés par un grand réservoir commun. C'est l'un des plus répandus actuellement. (Cervantes, 2014).



Figure 12 : Système goutte-à-goutte (Anonyme, 2013)

II.5. Les substrats hydroponiques

Selon Boutracheh, 2013, Les substrats utilisés doivent avoir les qualités physiques, chimiques et biologiques d'un bon sol.

Certes, le substrat hors-sol n'est qu'un support physique dont la structure permet de retenir suffisamment d'eau et d'éléments fertilisants dissous mais il permet, aussi, l'aération des racines pour leur besoin en oxygène. Ce substrat doit aussi présenter une porosité (microporosité et macroporosité) où l'air et l'eau sont présents en proportions satisfaisantes, avec une capillarité satisfaisante. Une texture appropriée favorise une bonne pénétration des racines, une bonne rétention d'oxygène et une bonne absorption des nutriments. Les supports de granulométrie grossière permettent une meilleure aération. Plus les particules sont fines, plus elles s'assemblent en une masse compacte et plus le drainage est ralenti. Quant à l'aspect

chimique du substrat, ce dernier doit être inerte chimiquement comme il est préférable de contrôler l'alimentation des plantes au niveau de l'élaboration des solutions nutritives. (Cervantes, 2014)

Le substrat choisit doit être, également, biologiquement inerte et stérile de toute vie biologique. Pour le cas des substrats organiques, ils peuvent contenir des microorganismes et des molécules organiques vivantes comme l'humus. (Boutracheh, 2013)

D'après Cervantes, 2014, les différents substrats tels que : le sable, les billes d'argile, la pouzzolane et la laine de roche, constituent un support pour les éléments de la solution nutritive apportée aux plantes ; **(Figure 13)**

- Les matériaux fibreux comme la tourbe de mousse retiennent beaucoup d'humidité dans leurs cavités. Ces supports sont parfaits pour les systèmes hydroponiques passifs qui font appel à l'imprégnation par capillarité.
- Les supports à texture irrégulière comme la perlite (Ce matériau draine bien mais il est si léger qu'il a tendance à remonter à la surface lors des arrosages abondants) ont une plus grande surface et retiennent mieux l'eau que les supports aux formes arrondies régulières.



Figure 13 : Les substrats les plus couramment utilisés (Anonyme)

II.6. La solution nutritive

Cooper (1979) affirme que la culture hydroponique est perçue comme une manière très efficace d'alimenter les cultures en eau et nutriment. En maintenant un apport équilibré en eau, nutriment et oxygène aux racines, les cultures se développent plus rapidement.

La solution nutritive apporte, sous forme assimilable, Les macroéléments sont l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S), alors que les oligoéléments sont le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le molybdate (Mo), le manganèse (Mn) et le bore (B), qui sont nécessaires au développement de la plante. (Fondio et *al.*, 2013)

Comme en toutes choses, et surtout pour les plus simples comme la culture hydroponique, il y a des secrets. L'un d'eux est la composition du mélange nutritif. Le deuxième secret de la culture hydroponique est la quantité d'eau. (DIAL, 1995)

II.7. Gestion de la solution nutritive

Deux facteurs contribuent à la croissance des racines dans un support : le pH et la teneur en nutriments, mesurée en CE.

II.7.1. Conductivité électrique (CE)

Une mesure de la résistance électrique de l'eau, d'une solution nutritive ou d'un effluent provenant d'un milieu d'enracinement. Utilisée pour déterminer le niveau d'ions dans une solution et l'effet éventuel d'une concentration d'ions sur la croissance des plantes. Deux unités sont couramment utilisées : Millimho par centimètre (mmho/cm) ou Déci Siemens par mètre (dS/m). (Benton Jones, Jr., 2007)

II.7.2. pH

Le pH d'une solution nutritive joue un rôle déterminant dans la disponibilité des nutriments que la plante a besoin d'assimiler. Les plantes à croissance rapide poussent bien en hydroponie lorsque le pH est compris entre 5,5 et 6,5, l'idéal se situant entre 5,8 et 6. Tous les nutriments sont présents sous une forme soluble et donc plus assimilable que lorsqu'ils sont dans la terre. Les racines absorbent les différents nutriments à des vitesses variables, ce qui altère l'équilibre ionique de la solution et donc son pH. Quand le pH dépasse 7 ou est inférieur à 5,5, certains nutriments ne sont plus absorbés aussi rapidement qu'ils le pourraient. Les variations du pH affectent souvent la solubilité des éléments. Les valeurs varient légèrement en fonction des plantes. (Cervantes, 2014)

II.8. Hydroponie dans le monde

Dans son projet, Guillou et *al.* (2013) ont mentionné qu'en 2002, la France possédait 3000 ha de culture horticole sous-serre. 50% de cette surface on était destinées à la production hors-sol mais qui est resté très marginale en France.

En Turquie, il y a un intérêt croissant pour l'utilisation des techniques de culture hors-sol et en 1999, la surface totale de production hors-sol a atteint 10 ha. (Padilla et *al.*, 2006)

La culture hors-sol en Tunisie a commencé à être employée suite à l'apparition des problèmes due à l'accumulation des sels dans le sol et à la diffusion rapide des maladies. La surface totale de production hors-sol était estimée à 30 ha en septembre 1999 (Kouki, 1999)

Au Maroc, au moins 500 hectares sont conduits en culture hors-sol, c'est une alternative qui doit être généralisée malgré les difficultés liées à sa mise en œuvre. Selon les professionnels du secteur des fruits et légumes, la culture hors sol constitue une meilleure alternative pour améliorer la production afin de rester compétitif sur le marché. (Boutracheh et *al.*, 2013)

L'agriculture hors-sol se développe dans des pays très densément peuplés (comme Singapour). En Asie, l'intensification est poussée jusqu'à associer élevages aquacoles et cultures hydroponiques, en quelque sorte dans une version spécifique et originale de la polyculture-élevage. (Guillou et *al.*, 2013).

PARTIE 2

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 1

MATERIELS ET METHODES

III.1. Objectif :

- Essais d'adaptation des variétés coréennes.
- Amélioration des techniques de production des cultures de laitue en serre hydroponique.

III.2. Présentation de la structure d'accueil

L'expérimentation a été menée au Centre International de Recherche Agronomique, KOPIA-Algérie (Korean Project on International Agriculture). Implanté à l'Institut National de Recherche Agronomique Algérie (INRAA), cette structure est le fruit de la coopération Algéro-Coréenne dans le domaine agricole.

Le projet KOPIA a été inscrit dans le cadre de la mise en œuvre du Mémorandum d'entente signé le 24 novembre 2010, entre l'INRAA et la RDA (Administration du Développement Rural).

Aperçu général de la région de travail :

La parcelle est localisée à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRAA) commune d'EL-HARRACH, wilaya d'ALGER (**Figure 14**).



Figure 14 : Localisation des serres de la station expérimentale de KOPIA – INRAA (Google earth, 2016)

III.3. Dispositif expérimental

III.3.1. Abris :

- **Culture hydroponique** : une serre bi-chapelle plastique, d'une superficie de (500 m²), la capacité de production est de (4752 plants) (**Figure 15 (a)**).
- **Culture en sol** : une serre en filet anti-insectes, d'une superficie de (334 m²), la capacité de production est de (860 plants) (**Figure 15 (b)**).



(a)

(b)

Figure 15 : (a) Serre bi-chapelle ; (b) Serre en filet (Original, 2016)

III.3.2. Supports de culture :

- **Culture hydroponique** : ce sont des lits (tables de culture) hydroponiques d'une surface de (10 m²).
 - Le 1^{er} lit est rempli de solution nutritive pour la culture hydroponique « sans-substrat » (**Figure 16 (a)**).
 - Le 2^{ème} lit est rempli de mélange (50% perlite + 50% tourbe de mousse) pour la culture hydroponique « avec substrat » (**Figure 16 (b)**).

Les lits hydroponiques sont placés à une hauteur de (30 cm) au-dessus du sol, ce qui facilite le travail (semis, entretien et cueillette).



(a)



(b)

Figure 16 : (a) Lit hydroponique rempli de solution nutritive ; (b) Lit hydroponique rempli avec le mélange (tourbe de mousse + perlite) (Original, 2016)

- **Culture en sol :** Sol de texture limoneux-argileuse labouré et recouvert par un paillage plastique noir (Figure 17).



(a)



(b)

Figure 17 : (a) Parcelle labourée ; (b) Parcelle recouverte d'un paillage plastique (Original, 2016)

III.3.3. Systèmes d'irrigation :

➤ **Culture hydroponique** : deux systèmes d'irrigation sont utilisés :

- **Système DFT** (Deep Flow Technique ou hydroponie en eau profonde sur flotteur) (**Figure 18**) : Utilisé pour la culture hydroponique « sans-substrat ». Ce système est composé de deux parties :
 - La station de tête qui comprend le poste de filtration, une pompe, les vannes, et deux citernes ; une pour la réservation d'eau et l'autre pour la solution nutritive (**Figure 19**).
 - Le peigne qui comprend la canalisation principale et la canalisation secondaire.



Figure 18 : Système DFT (Original, 2016)



Figure 19 : Station de tête (Original, 2016)

- **Système goutte-à-goutte** (irrigation localisée ou micro-irrigation). Utilisé pour la culture hydroponique « avec-substrat ». Il renferme la même station de tête que le système « DFT ». Et comprend ainsi les canalisations et les goutteurs (**Figure 20**).



Figure 20 : Système d'irrigation goutte-à-goutte (Original, 2016)

- **Culture en sol** : système d'irrigation par aspersion d'eau, composé d'une canalisation d'eau, tuyau et arroseurs. L'irrigation a été faite manuellement et de manière régulière (3 fois / semaine) (**Figure 21**).



Figure 21 : Système d'irrigation manuel par aspersion (Original, 2016)

III.3.4. Équipements :

➤ Culture hydroponique :

- **Unité de contrôle** de ; l'CE (Conductivité Electrique), le pH (potentiel Hydrogène), la température, la minuterie d'irrigation (**Figure 22**).



Figure 22 : Unité de contrôle (Original, 2016)

- **Refroidisseur d'eau** : branché au réservoir de la solution nutritive, il permet de contrôler la température d'eau et de la maintenir à 22C° durant toute l'année (**Figure 23**).



Figure 23 : Refroidisseur d'eau (Original, 2016)

- **Extracteur d'air** : la serre dispose d'un système de ventilation, qui utilise l'énergie électrique permettant de baisser la température à l'intérieur de la serre, pour une croissance optimale des plants (**Figure 24**).

La serre possède aussi un système d'aération latéral (les ouvrant latéraux) qui permettent de réguler la température sous-serre.



Figure 24 : Extracteur d'air (Original, 2016)

➤ **Culture en sol :**

- **Thermomètre** : qui permet de mesurer les températures diurne et nocturne (**Figure 25**).



Figure 25 : Thermomètre (Original, 2016)

III.4. Matériel végétal

L'étude a été menée sur quatre variétés de laitue : Deux d'entre elles sont introduites en Algérie pour exploitation ; '*Blonde de paris*' et '*Merveille des quatre saisons*', et les deux autres sont nouvelles originaires de la Corée du Sud '*Jeok chi ma*' et '*Dduk sseom jeok chuk myeon*'. Cette étude est la première sur ces variétés en Algérie.

Caractères descriptifs des variétés :

III.4.1. Variété '*Merveille des quatre saisons*'

Cette variété très rustique est facile à réussir. Elle donne des salades aux pommes volumineuses très fortement teintées de rouge au cours de son développement. Elle résiste bien à la chaleur (**Figure 26**) ; (**Annexe 10**).

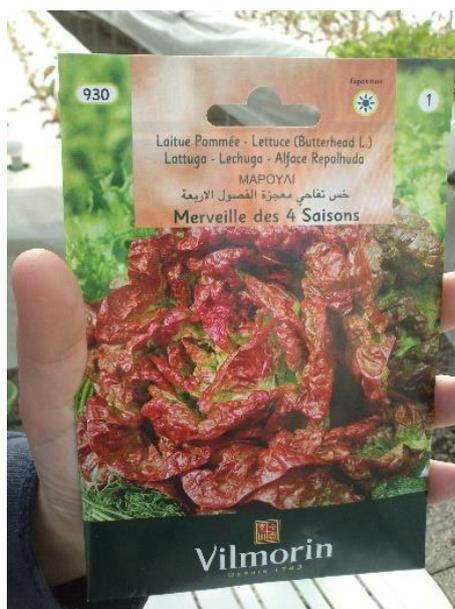


Figure 26 : Semences de *Lactuca sativa L.* var. *Merveille des quatre saisons* (Original, 2016)

III.4.2. Variété '*Blonde de paris*'

Cette variété de batavia, peu sensible à la chaleur donne de belles salades très volumineuses aux feuilles bien croquantes (**Figure 27**) ; (**Annexe 11**).



Figure 27 : Semences de *Lactuca sativa* L. var. *Blonde de Paris* (Original, 2016)

III.4.3. Variété ‘Jeok chi ma’

Considérée comme étant la meilleure sur le plan qualitatif parmi la variété "Chi ma", ses feuilles sont d'une couleur rouge foncé, et donne un haut rendement en raison de sa longue période de récolte (**Figure 28**).



Figure 28 : Semences de *Lactuca sativa* L. var. *Jeok chi ma* (Original, 2016)

III.4.4. Variété ‘Dduk sseom jeok chuk myeon’

Les feuilles sont de couleur rouge foncé et brillantes. Variété à haut rendement dû à son grand nombre de feuilles et sa croissance rapide. Sa culture est facile et sa période de récolte est longue (Figure 29).



Figure 29 : Semence de *Lactuca sativa L.* var. *Dduk sseom jeok chuk myeon* (Original, 2016)

III.5. Milieux de culture utilisés

Les plants sont disposés dans 3 milieux de culture. Chaque milieu est réparti en 3 blocs. Chaque bloc contient 10 plants de chacune des 4 variétés.

Les 3 milieux utilisés sont :

III.5.1. Milieu de culture hydroponique « sans substrat » :

Choisi pour la production de plants de laitue, il combine les techniques hydroponiques pour la distribution de la solution nutritive et la technique de culture sur polystyrène pour la fixation de la plante.

III.4.2. Milieu de culture hydroponique « avec substrat » :

Utilisant le mélange (tourbe de mousse + perlite) pour la fixation des plants où la solution nutritive est fournie par l'intermédiaire d'un système d'irrigation goutte-à-goutte.

III.5.3. Milieu de culture en sol :

Le sol bien travaillé par un motoculteur (**Figure 30**) ; labour puis reprise superficielle afin d'obtenir une structure fine et tassée en surface, plus motteuse et aérée en profondeur. Recouvert après d'un paillage plastique noir et l'installation d'une mini-serre.



Figure 30 : Motoculteur (Original, 2016)

III.6. Préparation des solutions nutritives

Le maintien de l'eau et des éléments minéraux à un niveau optimal dans la rhizosphère des plantes est le principal facteur responsable des rendements élevés des cultures, meilleures qualités des produits et hautes efficacités de l'utilisation de l'eau et des éléments minéraux. Pour ajuster au mieux les besoins des plantes une solution nutritive a été préparée pour leurs irrigations.

Étapes de préparation de la solution nutritive

Dans la pratique, la procédure de préparation d'une solution nutritive est la suivante : (**Tableau 06**)

1. Détermination de la formule adaptée à la culture, selon les besoins des plantes.
2. Choix de la nature des sels minéraux.
3. Calcul des pesées de sels correspondants à la fabrication du volume de solution nutritive à préparer (et éventuellement de la quantité d'acide à apporter).
4. Répartition des sels minéraux entre deux bacs A et B afin d'éviter les précipités et les pertes de solubilité par contact en milieu concentré, entre le calcium d'une part, les sulfates et les phosphates d'autre part.
5. Préparation de la solution fille par dilution des solutions mères dans l'eau d'irrigation.

Tableau 06 : Compositions minérales de la solution nutritive utilisée

Solution nutritive		
Solution A		
Macroéléments (g)		
KNO ₃	Nitrate de potassium	506,25
Ca(NO ₃) ₂	Nitrate de calcium	740,00
Fe-EDTA	Fer chélaté	100,00
Solution B		
Macroéléments (g)		
KNO ₃	Nitrate de potassium	506,25
MgSO ₄	Sulfate de magnésium	310,00
NH ₄ H ₂ PO ₄	Phosphate de mono-ammonium	145,00
KH ₂ PO ₄	Phosphate de potassium monobasique	172,00
Microéléments (g)		
H ₃ BO ₃	Acide borique	11,25
MnSO ₄	Sulfate de manganèse	7,50
ZnSO ₄	Sulfate de zinc	2,20
CuSO ₄	Sulfate de cuivre	1,25
NaMoO ₄	Molybdate de sodium	0,10

III.7. Conduite de l'expérimentation

Le procédé de production de laitue comporte 2 étapes complémentaires qui sont la préparation des plantules et la transplantation de ces plantules en milieu de culture. Chaque phase est composée de plusieurs opérations qui sont bien coordonnées et bien réalisées, permettent de produire des laitues.

Du semis à la récolte des laitues, les itinéraires techniques sont les suivant :

III.7.1. Etape de « semis en pépinière »



Figure 31 : Semences des quatre variétés de laitue utilisées (Original, 2016)

- Préparation des semences des quatre variétés de laitue choisies : *Dduk sseom jeok chuk myeon*, *Jeok chi ma*, *Blonde de Paris* et *Merveille des quatre saisons*
- Détermination du nombre de grains semés pour chacune des 4 variétés (100graines/variétés).
- Préparation des bacs à semis (0,18 m²) où le mélange (tourbe de mousse + perlite) va être déposé. (**Figure 32**)
- Les bacs à semis ont été étiquetés avec le nom de la variété et la date du semis.



(a)



(b)

Figure 32 : (a) bacs à semis ; (b) mélange (tourbe de mousse + perlite) (Original, 2016)

- Egaliser la surface, creuser des sillons légèrement profond ; mettre les graines en place ; les couvrir avec une mince couche.
- Mise en pépinière, dans des conditions de germination optimale (**Figure 33**).



Figure 33 : les quatre variétés de laitue mis en pipiniere (Original, 2016)

- L'irrigation en pépinière a été faite de manière régulière grâce à des buses de pulvérisation, 3 minutes d'irrigation 2 fois/jour (**Figure 34**).



Figure 34 : Système d'irrigation de la pépinière (Original, 2016)

III.7.2. Etape de repiquage

Après la germination ; dès que les (3-4) premières feuilles apparaissent, les plants sont repiqués dans les trois milieux de culture (culture hydroponique « sans substrat » et « avec substrat », culture en sol).

La transplantation se fait de la manière suivante : **(Figure 35)**

➤ Culture hydroponique « sans substrat »

Tout d'abord, un arrosage des jeunes plants va faciliter leurs transplantations, les racines de ces plantules seront séparées délicatement les uns des autres, puis rincées avec de l'eau en prenant soin de ne pas les endommager (L'eau est renouvelée pour chaque variété utilisée).

Les plants repiqués sont mis sur des planches d'une surface de (0,18 m²) en polystyrène confectionnées pour ça, chaque plaque est percée de 12 trous, entre chaque deux trous 10 cm, on a mis donc 4 plants dans chaque plaque pour que les écartements 20 cm.

Chaque plant est maintenu dans un trou par une éponge, sa partie inférieure est immergée dans la solution nutritive tandis que la supérieure reste à l'air libre, ensuite ces plaques portant les plants repiqués seront étiquetées selon la variété et le bloc.

Les planches de polystyrène sont enfin déposées dans les tables de culture remplis de solution nutritive.



Figure 35 : Etapes de transplantation en milieu hydroponique « sans substrat » (Original)

➤ Culture hydroponique « avec substrat »

Quant à la culture sur substrat, les plants sont repiqués dans un lit rempli du mélange (tourbe de mousse + perlite).

Les plants sont prélevés avec leur motte à partir des bacs de culture en faisant attention à ne pas casser les racines puis ils sont repiqués dans des trous précédemment préparés en tenant compte des écartements : 20 cm sur les lignes (entre les plants) et 40 cm entre les lignes au niveau du lit rempli du mélange (tourbe de mousse + perlite). Chaque plante doit être disposée de façon que son collet affleure la surface du substrat (**Figure 36**). Le substrat doit ensuite être légèrement tassé à la main autour du collet. L'irrigation des plants se fait à l'aide du système goutte-à-goutte.



Figure 36 : les quatre variétés de laitues utilisées dans le milieu hydroponique « avec substrat » (Original, 2016)

➤ Culture en sol

Les plants sont repiqués directement dans le sol couvert de paillage plastique de 120 cm de largeur, percé de trous de diamètre de 5 cm, et d'espacements : 25 cm. La terre doit ensuite être légèrement tassée à la main autour du collet, sans trop la compacter. **(Figure 37).**

L'irrigation des plants se fait manuellement par aspersion d'eau.

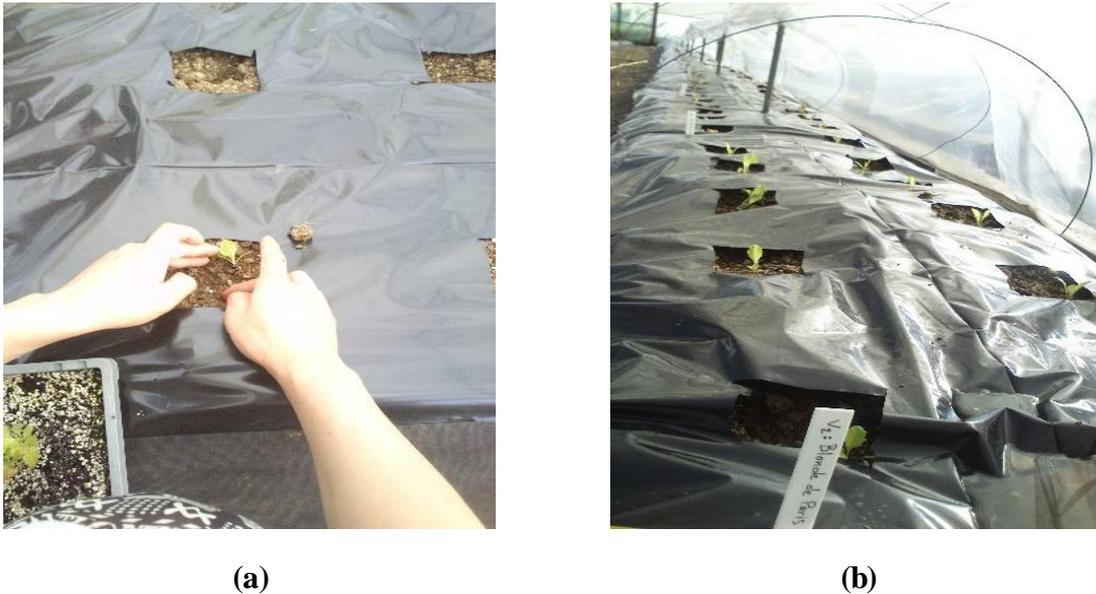


Figure 37 : (a) Transplantation de laitue en sol ; (b) Les plantules de laitue repiquées en sol sous mini-serre (Original, 2016)

III.8. Paramètres mesurés

Les mesures prises sont d'ordre morphologique, effectuées sur les mêmes plants. Elles ont commencé dès les premiers jours de plantation et ont été prolongées jusqu'à la fin du cycle végétatif.

Différentes variables expérimentales sont prises en compte à savoir la croissance en hauteur de la partie aérienne et le nombre de feuilles, et après la récolte des mesures qui concernent le poids et la matière sèche.

III.8.1. Croissance en hauteur

La croissance en hauteur de la partie aérienne (la hauteur de la plante) a été mesurée à l'aide d'une règle, depuis le collet jusqu'à l'extrémité de la feuille la plus longue, la moyenne de toutes les hauteurs a été ensuite calculée pour chaque variété.

III.8.2. Nombre de feuilles

L'estimation du nombre de feuilles est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante et de sa production en biomasse. Le comptage du nombre de feuilles a été effectué durant toute l'expérimentation sur tous les plants.

III.8.3. Poids de la partie végétative et de la partie racinaire

La méthode par pesée est plus précise que les autres méthodes de mesure. Elle nous permet d'évaluer la biomasse verte produite pour chaque variété.

Pour l'appréciation de chaque partie, il convient en premier lieu de séparer la partie végétative de la partie racinaire, en coupant au niveau du collet, avec un couteau. Ensuite, on réalise la pesée avec une balance de précision. Un calcul de la moyenne des pesées est réalisé. **(Figure 38)**

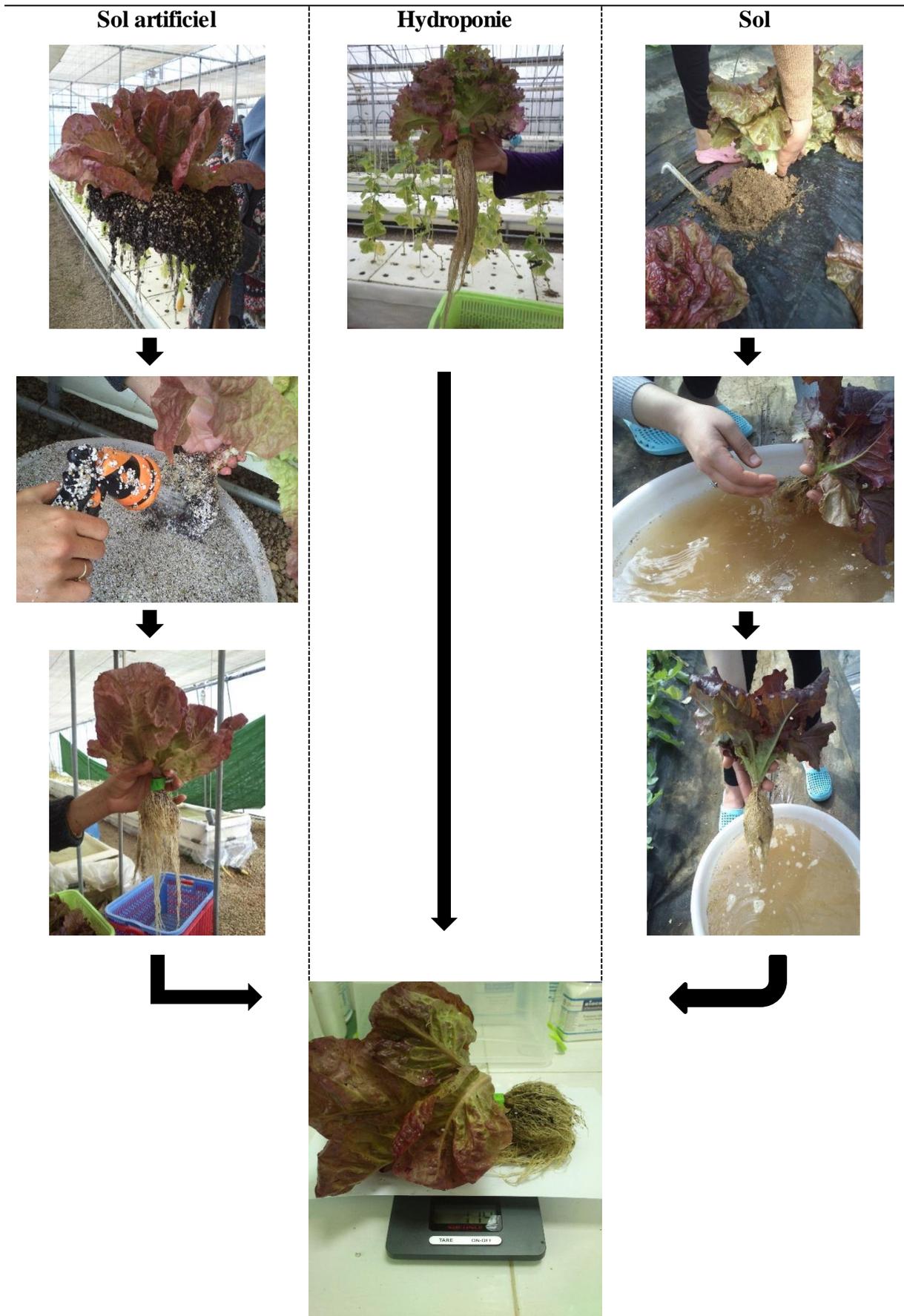


Figure 38 : Dispositif de recolte et pesé (Original, 2016)

III.8.4. Matière sèche

Un échantillon de 4 plants de chaque variété sur les 3 blocs des 3 milieux de culture a été aléatoirement choisi pour la pesée. Ensuite, ces plants ont été mis dans des sacs à papier, pour les sécher à 70 °C pendant 48h et obtenir le poids sec (**Figure 39**).

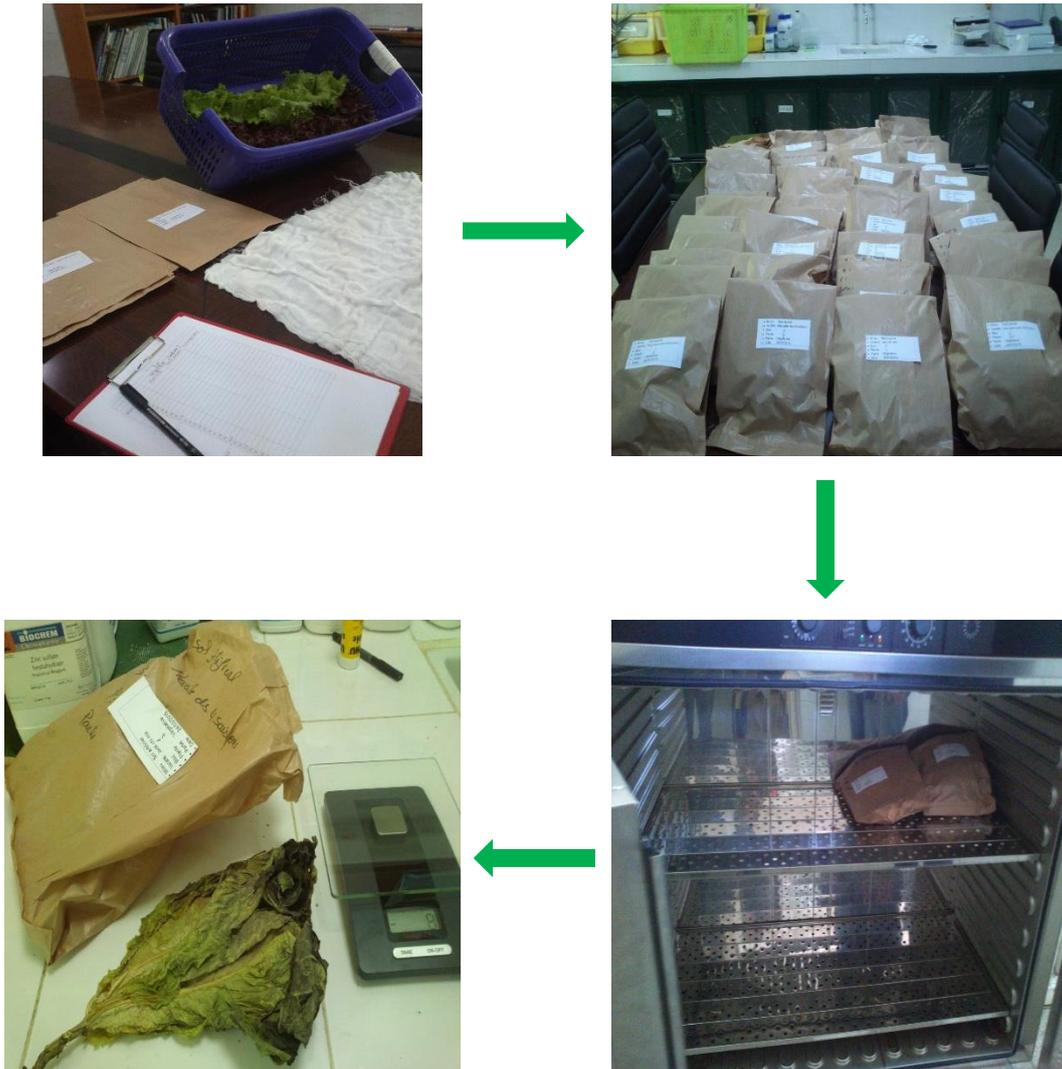


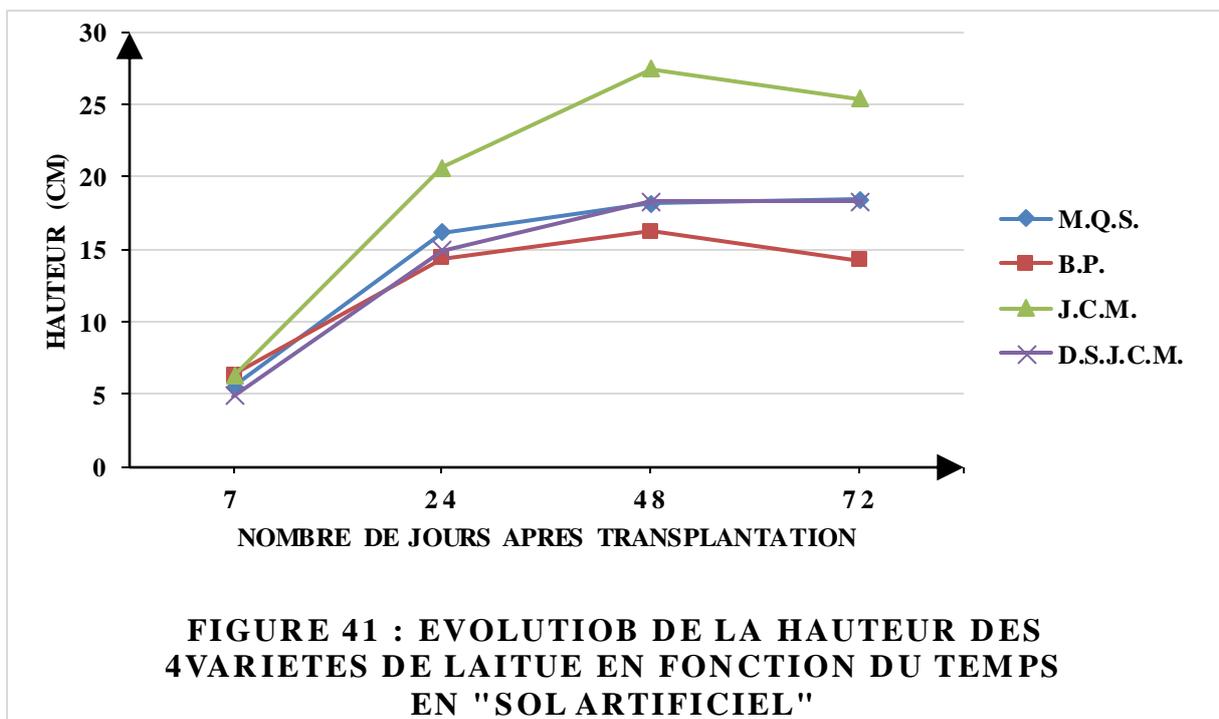
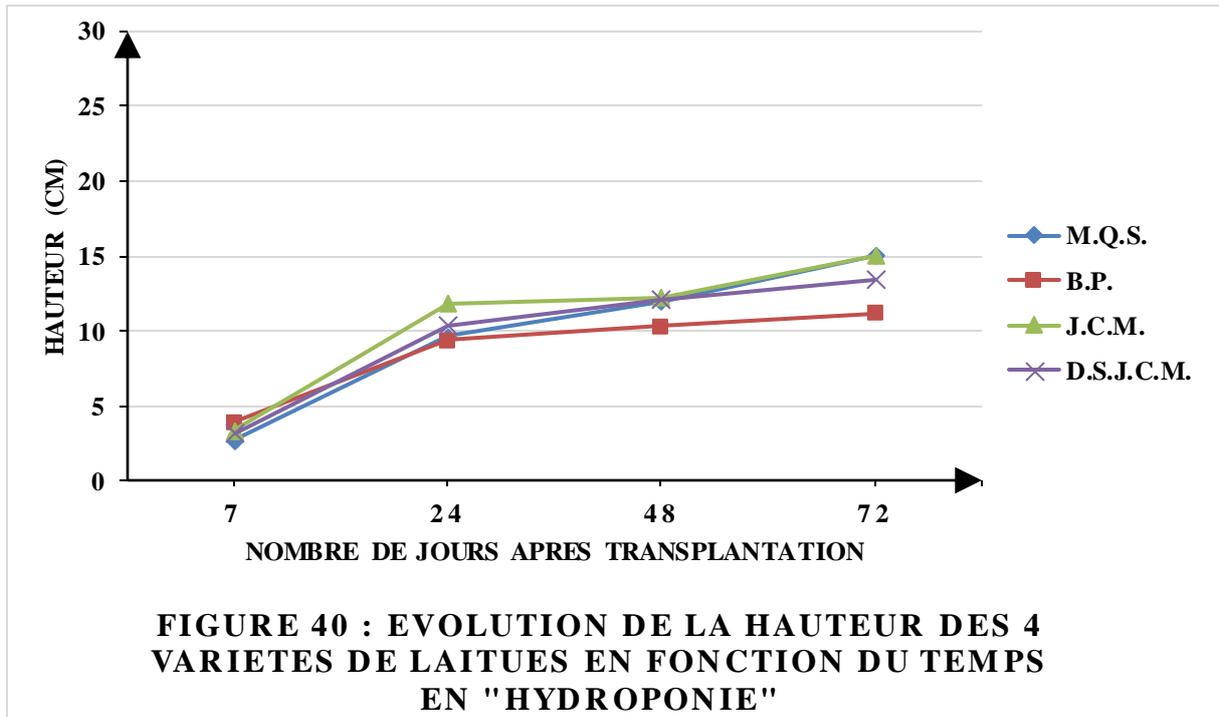
Figure 39 : Etapes de détermination de la matière sèche (Original, 2016)

CHAPITRE 2

RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Croissance en hauteur

L'évolution de la hauteur des plantes a été appréciée à travers la hauteur moyenne des plantes durant tout le cycle de la culture pour chaque variété. Les **figures (40), (41) et (42)** et le **tableau (07)** nous montrent cette évolution :



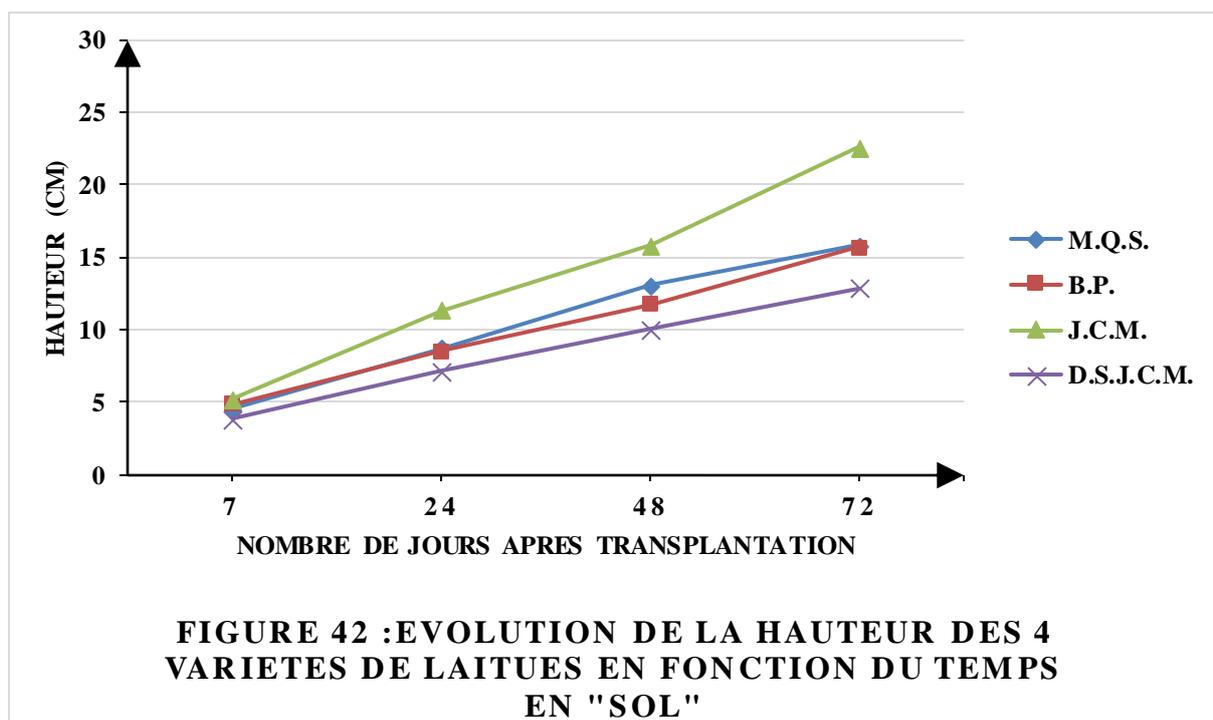


Tableau 07 : Interactions (Milieu*Variété) pour le paramètre (Hauteur)

	Hydroponie	Sol artificiel	Sol	Moyenne des milieux
<i>M.Q.S.</i>	15,02	17,75	15,84	16,21
<i>B.P.</i>	11,21	14,22	15,70	13,71
<i>J.C.M.</i>	15,02	25,37	22,55	20,98
<i>D.S.J.C.M.</i>	13,48	18,28	12,88	14,88
Moyenne des varietes	13,69	18,90	16,74	

La hauteur des plantes dans chaque milieu est mesurée à des intervalles en nombre de jours. On peut constater que la longueur initiale des plantes est presque la même chez les quatre variétés et dans les trois milieux de culture. Après quelques jours on commence à voir une même allure avec une légère différence entre les variétés, ce rythme s'accroît au fur et à mesure des jours, pour marquer progressivement un palier supérieur. En fin de culture cette différence va être plus significative et différente pour chaque variété.

En milieu « **hydroponie** » Les hauteurs moyennes des deux variétés *J.C.M.* et *M.Q.S.* ont une croissance semblable égale à 15,02 cm, En outre les variétés *D.S.J.C.M.* et *B.P.* présentent une infériorité de hauteur moyenne notée respectivement de 13,48 et 11,21 cm.

En général, les meilleures croissances en hauteur des plantes de laitue sont observées dans le milieu « **sol artificiel** », avec une supériorité pour la variété *J.C.M.* de 25,37 cm, comparativement à *D.S.J.C.M.* et *M.Q.S.* avec des valeurs respectivement de 18,28 et 17,75 cm, Alors que la variété *B.P.* a relevé une hauteur moyenne plus faible par rapport aux trois autres variétés, et qui est égale à 14,22 cm.

Les résultats obtenus en milieu « **sol** » révèlent que les deux variétés *M.Q.S.* et *B.P.* ont une croissance légèrement semblables, avec une hauteur moyenne respectivement de 15,84 et 15,70 cm. Par ailleurs, la variété *J.C.M.* a enregistré 22,55 cm, ce qui est nettement plus élevée que les deux autres variétés. Contrairement à la variété *D.S.J.C.M.* qui a marqué la plus faible valeur de 12,88 cm.

Les résultats de l'analyse de variance pour le paramètre croissance en hauteur des quatre variétés de laitue dans les trois milieux sont présentés dans l'**annexe (06)**, Ces résultats révèlent que les quatre variétés de laitue ont montré des différences significatives de hauteur, en fonction des variétés et du milieu.

Ces résultats sont confirmés par Boufares (2012) qui conclut que l'effet d'un milieu de culture résulte de l'ensemble des interactions des différents éléments qui le composent. Certains d'entre eux stimulent les processus du développement, d'autres par contre ont peu d'influence. Ainsi pendant les phases de développement, Rousselle et *al.* (1996) ; Perla (1999) ont émis l'hypothèse que la vigueur de croissance n'est pas nécessairement un caractère variétal comme cela est couramment admis, mais peut résulter aussi de certaines conditions du milieu.

Il est à noter que les conditions ont été difficiles en tout début de culture, les températures ont parfois été fraîches. Cela a pénalisé la croissance des plantes et entraîné une faible minéralisation, ce qui a entraîné des hétérogénéités de développement (Bouvard et *al.*, 2012). Une étude réalisée par Erwin et Heins (1990) montre que la longueur des plants augmente significativement avec l'augmentation de la différence entre les températures de jour et de nuit (DIF). Autrement dit : une différence plus élevée entre les températures de jour et de nuit pourrait expliquer ces résultats.

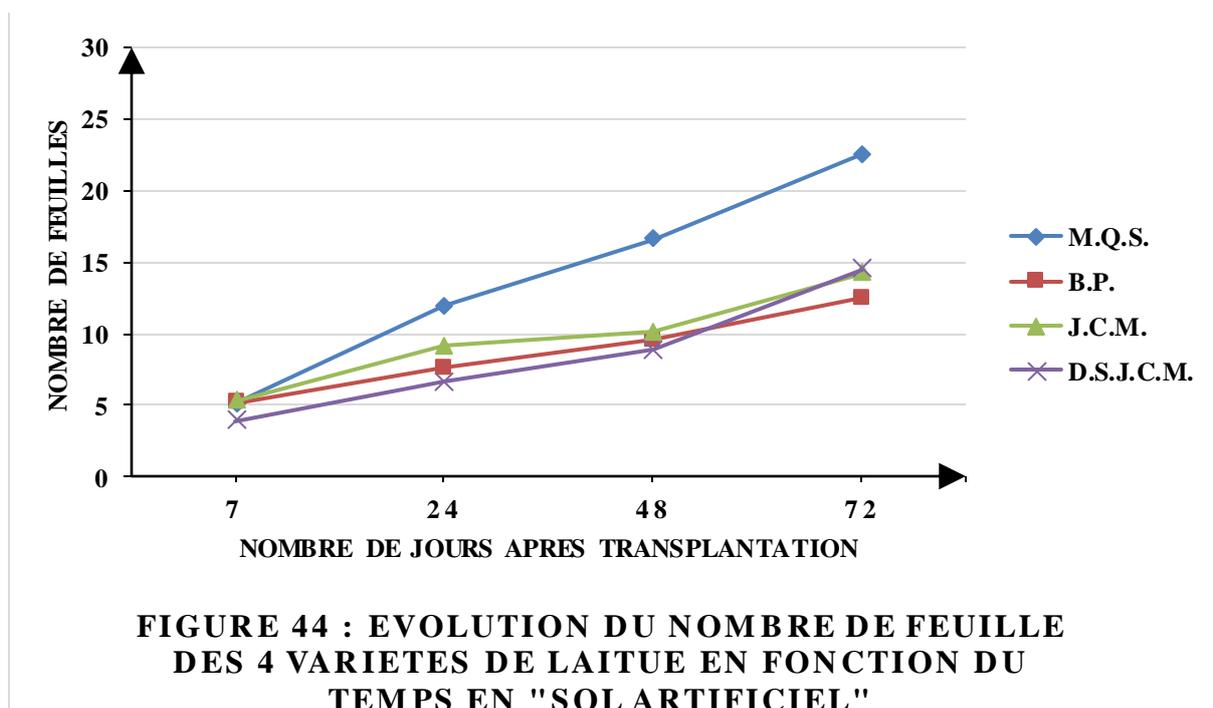
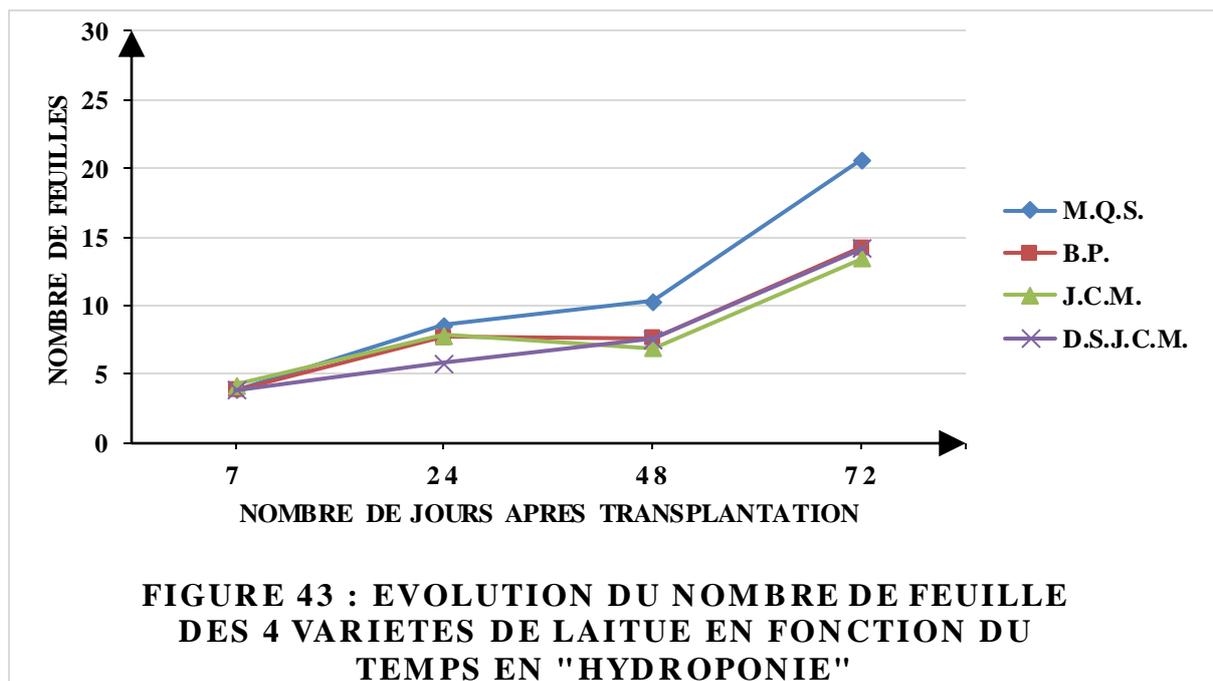
L'analyse de la variance montre des différences significatives entre les milieux sur la croissance en hauteur, alors que le milieu « **sol artificiel** » s'avère supérieur. Ceci nous indique que ce milieu joue un rôle important dans la croissance en hauteur pour les quatre variétés de laitue. Ceci est confirmé par Gent (2003) qui démontre que la laitue pousse plus rapidement en

présence d'une solution nutritive. En effet, Vu (2008) fait le même constat que par rapport à la culture en sol, la croissance des plantes est plus rapide en hors-sol.

Les résultats trouvés montrent que les variétés *J.C.M.* et *M.Q.S.* (qui sont de couleur rouge foncée) présentent la meilleure croissance hauteur dans les trois milieux de culture. Contrairement à Pedneault (2005) qui rapporte que les variétés rouge foncées croissent plus lentement que les types à feuilles vertes et bicolores.

IV.2. Nombre de feuilles

Chaque intervalle-jours, le nombre de feuilles entre les derniers comptages et les précédents est noté, Les résultats des comptages du nombre de feuilles par variété dans les différents milieux de culture sont représentés dans les **figues (43), (44) et (45)** et le **tableau (08)** ci-dessous :



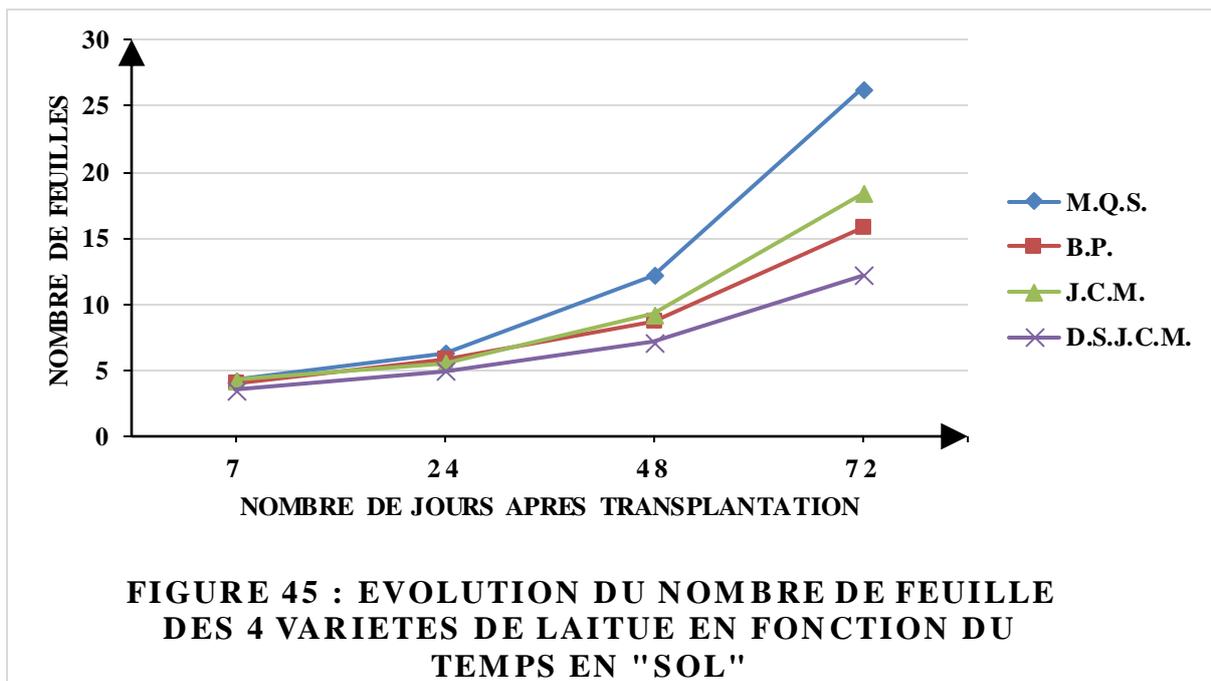


Tableau 08 : Interactions (Milieu*Variété) pour le paramètre (Nombre de feuilles)

	Hydroponie	Sol artificiel	Sol	Moyenne des milieux
<i>M.Q.S.</i>	21	22	26	23,14
<i>B.P.</i>	14	13	16	14,19
<i>J.C.M.</i>	13	14	18	15,36
<i>D.S.J.C.M.</i>	14	15	12	13,63
Moyenne des variétés	15,62	15,93	18,19	

On constate d'après les graphes et le tableau que le nombre des feuilles enregistré après 7 jours de transplantation présente une augmentation de formation des feuilles pour les quatre variétés (*J.C.M.*, *M.Q.S.*, *D.S.J.C.M.* et *B.P.*), ce qui s'explique pour la bonne reprise après transplantation.

On remarque ainsi que le nombre de feuilles augmente encore et atteint au dernier relevé (72ème jours) son maximum pour les quatre variétés, avec une nette supériorité chez la variété *M.Q.S.*

En milieu « **hydroponie** », on remarque que le nombre de feuilles a augmenté pour toutes les variétés, mais cette augmentation n'est pas différente de celle du milieu « sol artificiel ».

Pour ce qui est du milieu « **sol artificiel** », les résultats sont sans différence importante entre les trois variétés *J.C.M.*, *D.S.J.C.M.* et *B.P.*, et qui est égale à 14 feuilles. Mais ce nombre reste faible par rapport à la variété *M.Q.S.*

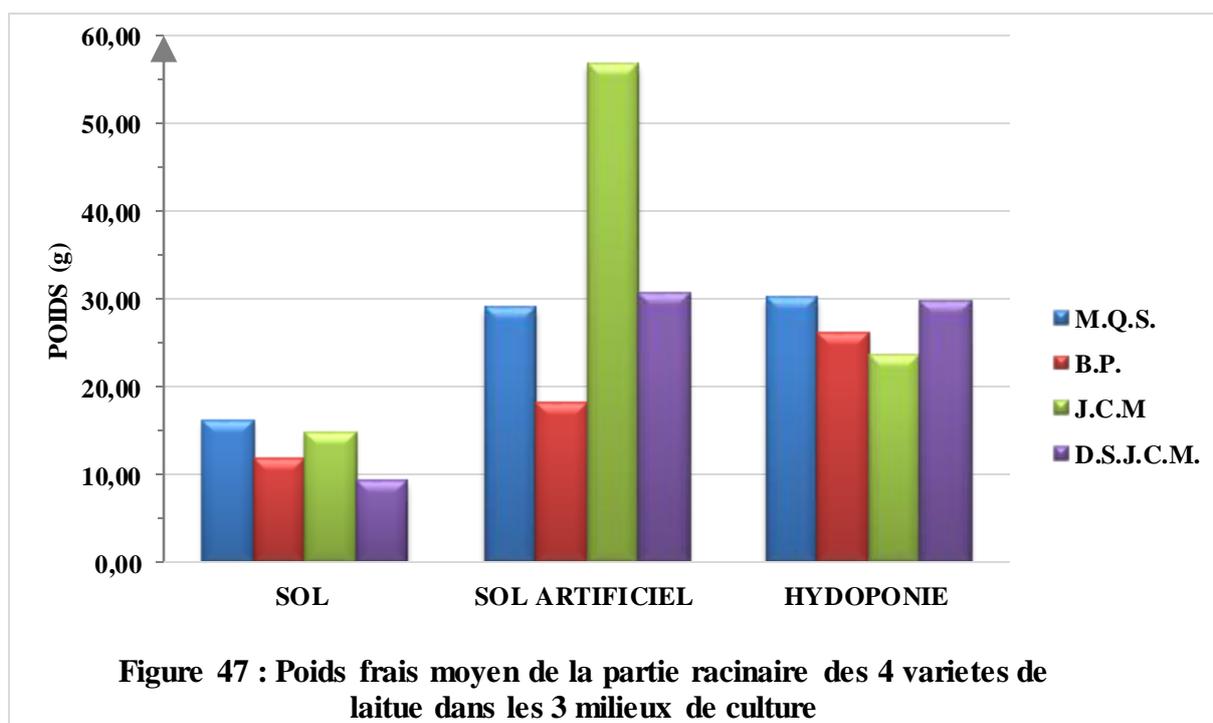
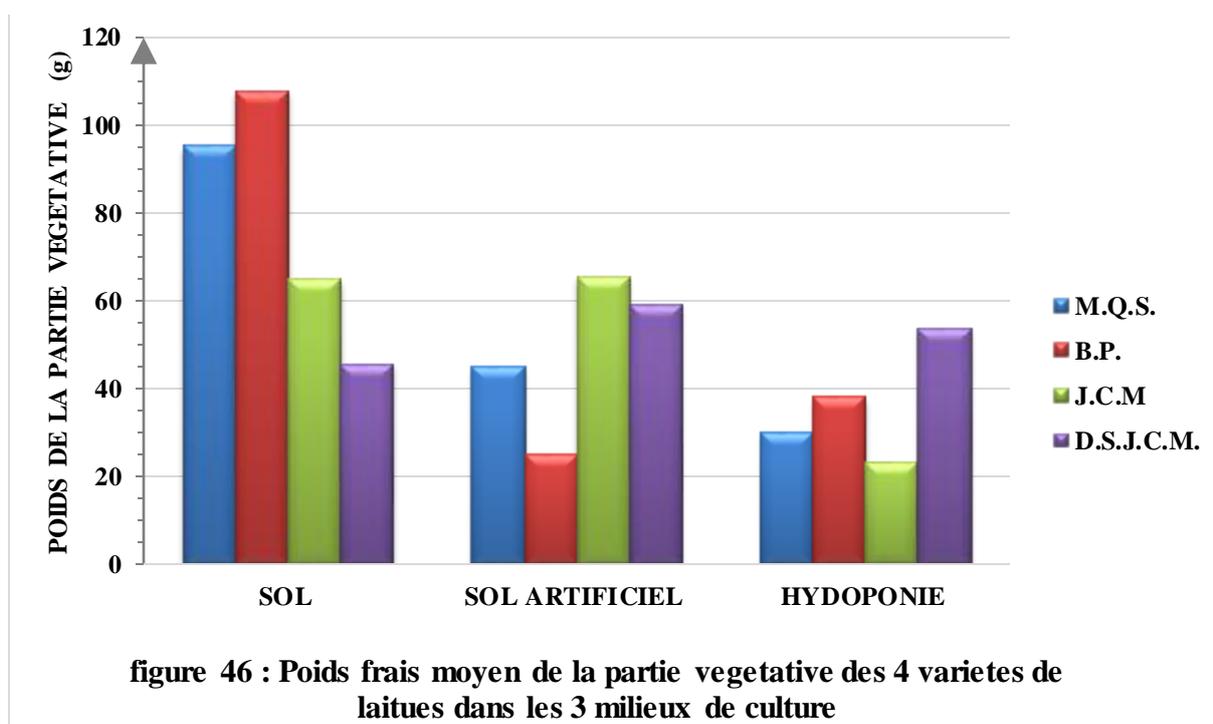
Les variétés *D.S.J.C.M.* et *B.P.* relèvent le même nombre de 15 feuilles en milieu « **sol** », mais ce nombre reste inférieur par rapport à la variété *M.Q.S.* Contrairement, la variété *J.C.M.* a formé le nombre le moins de feuille.

En général, on remarque au cours du temps que le nombre de feuilles a augmenté pour toutes les variétés, mais cette augmentation est beaucoup plus marquée dans le milieu « sol » que dans les milieux « hydroponie » et « sol artificiel ». Ces résultats sont confirmés par Cervantes (2014), qui montre que les plantes développent moins de feuillage lorsque leur régime alimentaire est contrôlé avec précision. En revanche, Maltais (2007) observe que le nombre de feuilles de la laitue cultivée dans un milieu pauvre ne présente pas de différence marquée et significative avec celle cultivée en milieu plus riche. Aussi que, les stades phénologiques des plantes cultivée en hydroponie sont identiques de celles cultivées en terre. (Vu, 2008)

On constate que la variété *M.Q.S.* (étant une laitue pommée beurre) a formée plus de feuilles que les autres variétés dans les trois milieux. Ce nombre a été en moyenne de 26 feuilles en milieu « sol », 22 feuilles en milieu « sol artificiel » et 21 feuilles en milieu « hydroponie ». Nos résultats vont de pares avec ceux rapportés par Jenni et Bourgeois (2008) qui note que pendant la pomaison 19 à 20 feuilles en rosette sont présentes sur la tige centrale de la laitue pommée. Il en est de même pour Bouvard et *al.* (2012) qui rajoutent que les différentes variétés de laitue beurre ne sont pas différenciables au niveau du développement et de l'homogénéité du feuillage.

IV.3. Poids de la partie végétative et de la partie racinaire

Afin de quantifier et d'évaluer le rendement en poids frais produit pour chaque plant, des pesées ont été réalisées sur deux paramètres : poids de la partie aérienne et poids de la partie racinaire. Les résultats sont présentés dans les **figures (46) et (47)** :



L'examen des résultats met encore en évidence le faible rendement en poids de la partie végétative de toutes les variétés cultivées en « hors-sol » par rapport à celles cultivées en « sol », qui pourrait être un indicateur qui limite la poursuite des cultures « hors-sol ». Ceci aurait un impact certain sur le rendement des plants.

Ces résultats sont confirmés par Plamondon-Duchesneau (2011) qui a noté que la biomasse fraîche de la laitue varie beaucoup en fonction des conditions environnementales. En effet, Maltais (2007) souligne qu'il est possible que le poids frais élevé de la laitue cultivée en terreau riche soit dû à un nombre trop élevé de feuilles âgées par rapport aux jeunes feuilles. Selon Thicoïpé (1997) le plant de laitue produit au moins 60 % de sa matière fraîche pendant le dernier tiers de sa vie.

Par contre, le rendement en poids de la partie racinaire est élevé en « hors-sol » par rapport à celles cultivées en « sol ». Ceci est confirmé par Cervantes (2014) qui démontre que les plantes développent un volume de racines très important et facilement observable en hydroponie

Nous avons constaté lors de l'interprétation de nos résultats que la variété *B.P.* présente le meilleur poids de la partie végétative. Tandis que la variété *J.C.M.* présente le meilleur poids de la partie racinaire

Les pesées prises à la récolte nous ont permis d'évaluer le poids de la partie végétative et racinaire de chacune des variétés dans les 3 milieux. Dans le **tableau 09** ci-dessous, figurent les résultats obtenues ainsi que le rapport pondéral (Poids partie végétative / Poids partie racinaire).

Tableau 09 : Poids produit par variété dans les 3 milieux

Milieu	Variété	Poids de la partie végétative	Poids de la partie racinaire	Rapport pondéral du poids (Partie végétative / Partie racinaire)
Hydroponie	M.Q.S.	29,88	30,25	0,99
	B.P.	37,88	26,25	1,44
	J.C.M.	23,13	23,63	0,98
	D.S.J.C.M.	53,75	29,75	1,81
Sol artificiel	M.Q.S.	44,88	29,08	1,54
	B.P.	25,13	18,17	1,38
	J.C.M.	65,50	56,88	1,15
	D.S.J.C.M.	58,88	30,88	1,91
Sol	M.Q.S.	95,13	16,33	5,83
	B.P.	107,8	12,00	8,98
	J.C.M.	64,88	14,96	4,34
	D.S.J.C.M.	45,50	9,377	4,85

Nous constatons que pour toutes les variétés, le poids de la partie végétative est supérieur au poids de la partie racinaire.

En comparant le rapport pondéral du (poids de la partie végétative / poids de la partie racinaire) des quatre variétés, quelle que soit la variété ce rapport est plus important en « sol » qu'en « hors-sol ».

On constate que les variétés en « hors-sol » ont produit un poids de la partie végétative égale au poids de la partie aérienne. Tandis qu'en « sol » le poids de la partie végétative est nettement plus élevé (d'environ 6*) par rapport au poids de la partie racinaire.

A l'inverse de ces résultats trouvés, les travaux de Cervantes (2014) rapporte que dans un système hydroponique, le rapport entre le développement de la plante au-dessus et au-dessous du sol est différent de celui qui existe dans une culture en terre. En terre, cette proportion est de 50/50. En hydroponie, il n'est pas rare qu'elle soit de 90/10 (90% de la plante au-dessus du sol et 10% seulement en dessous). Car les nutriments sont transportés jusqu'aux racines par la solution nutritive, tandis qu'en terre es racines doivent aller les chercher dans le sol.

Une étude menée par Maltais (2007) peut expliquer ces résultats ; que lorsque le système racinaire est confiné dans un petit espace, le délicat équilibre entre la croissance de la partie aérienne et les racines peut être affecté. Nesmith et Duval (1998) ont déjà affirmé qu'en général, l'augmentation du volume de substrat permet d'augmenter la surface foliaire des plantes, la biomasse de la partie aérienne et celle du système racinaire. La croissance du système racinaire et de la partie aérienne, la biomasse totale, le rendement à la récolte sont tous des paramètres pouvant être affectés par l'espace disponible pour la croissance et le développement racinaire.

Les résultats de l'analyse de variance sur les 2 paramètres poids de la partie végétative et poids de la partie racinaire des quatre variétés de laitue dans les trois milieux sont présentés dans l'**annexe (07)** et **(08)**. Ces résultats révèlent que les quatre variétés de laitue ont montré qu'il n'y a pas de différence significative en fonction des variétés et du milieu.

Selon Olympios (2002), un contrôle précis de la nutrition des plantes cultivées hors-sol aurait comme conséquence des rendements plus élevés et une meilleure qualité, mais ceci ne signifie pas nécessairement que les rendements de cultures (cultive en sol) soient inférieurs.

Par contre, Sarraf (2011) indique que les rendements des productions hors-sol sont souvent plus élevés qu'en plein sol.

IV.4. Poids sec de la partie végétative

Afin de définir le poids sec de la partie aérienne des quatre variétés étudiées et de savoir la teneur en eau de chacune d'elles, la figure (48) a été élaborée :

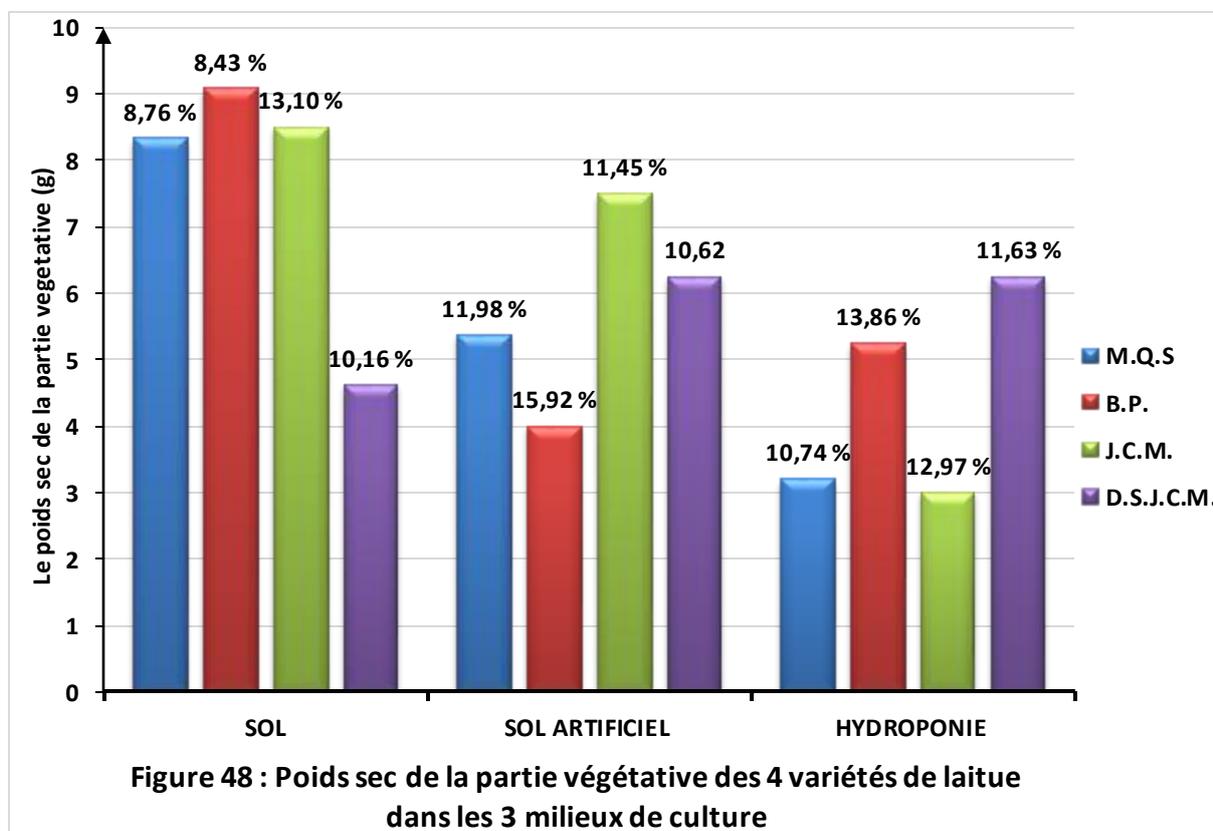


Tableau 10 : Interactions (Milieu*Variété) pour le paramètre (Matière sèche)

	M1	M2	M3	Moyenne des milieux
V1	3,210	5,377	8,333	5,640
V2	5,253	4,000	9,083	6,112
V3	3,000	7,500	8,503	6,334
V4	6,250	6,250	4,627	5,709
Moyenne des variétés	4,428	5,782	7,637	

Les résultats du poids sec gardent un comportement similaire avec ceux du poids frais. Autrement dit, la variété qui possède un poids frais élevé en milieu sol produit systématiquement un poids sec élevé

Selon les types variétaux, l'apport nutritionnel est variable car certains éléments minéraux et vitamines sont plus abondants dans les feuilles vertes que dans les feuilles blanches du cœur de la pomme. Ainsi, le type de batavias est le moins riche alors que les types non pommes, laitue à couper ou romaine, ont plus du double de vitamine A et C et des éléments minéraux tel que le calcium. (Pitrat et Foury, 2003)

D'après Plamondon-Duchesneau (2011), la partie consommable de la laitue contient environ 95 % d'eau ; De ce fait, la composition varie d'une variété à l'autre selon les conditions et le type de laitue.

Plamondon-Duchesneau (2011) Conclue que les biomasses fraîches et les masses sèches plus élevées dans les traitements humides sont dues, entre autre, à la disponibilité de l'eau et au phénomène de transpiration des parties aériennes du plant de laitue. Cette transpiration génère une tension nécessaire aux racines pour absorber la solution nutritive, mais cette absorption est plus difficile dans un sol sec (Kuslu et al. 2008).

CONCLUSION

L'étude fondamentale, dans des conditions contrôlées, portant sur certains paramètres étudiés (la hauteur, le nombre de feuilles, le poids frais de la partie végétative et racinaire et le poids sec de la partie végétative) nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

1. La croissance en hauteur ; On conclut qu'il n'y a pas de différence significative entre les 4 variétés, ainsi qu'entre les 3 milieux de culture.

- Le milieu sol artificiel s'avère supérieur, ce qui indique que celui permet une meilleure croissance en hauteur pour les 4 variétés.
- La variété *Jeok* présente la meilleure hauteur dans les 3 milieux.

2. Le nombre de feuille ; On conclut que

- Le milieu sol a donné un nombre de feuille supérieur
- La variété merveille a formé plus de feuilles que les autres variétés dans les 3 milieux

3. Le poids de la partie végétative et de la partie racinaire

- L'examen des résultats met encore en évidence le faible rendement en poids de la partie végétative de toutes les variétés cultivées en « hors-sol », qui pourrait être un indicateur qui limite la poursuite des cultures « hors-sol ». Ceci aurait un impact certain sur le rendement des plants.

La variété Blonde présente le meilleur poids de la partie végétative.

- Par contre, les valeurs de poids de la partie racinaire sont élevées en « hors-sol ».

La variété Jeok présente le meilleur poids de la partie racinaire

- De plus, toutes les variétés utilisées ont présenté un poids de la partie végétative supérieur au poids de la partie racinaire

4. Le poids sec de la partie végétative

- Le milieu sol est le meilleur pour le poids frais et sec de la partie végétative
- La variété *Blonde* présente le meilleur poids sec de la partie végétative.

Plusieurs paramètres ont été analysés par cette étude, mais il en reste encore beaucoup à optimiser. Il est possible de développer les systèmes de culture de la laitue en terme de productivité (par ex. en hors-sol) afin élargir le réseau de producteurs, mais il convient de se poser la question des ressources budgétaires qui seront consacrées à l'aval des exploitations agricoles en hors-sol alors que celles-ci devraient être bénéficié

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. A.I.C.P.C. (Association pour l'Inventaire et la Conservation des Plantes Cultivées dans les Pays de la Loire), A.C.F.E.V. (Association des Conservatoires Français d'Espèces Végétales), B.R.G. (le Bureau des Ressources Génétiques), 1985 - LA DIVERSITE DES PLANTES LEGUMIERES : HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN. diffusé par TEC & DOC, journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, PARIS.
2. Alilat Y. et Boukraâ J., 2014 - La surchauffe des prix au rendez-vous. © 2016 by Presse-dz.
3. Altunkaya A. et Gokmen V., 2009 - « Effect of various anti-browning agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. saliva*) ». Food chemistry, vol. 117, p. 122-126.
4. Barriere V., 2015. Gestion des bio-agresseurs et réduction des pesticides en culture de laitue sous abris froids : apports croisés d'expérimentations factorielles et systémiques, Avignon.
5. Beaulieu, R. 2006 - L'approvisionnement en eau : contraintes et perspectives ; Colloque sur l'irrigation. CRAAQ 2006, 37-48.
6. Beniest J., Bourdouxhe L., Defrancq-D Hondt M. et Navez S., 1987, Guide pratique du maraichage au Sénégal, Collection cahier d'information_n°1, Imprimé sur les Presses de l'imprimerie Saint-Paul, Dakar 4e trimestre 1987, Sénégal.
7. Benton Jones J., Jr., GroSystems, Inc., 2007 - Les techniques de la culture hydroponique, MAXIMUM YIELD CANADA-FRANÇAIS Novembre-Décembre 2007, VOLUME 7 – NUMBÉRO2 NOVEMBRE / DECEMBRE 2007, Entente de publication no 40739092, Canada.
8. Bohlmann F., 2011 - La salade surfé sur la vague verte, A la loupe, TABULA N° 2 / juin 2011.
9. Bouché M., 2012 - LES ASTERACEES - LA LAITUE (*Lactuca sativa*) Production de semences potagères en Belgique et dans le nord de la France, MARC BOUCHÉ – 2012-EXTRAITS.
10. Boufares K., 2012 - Comportement de trois variétés de pommes de terre (*Spunta*, *Désirée* et *Chubaek*) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. TLEMCEN
11. Boutracheh H., El karibi Y., El hachimi K., Bnikkou S., 2013 - La culture hors sol, BIT-IAA N° 25, Bulletin édité par IMIST, Maroc.
12. Bouvard D., Lhote J.-M., Ravon-Fromaget R., Voeltzel B., Deboevre S., Menard S., 2012 - ACPEL - RESULTATS DES ESSAIS 2012 ; 2012 – AGRICULTURE BIOLOGIQUE ;

VARIETES DE SALADE – LAITUE BEURRE ; CRENEAU PRINTEMPS. Action n° 01.2012.01

13. Boyer C., 2010 - ETUDE DES TRANSFERTS DU TRITIUM ATMOSPHERIQUE CHEZ LA LAITUE : ETUDE CINETIQUE, ETAT D'EQUILIBRE ET INTEGRATION DU TRITIUM SOUS FORME ORGANIQUE LORS D'UNE EXPOSITION ATMOSPHERIQUE CONTINUE, France.
14. Bradley, P. et Marulanda, C. 2000 - "simplifield hydroponics to reduce global hunger". Acta Hort. No. 554, p289-295.
15. Camoin L., 2014
16. Carrier A., 2006 - S'établir en horticulture - Série d'articles sur l'établissement, Québec.
17. Cervantes J., 2014 - CULTURE EN INTERIEUR - LA BIBLE DU JARDINAGE INDOOR, Mama édition, ISBN_2845941145, 9782845941144. 513 p.
18. Cervantes J., 2014 - CULTURE EN INTERIEUR - LA BIBLE DU JARDINAGE INDOOR, Mama édition, ISBN_2845941145, 9782845941144. p. 513
19. Coelho A. F. S., Gomes E. P., Sousa A. P., Gloria M. B. A., 2005 - Effect of irrigation level on yield and bioactive amine content of American lettuce. J. Sci. Food. Agric. 85: 1026-1032.
20. Cooper, A., 1979 - "The ABC of NFT". Grower Books. London.
21. Corrêa et *al.*, 2009
22. Corriveau Boulay, J. 2011 - Étude des effets de diverses pratiques culturales sur la croissance de la laitue et sur l'incidence de la brûlure de la pointe. Mémoire de maîtrise, Département des sols et de génie agroalimentaire Université Laval. Québec. Canada. 56p.
23. David P.-R., 2013 - RÉACTIVITÉ ORGANOGÈNE DE BOURGEONS DE LAITUE (*LACTUCA SATIVA* L.) EN CULTURE *IN VITRO* EN FONCTION DE FACTEURS GÉNÉTIQUES, CULTURAUX ET HORMONAUX. Montréal (Canada).
24. Delamarre C., 2011 - INCIDENCE DU CLIMAT - SALADE SOUS ABRIS, Chambre d'agriculture DE LOT-ET-GARONNE.
25. Dupont S.-M., Mondin Z., Williamson G. et Preece K.-R. 2000 - «Effect of variety, processing and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 48, p. 3957-3964.

26. Durand A. ; DIAL, 1995 - LA CULTURE HYDROPONIQUE - Une culture sans terre accessible aux populations urbaines démunies, Dossier 2024, Imprimerie_des Monts du Lyonnais, France.
27. Elmhirst J., 2006 - Profil de la culture de la laitue de serre au Canada. Ontario (Canada).
28. Emmett B., 1992 - Pest of composite crops: Lettuce. Vegetable crop pests. (ed. by RG McKinlay) CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 74-86.
29. Erwin, J.E. and Heins, R.D. 1990. Temperature effects on lily development rate and morphology from the visible bud stage until anthesis. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:644- 646.
30. FAO, 2004 - Lettuce and chicory. Ressource électronique. « <http://faostat.fao.org> ».
31. Fondio L., Djidji A, Hortense D., N’Gbesso M.-F., Tahouo O. ; CNRA, 2013 - Le CNRA en 2012 - L’agriculture hors-sol pour produire des légumes de qualité en zone urbaine de Côte d’Ivoire, ISBN 978-2-917074-10-7, Côte d’Ivoire. Fondio et al.,
32. Gent, M.P.N. 2003. Solution electrical conductivity and ratio of nitrate to other nutrients affect accumulation of nitrate in hydroponic lettuce. HortScience 38(2): 222-227.
33. Guérineau C., 2003 - La culture du fraisier sur substrat. Ed CTIFL. Ctifl et Ciref, Paris, 165p
34. Guillou M., Guyomard H., Huyghe C., Peyraud J.-L., Vert J., Claquin P., 2013 - Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l’environnement, INRA / Agreenium.
35. ITCMI, 2010 - Fiches techniques valorisées des cultures maraîchères et Industrielles - La culture de LAITUE, Alger.
36. Jenni S. et Dubuc J-F. 2000 - Essais de variétés de laitue pommée en sol minéral dans la région de Lanaudière. CRDH-AAC. Résumé des recherches. Vol. 27. 1999-2000. p 18. « <http://res2.agr.ca/stjean/crdh.htm> ».
37. Jenni, S. 2010 – « Chaleur et laitue : un duo qui ne fait pas bon ménage ». CRDH-AAC. 6 p. « http://www.agrireseau.qc.ca/legumeschamp/documents/chaleur_laitue.pdf ».
38. Jenni, S. et Bourgeois G. 2008 - Quantifying Phenology and Maturity in Crisphead Lettuce. Hort Technology 18(4) : 553-558.
39. Kouki, K., 1999 - “Protected cultivation in Tunisia. Soilless culture: Prospects and challenges”. Proceeding of the first Meeting of the FAO Thematic Working Group of soilless culture. 2 septembre 1999. Halkidiki, Grec.
40. Kuepper G., Bachmann J. et Thomas R., 2002 - Laitues et légumes-feuilles de spécialité : production biologique, ATTRA, LIEU.
41. Kuslu et al., 2008

42. Labrie M. et Ménard F., 2012. Les jardins laurentiens. Val-Morin. Qc. « http://www.lesjardinslaurentiens.com/laitues_histoire.html ».
43. Lafitte O., 1985 - Semences et Progrès N. 43 - avril-mai-juin_1985, La laitue au fil des saisons, Lieu.
44. Maisonneuve B. et Pitrat M., 2006. Sujet de stage sur le *Bremia* de la laitue, l'INRA de Montfavet.
45. Maltais A.-M., 2007 - CONDITIONNEMENT NUTRITIONNEL EN SERRE DES TRANSPLANTS DE LAITUES BOSTON ET ICEBERG (*LACTUCA SATIVA* L.) CULTIVÉS EN MOTTES CUBIQUES. Québec (Canada).
46. Mansouri, 2008
47. Morard P., 1995 - Les cultures végétales hors-sol. Publication Agricole Agent, 304p.
48. Mulabagal V., M. Ngouajio, A. Nair, Y. Zhang, A.L. Gottumukkala et M.G. Nair. 2010 - « In vitro evaluation of red and green lettuce (*Lactuca saliva*) for functional food properties ». Food chemistry, vol. 118, p. 300-306.
49. Nesmith, D.S. and Duval, J.R. 1998. The effect of container size. HortTechnology 8:495-498.
50. Nicolle C. ; Camat A. ; Fraisse D. ; Lamaison J.-L. ; Rock E. ; Michel H. ; Amouroux P. ; Remesy C., 2004 - Characterisation and variation of antioxidant micronutrients in lettuce (*Lactuca saliva* folium). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 84, p.p. 2061-2069.
51. Olympios, C.-M. (2002) - "Overview of soilless culture : Advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries". CIHEAM, 2002 Options Méditerranéennes, Vol 31.
52. Ouhibi C., 2015 - Effets des rayonnements UV-C sur la réponse de la laitue romaine *Lactuca sativa* var *Claudius* aux contraintes biotiques et abiotiques, Avignon.
53. Padilla et al. ; CIHEAM, 2006 - Le développement des produits protégeant la santé et l'environnement en Méditerranée, Les notes d'analyse du CIHEAM N°5 – Mars_2006, France.
54. Pedneault A., 2005 - La Feuille de chou, MAI-JUIN 2005, TITRE, Montréal.
55. Perla Hamon. 1999. *Diversité génétique des plantes tropicales cultivées*. 388 p
56. Pitrat M. et Foury C., 2003 - Histoire de légumes – des origines du XXIe siècle, INRA EDITION, ISBN : 2-7380-1066-0, ©INRA, Paris.

57. Plamondon-Duchesneau L., 2011 - GESTION DE L'IRRIGATION DES LAITUES ROMAINES (*LACTUCA SATIVA* L.) CULTIVÉES EN SOL ORGANIQUE, QUÉBEC.
58. Ramirez J.-C., 2015 - DEVELOPEMENT D'UNE CULTURE DURABLE DE LAITUE DE TRANSFORMATION EN SOL MINERAL, QUÉBEC, CANADA.
59. Rousselle P., Robert Y., Crosnier J.C, 1996. *La pomme de terre*, INRA Paris.
60. Sarraf C., 2011 - OPTIMISATION DE LA FERTILISATION DES FRAISIERS REMONTANTS CULTIVÉS HORS SOL, QUÉBEC.
61. Sarraf C., 2011 - OPTIMISATION DE LA FERTILISATION DES FRAISIERS REMONTANTS CULTIVÉS HORS SOL, QUÉBEC.
62. Texier W., 2014 - L'Hydroponie pour tous, © Mama Editions (2013, 2014), ISBN 978-2-84594-083-3, France.
63. Thicoïpé, J.-P. 1997 - Laitues. Éditions CTIFL, Paris, France, 281 p.
64. UNPD, 1996 - "Urban Agriculture". Food, Jobs and Sustainable Cities. New York. 301p.
65. UPOV ; Union Internationale Pour La Protection Des Obtentions Végétales, 2006 ; 2011 ; 2013 - TITRE, GENÈVE.
66. Valade R., 2013 - Potentiel évolutif et adaptation des populations de l'agent du mildiou de la laitue, *Bremia lactucae*, face aux pressions de sélection de la plante hôte, *Lactuca sativa*, Paris.
67. Verolet, J. 2001 - Laitue et Batavia sous grand tunnel froid et en plein champ. Fiche technique en agriculture biologique. A.D.A.B. Année 200. 12 p. « <http://civambiogironde.chezalice.fr/civambiogironde/Documentation/Fiches%20TK%20Maraichage/FT%20laitue.pdf> »
68. Vries I.-M. 1997 - « Ürigin and domestication of *Lactuca sativa* L. ». Genetic Resources and Crop Evolution, vol. 44, p. 165-174.
69. Vu T.-D., 2008 - Effet de l'environnement sur la croissance et l'accumulation de métabolites secondaires chez *Datura innoxia* Mill. Cultivé en conditions hors-sol 'impact des facteurs biotiques et abiotiques, France.
70. Waycott, W. et E.J. Ryder. 1993 - Adaptation of lettuce to high-temperature environments. In: Kuo, C. George (éd.), Adaptation of food crops to temperature and water stress: proceedings of an international symposium, Taiwan, 13-18 August 1992. Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei. 285-295 p.
71. Wissemüller. A., Zhühlke, G. 2002. Relation between climate variable, growth and insedence of type burn as fild-growth lettuce as evaluated by simple, partial, and multiple regrestion analysis. Annover university. Germanie. Scientia horticulture 93:193-204.

« http://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=laitue_nu# ».

72. Zorrig W., 2015 - Recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "*Lactuca sativa*", Montpellier SupAgro ; Faculté des Sciences de Tunis.
73. (<http://howtogrowmarijuana.com/wp-content/uploads/2012/11/nft-nutrient-film-technique.jpg>)
74. (http://magazine.producegrower.com/fileuploads/publications/35/issues/102940/articles/images/soh_systems_UF_3407_fmt.png)
75. (<http://hydroponie.fr/wp-content/uploads/2013/10/waterfarm.jpg>)

LISTE DES ANNEXES

Annexe n° 06 : Analyse de la variance de la croissance en hauteur

	ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Signification (P)	EMS	LSD	C.V.
Variété	3	275,099	91,700	71,7685	0,0000	1,278	1,304	7,72%
Milieu	2	165,025	82,513	51,2029	0,0000	1,611	1,098	
Variété*Milieu	6	102,243	17,040	10,5744	0,0001	1,611	2,197	

Annexe n° 07 : Analyse de la variance du poids frais de la partie végétative

	ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P	EMS	LSD	C.V.
Variété	3	221,271	73,757	2,3944	0,1670	30,80	6,402	9,93%
Milieu	2	11259,461	5629,730	193,0463	0,0000	29,16	4,674	
Variété*Milieu	6	11432,163	1905,360	65,3358	0,0000	29,16	9,347	

Annexe n° 08 : Analyse de la variance du poids frais de la partie racinaire

	ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P	EMS	LSD	C.V.
Variété	3	787,85	262,617	56,4781	0,0001	4,65	2487	11,56%
Milieu	2	2670,789	1335,395	162,4038	0,0000	8,223	2,482	
Variété*Milieu	6	1809,788	301,631	36,6829	0,0000	8,223	4,963	

Annexe n° 09 : Analyse de la variance du poids sec de la partie végétative

	ddl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P	EMS	LSD	C.V.
Variété	3	2,955	0,985	2,7729	0,1331	0,3550	0,6873	13,38%
Milieu	2	62,264	31,132	49,1142	0,0000	0,6340	0,6891	
Variété*Milieu	6	76,315	12,719	20,0660	0,0000	0,6340	1,378	

Annexe n° 05 : Stades de germination des quatre variétés de laitue

Jours après semis	Variétés			
	<i>Dduk sseom jeok chuk myeon</i>	<i>Jeok chi ma</i>	<i>Merveille des 4 saisons</i>	<i>Blonde de paris</i>
6 jours				
12 jours				
19 jours				

Annexe n° 01 : Maladies cryptogamiques

Maladies	Facteur	Symptômes	Prévention et Traitements biologiques
Cryptogamiques			
Mildiou	<i>Bremia lactucae</i>	La face inférieure des feuilles se couvre d'une poussière blanche succédé du dessèchement des feuilles puis de leur pourrissement	<p>Prévention :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Pratiquer la rotation des cultures. -Eviter l'arrosage des feuilles et privilégier les arrosages tôt le matin. -Ne pas planter de nouvelles cultures à proximité des cultures de laitue - Empêcher la formation de rosée sur le feuillage en contrôlant les températures nocturnes et en rejetant l'air humide à l'extérieur par la ventilation.
La pourriture grise	<i>Botrytis</i>	Feutrage gris sur les parties atteintes. Une pourriture visqueuse se développe et les feuilles de la laitue prennent alors une coloration orange jaunâtre ou brune.	<p>Prévention par :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Rotation des cultures. -Bonne aération entre les plantes. -Eviter les engrais trop riches en Azote. <p>Traitement :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Détruire rapidement les feuilles atteintes. -Réaliser des traitements à base de soufre. -Traiter avec des produits naturels tel qu'une décoction de prêle ou d'ail.
La sclerotiniose (ou pourriture blanche)	<i>Sclerotinia minor</i>	Retrouvé dur les feuilles, celles-ci sont recouvertes à leur ase par un feutrage blanc (masse cotonneuse) dans lequel on aperçoit des petites particules noires. Les feuilles basses et le collet de la laitue pourrissent, et fanent.	<p>Prévention :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Eviter les excès de matière organique -Pratiquer la rotation -Maintenir le sol propre autour des plants. <p>Traitement :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Se débarrasser des plants trop atteint et ne pas les utiliser en compost. -Recours aux fongicides à base de cuivre

Annexe n° 04 : Insectes et ravageurs

Insectes/Ravageurs	Symptômes et dégâts	Lutte
Pucerons	<ul style="list-style-type: none"> -Ils sont détectable en retournant les feuilles de la laitue -Enroulement des feuilles -Apparition de boursouflures -Les feuilles deviennent collantes et attirent les fourmis par le miellat qu'ils sécrètent. -Vecteurs de maladies virales 	<ul style="list-style-type: none"> -Eviter les excès d'engrais azotés -Lutte par l'installation d'abris à insectes ce qui va favoriser la présence d'ennemies naturels. -Renforcer la résistance naturelle des plantes (le purin d'orties stimule la croissance et refoule les pucerons.) -Supprimer manuellement les premiers foyers. -Pulvériser du purin d'orties. -Mettre en place des barrières physiques (filets...) -Placer de la glu autour des plants pour détourner les fourmis. -Asperger avec des jets d'eau puissants qui vont décrocher les pucerons de la plante.
Nématodes	<ul style="list-style-type: none"> -Ralentissement de la croissance de la plante. -Feuillage jaunit -Devient très sensible à la sécheresse. -Développement de galles sur les racines de la laitue. 	<ul style="list-style-type: none"> -Supprimer manuellement les premiers foyers dès qu'ils sont. -Planter dans un sol bien travaillé, équilibré en éléments nutritifs et riche en micro-organismes. -Rotation des cultures. -Associer les cultures (ex : celles des asperges) -Semer des engrais verts, il s'agit de plantes éphémères à croissance rapide tel que la moutarde, la phacélie ou même le colza ou la vesce. Ces plantes retiennent les nutriments et améliorent la qualité du sol et sa structure -Planter des espèces pièges tel que le tagète, elles attirent et tiennent à distance les ravageurs de la culture principale qui ainsi reste saine. avec la laitue.
Escargots et limaces	<p>Des traces visqueuses argentées sur les plantes endommagées. Sur les feuilles, ils dévorent généralement le tissu entre les nervures, squelettisant ainsi le feuillage.</p> <p>Lorsque les limaces se nourrissent sur les racines, elles creusent des cavités à parois lisses de 3 à 12 mm de profondeur et de moins de 12 mm de diamètre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation d'appâts de phosphate ferrique -Le piégeage à l'aide de planches et d'appâts peut être efficace près des entrées. -Bien obturer les ouvertures, garder les portes fermées et appliquer de bonnes mesures d'assainissement pour réduire au minimum les dommages.

Annexe n° 02 : Maladies bactériennes

Maladies	Facteur	Symptômes	Prévention et traitement
Bactériennes			
Pourriture de la tige	<i>Pseudomonas cichorii</i>	Présence d'une pourriture brun foncé ferme et de stries sur les pétioles des feuilles internes. Les feuilles extérieures n'affichent aucun symptôme	Prévention : -Adaptation des programmes de fertilisation pour que les plants ne soient pas trop mous. - Eviter de mouiller fréquemment le feuillage et abaisser le taux d'humidité - Un bon équilibre entre la ventilation et le chauffage contribue à réduire l'humidité et à prévenir la condensation qui favorise le développement de maladies bactériennes.
Pourriture du pied de la laitue	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Apparition d'une pourriture noire à verte et ferme, qui peut se propager depuis les tiges infectées, le long des nervures des feuilles inférieures. La maladie peut même gagner les racines.	Prévention : -Assurer des conditions appropriées de chauffage, de ventilation et d'assainissement. - Eviter de mouiller fréquemment le feuillage et abaisser le taux d'humidité.

Annexe n° 03 : Maladies virales

Maladies	Vecteur de transmission	Symptômes	Prévention
Virales			
La mosaïque de la laitue	Les pucerons	De type mosaïque avec éclaircissement des nervures, nécroses généralisées et déformation foliaire ce qui induit, en cas d'épidémie, des pertes économiques importantes.	Prévention : -Utilisation de semences certifiées. -Incinération des plants contaminés. -l'éradication systématique des mauvaises herbes et le traitement des champs réservoirs.
Grosses nervures	Le champignon terricole <i>Olpidium brassicae</i>	Décoloration des tissus le long des nervures cela fait apparaître les nervures plus épaisses. Les zones infectées peuvent aussi paraître gonflées et plissées sur les bords. Les plants infectés tôt meurent ou restent rabougris	Prévention : -Désinfection des milieux de culture et stérilisation des conduites d'eau, des outils et tout l'équipement avant et pendant leur emploi.

Annexe 10 : Fiche technique de la variété '*Merveille des quatre saisons*'

<p>Informations botaniques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nom latin : <i>Lactuca sativa</i> L. '<i>Merveille des quatre saisons</i>' • Synonyme : <i>Lactuca capitata</i> Garsault '<i>Merveille des quatre saisons</i>', Laitue Besson, Laitue lie de vin, Laitue mousseline rouge, Laitue rouge sang, Laitue sanguine de Vire, Salade redonne rouge d'été (Provence). • Nom commun : <i>Laitue pommée Merveille des quatre saisons</i>. • Classification : <ul style="list-style-type: none"> – Famille : <i>Asteraceae</i> – Genre : <i>Lactuca</i> – Espèce : <i>Sativa</i> – Variété : <i>Merveille des quatre saisons</i>
<p>Informations descriptives</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cycle végétal : Annuelle ; 60 – 85 jours • Port : Herbacé • Hauteur : 0,25 m • Largeur : Couvre 0,3 mètre carré • Feuillage : les feuilles sont de couleur verte et rouge. • Floraison : Les fleurs sont hermaphrodites, petites, jaunes pâles et en capitule. • Graine : Il y a 800 à 1000 graines au gramme. La durée germinative des semences est de 5 ans.
<p>Informations culturelles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Semis : d'Avril à juillet en lignes distantes de 30 cm. • Éclaircissage : Au stade 2-3 feuilles, élimination des plus petites et conservation des plus vigoureuses afin de ne laisser qu'une laitue tous les 30 cm. • Récolte : de fin juin à octobre Pour avoir des laitues dès fin mai
<p>Informations édaphiques et climatiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sol : Bien drainé, frais et profond. • Ph : 6,0-7,0 • Emplacement : Exposition moyennement ensoleillée. • Température : 15 – 20 °C
<p>Informations complémentaires</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Historique : Les variétés cultivées semblent dériver d'une espèce sauvage, <i>Lactuca serriola</i> L., répandue en Europe, Afrique du Nord et une grande partie de l'Asie. La laitue est très anciennement cultivée en Europe. Au IV^e siècle avant J.C., Théophraste en signalait déjà quatre sortes : la laitue blanche, la laitue à feuilles larges, la laitue à feuilles rondes et la laitue de Laconie. • Réglementation : Variété inscrite au catalogue Français et Européen • Semencier : Vilmorin • Origine : Europe

Annexe 11 : Fiche technique de la variété 'Blonde de paris'

Informations botaniques	<ul style="list-style-type: none"> • Nom latin : <i>Lactuca sativa</i> L. 'Blonde de Paris' • Synonyme : <i>Lactuca capitata</i> Garsault 'Blonde de Paris', Batavia Dorée - Batavia Rubia - Favourite. • Noms communs : <i>Laitue Batavia Blonde de Paris</i> • Classification : <ul style="list-style-type: none"> – Famille : <i>Asteraceae</i> – Genre : <i>Lactuca</i> – Espèce : <i>Sativa</i> – Variété : <i>Batavia "blonde de Paris"</i>
Informations descriptives	<ul style="list-style-type: none"> • Cycle végétal : Annuelle ; 45 – 85 jours • Port : Herbacé • Hauteur : 0,25 m • Feuillage : les feuilles sont de couleur vert pâle avec des reflets dorées, cloquées • Graine : Il y a 700 à 800 graines au gramme. La durée germinative des semences est de 5 ans.
Informations culturelles	<ul style="list-style-type: none"> • Semis : de février à juillet en lignes distantes de 30 cm. • Éclaircissage : Au stade 2-3 feuilles, élimination des plus petites et conservation des plus vigoureuses afin de ne laisser qu'une laitue tous les 30 cm. • Récolte : de fin juin à octobre Pour avoir des laitues dès fin mai
Informations édaphiques et climatiques	<ul style="list-style-type: none"> • Sol : Bien drainé, frais et profond. • Ph : 6,0-7,0 • Emplacement : Exposition moyennement ensoleillée. • Température : 15 – 20 °C
Informations complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> • Réglementation : Variété inscrite au catalogue Français et Européen • Semencier : Vilmorin • Origine : Europe