

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire

de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER II ACADÉMIQUE

Domaine : D04

Filière : Sciences de la Nature et de la Vie.

Spécialité : Amélioration des plantes.

THEME :

Les effets de la récolte échelonnée et de la densité de plantation sur le rendement des mini-tubercules de la pomme de terre en culture aéroponique.

Cas des trois variétés : Désirée, Spunta et Chubaek.

Présenté par :

- M^{me}. HAKMI Fatiha.
- M. BOUFARES Khaled.

Soutenu publiquement le 28 Juin 2015 à 10h00 devant le jury composé de :

Membres de jury:

Président: M. TAIBI Khaled M.A."A" Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Examineur: M^{elle}. MILIANI ASMAA M.A.B Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Promoteur: M. ZEBAR Ahmed Enseignant associé INRA Tiaret (Laboratoire sebaine)
Co-Promoteur: M. BOUSSAID M M.C.B Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Année universitaire : 2014 – 2015

Remerciements

Le présent travail n'aurait pas vu le jour sans le concours de nos familles, nos amis et collègues de travail et nos enseignants.

Nous remercions en premier lieu *M. ZEBAR Ahmed* pour son aide et son encouragement au quotidien, en tant que notre encadreur et notre supérieur hiérarchique et à *M. BOUSSAID Mohamed*, qui a accepté d'être notre co-encadreur.

Nos sincères remerciements sont destinés à tous nos collègues de travail au niveau du Labo de production de semences de pomme de terre. Nous les remercions pour leur aide, leurs conseils et leur temps qu'ils nous ont consacré avec plaisir : à *M. Ramdhane, Mohamed, Hamza, Laid*, et à nos chères amies et sœurs : *Fatima, Karima, Bakhta*.

Nous tenons, aussi, à remercier *M. Abdelhadi et M. KHEIR Abdelkader* pour leur aide concrète et sans conditions.

Nous remercions vivement tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre modeste travail.

Dédicace

A tous ceux et celles qui nous aiment...

Spécialement aux petites anges : Rittel (ma fille) et Rihame (ma nièce).

LISTE DES ABREVIATIONS

- al :** Collaborateurs.
- CE :** Conductivité électrique.
- CELSS :** Système contrôlé de soutien de la vie écologique.
- CIP :** Centre international de la pomme de terre.
- ELISA :** Dosage immuno-enzymatique sur support solide.
- FAO :** Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- G0 :** Génération 0 de pomme de terre.
- G1 :** Génération 1 de pomme de terre.
- G2 :** Génération 2 de pomme de terre.
- ITCMI :** Institut technique de culture maraichère et industrielle.
- MADR :** Ministère de l'Agriculture et du développement Rural.
- Ms :** Murashige et skoog.
- NASA :** Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace.
- pH :** Potentiel d'hydrogène.
- PLRV :** Virus de l'enroulement de la pomme de terre.
- PNPP :** Para nitro phenyl-phosphate.
- PVA :** Virus A de la pomme de terre.
- PVC :** Polyvinyl chloride.
- PVS :** Virus S de la pomme de terre.
- PVX :** Virus X de la pomme de terre.
- PVY :** Virus Y de la pomme de terre.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau n°01 :** Les micronutriments d'une pomme de terre crue, non épluchée, de 213g.
- Tableau n°02 :** Evolution de la production mondiale de pomme de terre entre 2003 et 2013.
- Tableau n°03 :** Evolution de la production nationale de pomme de terre entre 2003 et 2013.
- Tableau n°04 :** Des principaux substrats utilisés en culture hydroponique.
- Tableau n°05 :** Compositions minérales de la solution nutritive utilisée dans la chambre d'acclimatation.
- Tableau n°06 :** Compositions minérales des solutions nutritives utilisées dans la serre aéroponique.
- Tableau n°07 :** Calendrier des traitements phytosanitaires appliqués.
- Tableau n°08 :** Analyse de la variance de la hauteur des tiges en fonction de la variété et du traitement.
- Tableau n°09 :** Analyse de la variance de la variable du poids des tiges en fonction de la variété et du traitement.
- Tableau n°10 :** Analyse de la variance du nombre de tubercules en fonction des variétés, des traitements et du calibre.
- Tableau n°11 :** Analyse de la variance du rendement en poids des tubercules en fonction de la variété, des traitements et du calibre.
- Tableau n°12 :** Analyse de la variance du nombre de tubercules en fonction des traitements et du calibre.
- Tableau n°13 :** Analyse de la variance du poids des tubercules en fonction du traitement et du calibre.

LISTE DES FIGURES

- Figure n°01 :** Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre.
- Figure n°02 :** Structure interne et externe du tubercule.
- Figure n°03 :** Composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) (Delaplace, 2007).
- Figure n°04 :** Cycle de production de *Solanum tuberosum* L. (Delaplace, 2007).
- Figure n°05 :** Localisation sur la plante des principales maladies fongiques et bactériennes de la pomme de terre (I.T.C.F. ,1998 inYAKHLAF.S 2014).
- Figure n°06 :** Le système de table à marées (Flux-reflux).
- Figure n°07 :** Vue panoramique du laboratoire.
- Figure n°08 :** La serre expérimentale (aéroponique).
- Figure n°09 :** Schéma d'un system aéroponique.
- Figure n°10 :** Caractères descriptifs de Désirée.
- Figure n°11 :** Caractères descriptifs de Spunta.
- Figure n°12 :** Caractères descriptifs de Chubaek.
- Figure n°13 :** Plantation des vitro plants.
- Figure n°14 :** Dispositif expérimental concernant la récolte échelonnée.
- Figure n°15 :** Dispositif expérimental concernant la densité de plantation.
- Figure n°16 :** Effeillage.
- Figure n°17 :** La récolte échelonnée.
- Figure n°18 :** La récolte à 80 jours.
- Figure n°19 :** La récolte à 100 jours.
- Figure n°20:** Hauteur moyenne des tiges par plants, par variété et par traitement.
- Figure n°21 :** Poids moyen des tiges par plant en fonction de la variété et des traitements.
- Figure n°22 :** Nombre moyen des tubercules par plant de la variété Désirée en fonction des traitements et du calibre.
- Figure n°23 :** Nombre de tubercules en fonction du calibre et des traitements effectués sur la variété Spunta.
- Figure n°24 :** Nombre moyen des tubercules en fonction du calibre et des traitements effectués sur la variété Chubaek.
- Figure n°25 :** Pourcentage de tubercules par plant en fonction de la variété et des traitements.

Figure n°26 : Poids moyen des tubercules par plant de la variété Désirée en fonction des traitements et du calibre.

Figure n°27 : Poids moyen des tubercules par plant de la variété Spunta en fonction des traitements et du calibre.

Figure n°28 : Poids moyen des tubercules par plant de la variété Chubaek en fonction des traitements et du calibre.

Figure n°29 : Pourcentage de poids des tubercules par plant en fonction de la variété et des traitements.

Figure n°30 : Hauteur des tiges par m².

Figure n°31 : Poids des tiges par m².

Figure n°32 : Nombre de tubercules par m² de la variété Désirée en fonction des traitements et du calibre.

Figure n°33 : Poids des tubercules par m² de la variété Désirée en fonction des traitements et du calibre.

Figure n°34 : Pourcentage d'augmentation du rendement en nombre et en poids des tubercules par m².

Figure n°35 : Tubercules des variétés étudiées Spunta, Désirée et Chubaek.

Figure n°36 : Densité à 50 jours après plantation.

SOMMAIRE

Liste des abréviations.....	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des figures.....	iii
Introduction générale.....	1
<i>Partie 01 : Eléments bibliographiques</i>	3
CHAPITRE 01 : Généralités sur la pomme de terre.	3
1.1. Historique de la pomme de terre	3
1.2. Botanique	3
1.2.1. Taxonomie.....	4
1.3. Description morphologique	4
1.3.1. Système aérien.....	5
1.3.2. Système souterrain	5
1.4. Valeur nutritionnelle de la pomme de terre.....	8
1.5. Cycle de reproduction	8
1.5.1. Cycle sexué	8
1.5.2. Cycle végétatif ou de développement	8
1.6. Exigences écologiques de la pomme de terre	10
1.6.1. Exigences climatiques	10
1.6.2. Exigences édaphiques.....	10
1.6.3. Exigences en éléments nutritifs.....	11
1.6.4. Fertilisation.....	11
1.7. Economie de la pomme de terre.....	11
1.7.1. Dans le monde :.....	12
1.7.2. En Algérie :	13
1.8. Maladies et ravageurs de la pomme de terre	14
1.8.1. Maladies cryptogamiques.....	14
1.8.2. Maladies bactériennes	14
1.8.3. Maladies virales.....	14
1.8.4. Insectes et ravageurs.....	15
1.8.5. Nématodes	15
1.8.6. Désordres physiologiques	15

CHAPITRE 02: Systèmes hydroponiques.	16
2.1. Définition de la culture hydroponique	16
2.2. Historique de la culture hydroponique	16
2.3. Différents systèmes de la culture hydroponique	17
2.3.1. Systèmes sans substrat (liquide de culture)	18
2.3.2. Systèmes avec substrat	19
2.4. Exigences de la culture hydroponique	24
2.5. Solution nutritive	24
2.5.1. Gestion de la solution nutritive	25
2.6. Avantages de la culture hydroponique	26
2.7. Limites de la culture hydroponique	27

Partie 02: Etude expérimentale 28

CHAPITRE 01 : Matériels et méthodes.	28
1.1. Objectif	28
1.2. Site expérimental	28
1.3. Matériels	29
1.3.1. Laboratoire	29
1.3.2. Chambre d'acclimatation	29
1.3.3. Serre expérimentale	29
1.3.4. Matériel végétal	31
1.4. Méthodes	34
1.4.1. Préparation des vitro plants	34
1.4.2. Acclimatation des vitro plants	35
1.4.3. Transplantation des vitro plants dans la serre aéroponique	36
1.5. Dispositif expérimental	37
1.5.1. Le 1 ^{er} essai	37
1.5.2. Le 2 ^{ème} essai	38
1.6. Conduite de la culture	38
1.6.1. Effeuilage	38
1.6.2. Tuteurage	39
1.6.3. Traitements phytosanitaires	39
1.6.4. Test ELISA	40
1.6.5. Défanage	41
1.6.6. Récolte	42
1.6.7. Triage et calibrage	42

1.7. Paramètres étudiés	42
CHAPITRE 02 : Résultats et discussion.	43
2.1. Récolte échelonnée.....	43
2.1.1. Hauteur et poids des tiges.....	44
2.1.2. Rendement en nombre et en poids des tubercules.....	46
2.2. Densité de plantation.....	52
2.2.1. Poids et hauteur des tiges par m ²	52
2.2.2. Nombre de tubercules par m ²	52
2.2.3. Poids des tubercules par m ²	53
2.3. Discussion générale	56
2.3.1. Récolte échelonnée.....	56
2.3.2. Densité de plantation	58
Conclusion.....	62
Références bibliographiques	64
Annexes	69

Introduction

Introduction générale

Dans la dernière décennie, la pomme de terre est devenue une denrée alimentaire de plus en plus demandée à l'échelle mondiale. Sa culture est relativement facile avec un potentiel de rendement très élevé. Elle peut être une bonne source de profit financier pour les agriculteurs et représente même aussi un enjeu important dans les économies de certains pays. En raison de l'importance toujours plus grande de la pomme de terre dans l'alimentation de base de la population mondiale, l'Organisation des Nations Unies a déclaré l'année 2008 « Année internationale de la pomme de terre ». D'après Jacques Diouf directeur général de la FAO (2008) la pomme de terre est en première ligne dans la lutte contre la faim et la pauvreté dans le monde.

Au niveau national, la pomme de terre comme produit alimentaire occupe une place prioritaire dans la gastronomie algérienne. Les importations de cet aliment ne cessent d'augmenter d'année en année.

La pomme de terre est largement cultivée par rapport à d'autres cultures à travers le monde. La production dans des pays comme l'Algérie a connu une grande croissance en raison de la demande croissante qui a conduit à une augmentation de la superficie de la production.

L'une des principales contraintes à la culture de la pomme de terre est, cependant, le coût de production de tubercules de semence car cela peut représenter entre 30 à 50% des dépenses totales de production, selon le pays ou la région. Une autre limite est le long cycle de propagation asexuée au cours de laquelle l'infection par des virus ou des bactéries peuvent donner lieu à des maladies dégénératives (Corrêa et al., 2009).

Actuellement, un certain nombre de techniques de production de semences de pomme de terre sont mises au point et utilisées dans le monde entier telles que : la micro-propagation, la culture hydroponique et aéroponique. Les utilisations de ces techniques biotechnologiques ont entraîné une augmentation des rendements. La plupart des agriculteurs des pays en développement n'exploitent pas encore les méthodes les plus avancées de production de semences en raison d'un manque de ressources à savoir le manque de financement et le problème de savoir-faire (Chiipanthenga et al. 2012).

L'aéroponie est l'une des techniques les plus efficaces en raison de ses nombreux avantages bien qu'elle ne soit toujours pas assez utilisée. Au-delà d'être sûr et écologique, ce

système produit des plantes et des tubercules sains (CIP, 2008). Ce système a également la capacité de préserver l'eau et de l'énergie. La solution nutritive est remise en circulation dans le système aéroponique, d'où une quantité limitée d'eau et d'engrais qui est utilisée (Farran et al., 2006). Il fournit les besoins nutritionnels précis des plantes et prévient le risque de résidus excessifs d'engrais qui peuvent se filtrer dans la nappe phréatique (Nichols, 2005). Le plus grand défi de la technique aéroponique est le coût élevé d'une production à grande échelle. Les recherches dans le monde entier tentent activement d'améliorer la vigueur et la qualité des tubercules de pommes de terre et de maximiser par conséquent l'efficacité de la production et d'augmenter le rendement de cette cultures (Corrêa et al., 2009).

Dans le cadre du présent travail, notre étude s'attache à démontrer, après expérimentation, la possibilité d'atteindre des rendements élevés de semence (pré-base) de pomme de terre à travers une culture en système aéroponique. Nous nous sommes posés les questions suivantes : le système aéroponique peut-il augmenter le rendement des semences de pomme terre ? Et par quel type de récolte pouvons-nous atteindre la meilleure production de ces semences ?

Dans ce sens, trois variétés de pomme de terre sont à la base de notre recherche à savoir : Spunta, Désirée et Chubaek. Ces variétés sont développées dans un système aéroponique avec trois types de récoltes (traitements) et deux densités de plantations. Plusieurs paramètres sont observés tout au long de notre expérimentation tels que : le nombre, le poids et le calibre des tubercules.

Notre étude a comme objectif d'observer les effets d'une récolte échelonnée sur trois variétés de pomme de terre en vue d'atteindre le meilleur rendement possible ; et par la même, d'identifier les meilleur conditions et paramètres permettant de réaliser cet objectif.

Le présent travail se subdivise en deux grandes parties :

- La première, articulée en deux chapitres, concerne un cadrage bibliographique des notions importantes qui touchent à la pomme de terre et l'hydroponie.
- La deuxième partie, dite expérimentale, est organisée en deux chapitres ; le premier fait la description des outils, des matériels utilisés et il explicite, aussi, les différentes manipulations réalisées pour la conduite de l'expérience. Le dernier chapitre, celui de la discussion et l'interprétation des résultats, présente en détail les données obtenues en procédant par la confrontation de toutes les mesures et les paramètres observés.

Partie 01

Eléments bibliographiques

Chapitre I :

Généralités sur la pomme de terre

CHAPITRE 01 : Généralités sur la pomme de terre.

1.1. Historique de la pomme de terre

La pomme de terre est entrée dans l'histoire il y a environ 8000 ans près du Lac Titicaca, à 3800 mètres d'altitude, dans la cordillère des Andes, à la frontière entre la Bolivie et le Pérou (CIP, 2008).

Au XVI^{ème} siècle, les conquistadores espagnoles pensaient amener en Europe de l'or trouvé au Pérou, mais ce qu'ils ramenaient en fait, été de la pomme de terre (Oswaldo, 2010). Cependant, la date exacte de son introduction n'est pas connu, il est probable que sa première culture sur le vieux continent ait eu lieu vers 1570 en Espagne.

La pomme de terre a longtemps été considérée comme l'aliment des pauvres et des animaux. Le premier pays d'Europe où la pomme de terre fut installée dans les mœurs est l'Irlande, qui était un pays très pauvre à l'époque (Thorz, 2000).

Au début du XVIII^{ème} siècle, les émigrants Irlandais apportèrent le tubercule aux Etats-Unis, qui fut dénommé la pomme de terre Irlandaise. Ce n'est seulement qu'à partir du XVIII^{ème} siècle, que la culture de la pomme de terre fut implantée en Europe. Ce n'est qu'au XIX^{ème} siècle qu'elle connaît un réel succès, grâce à son rôle déterminant dans la révolution industrielle. En effet, cet aliment bon marché et abondant convenait parfaitement aux ouvriers (Oswaldo, 2010).

Selon Meziane (1991), en Algérie, la pomme de terre a probablement été introduite une première fois au XVI^{ème} siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région, mais n'ayant pas suscité d'intérêt, elle est tombée dans l'oubli. Au cours de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, la pomme de terre sera cultivée par les colons pour leur propre besoin, car les Algériens avaient une réticence vis-à-vis de cette culture. Ce n'est que vers les années 30/40 que cette opposition prend fin, lors de la dernière grande famine.

1.2. Botanique

Le nom botanique de la pomme de terre est *Solanum tuberosum*. Il a été donné par Gaspar Bauhier (1560-1624), naturaliste suisse en 1595 (Oswaldo, 2010).

La pomme de terre (*S. tuberosum* L.) appartient à la famille des Solanacées. Le genre *Solanum* est très vaste, il regroupe environ 2000 espèces, entre-autre la tomate, l'aubergine, le tabac... (Hawkes, 1990). Il y a cependant une forte concentration d'espèces en Amérique

centrale, dont 200 espèces sont tubéreuses (Rousselle et *al.*, 1996).

1.2.1. Taxonomie

La place de la pomme de terre dans le règne végétal est :

Ordre : *Solanales*

Famille : *Solanaceae*

Genre : *Solanum*

Section : *Petota*

Série : *Tuberosa*

Espèce : *Solanum tuberosum* L

1.3. Description morphologique

Il est important de connaître la systématique et la morphologie de la pomme de terre pour en comprendre les aspects botaniques qui sont liés à la production de la pomme de terre et à la recherche (CIP 1987).

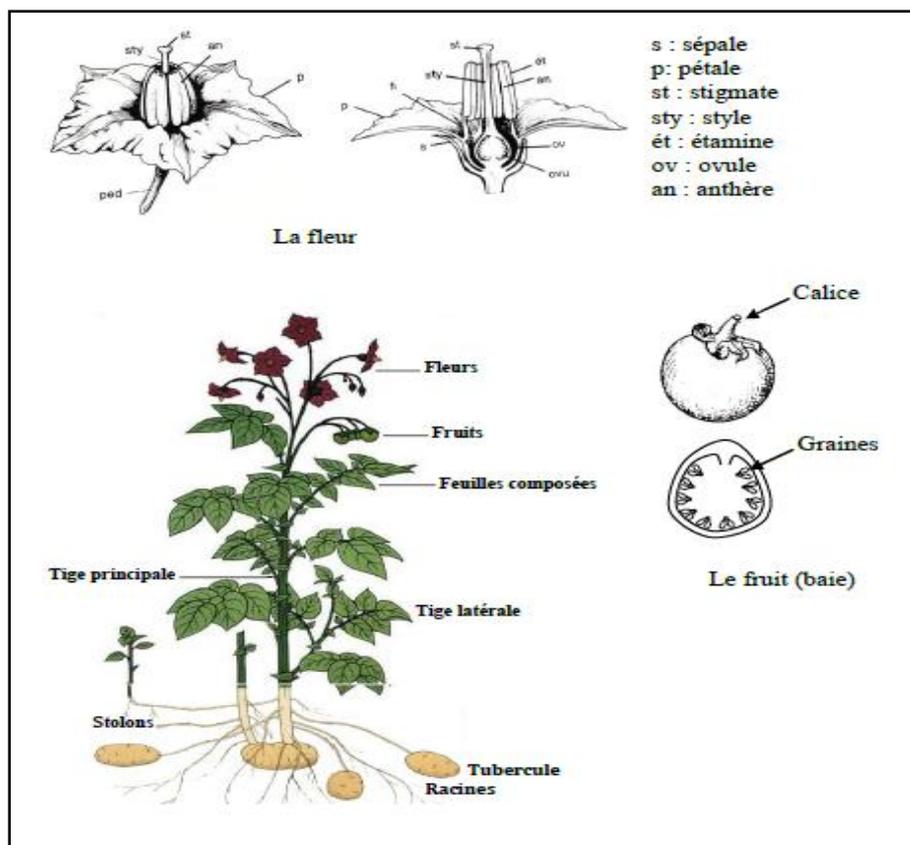


Figure n°01 : Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre.

1.3.1. Système aérien

Le système aérien est annuel :

1. Les tiges sont aériennes, au nombre de 2 à 10, parfois plus, et ont un port plus au mois dressé et une section irrégulière;
2. Les feuilles composées qu'elles portent permettent, par leurs différences d'aspect et de coloration, de caractériser les variétés.
3. Les fleurs, dont la couleur et le nombre caractérisent les variétés. Sont généralement autogames, mais souvent stériles.
4. Les fruits ou baies qu'elles produisent contiennent des graines dont l'intérêt est nul en culture (SOLTNER, 1979).

1.3.2. Système souterrain

L'appareil souterrain comprend le tubercule mère desséché, les stolons (tiges souterraines) portant éventuellement des tubercules fils dans leur région subapicale ainsi que des racines adventives. Il représente la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire. Le tubercule est cultivé pour la consommation, pour la transformation ou comme semence, il représente environ 75% à 85 % de la matière sèche totale de la plante (ROUSSELLE *et al.*, 1996).

1.3.2.1. Structure externe du tubercule

A l'extrémité apicale du tubercule, ou couronne, se trouve le bourgeon terminal ou apical tandis qu'à l'opposé, du côté proximal, se trouve le point d'attache du stolon, l'ombilic. Les yeux, disposés régulièrement sur le tubercule suivant une phyllotaxie spiralée, correspondent à l'emplacement des bourgeons axillaires. Des lenticelles parcourent la surface du tubercule et jouent un rôle essentiel dans la respiration du tubercule (ROUSSELLE *et al.*, 1996).

1.3.2.2. Structure interne du tubercule

En coupe longitudinale d'un tubercule mature, on distingue de l'extérieur vers l'intérieur: le péricarde, le cortex ou parenchyme cortical, l'anneau vasculaire composé de phloème externe, de xylème et de parenchyme vasculaire. On peut également remarquer la zone pérимédullaire ou parenchyme pérимédullaire contenant le phloème interne et enfin, la moelle ou parenchyme médullaire.

Les différents parenchymes (cortical, périvasculaire, périmédullaire, médullaire) contiennent de grandes quantités de grains d'amidon qui diffèrent par leur taille (diamètre de 7 à 32 μm) et leur forme (ovoïde, sphérique) (ROUSSELLE *et al.*, 1996).

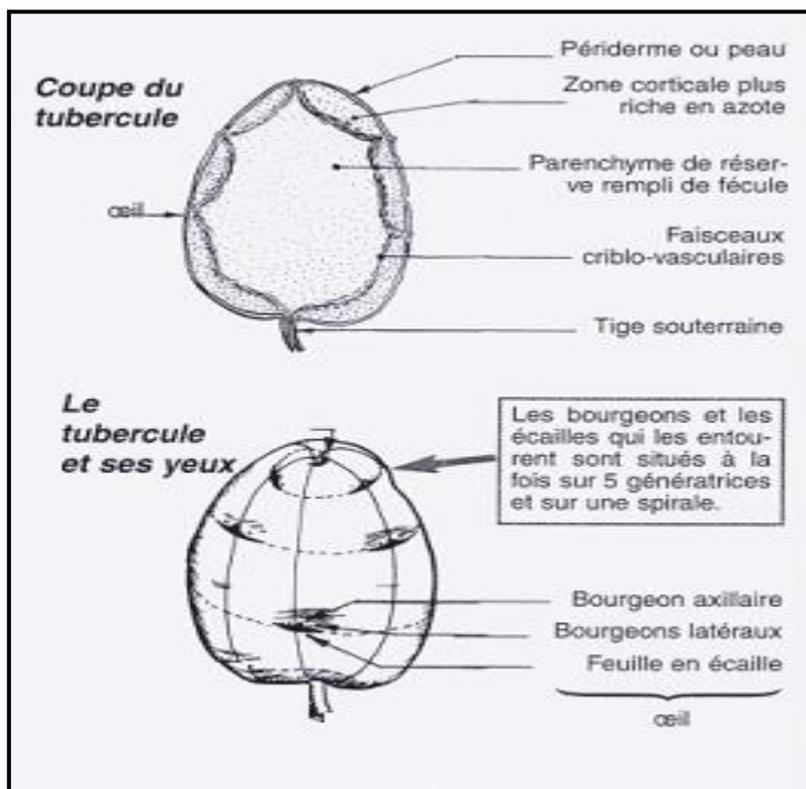


Figure n°02 : Structure interne et externe du tubercule.

1.3.2.3. Composition biochimique du tubercule

Les caractéristiques morphologiques, chimiques et biochimiques du tubercule de pomme de terre varient principalement en fonction de la variété, mais dépendent également des techniques culturales, des conditions climatiques et de l'âge physiologique de la pomme de terre (Delaplace, 2007).

La pomme de terre est un légume fort nutritif, sa teneur en eau est de l'ordre de 78%. Les glucides surtout constitués d'amidon, représentent 15% à 20% (figure n°03). Les protéines ne se présentent qu'à un taux de 1% à 2%. Il n'existe que des traces de lipides, les vitamines B₁, B₂, et C localisées au niveau de la pelure (Pelt, 1993).

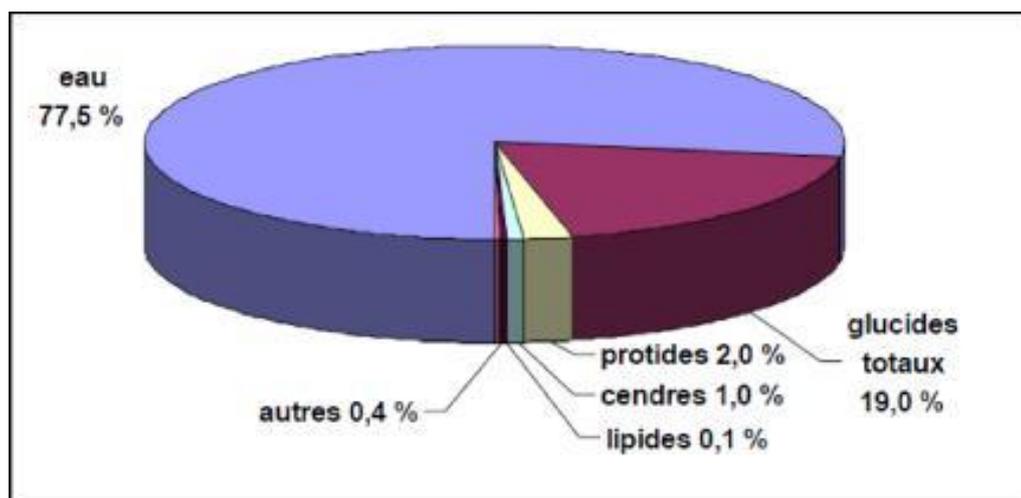


Figure n°03 : Composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) (Delaplace, 2007).

La teneur en potassium d'une pomme de terre moyenne est élevée, elle couvre presque la moitié des besoins quotidiens d'un adulte en vitamine C (tableau 01). Elle est en outre riche en minéraux comme le phosphore et le magnésium.

Tableau n°01: Les micronutriments d'une pomme de terre crue, non épluchée, de 213g.

Minéraux	Potassium	897 mg
	Phosphore	121 mg
	Magnésium	49 mg
	Fer	1,66 mg
Vitamines	Vitamine C	42 mg
	Niacine	2,2 mg
	Vitamine B6	0,62 mg
	Thiamine	0,17 mg

1.4. Valeur nutritionnelle de la pomme de terre

Il est vrai que la pomme de terre représente une bonne source d'énergie grâce à l'amidon renfermé dans son tubercule, elle contient environ 90 kcal pour 100g. En comparaison à d'autres céréales, elle est peu calorique (100 et 250 Kcal pour le pain, les pâtes, le riz). La valeur nutritive de la pomme de terre est alors modifiée à cause de l'ajout par exemple, d'huile ou de crème lors des préparations (Oswaldo, 2010).

1.5. Cycle de reproduction

1.5.1. Cycle sexué

Le fruit est une baie sphérique ou ovoïde de 1 à 3 centimètres de diamètre, il contient généralement plusieurs dizaines de graines (BERNHARDS, 1998), et peut contenir jusqu'à 200 graines (ROUSSELLE *et al.*, 1992).

La pomme de terre est très peu reproduite par graines dans la pratique agricole, cependant la graine est l'outil de création variétale (SOLTNER, 2005).

La germination est épigée et les cotylédons sont portés au-dessus du sol par le développement de l'hypocotyle. En conditions favorables, quand la jeune plante a seulement quelques centimètres de hauteur, les stolons commencent à se développer d'abord au niveau des cotylédons puis aux aisselles situées au-dessus, et s'enfoncent dans le sol pour donner des tubercules (BERNHARDS, 1998).

1.5.2. Cycle végétatif ou de développement

La pomme de terre est une plante sarclée qui se reproduit par multiplication végétative, grâce à ses tubercules. En général, les jours courts sont favorables à leur formation : pour la plus part des variétés, au-delà d'une photo période de 13 à 16 heures, la tubérisation (formation des tubercules) ne peut plus se produire. Certaines variétés sont tardives, elles ont un cycle végétatif long et doivent donc être plantées tôt. D'autres variétés, hâtives ou demis-hâtives peuvent être plantées plus tard (figure n° 4).

Aucun signe extérieur sur les organes aériens ne permet de déceler le moment où les tubercules commencent à se former (Chantal Charonat et Sylvie Deblay, 2013).

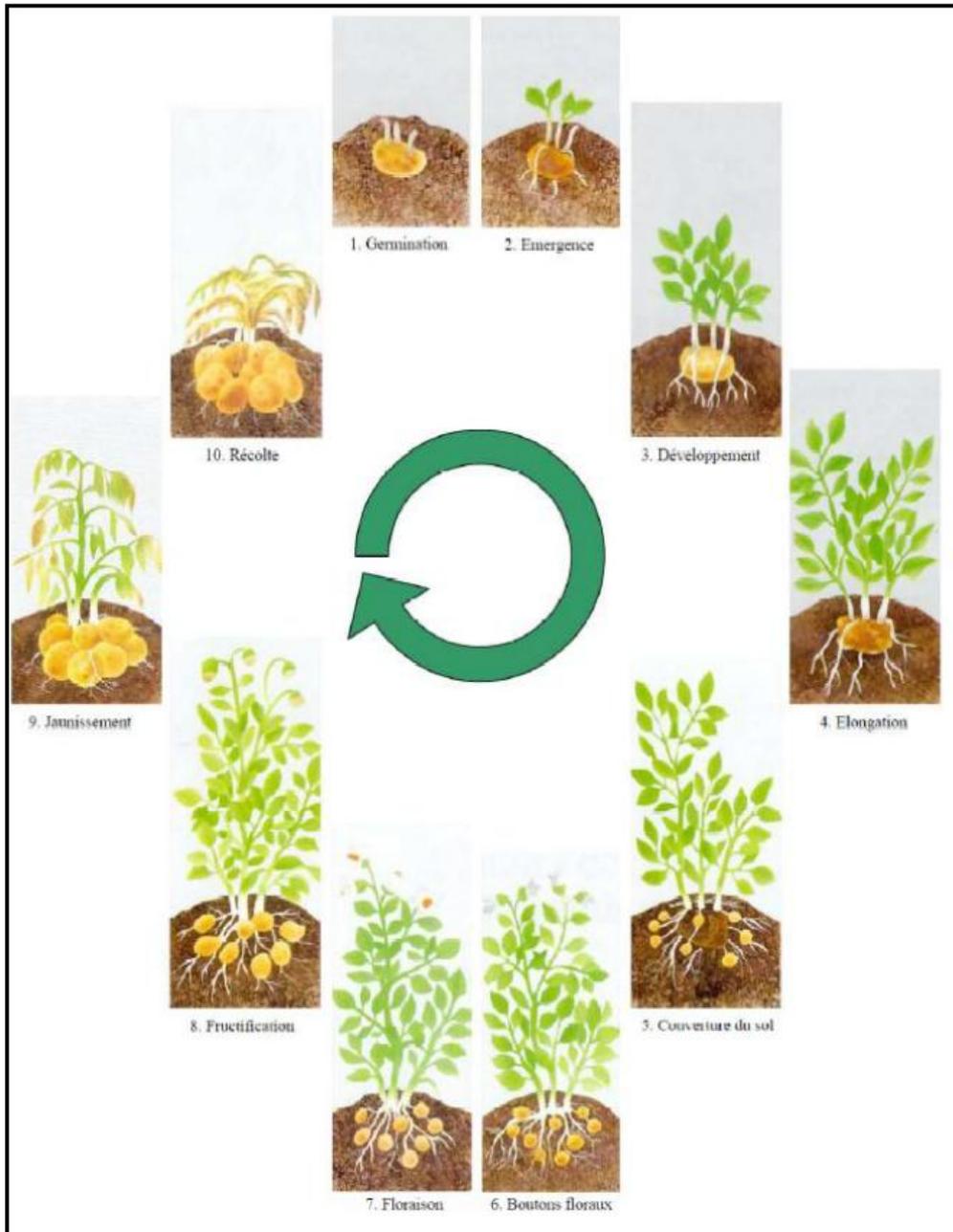


Figure n°04 : Cycle de production de *Solanum tuberosum* L. (Delaplace, 2007).

1.6. Exigences écologiques de la pomme de terre

1.6.1. Exigences climatiques

La pomme de terre est cultivée avec succès à une altitude de 1000 m. On peut dire que l'aire d'adaptation va des régions subtropicales aux régions plus froides, elle résiste le son mieux sous les climats tempérés, humides et brumeux (Laumonnier, 1979).

1.6.1.1. Température

La pomme de terre caractérisée par un zéro de végétation compris entre 6 et 8°C. L'optimum de température pour la croissance se situe entre 14 et 17°C. Le feuillage est tué à 3°C et 4°C.

Les sommes des températures correspondant aux groupes extrêmes de précocité sont de l'ordre de :

1600°C pour les variétés primeurs (90 jours).

3000°C pour les variétés tardives (200 jours).

Le tubercule gèle entre 1°C et 2,2°C. La température de stockage de la récolte devra être inférieure à 6°C (MOULE, 1972)

1.6.1.2. Lumière et photopériode

Chibane (1999) signale que la croissance végétative de la pomme de terre est favorisée par la longueur du jour élevée (14 à 18h). Une photopériode inférieure à 12 h favorise la tubérisation. L'effet du jour long peut être atténué par les basses températures.

La plupart des cultivars utilisés dans les régions à climat tempéré ont des photopériodes critiques entre 13 heures et 16 heures (Rousselle et *al.*, 1996).

1.6.2. Exigences édaphiques

La pomme de terre préfère les sols siliceux ou silico-argileux, légers, assez frais et profonds. Elle s'accommode des terres acides dont le pH est assez bas ; 5,5 à 6. Il n'y a que les terrains très argileux, froids et humides au printemps et en automne, secs et compacts en été, ou trop calcaires qui ne lui conviennent pas (GAUTHIER, 1991).

1.6.3. Exigences en éléments nutritifs

La croissance de la pomme de terre dépend de l'apport en éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore ou le potassium. Chacun de ces éléments a une fonction spécifique dans la croissance de la plante. Toute carence entraîne un retard dans la croissance et une réduction de rendement. Une culture de pomme de terre puise dans le sol ses éléments nutritifs et leur restitution est nécessaire afin de maintenir la fertilité du sol (Sauer, 1972).

L'azote est le facteur déterminant du rendement de la culture. Il favorise dans un premier temps le développement du feuillage, puis la formation et le grossissement des tubercules (Rousselle et *al.*, 1996).

Le phosphore est un élément essentiel parmi les composés chimiques qui sont responsables du transfert d'énergie, auquel sont liées les réactions du métabolisme de la plante (Sauer, 1972).

Selon le même auteur, le potassium n'est pas considéré comme faisant partie des constituants chimiques de la plante. Il agit dans la formation des hydrates de carbone et dans la transformation et le transfert de l'amidon des feuilles aux tubercules. Le potassium a aussi un rôle important dans le fonctionnement des stomates et le bilan hydrique de la plante.

Pour les autres éléments (calcium, magnésium et soufre), (Rousselle et *al.* 1996) rapportent que la pomme de terre a des besoins assez notables.

1.6.4. Fertilisation

La meilleure fertilisation est la fertilisation organique. N'apportez pas de fumure fraîche, mais de fumier composté (environ une brouette pour 10 m²) que vous enfouirez à l'automne précédant la culture. Le fumier de bovins qui améliore la structure du sol, convient particulièrement à la pomme de terre. Si la fumure est apportée au printemps, ce sera du compost et non plus de fumier.

Ne faites pas d'apport d'azotes, ou très peu il favorise la formation du feuillage au détriment des tubercules, ainsi que l'apparition des maladies. La pomme de terre aime la potasse, mais avec modération. La cendre de bois est une source de potasse gratuite et facile à trouver (Sophie Jutier, 2006).

1.7. Economie de la pomme de terre

1.7.1. Dans le monde :

Cultivée dans plus de 150 pays, la pomme de terre joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial. C'est la principale denrée alimentaire non céréalière du monde ; elle vient en quatrième position après le blé, le riz et le maïs qui constituent la base de l'alimentation humaine. (FAOSTAT, 2015).

En 2013, la production mondiale de pommes de terre est estimée à 368.1 millions de tonnes, pour une surface cultivée de 19.4 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 18.9 tonne par hectare. Ce chiffre n'inclut pas les plants (semences) qui représentent 32.2 millions de tonnes. C'est la chine qui occupe le premier rang des pays producteurs avec une production qui atteint 88.9 millions de tonnes en 2013 (FAOSTAT, 2015).

Le tableau ci-dessous représente l'évolution de la surface cultivée en pomme de terre, la production et le rendement par hectare ainsi que la quantité de semence produite dans le monde durant la dernière décennie (2003-2013).

Tableau n°02 : Evolution de la production mondiale de pomme de terre entre 2003 et 2013.

Années	Surface cultivée (Mha)	Production (Mt)	Rendement (t/ha)	Semences (Mt)
2003	19.1	314.8	16.4	34.8
2004	19.2	336.2	17.5	34.6
2005	19.3	326.7	16.8	32.6
2006	18.4	307.3	16.7	32.9
2007	18.6	323.9	17.3	30.8
2008	18.1	329.9	18.1	31.5
2009	18.7	334.7	17.9	32.3
2010	18.7	333.4	17.8	32.7
2011	19.2	374.2	19.4	32.9
2012	19.2	364.8	19.0	28.1
2013	19.4	368.1	18.9	32.2

(FAOSTAT, 2015).

1.7.2. En Algérie :

Selon les historiens, l'entrée de la pomme de terre en Algérie remonte au milieu de la première décennie du dix-neuvième siècle ; elle a été cultivée principalement pour l'exporter vers le marché français. Après l'indépendance, elle est devenue un produit important pour la consommation locale, et elle est devenue de plus en plus importante dans le régime alimentaire. La demande en cette culture s'est alors accrue ; elle représente la première culture maraichère du point de vue superficie et production (Chehat, 2008).

Tableau n°03 : Evolution de la production nationale de pomme de terre entre 2003 et 2013.

Années	Surface cultivée (ha)	Production (t)	Rendement (t/ha)	Semences(t)
2003	88 660	1 879 918	21.20	99 664
2004	93 144	1 896 270	20.35	106 697
2005	99 717	2 156 550	21.62	105 743
2006	98 825	2 180 961	22.06	84 893
2007	79 339	1 506 859	18.99	98 270
2008	91 841	2 171 058	23.64	112 479
2009	105 121	2 636 057	25.07	130 536
2010	121 996	3 300 312	27.05	141 136
2011	131 903	3 862 194	29.28	148 373
2012	138 666	4 219 476	30.43	148 373
2013	140 000	4 400 000	31.43	149 800

(FAOSTAT, 2015).

En 2013, l'Algérie a occupé la deuxième place, après l'Egypte, dans la production de la pomme de terre en Afrique. La production nationale durant la dernière décennie (2003-2013) a augmenté de **1 879 918** tonnes en 2003 à **4 400 000** tonnes en 2013 pour une augmentation de la surface cultivée de **88 660** hectares en 2003 à **140 000** hectares en 2013. L'accroissement du rendement est aussi très significatif, de **21.20** tonnes par hectare en 2003 à **31.43** tonnes par hectare en 2013 ; c'est en dehors de la production de semences qui montre une nette augmentation durant cette période. (FAOSTAT, 2015).

Malgré cette nette augmentation des rendements, la production nationale n'arrive pas à satisfaire les besoins nationaux en semence de pomme de terre. Rappelons que 80% des

besoins en semences proviennent de l'importation (d'un montant de 60 millions d'Euros) ; signalons également que l'auto approvisionnement en semences représenterait un taux variant entre 10 et 20% de la production locale, ce volet ne concernant que la tranche d'arrière-saison et une partie de la tranche primeur. (MADR, 2010).

La consommation par habitant et par an a subi une croissance très significative entre 1970 et 1998, passant de 20 kg à 42 kg pour se maintenir à un niveau quasi constant jusqu'en 2002. A partir de 2005 la consommation a encore augmenté en raison des prix très accessibles affichés sur le marché pour atteindre 50 kg par habitant et par an. (ITCMI, 2008).

1.8. Maladies et ravageurs de la pomme de terre

La pomme de terre peut contracter un ensemble de maladie fongiques ou bactériennes qui affectent la totalité ou une partie de la plante (racine, tige, feuilles, tubercules) pendant la phase de végétation et/ou pendant la phase de conservation des tubercules.

1.8.1. Maladies cryptogamiques

- Mildiou (*Phytophthora infestans*).
- Alternariose (*Alternaria solani*).
- Rhizoctone noire (*Rhizoctonia solani*).
- Fusariose (*Fusarium roseum*).
- Verticilliose (*Verticillium albo-atrum* et *Verticillium dahlia*).

1.8.2. Maladies bactériennes

- Galle commune (*Streptomyces scabies*).
- Jambe noire (*Erwinia carotovora*)

1.8.3. Maladies virales

- Virus Y (polyvirus) ou PVY.
- Virus X (potexvirus) ou PVX.
- Virus de l'enroulement ou PLRV.
- Virus de la mosaïque de la luzerne AMV.

1.8.4. Insectes et ravageurs

- Pucerons (*Myzus persicae*, *Aulacorthum solani*, *Macrosiphum euphorbiae*).
- Teigne (*Phthorimaea operculella*).
- Noctuelles (*Spodoptera littoralis*, *Spodoptera exigua*) (ARVALIS, 2004).

1.8.5. Nématodes

- Nématodes Gallicoles: (*Meloidogyne* spp.) (C.I.P., 1979).

1.8.6. Désordres physiologiques

La pomme de terre peut être perturbée physiologiquement, cela se traduit par :

- Un verdissement des tubercules.
- Une croissance secondaire.
- Des tubercules creux.
- Des craquelures.
- Du boulage (BAMOUEH, 1999).

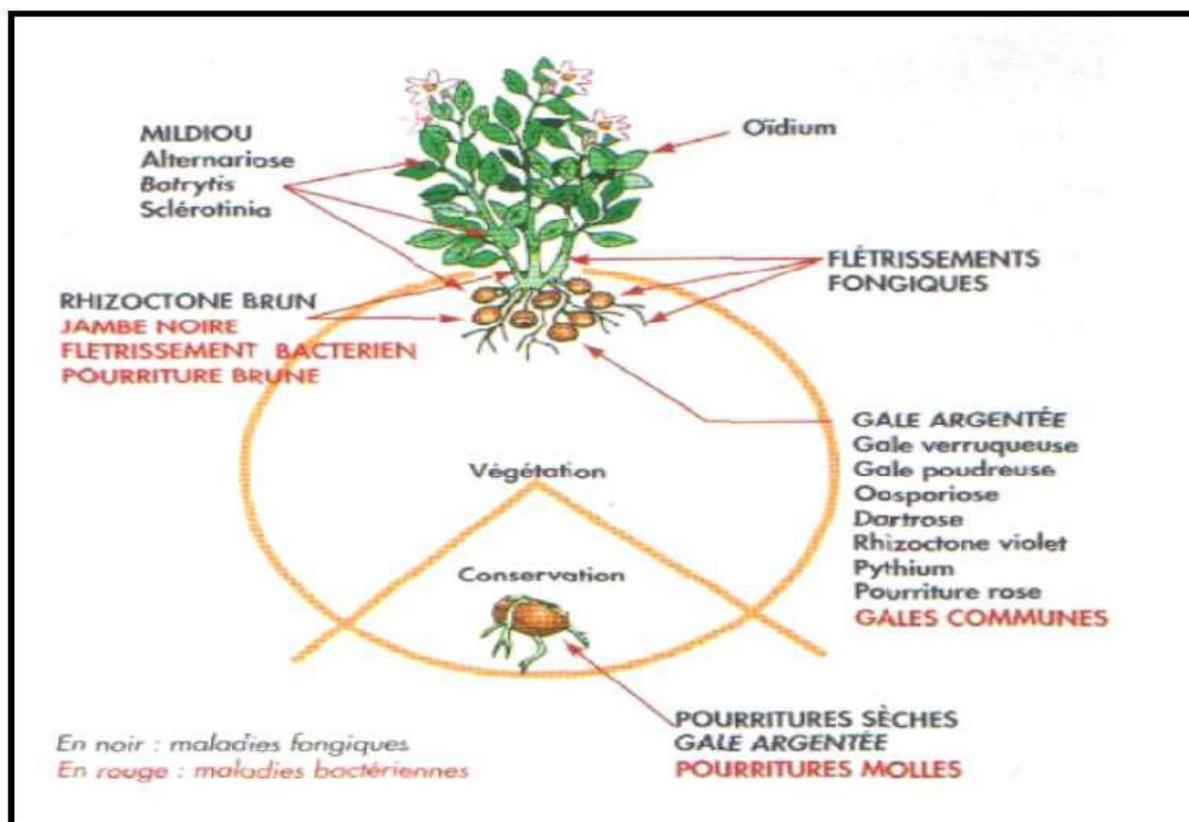


Figure n°05 : Localisation sur la plante des principales maladies fongiques et bactériennes de la pomme de terre.

Chapitre II :

Les systèmes hydroponiques

CHAPITRE 02: Systèmes hydroponiques.

La culture hydroponique est largement utilisée dans l'agriculture protégée pour améliorer le contrôle de l'environnement. Il résout également le problème de la salinité et de l'accumulation de parasites et de maladies (Burrage, 1999). L'hydroponie est un terme qui regroupe les différentes techniques de cultures hors-sol.

2.1. Définition de la culture hydroponique

L'hydroponie, du grec Hydro (eau) et ponos (travail ou effort) (Resh, 1997). La culture hors-sol est une culture dont les racines des plantes reposent dans un milieu reconstitué, détaché du sol mais par l'usage d'un support inerte, comme le gravier, le sable, la tourbe, de la vermiculite, la pierre ponce ou de la sciure de bois, à laquelle est ajoutée une solution nutritive contenant tous les éléments essentiels et nécessaires à la plante pour sa croissance et son développement normaux. (Vitre, 2003)

Il est largement utilisé dans les installations de recherche comme une technique pour l'étude de la nutrition des plantes (Johnson, 1975). Aujourd'hui, la culture hydroponique est peut-être la méthode la plus intensive de la production agricole industrielle, principalement pour les plantes ornementales (Mhadhbi, 2012)

2.2. Historique de la culture hydroponique

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

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

La publication la plus ancienne sur la culture hors-sol était le livre *Sylva Sylvarum* publié en 1627 par Francis Bacon ; et après cela, la culture de l'eau est devenue une technique de recherche populaire. En 1699, John Woodward a publié ses expériences de la culture de l'eau avec la menthe verte. En 1859-1860, les découvertes des botanistes allemands Julius von Sachs et Wilhelm Knop ont abouti à un développement de la technique de la culture hors-sol. Cette technique de culture est devenue rapidement un standard de la recherche et de l'enseignement qui est encore largement utilisé et considéré actuellement comme un type de la culture hydroponique.

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

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

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

2.3. Différents systèmes de la culture hydroponique

Les différents systèmes de culture hors-sol mis en service actuellement peuvent être groupés en fonction de leur type de support, de la taille du support (plus ou moins de 3 mm) et du type d'installation. (Gerick, 1937 et Davtyan, 1980).

2.3.1. Systèmes sans substrat (liquide de culture)

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

2.3.1.1. Aquiculture

Dans l'aquiculture, la solution nutritive est contenue dans un bac. Elle demande une oxygénation complémentaire de la solution nutritive pour éviter l'asphyxie des racines, via l'utilisation d'un procédé technique complexe. L'aquiculture reste de ce fait un système destiné à la recherche et peu développé dans la pratique.

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

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

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

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

2.3.1.3. Aéroponie

Dans une application inhabituelle de la culture hydroponique de système fermé, les plantes sont cultivées dans des trous des panneaux de polystyrène expansé ou d'un autre matériau. Les racines des plantes sont mises en suspension dans l'air sous le panneau et enfermées dans une boîte de pulvérisation. La boîte est scellée afin que les racines soient dans l'obscurité (pour inhiber la croissance des algues) et de la saturation d'humidité. Un système de brumisation pulvérise la solution nutritive sur les racines périodiquement. Le système est

normalement activé pour seulement quelques secondes toutes les 2-3 minutes. Cela est suffisant pour maintenir les racines humides et la solution nutritive aérée. Ces systèmes ont été développés par Jensen en Arizona pour la laitue, les épinards, même les tomates, bien que ces derniers ont été jugés de n'être pas économiquement viables (Jensen et Collins, 1985).

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

2.3.1.4. Ultraponie

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

2.3.2. Systèmes avec substrat

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

L'origine minérale:

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

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

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

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

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

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

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

L'origine organique :

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

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

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

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

Tableau n°04 : Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique.

Les substrats organiques	Les substrats minéraux
<p data-bbox="432 461 584 495">Polystyrène</p> 	<p data-bbox="1007 472 1214 506">Argile expansée</p> 
<p data-bbox="440 869 576 902">La tourbe</p> 	<p data-bbox="1015 851 1206 884">Laine de roche</p> 
<p data-bbox="456 1357 560 1391">Terreau</p> 	<p data-bbox="1031 1357 1190 1391">Vermiculite</p> 

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

2.3.2.1. Système de table à marées (Flux-reflux)

Parfois appelés "inondation-drainage", ils se composent d'une table étanche à rebords. La table est périodiquement inondée grâce à l'eau d'un réservoir. Dès que la table est pleine, le substrat est irrigué, la pompe s'arrête automatiquement, ce qui permet à l'eau de s'écouler. Les petits systèmes de ce genre sont disponibles auprès des marques spécialisées dans l'hydroponie. L'acquisition d'un système entier s'avérera peut-être plus aisée que la recherche des pièces une à une. De tous les systèmes hydroponiques d'eau vive, les tables à marées sont les moins chers à installer et ceux qui réclament le moins de maintenance. Ils génèrent peu de problèmes de plomberie. En effet, comme ils utilisent uniquement des conduites d'un diamètre relativement important, il est rare qu'ils se retrouvent bouchés.

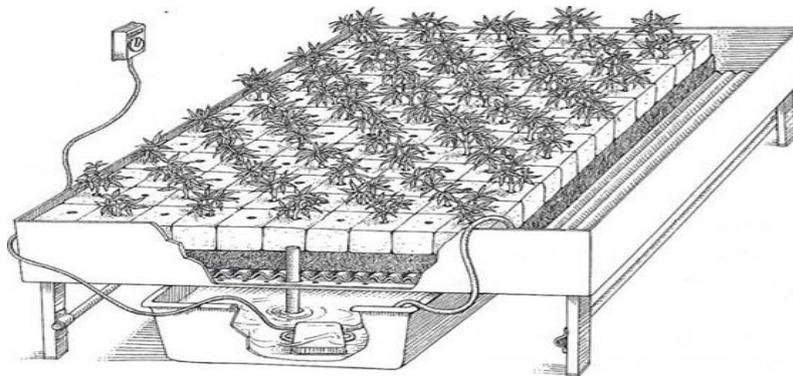


Figure n°06: Le système de table à marées (Flux-reflux).

2.3.2.2. Système de goutte à goutte

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

2.3.2.3. Système à flux continu

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

2.4. Exigences de la culture hydroponique

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

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

2.5. Solution nutritive

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

Une solution nutritive pour les systèmes hydroponiques est une solution aqueuse contenant principalement des ions inorganiques de sels solubles des éléments essentiels pour les plantes supérieures. Finalement, certains composés organiques tels que les chélates de fer peuvent être présents (Steiner, 1968). Un élément essentiel a un rôle clairement physiologique et son absence empêche le cycle de vie de la plante complètement (Taiz et Zeiger, 1998).

Actuellement 17 éléments sont considérés comme essentiels pour la plupart des plantes, ce sont le carbone, hydrogène, oxygène, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, soufre, fer, cuivre, zinc, manganèse, molybdène, bore, chlore et nickel (Salisbury et Ross, 1994). À l'exception du carbone (C) et l'oxygène (O) qui sont fournis dans l'atmosphère. Les éléments essentiels sont obtenus à partir du milieu de croissance. Autres éléments comme le sodium, Silicium, vanadium, sélénium, cobalt, aluminium et iode parmi d'autres, sont considérés comme utiles parce que certains d'entre eux peuvent stimuler la croissance, ou compenser les effets toxiques d'autres éléments ou même remplacer les éléments nutritifs essentiels dans un rôle moins spécifique (Trejo-Téllez et coll., 2007). Les solutions nutritives les plus élémentaires sont envisagées avec une composition comportant l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et le soufre qui sont complétées par des micronutriments.

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

2.5.1. Gestion de la solution nutritive

Bien que la nutrition optimale soit facile à réaliser dans la culture hors-sol, la gestion incorrecte de la solution nutritive peut endommager les plantes et conduire à un échec complet. Manipuler avec précaution le niveau de pH de la solution nutritive, la température et la conductivité électrique et le remplacement de la solution à chaque fois que c'est nécessaire conduira à la réussite d'un jardin de culture hors-sol. (Fortney et Wolf, 1981).

2.5.1.1. Le pH

Le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité sur une échelle de 1 à 14. La gamme de pH optimale pour la solution nutritive de culture hors-sol est comprise entre 5,8 et 6,5. Plus le pH d'une solution nutritive dépasse la gamme de pH recommandée, plus on a de chances d'échouer. Les carences nutritionnelles apparaîtront ou des symptômes de toxicité se développeront si le pH est supérieur ou inférieur à la fourchette recommandée pour les différentes cultures. La valeur du pH détermine la disponibilité des nutriments pour les plantes. En conséquence, son réglage doit être fait tous les jours. (Urrestarazu, 2004).

2.5.1.2. Conductivité électrique (CE)

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

2.5.1.3. Température

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

2.6. Avantages de la culture hydroponique

Il y a de nombreux avantages de la culture hydroponique par rapport à la culture en sol (Savvas, 2002). La culture hors-sol permet d'avoir des conditions optimales pour la croissance des plantes et, par conséquent, des rendements plus élevés peuvent être obtenus par rapport à l'agriculture sur un terrain ouvert. Le jardinage est propre, extrêmement facile et ne

nécessitant que très peu d'effort (Silberbush et Ben-Asher, 2001). La culture hors-sol permet de contrôler les maladies et les ravageurs telluriques ; c'est ce qui est particulièrement recherché dans les tropiques où les cycles de vie de ces organismes est ininterrompu allant même jusqu'au risque d'infestation. Il est également efficace pour les régions du monde ayant une rareté des terres arables ou fertiles pour l'agriculture (Sonneveld, 2000). Il réduit le coût et économise le temps sur diverses tâches qui ne sont pas exigées dans la culture hors-sol. Il offre un environnement de travail propre et facile.

2.7. Limites de la culture hydroponique

Malgré les nombreux avantages de la culture hors-sol, elle a aussi certaines limites (Sonneveld, 2000). Son application à l'échelle commerciale exige des connaissances techniques et des dépenses élevées sur le capital initial. Ce sera encore plus élevé si la culture hors-sol est combinée avec l'environnement de l'agriculture contrôlée (Sonneveld, 2000) : un haut degré de compétences en gestion est nécessaire pour la préparation de la solution, l'entretien du pH et CE, le jugement de carence en éléments nutritifs, leur correction et assurer l'aération, maintien des conditions favorables à l'intérieur des structures protégées, etc. Un grand soin est nécessaire en matière de contrôle de la santé des végétaux. Enfin, les apports énergétiques sont nécessaires pour faire fonctionner le système (Van Os et al., 2002). Compte tenu du coût très élevé, la culture hors-sol est limitée à des cultures de haute valeur sur la superficie de culture.

Partie 02:

Etude expérimentale

Chapitre I :

Matériels et méthodes

CHAPITRE 01 : Matériels et méthodes.

1.1. Objectif

Le présent travail est centré sur l'étude de la culture en système aéroponique pour la production de semence (G_0) de la pomme de terre. Nous tentons précisément d'atteindre le meilleur rendement de semence en utilisant une récolte échelonnée et une densité de plantation doublée.

1.2. Site expérimental

L'essai a été réalisé au niveau du laboratoire d'amélioration et de production des semences de la pomme de terre, de l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) dans la commune de Sebaine, Wilaya de Tiaret.



Figure n°07 : Vue panoramique du laboratoire.

Le laboratoire a été créé dans le cadre de la coopération algéro-coréenne (Corée du sud) ; inauguré le 06 décembre 2009 par le Ministre de l'Agriculture et du Développement Rural, et l'Ambassadeur de la Corée du sud en Algérie ; dans le cadre de la production des semences de pré-base de pomme de terre à partir de la culture des méristèmes puis la micropropagation jusqu'à l'obtention des premières générations de semence (G_0 , G_1 , G_2).

1.3. Matériels

Le laboratoire dispose de tous les équipements nécessaires pour la réalisation des travaux de recherche et d'expérimentation dans le domaine de la production des semences de pomme de terre de pré-base (G_0 , G_1 , G_2).

1.3.1. Laboratoire

Le laboratoire est équipé par l'appareillage suivant :

- Autoclave d'une capacité de 160 litres, pour la stérilisation des milieux de culture ;
- Agitateur magnétique chauffant de type à thermocouple avec barreaux aimanté ;
- Déminéralisateur pour la préparation de l'eau distillée déminéralisée, nécessaire pour la préparation des milieux de culture ;
- Balance de précision ;
- Stérilisateur électrique pour la désinfection du matériel (pince et ciseau) ;
- pH mètre et Conductivimètre de paillasse ;
- pH mètre et Conductivimètre portatif ;
- Hotte à flux laminaire sous laquelle la culture de tissu est réalisée ;
- Un équipement spécialisé pour le contrôle des maladies virales ;
- Une chambre stérilisée pour l'incubation des vitro-plants.

1.3.2. Chambre d'acclimatation

- Le système NFT (technique de film nutritif)
- Bacs de culture ;
- L'humidificateur.

1.3.3. Serre expérimentale

1.3.3.1. Abris

Elle est constituée d'une serre en verre multi-chapelles pour les cultures aéroponiques, d'une superficie de 340 m², d'une capacité d'accueil de 2000 à 3000 vitro-plants pour une capacité de production de 60.000 mini-tubercules de pomme de terre par an (semence de catégorie G_0).



Figure n°08 : La serre expérimentale (aéroponique).

1.3.3.2. Supports de culture et conteneurs

Ce sont des bacs étanches et obscurs pour la culture aéroponique. Les techniques de culture hors-sol dans le laboratoire nous permettent de placer les supports à hauteur d'homme, de 1,3 à 1,4m au dessus du sol, ce qui facilite le travail (semis et cueillette).

1.3.3.3. Equipements d'éclairage et de climatisation centrale

La serre est sous un climat contrôlé (température et luminosité). Elle est également équipée d'un système d'air conditionné, de deux systèmes de climatisation qui utilisent l'énergie électrique et le gaz de ville ; le premier pour apporter de la fraîcheur et le deuxième pour chauffer la serre, en plus d'un système d'ombrage.

1.3.3.4. Réseau de distribution de la solution nutritive

Système aéroponique : l'aéroponie représente l'une des plus récentes évolutions des techniques de cultures hors-sol. En effet, les racines des plantes ne sont pas en contact ni avec un milieu solide, ni même avec un milieu liquide. Elles sont alimentées par une brume nutritive obtenue par brumisation (via un brumisateur) de la solution nutritive dans un milieu fermé.

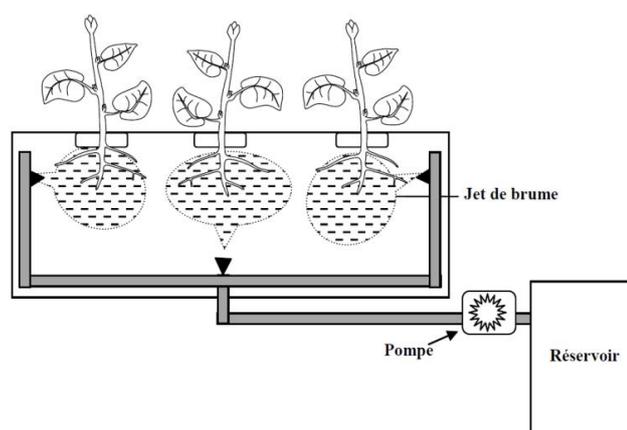


Figure n°09 : Schéma d'un système aéroponique.

En aéroponie, les fonctions de support et d'approvisionnement en eau et en éléments nutritifs, sont assurées par des « supports de plantes », généralement en matière plastique, et par des vaporisations permanentes (brouillard) de solutions nutritives à base de sels minéraux tournant en circuit fermé au moyen d'une pompe. On a donc à la fois 95% de disponibilité en eau et 98% de disponibilité en air. Le milieu de culture est saturé d'un brouillard nutritif qui

ruisselle en continu sur les racines. Les minéraux sont donc très facilement absorbés. La pulvérisation est en général discontinue: par cycles de 15 secondes avec des arrêts d'environ 5 minutes pendant la journée et de 10 minutes durant la nuit.

1.3.4. Matériel végétal

L'étude a été menée sur trois variétés de pommes de terre : *Spunta* et *Désirée* qui sont très répandues et couramment utilisées par les producteurs et *Chubaek*, une nouvelle variété originaire de la Corée du sud qui n'est pas encore inscrite dans le catalogue des variétés cultivées en Algérie. Les plants utilisés sont issues de plantules obtenues par la technique de culture *in vitro* après une culture de méristème de ces trois variétés de pomme de terre.

1.3.4.1. Caractères descriptifs des variétés

Variété Désirée :

Origine génétique : Urgenta x Depesche ;

Obtenteur (s) : BV de ZPC (Pays-Bas) ;

Année d'inscription au catalogue national : 1988 ;

Caractères agronomiques

Maturité : mi-précoce à mi-tardive, dormance mi-longue.

Tubercules : gros, ovales à allongés, forme uniforme à assez uniforme, peau rouge, yeux superficiels, assez bonne résistance au noircissement interne.

Maladies : assez sensible au mildiou du feuillage, assez bonne résistance au mildiou du tubercule, assez sensible au virus de l'enroulement, résistance moyenne au virus A, assez bonne résistance au virus X et bonne résistance au virus Y, résistante à la galle verruqueuse, sensible à la gale commune.

Caractères morphologiques

Plante : de taille haute à moyenne, structure du feuillage du type intermédiaire, port semi dressé à dressé, forte coloration anthocyanique, feuilles grandes à moyennes, vert foncé à verte ; floraison abondante, forte coloration anthocyanique sur la face intérieure de la corolle de la fleur.

Tubercules : ovales à allongés, peau rouge, lisse, chair jaune pâle; yeux superficiels.

Germe : grand à moyen, conique, coloration anthocyanique forte à moyenne et moyenne pubescence de la base, bourgeon terminal moyen et coloration anthocyanique moyenne à faible, radicelles assez nombreuses à peu nombreuses.

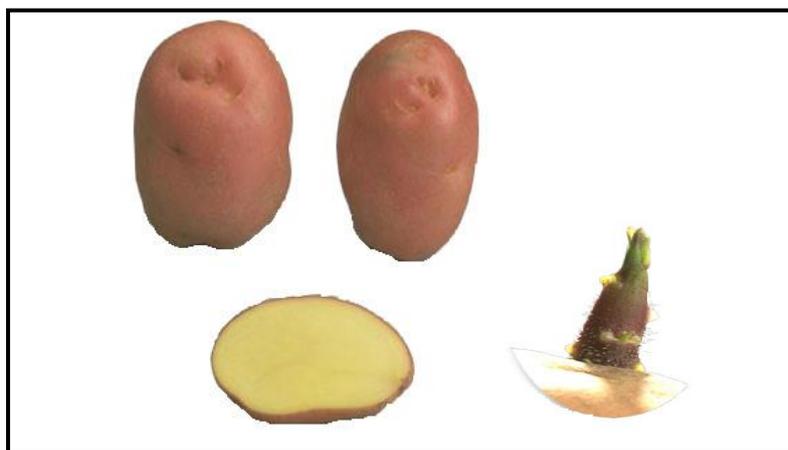


Figure n°10: Caractères descriptifs de la variété Désirée.

Variété Spunta:

Origine génétique : Bea x USDA 96-56 ;

Obtenteur(s) : J. Oldenburger (Pays-Bas) ;

Année d'inscription au catalogue national : 1988 ;

Caractères agronomiques :

Maturité : mi-précoce, dormance mi-longue à longue ;

Tubercules : très gros, allongés, forme uniforme, peau jaune, yeux très superficiels, bonne résistance au noircissement interne ;

Maladies : assez sensible au mildiou du feuillage, sensible au mildiou du tubercule; assez bonne résistance au virus de l'enroulement, résistance au virus A, résistance moyenne au virus X et assez bonne résistance au virus Y; résistante à la galle verruqueuse; résistance moyenne à la gale commune ;

Caractères morphologiques :

Plante : taille haute, structure du feuillage du type intermédiaire, port semi-dressé à dressé, coloration anthocyanique moyenne; feuilles grandes à moyennes, vert foncé, silhouette mi-ouverte; floraison abondante à modérée, coloration anthocyanique absente ou très faible sur la face intérieure de la corolle de la fleur ;

Tubercules : allongés, peau jaune, lisse; chair jaune pâle; yeux très superficiels ;

Germe : grand, cylindrique et gros, forte coloration anthocyanique et forte à moyenne pubescence de la base, bourgeon terminal grand à moyen et coloration anthocyanique moyenne à faible; radicules abondantes à assez nombreuses.



Figure n°11: Caractères descriptifs de Spunta.

Variété Chubaek

Origine génétique : H 83011-3 X Superior ;

Obtenteur(s) : Suwon, Gangneung (Corée du Sud) ;

Année d'inscription au catalogue national : (Néant) ;

- Les plantes de cette variété ont une taille haute, port dressé et vigoureux ; feuille à couleur vert foncé ; foliole large ;

- Tubercules : sont arrondis de taille moyenne, avec des yeux peu profonds et une peau jaune et lisse, chair jaune pâle ;

- Floraison : Assez abondante, fleur rouge-violette ;

- Repos végétatif : court (60 jours) ;

- Maturité : précoce avec un cycle végétatif court, et de forts rendements (entre 33-35 t/ha), bonne résistance au virus Y et PLRV ;

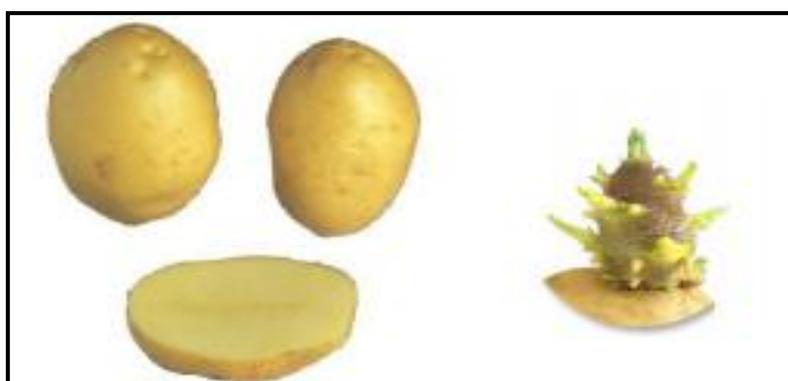


Figure n°12: Caractères descriptifs de Chubaek.

1.4. Méthodes

1.4.1. Préparation des vitro plants

1.4.1.1. Préparation du milieu de culture

Pour préparer le milieu de culture il faut :

- De l'eau distillée ;
- Du saccharose à raison de 30g/l ;
- Murashige et skoog en poudre préparés à raison de 5.6g/l ;
- Agiter le tout sur un agitateur à barreau magnétique, jusqu'à la dilution total des composés ;
- Ajuster le pH à 5.6 - 5.8 ;
- Ajouter 08 g/l d'agar ;
- Chauffer jusqu'à l'ébullition ;
- Mettre le milieu de culture dans des boites autoclavables 6 à 7 ml/boite ;
- Mettre dans un autoclave à 120⁰C pendant 20 minutes ;

Ce milieu de culture est utilisé pour la culture de méristème, et il est le même que celui utilisé pour la micropropagation des vitro plants.

1.4.1.2. Culture de méristème

Les tubercules de départ nous ont été fournis par le centre national de contrôle et de certification, c'est un matériel végétal reconnu sain et indemne de toute infection. Une culture de méristème est pratiquée sur un milieu nutritif gélifié par l'ajout de l'agar, au bout de quatre mois un vitro plants est généré.

1.4.1.3. La micropropagation

Cette deuxième étape a été effectuée entre décembre et janvier 2014-2015. Elle consiste à passer par la chambre de propagation où chaque vitroplantule est retiré du bocal à l'aide d'une pince stérile et déposé sur son couvert ; puis, fragmenté en tronçons (5 à 6 explants en moyenne par plantule).

Les explants ou boutures sont ensuite repiqués dans un milieu nutritif solide MS à raison de 15 boutures par bocal. Elles y restent 3 à 4 semaines, ensuite elles sont transportées dans la chambre d'acclimatation pour les repiquer dans un système hors-sol (en aéroponie).

De cette manière, la quantité de plantules disponibles est multipliée toutes les 4 semaines environ par un facteur 5 (5 explants en moyenne par plantule) ; et donc, en peu de

temps, il est possible de produire une quantité impressionnante de plantes saines et rigoureusement conformes à la variété de départ.

1.4.2. Acclimatation des vitro plants

Les vitro plants avant d'être transplantés dans les serres de culture, ils sont acclimatés en date du 03 février, dans une chambre spéciale ou ils y restent de 7 à 10 jours. Quant aux plants destinés à être cultivés en aéroponie, ils sont acclimatés sur une solution nutritive semblable à celle utilisée dans les grandes serres.

Les racines des jeunes plantules sortant de la chambre d'incubation, sont lavées à l'eau distillée. Cette opération nous permet d'enlever les restes du milieu de culture gélifié, qui s'accrochent aux racines.

1.4.2.1. Composition de la solution nutritive pour la chambre d'acclimatation

Dans cette solution, le choix de la formulation adaptée et le calcul des pesées de sels, se font en tenant compte de la composition chimique de l'eau de source utilisée.

Tableau n°05: Compositions minérales de la solution nutritive utilisée dans la chambre d'acclimatation.

	Constituants	Quantités
Macroéléments	Cuve A	g/1000l
	KNO ₃	151
	5[Ca(NO ₃) ₂ 2HO ₂] OH ₄ NO ₃	297
	Cuve B	g/1000l
	KNO ₃	200
Microéléments	KH ₂ PO ₄	37
	NH ₄ H ₂ PO ₄	48
	MgSO ₄ -7H ₂ O	215
	Cuve C	g/1000l
	MnSO ₄ -5OH	20,2
	H ₃ BO ₃	44,2
	ZnSO ₄ -4H ₂ O	22
CuSO ₄ -5H ₂ O	8	
(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ -4H ₂ O	2	

1.4.3. Transplantation des vitro plants dans la serre aéronomique

Les plantes sont repiquées en date du 12 février sur des planches en polystyrène, déjà confectionnées et percées de façon que chaque plantule soit maintenue dans un trou par une éponge, sa partie inférieure est dans le vide tandis que la supérieure reste à l'air libre. Les planches de polystyrène sont déposées comme couvercle sur des bacs étanches afin de protéger les racines de la lumière et il faut les maintenir à une température constante autour de 18 à 25°C.



Figure n°13 : plantation des vitro plants.

Tableau n°06: Compositions minérales des solutions nutritives utilisées dans la serre aéronomique.

	Constituants	Quantités	
		mg/l	g/400l
Macroéléments	Cuve A	mg/l	g/400l
	KNO ₃	229	92
	NH ₄ NO ₃	76	30
	5[Ca(NO ₃) ₂ 2HO ₂] OH ₄ NO ₃	65	26
	Fe-EDTA	23	3,2
	Cuve B	mg/l	g/400l
	KNO ₃	150	60
	NH ₄ H ₂ PO ₄ MgSO ₄ ·7H ₂ O	80 160	32 64
Microéléments	Cuve C	mg/l	g/400l
	MnSO ₄ ·H ₂ O ou (MnSO ₄ ·4H ₂ O)	1,54 (2,02)	0,62 (0,81)
	H ₃ BO ₃ ou (Na ₂ B ₄ O ₄ ·4H ₂ O)	2,86 (4,42)	1,14 (1,77)
	ZnSO ₄ ·4H ₂ O ou (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	0,18 (0,22)	0,07 (0,09)
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,08	0,03
	(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O ou (Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O)	0,02 (0,026)	0,01 (0,01)

1.5. Dispositif expérimental

Notre expérience s'intéresse à la culture aéronique. Elle se focalise en particulier à identifier les meilleures conditions et techniques qui permettent d'obtenir un rendement optimal de tubercules de la pomme de terre. Donc, nous avons adopté deux dispositifs expérimentaux comme expliqué ci-dessous :

1.5.1. Le 1^{er} essai

Il concerne une récolte échelonnée des tubercules de pomme de terre dans trois variétés à savoir : Désirée, Spunta, et Chubaek.

Chaque variété a subi trois traitements. Chaque traitement, à son tour, a trois répétitions (R.1, R.2 et R.3). Ces traitements sont réalisés en respectant un calendrier de récolte précis : au 1^{er} traitement une récolte totale des tubercules à 80 jours de la plantation est appliquée ; au 2^{ème} traitement une récolte des grandes tubercules (entre 30 et 50g) est effectuée à 80 jours suivie d'une récolte totale à 100 jours ; au 3^{ème} traitement une récolte totale à 100 jours est réalisée. En outre, il faut savoir que le 3^{ème} traitement est considéré comme témoin dans la présente expérience.

A travers ce dispositif, nous tentons de déterminer le meilleur traitement conduisant à la meilleure productivité de tubercules de pomme de terre. En plus, nous essayons de comparer cet examen expérimental entre les trois variétés citées plus haut.

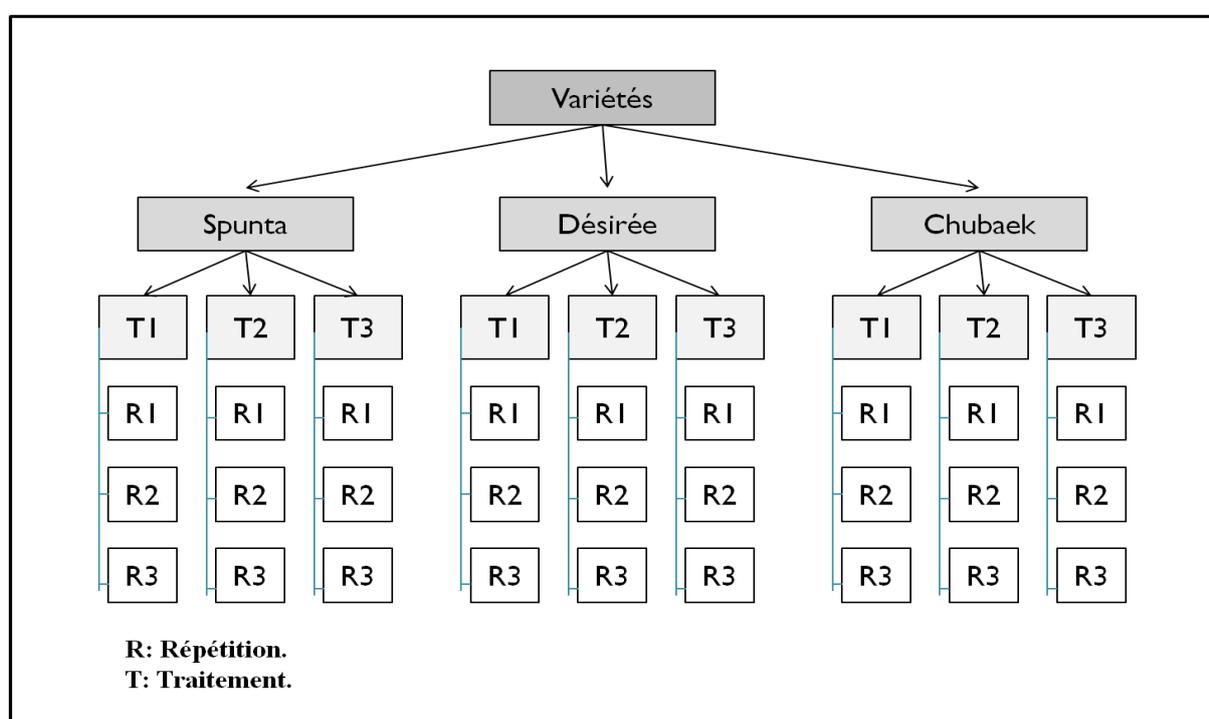


Figure n°14 : Dispositif expérimental concernant la récolte échelonnée.

1.5.2. Le 2^{ème} essai

C'est un dispositif centré sur la densité de la plantation. C'est-à-dire qu'il s'agit de doubler le nombre de plants dans une superficie définie en vue de comparer son rendement avec une même superficie plantée normalement. Donc, un mètre carré reçoit habituellement 16 plants est comparé à une superficie similaire accueillant 32 plants.

Dans cette expérience, nous avons travaillé sur une seule variété dite Désirée sur laquelle nous avons appliqué deux traitements (T.1 : 16 vitro-plants/m² et T.2 : 32 vitro-plants) ayant chacune deux répétitions (R.1 et R.2).

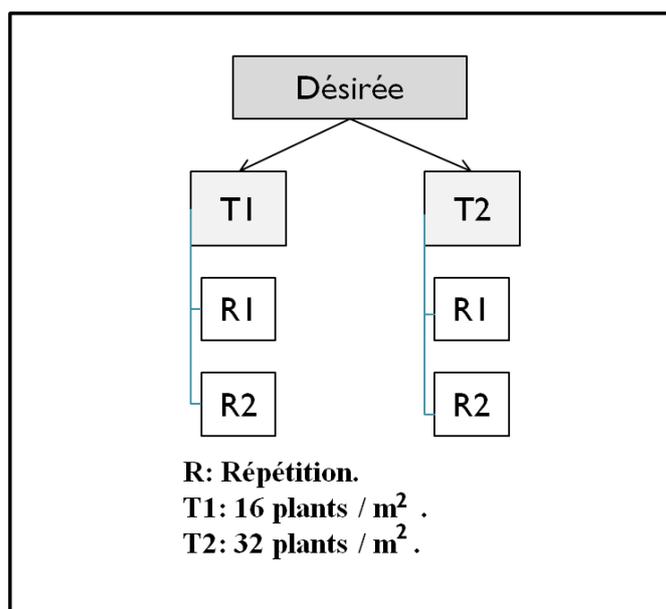


Figure n°15: Dispositif expérimental concernant la densité de plantation.

1.6. Conduite de la culture

Ce sont toutes les opérations qui ont eu lieu tout au long de la durée de plantation et qui permettent d'apporter aux jeunes plants les soins appropriés pour leur développement.

1.6.1. Effeillage

C'est une technique pratiquée à la main et à l'aide d'un scalpel après 10 à 20 jours de la date de plantation. Elle a été réalisée le 27 février. Elle consiste à éliminer les feuilles les plus proches de la base et d'enfoncer la plante encore plus bas dans le bac, ce qui favorise l'émission des racines et l'apparition de nouveaux stolons qui donneront des tubercules.

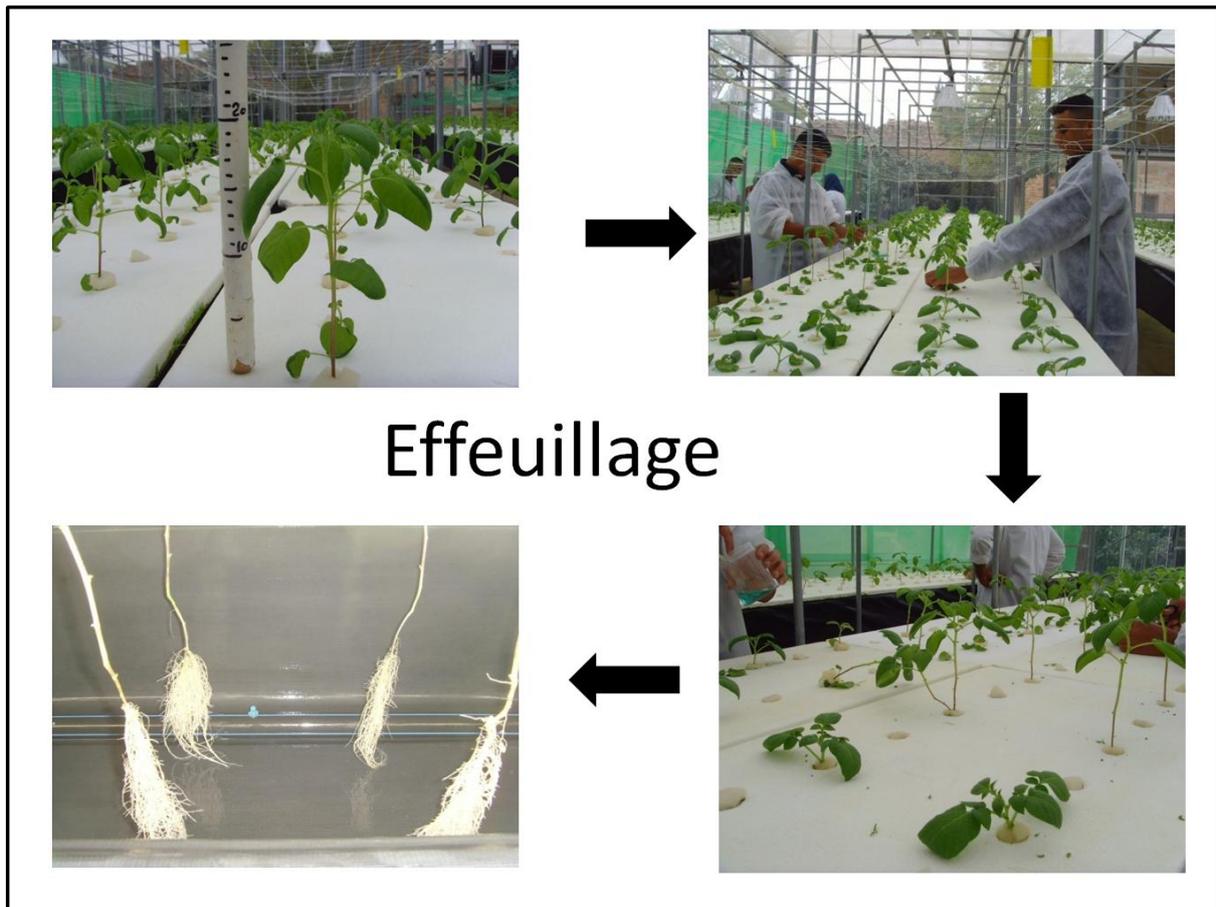


Figure n°16 : effeuillage.

1.6.2. Tuteurage

Afin d'éviter les cassures ou les blessures des plants, un filet spéciale est utilisé pour maintenir les plants debout et réduire le risque de la propagation des maladies fongiques par le contact des feuilles avec les plaques en polystyrène.

1.6.3. Traitements phytosanitaires

Une couverture phytosanitaire a été effectuée au cours de la végétation en utilisant des insecticides et/ou des fongicides comme traitements préventifs, curatifs, de contacts ou systémiques selon le cas pour prévenir ou lutter contre de nombreuses maladies et ravageurs.

Tableau n°07 : Calendrier des traitements phytosanitaires appliqués.

Date d'application	Nature et quantité du pesticide		Observation
	Insecticide	Fongicide	
03/03/2015	karaté : 10g/10L d'eau	score : 10g/10L d'eau	Traitement préventif
10/03/2015	karaté: 10g/10L d'eau	score : 10g/10L d'eau	Traitement curatif contre alternaria
17/03/2015	décis : 10ml/10L d'eau	Infinito : 37.5ml/10Ld'eau	Traitement préventif
24/03/2015	Vertimec : 12.5ml/10L d'eau	Ortiva : 12.5ml/10Ld'eau	Traitement préventif
31/03/2015	nomolt: 8ml/15L d'eau	Equation pro : 15g/15L d'eau	Traitement préventif
07/04/2015	décis : 15ml/15L d'eau	Fongicide coréen : 15g/15l	Traitement curatif contre alternaria
14/04/2015	karaté : 30ml/30L d'eau	Folio gold : 225ml/30l d'eau	Traitement curatif contre alternaria et teigne
21/04/2015	décis : 10ml/10L d'eau	Infinito : 37.5ml/10Ld'eau	Traitement préventif
05/05/2015	Vertimec : 12.5ml/10L d'eau	Ortiva : 12.5ml/10Ld'eau	Traitement préventif

1.6.4. Test ELISA

En plus du contrôle visuel des plants dans la serre quotidiennement, le test ELISA est effectué au laboratoire et qui a pour but la détection des virus communs de la pomme de terre à savoir : PVY, PLRV, PVX, PVS et PVA.

Ce test est réalisé entre le 22 et 23 avril. Il comprend 04 étapes :

1.6.4.1. Première étape

Coating : sensibilisation des microplaques avec un anticorps spécifique (IgG).

- Anticorps de coating (IgG) + tampon de coating ;
- Incuber 04 heures à température ambiante ;

- Vider les plaques et laver les 04 fois avec le tampon de lavage PBS-Tween ;
- Eliminer tous les liquides en tapant les plaques sur du papier absorbant.

1.6.4.2. Deuxième étape

Echantillon : dépôts de l'extrait de plante (antigène)

- Extrait végétal + tampon d'extraction ;
- Témoin tampon, témoin positif (contaminé), témoin négatif (sain) ;
- Incuber une nuit à 04°C ;
- Vider les plaques et laver 04 fois avec le tampon de lavage PBS-Tween ;
- Eliminer tout le liquide en tapant les plaques sur du papier absorbant.

1.6.4.3. Troisième étape

Conjugué : dépôts des anticorps conjugués à l'enzyme

- Anticorps conjugués + tampon de conjugué ;
- incuber 04 heures à température ambiante ;
- Vider les plaques et laver 04 fois avec le tampon de lavage PBS-Tween ;
- Eliminer tout le liquide en tapant les plaques sur du papier absorbant.

1.6.4.4. Quatrième étape

- Substrat : dépôt du substrat (Para nitro phenyl-phosphate)

- Substrat PNPP + tampon de substrat.
- Incuber 30 minutes à température ambiante et en obscurité.
- Observer la réaction et noter le développement de la coloration (visuellement) ou avec un photomètre à 405 nanomètre (lecteur).

1.6.5. Défanage

Le défanage consiste à détruire les fanes pour éviter le grossissement excessif des tubercules (hors calibre semence) et la contamination de la culture en fin de cycle. Il facilite les travaux de récolte et accélère la maturation des tubercules.

1.6.6. Récolte

Elle est réalisée manuellement. Elle consiste à enlever les mini-tubercules des stolons, les tubercules ainsi récoltés sont déposés au fond de conteneurs pendant 7 à 10 jours pour leur verdissement. Dans notre cas la récolte a été faite 03 fois pendant le cycle de développement de la plante :

À 80 jours après plantation pour le traitement T1 ;

À 80 et à 100 jours après plantation pour le traitement T2 ;

À 100 jours après plantation pour le traitement T3. **Figure n°17** : La récolte échelonnée.



1.6.7. Triage et calibrage

Après la récolte, nous avons effectué la pesée et le classement des tubercules selon quatre catégories de calibre (1-5g), (5-30g), (30-50g) et (>50g).

1.7. Paramètres étudiés

Au niveau des deux essais expérimentaux, nous avons étudié les paramètres suivants :

- La hauteur des tiges ;
- Le poids des tiges (masse végétative) ;
- Le nombre des tubercules ;
- Le poids des tubercules.

Chapitre II:

Résultats et discussion

CHAPITRE 02 : Résultats et discussion.

Le premier essai de notre travail expérimental s’articule autour de trois aspects : le facteur variété, le facteur traitement et le facteur calibre. L’analyse statistique a porté sur la comparaison des différents traitements portant sur les trois variétés choisies à l’aide d’une analyse de variance (ANOVA) à un seuil de 0,05%, suivie d’une comparaison des moyennes (Test de Newman et Keuls) et cela dans le cas où l’interaction entre les trois facteurs (Variété x traitement x calibre) est significative. Cette analyse a porté sur l’ensemble des paramètres mesurés entre autre la hauteur des tiges, le poids des tiges, le nombre et le poids des tubercules par plant.

Les résultats obtenus sont ensuite représentés sous forme de graphiques en fonction des variétés, des traitements et des calibres et cela à l’aide du logiciel EXCEL.

2.1. Récolte échelonnée



Figure n°18 : La récolte à 80 jours.

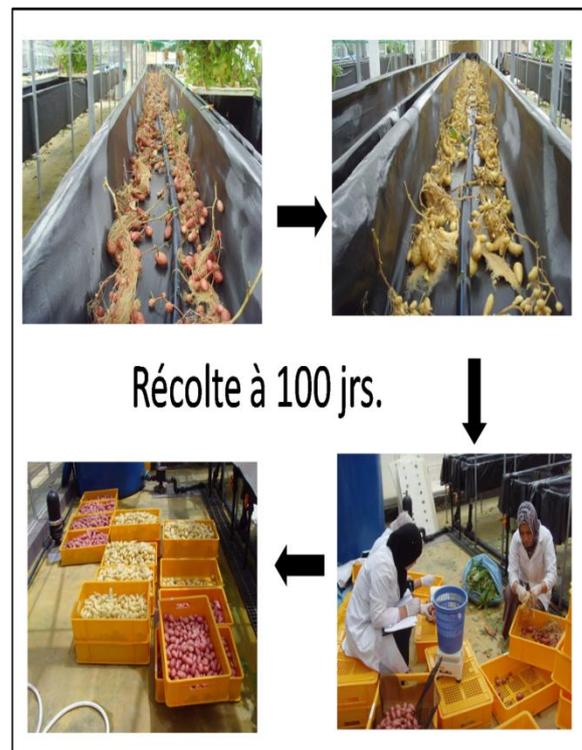


Figure n°19 : La récolte à 100 jours.

2.1.1. Hauteur et poids des tiges

2.1.1.1. Hauteur des tiges

Tableau n°08: Analyse de la variance de la hauteur des tiges en fonction de la variété et du traitement.

Source de variance	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	Signification (P)
Variété	4459,549	2	2229,774	27,576	0,00001
traitement	20,99	2	10,495	0,13	0,87914
Variété × Traitement	1081,406	4	270,352	3,343	0,03583

L'analyse de la variance a révélé l'existence d'un effet variété très hautement significatif ; par contre, aucun effet significatif n'est noté sur le facteur traitement. En outre, l'interaction entre les deux facteurs cités a une incidence significative sur la hauteur des tiges.

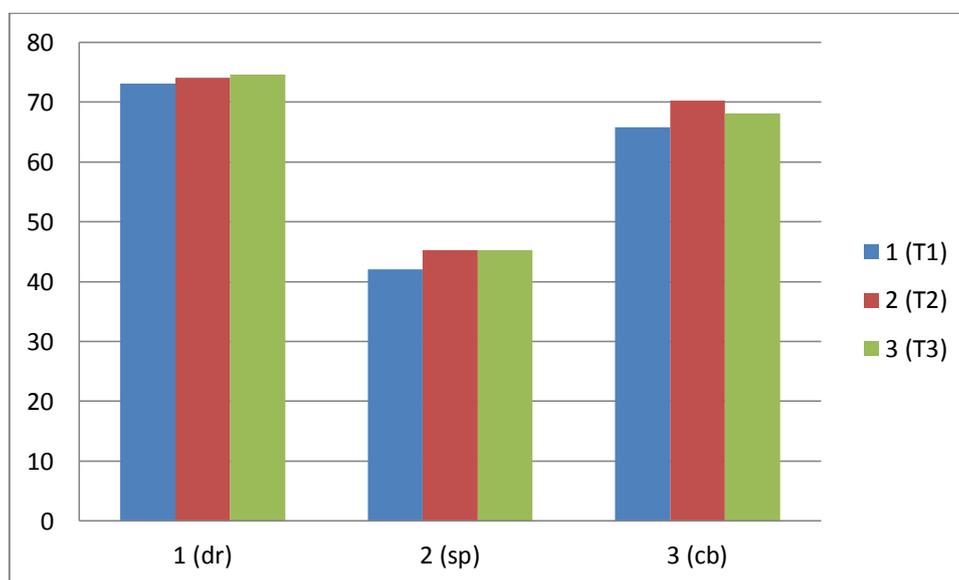


Figure 20: hauteur moyenne des tiges par plants, par variété et par traitement.

La figure ci-dessus nous montre que, d'une part, la longueur des tiges est influencée par les variétés testées. D'autre part, nous remarquons que les trois traitements appliqués ont presque la même valeur en considérant chaque variété séparément sachant que les meilleures longueurs sont enregistrées chez la variété Désirée (à environ 74 cm). Donc, cela nous indique qu'il n'y a aucun effet de la récolte échelonnée sur la croissance végétative des plants.

2.1.1.2. Masse végétative (poids des tiges)

Tableau n°09: Analyse de la variance de la variable du poids des tiges en fonction de la variété et du traitement.

Source de variance	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	Signification (P)
Variété	7679,809	2	3839,904	3,012	0,07636
traitement	16099,9	2	8049,951	6,314	0,00952
Variété × Traitement	4655,295	4	1163,824	0,913	0,48152

L'analyse de la variance indique qu'il y'a un effet non significatif du facteur variété et un effet hautement significatif du facteur traitement. De ce fait, l'interaction entre les deux facteurs a enregistré un effet non significatif du poids des tiges.

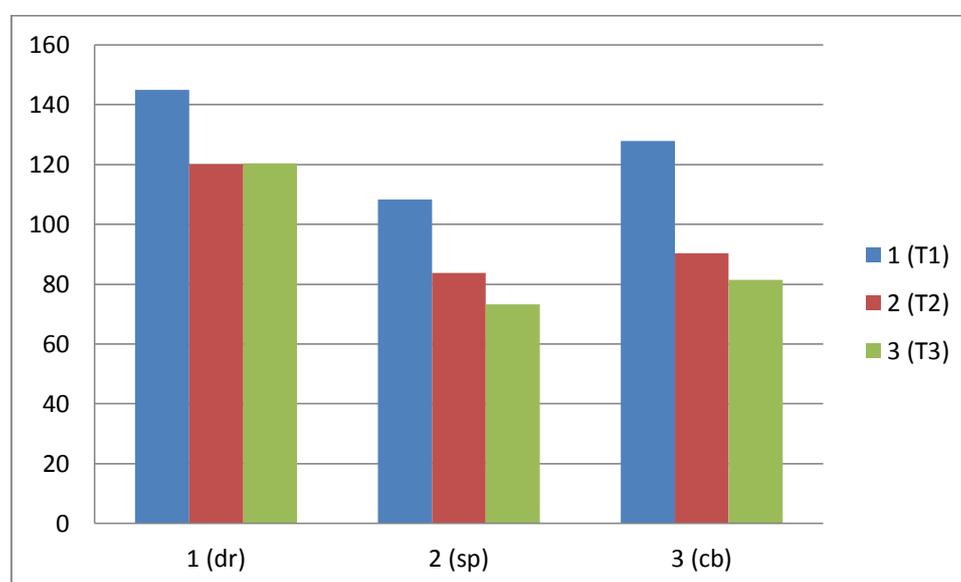


Figure n°21: poids moyen des tiges par plant en fonction de la variété et des traitements.

Il nous paraît clair que le paramètre poids des tiges chez les trois variétés présente des différences significatives en fonction des traitements. Nous avons noté que le 1^{er} traitement a une valeur très élevée dans les trois variétés par rapport aux deux autres restantes. Nous expliquons cela par le fait que le 1^{er} traitement ou la récolte a été appliqué à 80 jours de la plantation, là où la plante est encore dans un stade jeune de fructification. Par contre, les deux autres traitements ont été effectués à 100 jours, en d'autres termes dans un stade de jaunissement lorsque le plant commence à se dessécher.

2.1.2. Rendement en nombre et en poids des tubercules

2.1.2.1. Rendement en nombre par plant

Tableau n°10: Analyse de la variance du nombre de tubercules en fonction des variétés, des traitements et du calibre.

Source de variance	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	Signification (P)
variété	361,21	2	180,605	101,283	0,000
traitement	17,147	2	8,573	4,808	0,02287
calibre	1360,316	3	453,439	49,36	0,000
variété×traitement	6,279	4	1,57	0,88	0,49903
Variété×calibre	751,634	6	125,272	13,637	0,000
traitement×calibre	189,742	6	31,624	3,442	0,00604
variété×traitement×calibre	289,861	12	24,155	2,629	0,00774

L'analyse de la variance nous montre des significations différentes. Or, nous notons qu'il y a des effets très hautement significatifs enregistrés sur les facteurs variété et calibre et aussi concernant l'interaction (variété×calibre); ce qui s'explique par les différences variétales entre les variétés Spunta, Désirée et Chubaek, en plus de l'existence de grandes différences dans le calibre des tubercules dans une même variété en fonction du traitement.

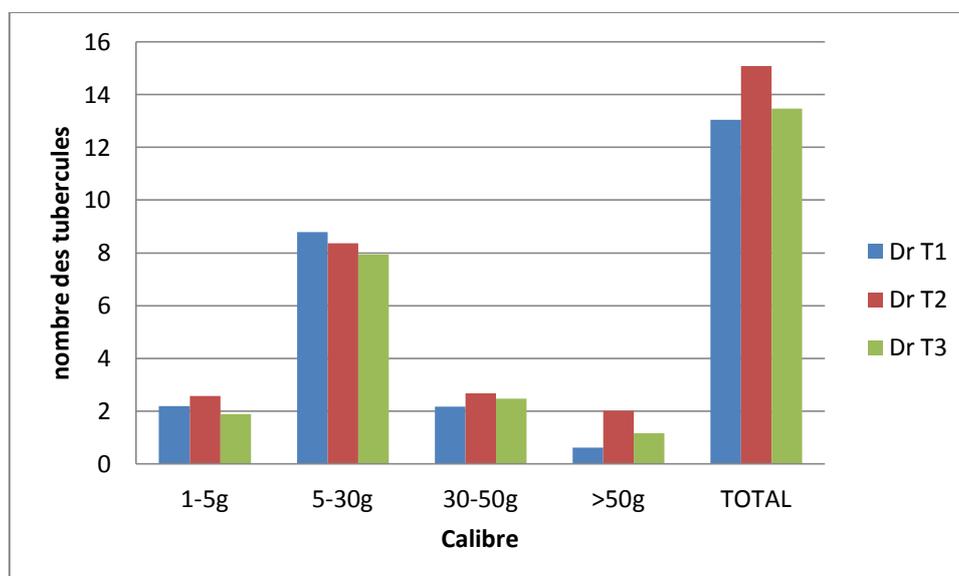


Figure n°22 : Nombre moyen des tubercules par plant de la variété Désirée en fonction des traitements et du calibre.

Nous faisons remarquer à propos du total des tubercules que le 2^{ème} traitement à enregistré le nombre le plus élevé (15 tubercules/plant) comparativement aux deux autres traitements. Le 2^{ème} traitement reste supérieur aux autres concernant les calibres (50g, 30-50g et 1-5g). Cela s'explique par le fait qu'au niveau du 2^{ème} traitement, la récolte s'applique à 80 et à 100 jours permettant ainsi à la plante de faire pousser de nouveaux tubercules tout en continuant la croissance des tubercules moyens.

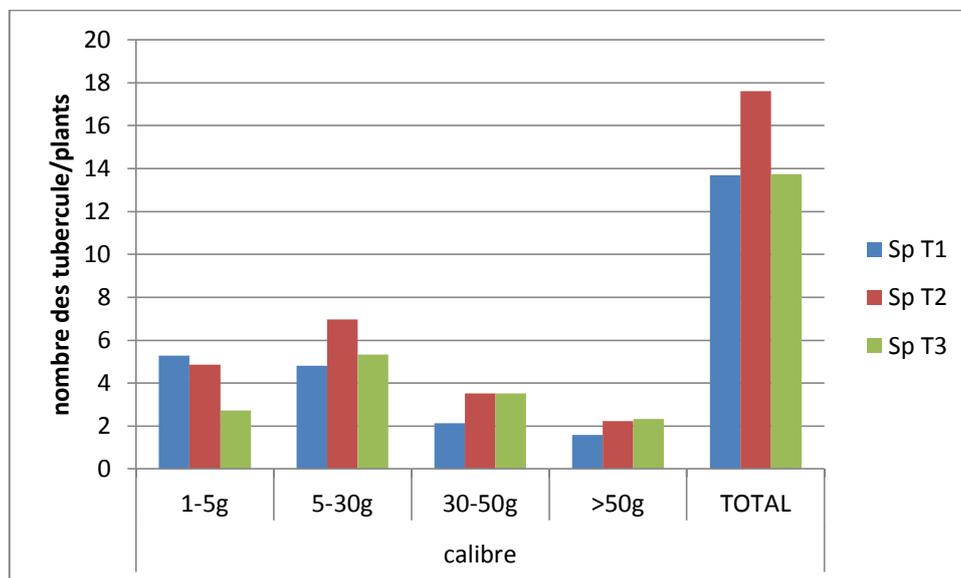


Figure n°23: Nombre de tubercules en fonction du calibre et des traitements effectués sur la variété Spunta.

Nous notons, à partir des totaux des différents traitements, que le 2^{ème} traitement enregistre un nombre de tubercules (17 tubercules/plant) nettement supérieur aux deux autres. Toutefois, ce même traitement affiche des nombres soit similaires ou supérieurs sur les différents calibres existants.

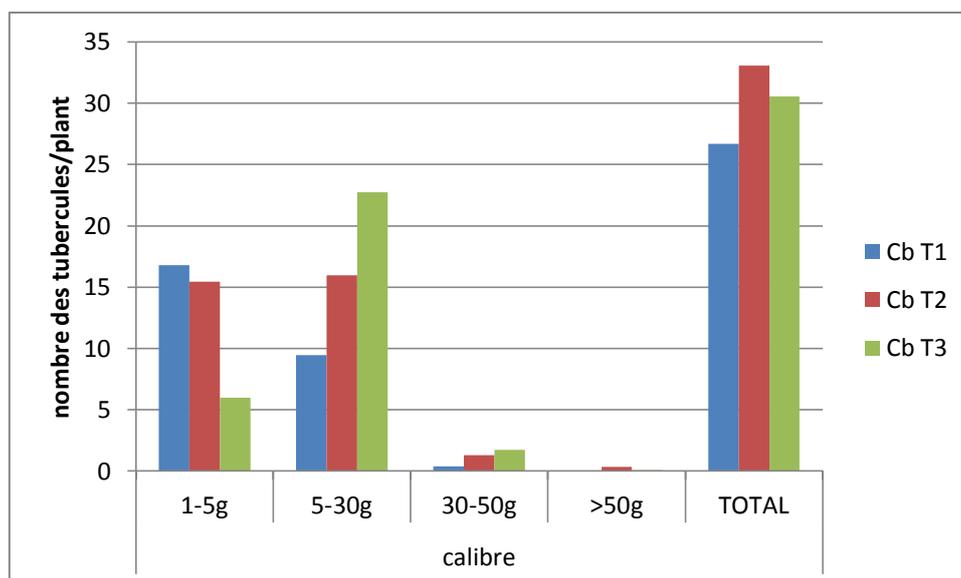


Figure n°24: nombre moyen des tubercules en fonction du calibre et des traitements effectués sur la variété Chubaeak.

Nous remarquons, en premier lieu, que la variété Chubaeak a une grande capacité de tubérisation comparativement aux deux variétés précédentes qui est exprimée par le nombre total de tubercules (33 tubercules/plant) au 2^{ème} traitement. En deuxième lieu, cette variété enregistre le plus grand nombre de tubercules rentrant le plus petit ou le moyen calibre qui sont respectivement 1-5g et 5-30g.

2.1.2.2. Pourcentage du nombre des tubercules par plant et par traitement.

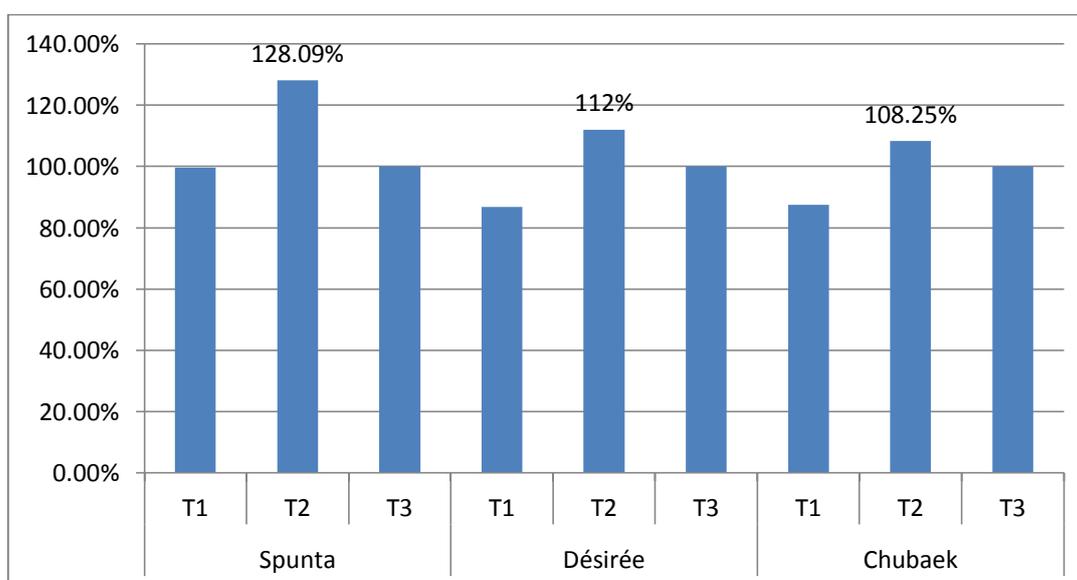


Figure n°25 : pourcentage de tubercules par plant en fonction de la variété et des traitements.

A partir de la figure ci-dessus nous remarquons une augmentation dans le nombre de tubercules au niveau du 2^{ème} traitement, et ce dans les trois variétés étudiées. Cette augmentation est constatée par un rendement additionnel exprimé par 28%, 12% et 08% correspondant respectivement à la variété Spunta, Désirée et Chubæk.

2.1.2.3. Rendement en poids des tubercules par plant

Tableau n°11 : Analyse de la variance du rendement en poids des tubercules en fonction de la variété, des traitements et du calibre.

Source de variance	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Variété	5559,281	2	2779,641	2,708	0,09568
Traitement	22300,78	2	11150,39	10,861	0,00111
Calibre	159359,6	3	53119,86	56,343	0,000
variété×traitement	1154,313	4	288,578	0,281	0,8856
Variété×calibre	118297,5	6	19716,24	20,913	0,000
traitement×calibre	8896,594	6	1482,766	1,573	0,17217
variété×traitement×calibre	9695,219	12	807,935	0,857	0,59421

L'analyse de la variance révèle qu'il y a des effets très hautement significatifs concernant les facteurs de traitement et de calibre et aussi concernant l'interaction (variété×calibre).

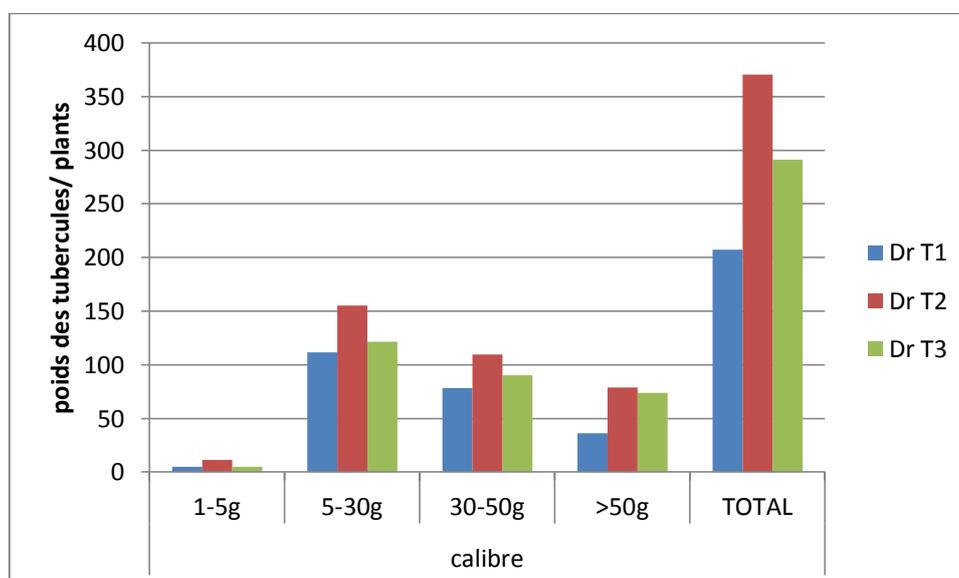


Figure n°26 : Poids moyen des tubercules par plant de la variété Désirée en fonction des traitements et du calibre.

La figure ci-dessus illustre chez la variété désirée un rendement du poids nettement plus élevé dans le 2^{ème} traitement pour l'ensemble des calibres. En outre, le poids total au 2^{ème} traitement enregistre 370g/plant comparé à 291g au 3^{ème} traitement qui est considéré comme témoin, faisant un écart de 79g/plant.

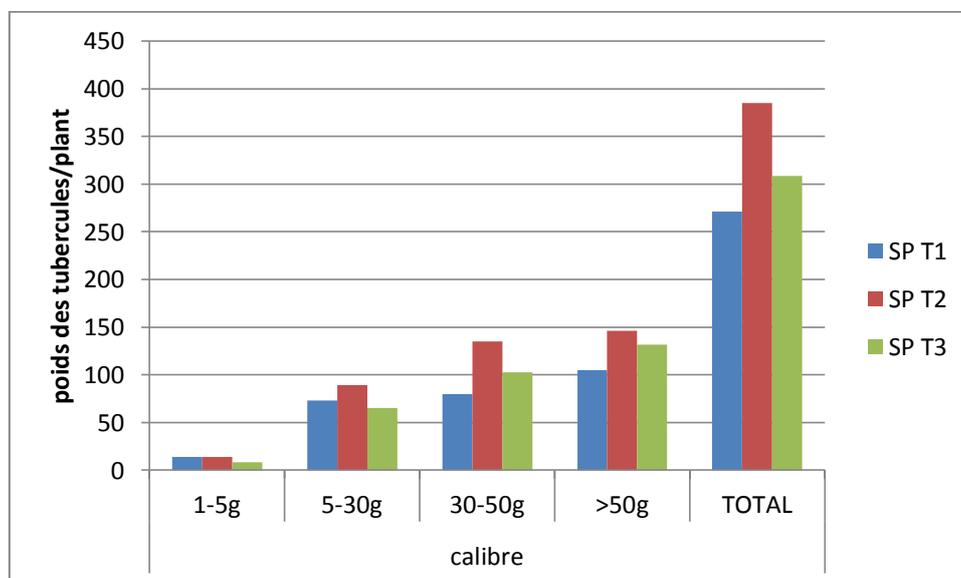


Figure n°27 : Poids moyen des tubercules par plant de la variété Spunta en fonction des traitements et du calibre.

Nous constatons qu'il y a un rendement en poids chez la variété Spunta plus élevé au 2^{ème} traitement à tous les calibres à l'exception du calibre 1-5g dans lequel il est à peine différent du 1^{er} traitement mais qui reste toujours supérieur au 3^{ème} traitement (témoin).

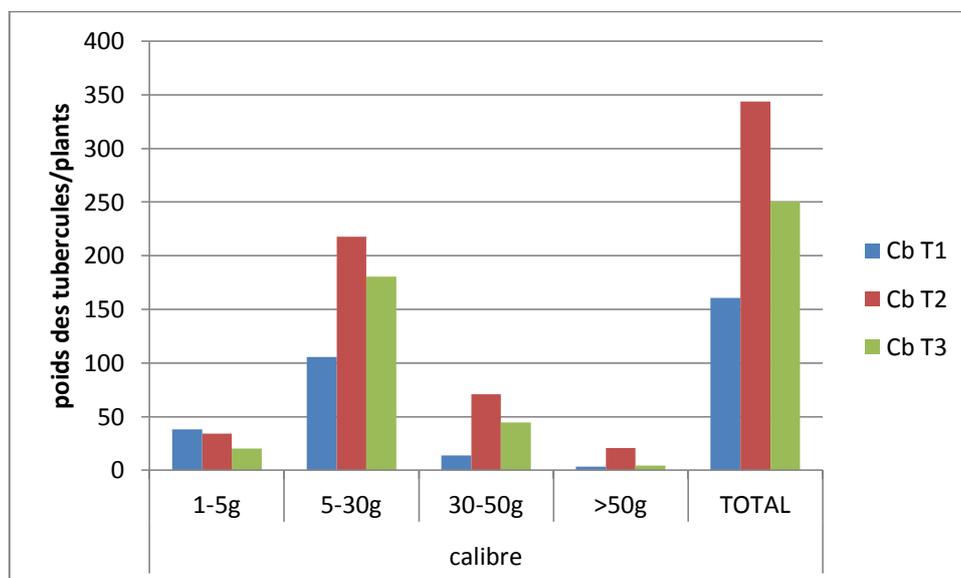


Figure n°28 : Poids moyen des tubercules par plant de la variété Chubaek en fonction des traitements et du calibre.

La figure ci-dessus montre un rendement en poids chez la variété Chubaek plus élevé au 2^{ème} traitement à tous les calibres à l'exception du calibre 1-5g dans lequel il est presque identique au 1^{er} traitement mais qui reste toujours supérieur au 3^{ème} traitement en tant que témoin.

2.1.2.4. Pourcentage du rendement en poids des tubercules par plant

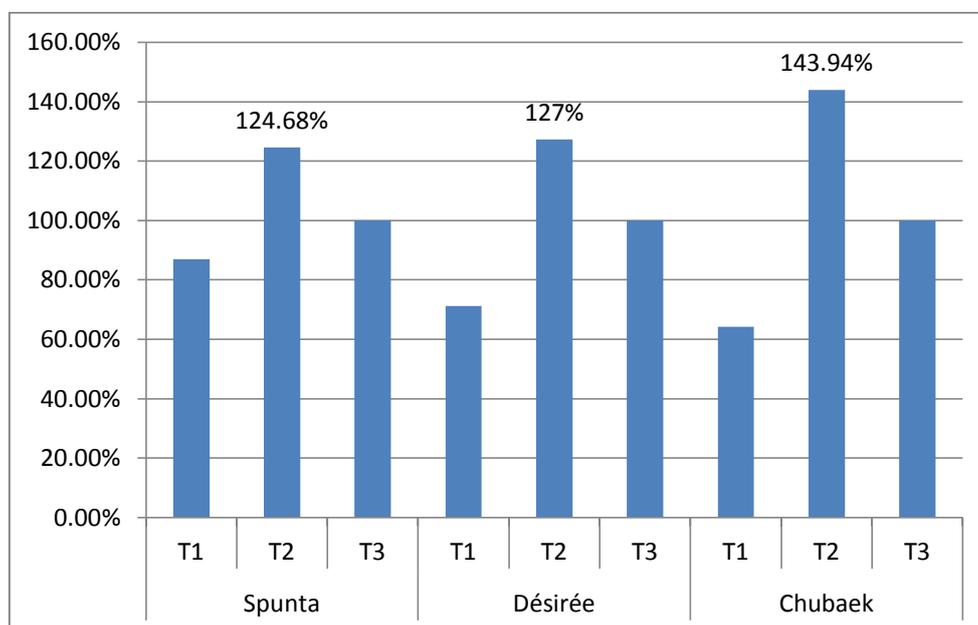


Figure n°29 : Le pourcentage du poids des tubercules par plant en fonction de la variété et des traitements.

Nous pouvons observer, à travers la présente figure, le poids des tubercules de toutes les variétés en fonction des trois traitements. Nous remarquons que les meilleures valeurs du paramètre poids se situent au niveau du 2^{ème} traitement, et ce dans les trois variétés étudiées. Cette augmentation est constatée par un rendement additionnel exprimé par 24%, 27% et 43% correspondant respectivement à la variété Spunta, Désirée et Chubaek.

2.2. Densité de plantation

2.2.1. Poids et hauteur des tiges en fonction de la densité de plantation

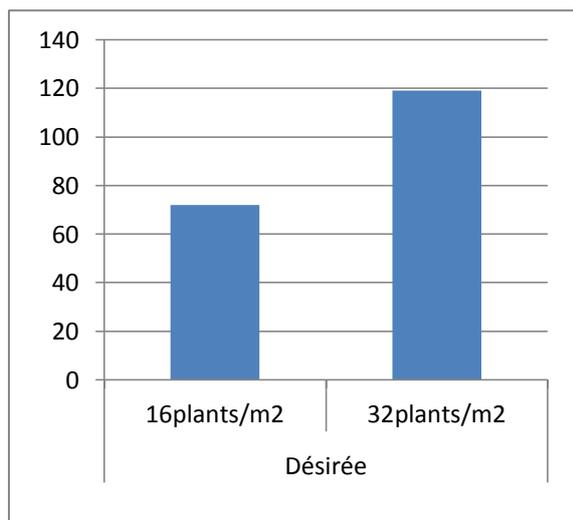


Figure n°30 : Hauteur des tiges.

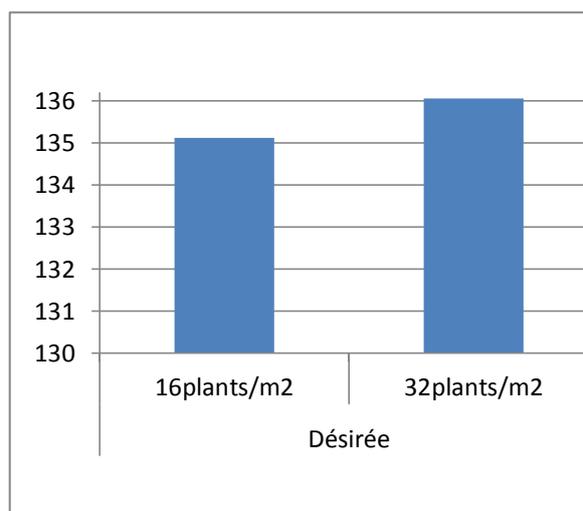


Figure n°31 : Poids des tiges par m².

Nous faisons remarquer la croissance végétative de la variété Désirée par rapport à deux densités de plantation qui sont réalisées comme suit : 16 plants/m² (densité A) et 32 plants/m² (densité B). Concernant le paramètre hauteur, nous observons que les tiges dans la densité B dépassent largement celui des tiges dans la densité A par un pourcentage de 65,56%. Par contre, le paramètre poids des tiges est presque identique dans les deux densités. Cela peut s'expliquer par le phénomène de concurrence extrême entre les plants causé par la grande densité de plantation. Car une grande densité de plantation crée plus d'ombre entre les plants qui développent leur partie aérienne de plus en plus à la recherche de la lumière.

2.2.2. Nombre de tubercules par m²

Tableau°12 : Analyse de la variance du nombre de tubercules en fonction des traitements et du calibre.

Source de variance	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	Signification (P)
Traitement	16,322	1	16,322	7,221	0,0305
Calibre	150,186	3	50,062	22,149	0,00082
Traitement × calibre	19,06	3	6,353	2,811	0,11723

L'analyse de variance nous montre un effet significatif qui concerne le facteur calibre; et un effet hautement significatif sur le traitement. En dernier, il y a un effet non significatif enregistré sur l'interaction entre les deux facteurs (Traitement×calibre).

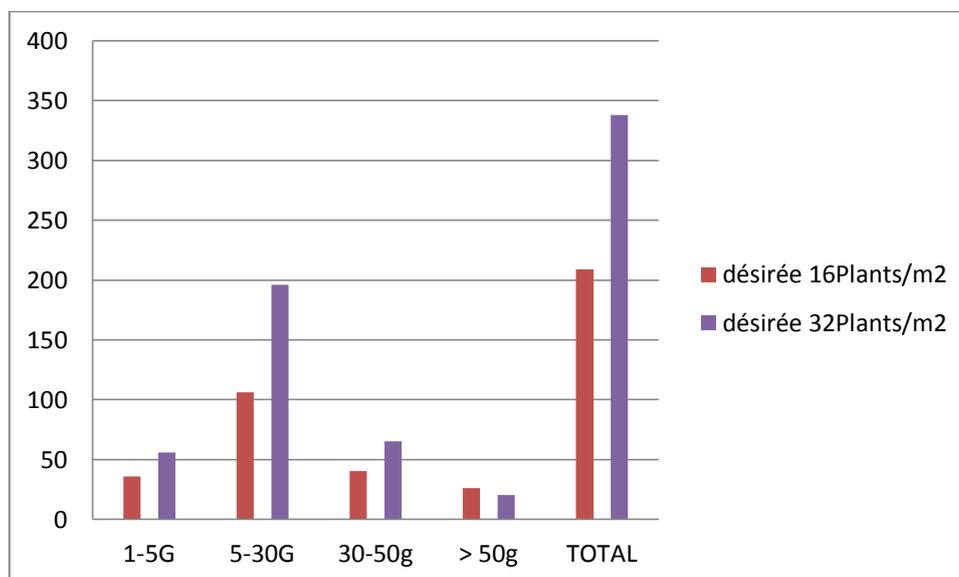


Figure n°32 : Nombre des tubercules par m² de la variété Désirée en fonction des traitements et du calibre.

Nous constatons que le nombre de tubercules dans la densité B est supérieur à celui de la densité A. Cela est constaté sur le total et sur l'ensemble des différents calibres des tubercules à l'exception du calibre > 50g. Nous notons que le calibre de 5 à 30g a enregistré le meilleur rendement. Il est recommandé que cette densité soit appliquée pour les semences de la G₀.

2.2.3. Poids des tubercules par m²

Tableau n°13 : Analyse de la variance du poids des tubercules en fonction des traitements et du calibre.

Source de variance	Somme des carrés	DDL	Moyenne des carrés	F	Signification (P)
Traitement	3829,449	1	3829,449	2,354	0,16673
Calibre	39645,41	3	13215,14	8,125	0,01164
Traitement × calibre	6986,984	3	2328,995	1,432	0,31241

L'analyse de la variance illustre qu'il n'y a pas d'effet significatif ni du facteur traitement ni de l'interaction entre les deux facteurs (Traitement × calibre) ; par contre un effet hautement significatif a été signalé pour le facteur calibre.

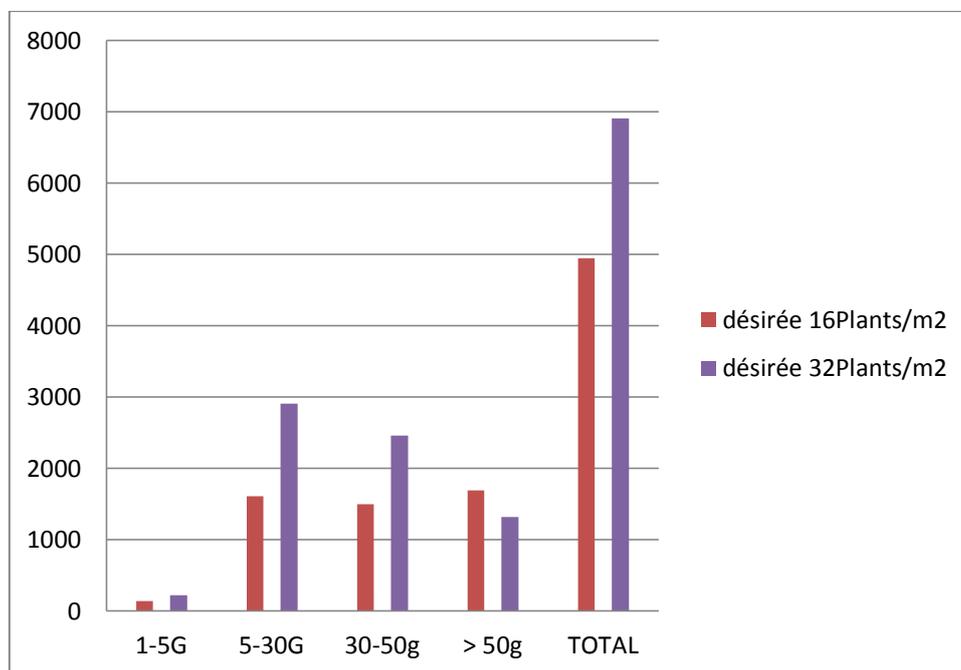


Figure n°33 : Poids des tubercules par m² de la variété Désirée en fonction des traitements et du calibre.

La figure ci-dessus illustre le poids des tubercules qui enregistre une nette différence entre les densités A et B en affichant des valeurs supérieures sur la dernière densité. Nous remarquons, aussi, que le poids des tubercules du calibre de 5 à 30g est presque le double dans la densité B par rapport à la densité A.

2.2.4. Pourcentage d'augmentation du rendement en nombre et en poids des tubercules par m²

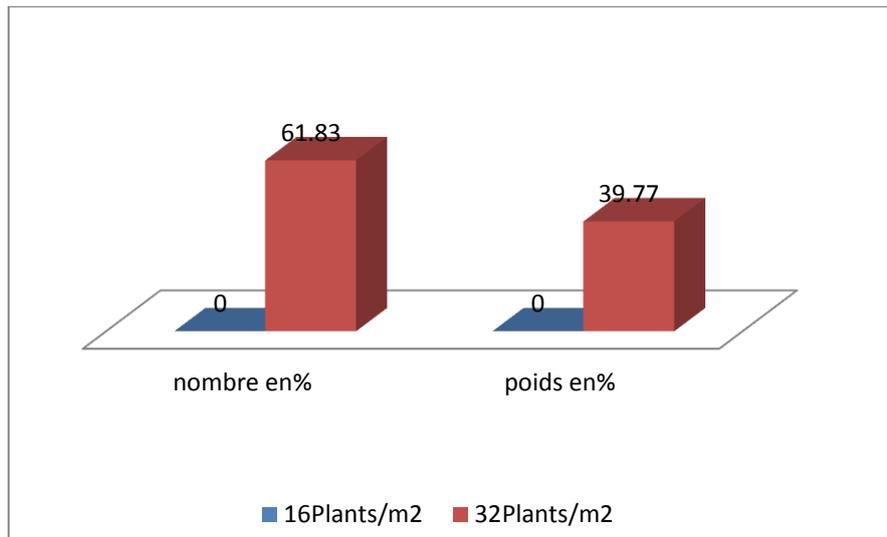


Figure n°34 : Pourcentage d'augmentation du rendement en nombre et en poids des tubercules par m².

Nous remarquons que les pourcentages de rendement enregistrés sur la densité B sont nettement supérieurs; cela est visible sur les deux composantes à savoir le nombre et le poids des tubercules. Il est clair qu'une densité de 32 plants/m² permet d'atteindre un rendement plus intéressant qu'une densité de 16 plants/m².

2.3. Discussion générale

A la lumière des essais qui ont été menés au laboratoire de production de semences de pomme de terre, nous avons tenté de tester et d'observer les différents comportements de trois variétés de pomme de terre à savoir : Désirée, Spunta et Chubaek. Nous avons effectué sur ces dernières trois traitements correspondant à trois différentes récoltes fixées à : 80j, 80 et 100j et à 100j. Après la collecte des diverses données, nous sommes arrivés aux constatations suivantes :

2.3.1. Récolte échelonnée

2.3.1.1. Hauteur et masse végétative des tiges

a. L'analyse de variance et les différentes données recueillies nous ont permis de constater que chaque variété a eu presque les mêmes hauteurs de tiges quel que soit le type de récolte appliqué. Cependant, nous trouvons que cette hauteur est nettement différente d'une variété à une autre ; ce constat est, aussi, confirmé par Zebar (2012). Nous considérons que l'élongation la plus importante est celle de la variété Désirée avec une moyenne de (73 cm), suivi de Chubaek (68 cm) et en dernier Spunta avec (44 cm).

b. Nous avons constaté un impact direct des traitements sur la masse végétative dans les trois variétés. Nous notons que le 1^{er} traitement a eu la plus grande masse végétative exprimé comme suit : Désirée (145g), Chubaek (127g) et Spunta (108g). Donc, il convient de dire que nous sommes arrivés à ce résultat puisque le 1^{er} traitement a été effectué à 80j là où la plante est encore jeune et le reste des traitements ont été appliqués au commencement du stade de sénescences des plantes.

2.3.1.2. Rendement en nombre et en poids des tubercules

a. L'interprétation des données concernant le rendement en nombre des tubercules, nous permettent de constater des valeurs autant importantes que variables en fonction de la variété, du traitement et du calibre des tubercules :

- Pour le paramètre variété, la variété Chubaek a atteint les plus grands nombres de tubercules dans tous les traitements par rapport aux deux autres variétés.
- Pour le paramètre calibre, nous avons remarqué que le calibre 5-30g est celui qui a enregistré le plus grands nombre de tubercules, et ce, dans toutes les variétés.

- Pour le paramètre traitement, nous notons que le 2^{ème} traitement (récolte échelonnée à 80 et à 100j) enregistre toujours le meilleur nombre de tubercules dans toutes les variétés, à savoir par ordre croissant : Désirée (15 tubercules/plant), Spunta (17 tubercules/plant) et Chubaek (33 tubercules/plant). Ce résultat est semblable à celui réalisé par Lommen et Struik (1992). Ils expliquent que le fait d'enlever les grands tubercules dominants provoque l'initiation de nouveaux tubercules et le développement de ceux déjà existants. En plus, Farran et Mingo-Castel (2006) a rapporté que la production de tubercules entre les récoltes successifs a augmenté au cours du développement.

Ces constatations nous aident à comprendre que le meilleur rendement atteint en nombre de tubercules a été réalisé au niveau de la récolte échelonnée (le 2^{ème} traitement). Donc, nous arrivons, sur la base de ces données, aux pourcentages d'augmentation du rendement en nombres de tubercules par variété comme suit : Spunta 28%, Désirée 12% et Chubaek 08% sachant que le 3^{ème} traitement en tant que témoin à l'expérimentation est considéré à un pourcentage de 100%.



Figure n°35 : Tubercules des variétés étudiées Spunta, Désirée et Chubaek.

b. Les résultats obtenus concernant le poids des tubercules par plant nous aident à souligner les conclusions suivantes :

- La moyenne du total des poids accumulés sur les trois traitements classe la variété Spunta comme meilleure variété avec un poids de (384,83g), puis Désirée (370,52g) et en fin Chubaek (343,94g).
- Les calibres supérieurs entre 30-50g et >50g sont ceux qui ont enregistré le poids le plus important chez les variétés Spunta et Désirée pour un pourcentage par addition

des deux calibres estimé à 90% chez Spunta et 69% chez Désirée. Ces résultats sont confirmés par Ritter et al. (2001) qui pensent que la récolte dans l'aéroponie est pratique, propre et permet de contrôler les calibres supérieurs des mini-tubercules par une récolte échelonnée. Par ailleurs, Hertog et al. (2004) affirment que les tubercules arrivant à un stade physiologique mûr permettent d'obtenir un meilleur rendement de semences de pomme de terre en G1. C'est le cas de la variété Spunta qui a enregistré le plus grand pourcentage des gros calibres.

Cependant, les meilleures valeurs sont enregistrées sur le calibre 5-30g dans la variété Chubaek a un pourcentage de 91% qui est communément reconnue comme la variété qui produit des petits calibres. Dans le système aéroponique les minitubercules peuvent être récoltés à tout calibre à partir de 5-30g grâce à la fertirrigation qui est appliquée sur les racines permettant à la plante de se développer sans interrompre son cycle végétatif jusqu'à 180 jours (CIP 2010).

En plus, nous faisons remarquer que les pourcentages d'augmentation du rendement en poids par plant sont ceux du 2^{ème} traitement dans toutes les variétés : Spunta 24,68%, Désirée 27%, Chubaek 43,94%.

2.3.2. Densité de plantation

La densité de plantation est basée sur la comparaison, à travers un certain nombre de paramètres, entre une plantation en 16 plants/m² (densité A) avec une autre doublée en 32 plants/m² (densité B) qui sont pratiquées sur la variété Désirée. Les facteurs ou paramètres étudiés sont interprétés ci-après :

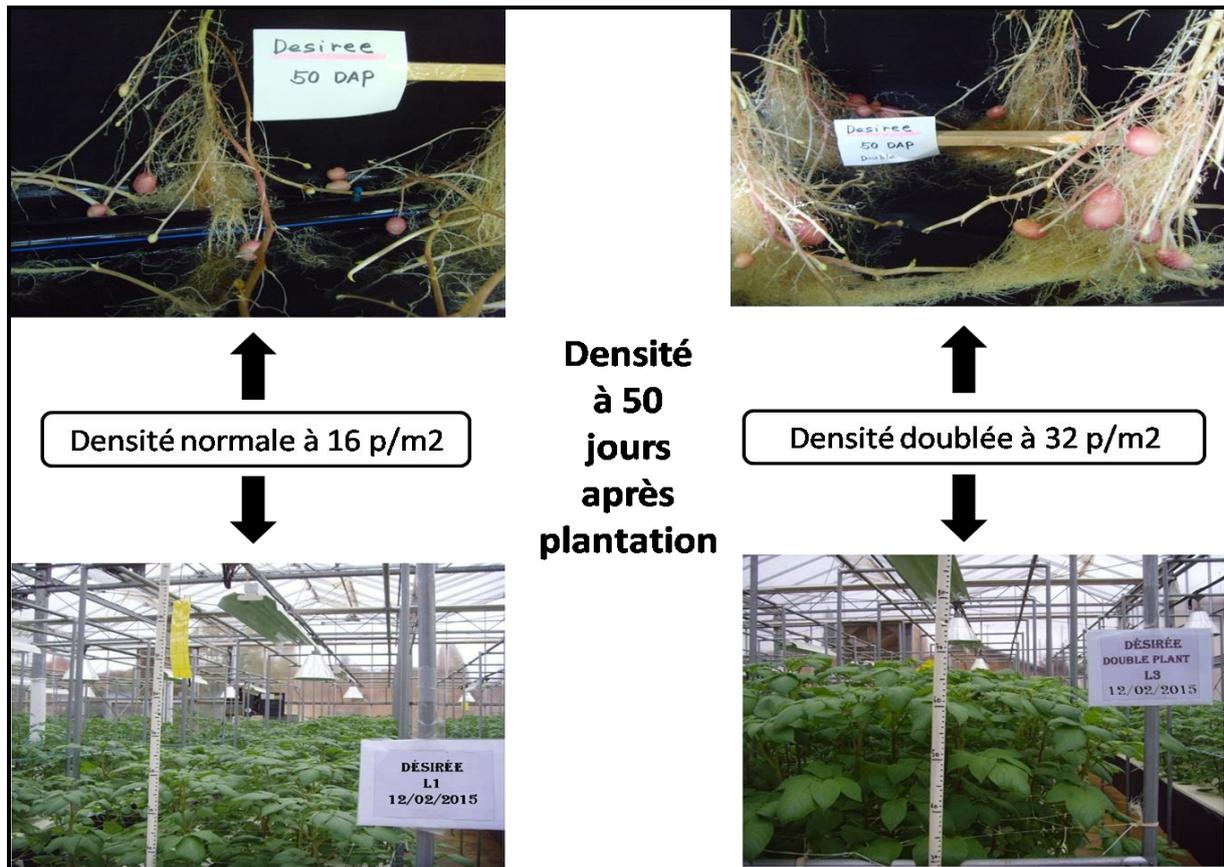


Figure n°36 : Densité à 50 jours après plantation.

a. Poids et hauteur des tiges par plant

Concernant le facteur hauteur des tiges, les plants dans la densité B (celle de 32 plants/m²) ont doublé en taille ceux dans la densité A, avec précisément un pourcentage de 65.56% de plus. Par contre, le poids des tiges est presque identique dans les deux cas. Il nous semble qu'une grande densité de plantation provoque plus d'ombre autour des plants qui rentrent dans une concurrence d'élongation en hauteur tout en ayant le même poids avec une densité de plantation moindre. Struik et Lommen (1990) a constaté des différences extrêmes sur les paramètres mesurés surtout concernant la hauteur des tiges, en pratiquant une densité de plantation très élevée.

b. Nombre et poids des tubercules par m²

La densité de plantation B a eu le plus grand nombre de tubercules atteignant presque le double de ce qui a été enregistré dans la densité A. Cela est aussi le cas pour tous les calibres à l'exception de celui > 50g. Dans le même sens, Georgakis et al. (1997) ont déclaré que les densités de plantation supérieures affectent à la fois le nombre et le poids des tubercules donnant ainsi un rendement toujours plus élevé par m².

Dans la présente étude, nous pensons que les résultats obtenus sont la conséquence de la concurrence des plants dans une grande densité plantation qui développement plus de tiges, plus de tubercules mais n'arrivent pas à produire de grands calibres avant d'atteindre le stade de sénescence.

c. Pourcentage d'augmentation du rendement en nombre et en poids des tubercules par m²

En croissant les données antérieures nous obtenons un rendement en nombre et en poids des tubercules par m² qui montre que la densité de plantation B a une augmentation respective de 61,83% et de 39,77%. Ce qui confirme l'idée qu'une densité de plantation doublée peut atteindre un rendement de tubercules presque au double du témoin.

Conclusion et perspectives

Conclusion

L'importance des recherches menées dans le cadre des biotechnologies n'est plus à démontrer et ce à l'échelle mondiale. Le besoin d'assurer une autosuffisance alimentaire se fait de plus en plus urgent. Actuellement et au niveau national, la pomme de terre est devenue un aliment stratégique qui a toute les attentions des autorités. La production de semences de pomme de terre constitue un maillon clé de la production de cette culture en Algérie. Cette activité garantit la qualité phytosanitaire des tubercules et la rentabilité de toute la filière.

La création du laboratoire de production et d'amélioration des semences de la pomme de terre est un établissement de recherche qui favorise le transfère technologique entre la Corée du Sud et l'Algérie. Donc, il nous paraît primordial de mettre en œuvre une collaboration efficace entre les diverses structures publiques, privées et universitaires au niveau national. Cela dans l'objectif de garantir la diffusion de ce savoir-faire technologique qui peut éventuellement aider à minimiser ou même à stopper l'importation coûteuse des semences de pomme de terre.

Notre étude rentre dans une préoccupation commune qui est celle d'arriver à fournir aux agriculteurs algériens, une semence de pomme de terre de bonne qualité, rentable et financièrement accessible puisque produite localement.

Le présent travail réalisé au niveau du laboratoire de production et d'amélioration des semences de pomme de terre, nous a permis de tester les effets de la récolte échelonnée et de la densité de plantation sur la production de mini-tubercules de pomme de terre. Les résultats auxquels nous sommes arrivés sont comme suit :

La récolte échelonnée donne un maximum de tubercules d'un calibre supérieur de 30-50g et >50g, nous avons obtenu jusqu'à :

- 17 tubercules en moyenne par plant et un poids de 384g/plant chez la variété Spunta.
- 15 tubercules en moyenne par plant et un poids de 370,5g/plant chez la variété Désirée.
- Les résultats sont plus intéressants encore chez la variété Chubaek qui a produit jusqu'à 33/plant avec un poids de 343,9g/plant.
- Les pourcentages d'augmentation de production en nombre de tubercules sont de l'ordre de : 28% Spunta, 12% Désirée et 08% Chubaek. Par ailleurs, les résultats du poids sont d'autant plus importants particulièrement la variété Chubaek avec un gain de 43%, suivie de désirée avec 27% et Spunta avec 24%.

A propos de la densité de plantation :

L'adaptation de la variété Désirée à une densité de plantation élevée permet des gains de productivité supplémentaires estimés à :

- En nombre 337 tubercules/m² pour un pourcentage de 61,8%.
- En poids 6,904kg/m² pour un pourcentage de 39,7%.

Les données recueillies nous permettent de dire que la densité de plantation est favorable à la production de tubercules d'un calibre compris entre 5 et 30g avec un pourcentage de 57,45% par rapport à d'autres calibres.

La présente étude n'est qu'une ébauche dans le domaine d'amélioration des rendements des semences de pomme de terre.

Perspectives de recherche

L'amélioration végétale comme domaine de recherche, nous semble très intéressante dans la mesure où elle nous permet de tester, de manipuler et d'améliorer tout matériel végétal en vue d'en ressortir le meilleur possible. La production et l'amélioration de semence de pomme de terre rentre dans cette optique de recherche ainsi que l'étude que nous avons amorcée. Et à partir des résultats encourageant que nous avons obtenus, nous pensons que le présent travail doit être complété par de nouvelles pistes de recherche ; nous en citerons quelques unes :

- ✓ Elargir la taille de l'échantillonnage sur d'autres variétés
- ✓ Combiner la récolte échelonnée avec une densité de plantation élevée en vue de maximiser la production en nombre de tubercules de grands calibres.
- ✓ Etudier les effets de diverses doses de calcium et d'azote sur le rendement de mini-tubercules.
- ✓ Créer des variétés algériennes – par l'hybridation entre les variétés – adaptées à nos conditions édapho-climatiques.
- ✓ Etudier les effets d'une température élevée (45C°) et une basse température (0C°) sur le rendement des minitubercules en système aéroponique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Alain, V. (2003)**. Fondements et principes du hors- sol. Guide Pratique 10 : 1-10
- Arvalis. (2004)**. Principaux ravageur de la pomme de terre, 264
- Blanc, D. (Éditeur). (1987)**. Les cultures hors sol. INRA, Paris (FRA). p. 10-147.
- Bamouh H. (1999)**. Technique de production la culture de pomme de terre, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, N° 58, PP1-15
- Bernhards U., (1998)**. La pomme de terre *Solanum tuberosum L.* Monographie. Institut National Agronomique Paris – Grignon.
- Morard, P. (1995)**. Les cultures végétales hors sol. Publications agricoles Agen. p. 123-153.
- Biddinger, E.J., C.M. Liu, R.J. Joly & K.G. Raghothama, (1998)**. Physiological and molecular responses of aeroponically grown tomato plants to phosphorus deficiency. Journal of the American Society for Horticultural Science 123: 330–333.
- Burrage, S.W., (1999)**. The nutrient film technique (NFT) for crop production in the Mediterranean region. Acta Hort., 486: 301-305.
- CIP. (1979)**. La pomme de terre maladies et nématodes, Ed EL-OUAFK, PP. 60-64
- CIP. (1987)**. La pomme de terre bultin d'information technique. P 37.
- CIP. (2008)**. International Potato Centre. Quality Seed Potato Production Using Aeroponics. Lima, Peru.
- CIP. (2008)**. L'Odyssée de la Pomme de Terre.
- Chantal Charonat et Sylvie Deblay. (2013)**. Croissance et développement des plantes cultivées.
- Chiipanthenga M, Maliro M, Demo P, Njoloma J. (2012)**. Potential of aeroponics system in the production of quality potato (*Solanum tuberosum L.*) seed in developing countries. African Journal of Biotechnology Vol. 11(17), pp. 3993-3999.
- Chehat M. (2008)**. la filière pomme de terre algérienne : une situation précaire. Journée d'étude sur la filiere pomme de terre situation actuelle et perspective .INA El Harrach,le 18.06.2008
- Chibane A. (1999)**. Technique de production de la pomme de terre au Maroc. Bull. Mens; MADRPM/DERD n°52, Inst. Agro. Hassan II ; Rabat. Maroc, p 8.
- Cooper, A.J., (1979)**. ABC of NFT. Grower Books, England. p148.
- Correa RM, Pinto JE, Faquin V, Pinto CABP, Reis ES (2009)**. The production of seed potatoes by hydroponic methods in Brazil. In:Fruit vegetable and cereal sci and biotechnol. Global sci. books. 3(1): 133-139.

- Dalton, F. N.; Maggio, A. & Piccinni, G. (1997).** Effect of Root Temperature on Plant Response Functions for Tomato: Comparison of Static and Dynamic Salinity Stress Indices. *Plant and Soil*, Vol. 192, No.2, (May 1997), pp. 307-319,
- Delaplace P. (2007).** Caractérisation physiologique et biochimique du processus de vieillissement du tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). Thèse de doctorat. Académie universitaire WALLONIE-Europe. Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux. p 171.
- Ellis, C. and M. W. Swaney. (1947).** Soilless growth of plants. Edition: 2d ed. rev. and eng Publication info New York : Reinhold, Held by Central. pp 277.
- Farran, I, Mingo-Castel AM. (2006).** Potato Minituber Production Using Aeroponics: Effect of Plant Density and Harvesting Intervals. *American Journal of Potato Research* 83:47-53.
- FAO. (2008).** The International Year of Potato. The Global Crop Diversity Trust and FAO's Plant Production and Protection Division. Rome, Italy. www.potato2008.org
- FAOSTAT (2015) :** statistiques agricoles. <http://faostat3.fao.org/download/M/MK/F>.
- Fortney, W.R.D. and T.K. Wolf. (1981).** Determining nutritional status, plant analysis. Penn. Flo. Gro. bull.331,1,5-11.
- Gauthier J., (1991).** Notions d'agriculture; le sol, les cultures, les élevages, l'économie et la gestion. Ed. Tech, Doc. Lavoisier, Paris, p 575.
- Georgakis DN, Karafyllidis DI, Stavropoulos NI, Nianiou EX, Vezyroglou IA. (1997).** Effect of planting density and size of potato seed-minitubers on the size of the produced potato seed tubers. *Acta Horticulturae*
- Gericke, W.F., (1937).** Hydroponics crop production in liquid culture. *Sci.*, 85: 177-78.
- Graves, C.J. (1983).** The Nutrient film technique. In Janick J, ed. *Horticultural Reviews* Vol. 5. No.1 pp. 1 – 44.
- Hawkes J.G. (1990).** The potato, Evolution, biodiversity and genetic resources. London, Belhaven Press. p. 259.
- Hertog, M., Ben-Arie R, Roth E, Nicolai BM. (2004).** Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures. *Postharvest Biology and Technology* 33: 19-91.
- Hidaka, K.; Kitano, M.; Sago, Y.; Yasutake, D.; Miyauchi, K.; Affan, M. F. F.; Ochi, M. & Imai, S. (2008).** Energy-Saving Temperature Control of Nutrient Solution in Soil-Less Culture Using an Underground Water Pipe. *Acta Horticulturae*, Vol.797. No.1, pp. 185-191,

- International Potato Centre (CIP) (2010)**. Press Available at Releases.cip-webmaster@cgiar.org. Lima, Peru.
- I.T.C.F., (1998)**. Maladies de la pomme de terre.
- ITCMI (2008)**. Culture de la pomme de terre, guide pratique. Ed. ITCMI, Alger, p 21.
- Jensen, M. H. et Collins., WL. (1985)**. de la production de légumes hydroponiques. Hort. Commentaires 7,
- Jensen, M. H. (1999)**. Hydroponics worldwide. Acta Horticulturae, 2.
- Johnson, H. B. (1975)**. Plant pubescence: An ecological perspective. Rev. 41 : 233–258.
- Johnson, H. (1975)**. Hydroponics : A Guide to Soilless Culture Systems. university of california, Berkeley,
- Kang, J.G., S.Y. Kim, H.J. Kim, Y.H. Om & J.K. Kim, (1996)**. Growth and tuberization of potato cultivars in aeroponic, deep flow technique and nutrient film technique culture systems. Journal of the Korean Society for Horticultural Science 37:24–27.
- Kim HS, Lee EM. Lee MA, Woo IS, Moon CS, Lee YB, Kim SY (1999)**. Production of high quality potato plantlets by autotrophic culture for aeroponic systems. J. Korean Soc. Hort. Sci. 123 :330-333.
- Laumonier R. (1979)**. Cultures légumières et maraichères. Tome 3. Haut feuille, Paris, p. 274.
- Lommen W J M., (1995)**. Basic studies on the production and performance of potato minitubers. PHD thesis, Agriculture University of Wageningen, The Netherlands.
- Lommen WJM, Struik PC. (1992)**. Production of potato minitubers by repeated harvesting: plant productivity and initiation, growth and resorption of tubers. Netherland Journal of Agricultural Science 40:342-359.
- Moule C., (1972)**. Plantes sarclées et déverses. J-B. Baillièere et fils, Editeurs. Paris. p.246.
- MADR (2010)**. statistiques agricoles.
- Méziane D. (1991)**. Histoire de la pomme de terre. Diététique n°25. p. 29.
- Mhadhbi, H.; Fotopoulos, V.; Mylona, P.V.; Jebara, M.; Aouani, M.E. & Polidoros, A.N.(2011)**. Antioxidant gene–enzyme responses in Medicago truncatula genotypes with different degree of sensitivity to salinity. Physiologia Plantarum, Greece 141: 201-214.
- Mhadhbi, H.(2012)**. Plant Hydroponic Cultivation:A Support for Biology Research in the Field of Plant-Microbe-Environment Interactions, In Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches, Dr.Toshiki Asao (Ed.), InTech Croatia 254: 105-110
- Naville, E.H. (1913)**. The Temple of Deir el-Bahari (Parts I–III), Vol. 16. London: Memoirs of the Egypt Exploration Fund. pp. 12–17.

- Nelson, P.V. (2003).** Greenhouse operation and management. 6ed. Prentice Hall. United States of America pp 219 260, 261.
- Oswaldo T. (2010).** Hommage à la pomme de terre. Heds. Haute école de santé Genève. Filière nutrition et diététique. p 11.
- Pelt J.M. (1993).** Des légumes. Librairie Arthème fayard Paris. p 231.
- Raviv, M. J. & L. Heinrich. (2008)** .soiless culture: Theory and Practice. Elsevier. USA 587 : 169-190.
- Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C. (1996).** La pomme de terre. Production, amélioration, ennemis et maladies. Ed. INRA. Paris. p 607.
- Rousselle P., Robert Y., Crosnier J C., (1996).** La pomme de terre – Production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations. 1 éd. Paris : INRA Editions. P278.
- Rousselle P., Rousselle B., Ellisseche D ., (1992).** La pomme de terre in Amélioration des espèces végétales cultivées .Gallais A , Bammerot H .1992.
- Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J.C. (1996).** La pomme de terre. Production, amélioration, ennemis et maladies. Ed. INRA. Paris. 607p.
- Resh, H (1997).** Hydroponic Food Production. Santa Barbara California:WoodbridgePress Publishing Company.
- Ritter, E. et ali. (2001).** Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers , Spain Vol. 44, pp 127-135
- Rolot J. L. et ali. (2002).** Production de minitubercules de pomme de terre par hydroponie : évaluation d'un système combinant les techniques "NFT" et "Gravel Culture" pour deux types de solutions nutritives. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol 6 (3), p158
- Sauyer R. (1972).** La pomme de terre, bulletins d'information technique de 1 à 19. Centre internationale de la pomme de terre (CIP). p 136.
- Silberbush M, Ben-Asher J. 2001.** Simulation study of nutrient uptake by plants from soiless cultures as affected by salinity buildup and transpiration. *Plant and Soil*, 233: 59–69
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross, editors. (1992).** *Plant Physiology*. 4th ed. Wadsworth Inc. p 682.
- Soltner D., (1979):** Les grandes productions végétales phytotechnie spéciale. 10^{ème}. Edition. p 427.
- Soltner D., (2005).** Les grandes productions végétales, phytotechnie spéciale-céréales-plantes sarclées-prairies .Collection Sciences et Techniques Agricoles 20^{ème} édition p 472.
- Samarakoon, U.C.; Weerasinghe, P. A. & Weerakkody, A. P. (2006).** Effect of Electrical Conductivity [EC] of the Nutrient Solution on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Leaf

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Stationary Culture. *Tropical Agricultural Research*, Vol.18, No. 1, pp. 13-21

-**Sonneveld, C. & Voogt, W. (2009)**. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*, Springer, New York, U.S.A.

-**Sonneveld C. (2000)**. Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. PhD Thesis, University of Wageningen, The Netherlands.

-**Sophie Jutier. (2006)**. La culture des pommes de terre.

-**Steiner, A.A. (1968)**. Soilless Culture, Proceedings of the IPI 1968 6th Colloquium of the International Potash Institute, pp: 324-341, Florence, Italy

-**Struik PC, Lommen WJM. (1990)**. Production, storage and use of micro- and minitubers. Abstracts of the 11th Triennial Conference of the European Association for Potato Research. Edinburgh, pp. 122-123.

-**Savvas D. (2002)**. Nutrient solution recycling in hydroponics. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (Savvas D; Passam H C, eds),. Embryo Publications, Athens, Greece. p. 299-343

-**Thorez, T.P. (2000)**. La pomme de terre. Paris. 191p.

-**Taiz, L. & Zeiger, E. (1998)**. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts, U.S.A.

-**Trejo-Téllez, L. I.; Gómez-Merino, F. C. & Alcántar G., G. (2007)**. Elementos Benéficos, In: *Nutrición de Cultivos*, G. Alcántar G & L. I. Trejo-Téllez, L. I. (Eds.), 50-91, Mundi-Prensa, México, D. F., México.

-**Urrestarazu, M. (2004)**. *Tratado de Cultivo sin Suelo*. Mundi-prensa, Madrid, España., p. 350-359

-**Van Os EA, Gieling ThH, Ruijs MNA. (2002)**. Equipment for hydroponic installations. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (Savvas D; Passam H C, eds), Embryo Publications, Athens, Greece. p. 103- 141.

-**Winsor, G .W. et al (1979)**. Film Technique éléments nutritifs. Bulletin de producteur 5. cultures sous serre Institut de recherche, Littlehampton, Angleterre.

Annexes

Annexes

Annexe 01 : pH, CE et la température de la solution nutritive en culture aéroponique

Date	Réservoir	pH	CE(ms)	température
2ème semaine février	1	8.31	1.63	8.5
	2	7.55	1.38	8.0
	3	8.18	1.61	8.0
3ème semaine février	1	8.12	1.51	11.6
	2	8.09	1.34	11.6
	3	7.93	1.61	11.1
1ère semaine mars	1	7.77	1.4	12.95
	2	7.87	1.23	12.4
	3	8.07	1.43	12.2
2ème semaine mars	1	8.05	1.45	12.76
	2	8.2	1.25	12.53
	3	8.07	1.40	12.06
3ème semaine mars	1	8.21	1.61	14.64
	2	8.27	1.48	14.2
	3	8.04	1.38	14
1ère semaine avril	1	8.26	2.17	16.62
	2	8.25	2.02	16.47
	3	8.27	2.04	15.82
2ème semaine avril	1	8,04	1,62	17,9
	2	8,01	1,65	17,9
	3	8,09	1,74	17,7
3ème semaine avril	1	8,24	2,21	18,3
	2	8,01	2,14	18,2
	3	8,09	2,9	17,8
1ère semaine mai	1	8,41	2,13	20,8
	2	8,31	2,11	20,7
	3	8,33	2,36	20,9
2ème semaine mai	1	8,35	2,26	21,4
	2	8,37	2,22	21,25
	3	8,38	2,53	21,2

Annexe 02 : Hauteur et poids des tiges en récolte échelonnée.

		Hauteur des tiges		
Traitement		Dr	Sp	Cb
T1	R1	82,8	43,1	45,3
	R2	85,1	42,6	60
	R3	87,4	40,6	71
MOY		85,1	42,1	58,7666667
T2	R1	57,4	36,05	62,1
	R2	69,1	53,9	72
	R3	74,75	45,75	97,6
MOY		67,0833333	45,2333333	77,2333333
T3	R1	66,2	37,4	57
	R2	78,65	56,5	60,5
	R3	64	42	87
MOY		69,6166667	42	68,1666667

		Poids des tiges		
Traitement		Dr	Sp	Cb
T1	R1	150,3	108	108,8
	R2	216,5	126,3	212
	R3	185,3	90,8	63
MOY		184,033333	108,366667	127,933333
T2	R1	58	64,25	67,5
	R2	77,3	137,3	84
	R3	123	49,5	119,6
MOY		86,1	83,6833333	90,3666667
T3	R1	81	59	65,8
	R2	145,8	116,5	57,5
	R3	119,7	44,3	121
MOY		115,5	73,2666667	81,4333333

Annexe 03 : Nombre des mini-tubercules en récolte échelonnée.

Variété	Traitement		calibre				TOTAL
			>50g	30-50g	5-30g	1-5g	
Dr	T1	R1	0,53	2,41	6,85	1,55	11,34
		R2	0,4	2,1	11,4	2,1	13,9
		R3	0,9	2	8,1	2,9	13,9
		MOY	0,61	2,17	8,783333333	2,183333333	13,0466667
	T2	R1	2	3,8	8	1,5	15,3
		R2	2,04	2,09	7,71	2,76	14,6
		R3	0,33	2,15	9,39	3,49	15,36
		MOY	2,02	2,68	8,366666667	2,583333333	15,0866667
	T3	R1	1	1,9	9	1,8	13,7
		R2	1,5	3,1	6,9	1,6	13,1
		R3	1	2,4	7,9	2,3	13,6
		MOY	1,166666667	2,466666667	7,933333333	1,9	13,4666667
SP	T1	R1	1,49	3,13	4,9	3,08	12,6
		R2	1,9	1,3	4,4	4,4	12
		R3	1,4	2	5,1	8,4	16,5
		MOY	1,596666667	2,143333333	4,8	5,293333333	13,7
	T2	R1	2,2	5,7	8,6	5,8	22,3
		R2	2,1	2,9	6,3	6	17,3
		R3	2,4	2	6	2,8	13,2
		MOY	2,233333333	3,533333333	6,966666667	4,866666667	17,6
	T3	R1	2,2	3,5	5,42	2,69	13,36
		R2	1,9	3,6	5,1	3	13,6
		R3	2,86	3,47	5,47	2,47	14,27
		MOY	2,32	3,523333333	5,33	2,72	13,74333333
Cb	T1	R1	0	0,16	9,5	21,16	30,82
		R2	0	0	5	21	26
		R3	0,16	0,97	13,92	8,25	23,3
		MOY	0,053333333	0,376666667	9,473333333	16,80333333	26,7066667
	T2	R1	0	1,33	13	22,33	36,66
		R2	0	0,5	14,5	19	34
		R3	1	2,1	20,4	5	28,5
		MOY	0,333333333	1,31	15,96666667	15,44333333	33,05333333
	T3	R1	0,3	0,8	17,9	11,4	30,4
		R2	0	2,4	22,3	6,5	31,2
		R3	0	2	28	0	30
		MOY	0,1	1,733333333	22,73333333	5,96666667	30,53333333

Annexe 04 : Poids des mini-tubercules de la récolte échelonnée.

Poids des tubercules							
Variété	Traitement		calibre				TOTAL
			>50g	30-50g	5-30g	1-5g	
Dr	T1	R1	30,66	85,29	83,09	5,51	204,55
		R2	25	76,4	132,3	3,5	167,2
		R3	52,5	73	118,8	5,8	250,1
		MOY		36,05333333	78,23	111,3966667	4,93666667
	T2	R1	127,3	142	116	5,3	390,6
		R2	90,8	87,86	222,05	16,91	470,91
		R3	18,38	99,63	127,93	12,13	250,07
		MOY		78,82666667	109,83	155,3266667	11,44666667
	T3	R1	66	69,5	138,8	4,8	279,1
		R2	99,3	114,5	107,1	6,4	327,3
		R3	57	87,5	118,8	4,3	267,6
		MOY		74,1	90,5	121,5666667	5,16666667
SP	T1	R1	90,8	118,75	63,59	9,92	283,06
		R2	136,3	48,3	77,3	10,6	272,5
		R3	87	71,8	77,8	21,8	258,4
		MOY		104,7	79,61666667	72,89666667	14,10666667
	T2	R1	139,1	218,6	92,8	15,9	466,4
		R2	131,5	110,5	95	17,3	354,3
		R3	168,5	76	80,8	8,5	333,8
		MOY		146,3666667	135,0333333	89,53333333	13,9
	T3	R1	146,69	111,39	65,06	8,82	331,96
		R2	130	98	57,3	8	293,3
		R3	119,11	98,89	73,87	8,82	300,71
		MOY		131,9333333	102,76	65,41	8,546666667
Cb	T1	R1	0	6,16	90	41	137,6
		R2	0	0	36,5	41,5	78
		R3	9,72	34,92	190,06	31,98	266,68
		MOY		3,24	13,69333333	105,52	38,16
	T2	R1	0	57,33	141,66	60,33	259,32
		R2	0	79,4	235,3	24,9	339,6
		R3	62,5	76,5	276,5	17,1	432,9
		MOY		20,83333333	71,07666667	217,82	34,11
	T3	R1	13,8	28	201,9	29,1	272,8
		R2	0	18,5	147,5	32,5	198,5
		R3	0	88	192	0	280
		MOY		4,6	44,83333333	180,4666667	20,53333333

Annexe 05 : Hauteur et poids des tiges des plants de la densité de plantation.

variété	hauteur et poids tige par plant			
	traitement	répétition	hauteur tige	poids tige
Désirée	T1	R1	71	113
		R2	72,75	157,25
	T2	R1	121,37	256,25
		R2	116,62	288

Annexe 06 : Nombre et poids des mini-tubercules de la densité de plantation.

La moyenne du nombre des tubercules par plant						
Variété	traitement	> 50g	30-50g	5-30g	1-5g	TOTAL
Désirée	16Plants/m2	1,62	2,53	6,65	2,24	13,05
	32Plants/m2	0,64	2,04	6,12	1,75	10,56

La moyenne du poids des tubercules par plant						
Variété	traitement	> 50g	30-50g	5-30g	1-5g	TOTAL
Désirée	16Plants/m2	105,47	93,2	100,39	8,71	308,75
	32Plants/m2	41,2	76,83	90,82	6,91	215,77

nombre des tubercules par m2						
Variété	traitement	1-5G	5-30G	30-50g	> 50g	TOTAL
Désirée	16Plants/m2	35,84	106,4	40,48	25,92	208,8
	32Plants/m2	56	195,84	65,28	20,48	337,92

poids des tubercules par m2						
Variété	traitement	1-5G	5-30G	30-50g	> 50g	TOTAL
Désirée	16Plants/m2	139,36	1606,24	1491,2	1687,5	4940
	32Plants/m2	221,12	2906,24	2458,56	1318,4	6904,64

Annexe n°07 : Initiation des tubercules.



Initiation des tubercules
(27 jours après la plantation)



Annexe n°08 : Le test ELISA.



1. Echantillonnage.
2. Dépôt du tampon d'extraction.
3. Dépôt des l'extrait végétatif.
4. Sensibilisation des microplaques avec un anticorps spécifiques
5. Dépôt du jus sur les microplaques sensibilisées.
6. Dépôt des anticorps conjugués à l'enzyme.
7. Dépôt du substrat (PNPP).
8. Le développement de la coloration (visuellement).
9. Lecture avec une machine à photomètre (405 nanomètre).

ملخص

تعتبر الزراعة المائية من أهم الطرق الحديثة في عملية إنتاج بذور البطاطا ما قبل القاعدية و لهذا قمنا بدراسة تقنية الجني على فترات إضافة إلى تقنية كثافة الزرع من أجل الوصول إلى أكبر مردودية ممكنة. بالنسبة للتقنية الأولى أستعملت 3 أصناف من البطاطا (سبونتأ، ديزيري، شيبك) لكل صنف ثلاث معالجات. المعالجة الأولى: الجني بعد 80 يوم من الزرع. المعالجة الثانية: جني الدرنات أكبر من 30 غ بعد 80 يوم ثم الجني الكلي بعد 100 يوم من الزرع. المعالجة الثالثة: الجني بعد 100 يوم من الزرع. بالنسبة للتقنية الثانية إستعملنا صنف واحد (ديزيري) مع نوعين من كثافة الغرس - كثافة الغرس ب 16 نبتة في المتر مربع (غراسة معتادة). - كثافة الغرس ب 32 نبتة في المتر مربع. في ما يخص الجني على فترات أظهرت النتائج أن المعالجة رقم 2 كانت أكثر مردودية بزيادة تقدر ب 28 % سبونتأ ، 12 % ديزيري ، 8% شيبك. فيما يخص التقنية الثانية أظهرت النتائج أن كثافة الغرس ب 32 نبتة كانت الأكثر مردودية بنسبة 61.8 % في العدد و ب 39.7 % في الوزن مقارنة بالغراسة المعتادة.

Résumé:

La culture aéroponique est considérée, actuellement, comme l'une des techniques les plus modernes dans la production des semences de pré-base de la pomme de terre. Dans ce sens, nous avons mis en œuvre une étude basée sur deux techniques, celles de la récolte échelonnée et la densité de plantation, dans le but d'atteindre le meilleur rendement possible.

Concernant le 1^{er} essai, nous avons travaillé sur trois variétés à savoir : Spunta, Désirée et Chubaek ; nous avons appliqué à chaque variété trois traitements comme suit :

- **Traitement 1** récolte à 80 jours ;
- **Traitement 2** récolte à 80 jours et 100 jours ;
- **Traitement 3** récolte à 100 jours.

A propos du 2^{ème} essai, nous avons utilisé deux densités de plantation sur une seule variété (Désirée) :

- Densité de plantation (usuelle) avec 16 plants/m².
- Densité de plantation doublée avec 32 plants/m².

Pour ce qui est de la récolte échelonnée, les résultats ont démontré que le 2^{ème} traitement a eu le meilleur rendement avec une production additionnelle estimé à 28% Spunta, 12% Désirée et 08 Chubaek.

Concernant la densité de plantation, les résultats obtenus montrent que le meilleur rendement est réalisé grâce à la densité en 32 plants par un pourcentage de 61,8% en nombre et par 39,7% en poids des tubercules.

Abstract:

Actually, aeroponic is considered as one of the most modern techniques in the pre-basic seed potato production. In this sense, we have implemented a study based on two techniques; one is harvesting intervals and plant density in order to achieve the best yield possible. Regarding the first test, we used three varieties: Spunta, Desiree and Chubaek; we applied to each variety three treatments as follows:

- **Harvest Treatment 1** to 80 days;
- **Treatment harvest 2** to 80 days and 100 days;
- **Treatment harvest 3** to 100 days.

About the second test, we used two planting densities for single variety (Desiree)

- Plant density normal with 16 plants / m².
- Double plant density with 32 plants / m².

In terms of the harvesting intervals, the results showed that the second treatment had the best performance with additional production estimated at 28% Spunta, Desiree 12% and 08 Chubaek.

For, the plant density, the results show that the best performance is achieved through the density of 32 plants by a percentage of 61.8% in number and 39.7% by weight of tubers.