

**Faculté des Sciences et de la Nature et de la Vie**  
**Département de Science Alimentaire.**  
**Filière : Science Alimentaire.**  
**Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire.**



**Réf:.....**

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

## **MASTER**

### *Thème*

**L'Agriculture Hydroponique pour La  
Sécurité Alimentaire Future**

Présenté par :

**Mehdaoui Nadir**

Soutenu le : **14 Juin 2022**

Devant le jury composé de :

Mr CHIKHOUNE Amirouche	MCA	Président
Mme. HAMRI Sabrina.	Professeur	Encadreur
Mme GUMEGHAR Hayette.	Professeur	Examineur

**Année universitaire : 2021 / 2022**

## *Sommaire*

Remerciement	
Dédicace	
Liste Abréviation	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Résumé	
Introduction.....	1
<i>Chapitre I</i>	
I- La sécurité alimentaire .....	3
1-Définition:.....	3
2- Les démentions de la sécurité alimentaire:.....	3
- La disponibilité alimentaire.....	4
- L'accès physique, social et économique.....	4
- L'utilisation .....	5
- La stabilité.....	5
3- Le régime alimentaire:.....	6
4- L'insécurité alimentaire.....	7
4-1 - Définition .....	7
4-2-Les types et les formes d'insécurité alimentaire .....	7
- L'insécurité alimentaire chronique : .....	7
- L'insécurité alimentaire transitoire .....	7
- L'insécurité alimentaire saisonnière: .....	8
4-3 L'ampleur de l'insécurité alimentaire dans le monde:.....	8
5. Le système alimentaire. ....	9
5-1-Les défis des systèmes alimentaire.....	10
5-2 Durabilité du système alimentaire. ....	10
5-3- Définitions des concepts liés à la durabilité alimentaire: .....	11
- Développement agricole durable. ....	11
- Régimes durables. ....	11
- Système alimentaire durable.....	11

## Chapitre II

II. Généralités sur l'Agriculture .....	12
1- Définition.....	12
2- Généralité sur l'agriculture et l'environnement .....	13
2.1- L'évolution de l'agriculture et sa gestion des ressources hydriques. ....	14
3- Croissance de la population urbaine et artificialisation des sols.....	15
4- Importance de l'agriculture pour la sécurité alimentaire: .....	15
4.1-Les facteurs qui risquent de mettre en péril la production agricole. ....	16
5- Diversification de l'agriculture.....	16
6- Le développement agricole:.....	17
6.1- Le développement agricole et ses liens avec la sécurité alimentaire et la nutrition. ....	17
7-L'incidence des changements climatiques sur la production alimentaire, la sécurité alimentaire et la nutrition.....	19
8- la production agricole devra augmenter, mais les hausses de rendement ralentissent....	20

## Chapitre III

III-Agriculture Hydroponique.....	22
1- Introduction.....	22
2- Historique de la culture hydroponique .....	22
3- La relation de la plante avec son milieu .....	24
4- Différents systèmes de la culture hydroponique .....	24
4-1 Système hydroponique actifs et passifs : .....	24
a) Un système hydroponique passif.....	24
b) Un système hydroponique actif .....	25
4-2 . les systèmes hydroponiques avec et sans substrat .....	25
4-2-1. Systèmes sans substrat (liquide de culture) .....	25
5. Exigences de la culture hydroponique :.....	31
5.1. Les substrats :.....	31
A) L'origine organique : .....	32
<input type="checkbox"/> Tourbe.....	32
<input type="checkbox"/> Fibre de coco :.....	32
<input type="checkbox"/> Sphaigne : .....	32
B) L'origine minérale: .....	32

□ Graviers : .....	32
□ La vermiculite : .....	32
□ La perlite : .....	32
□ Les billes d'argile : .....	32
5-2. La solution nutritive .....	33
A). Besoins en éléments nutritifs : .....	34
B). Gestion de la solution nutritive : .....	34
6. Espèces cultivées en hors-sol : .....	35
6-1. Cultures légumes sous serres : .....	35
□ La tomate .....	35
□ Le concombre, l'aubergine, le poivron .....	35
□ La laitue: .....	35
□ Le fraisier: .....	35
6-2. Les cultures florales : .....	35
6-3. Arbres fruitiers nains : .....	35
7- Avantage et inconvénient de l'agriculture Hydroponique: .....	36
A) Les Avantages: .....	36
b) Les inconvénients .....	41
8- Rendement dans des systèmes hors-sol et des systèmes en pleine terre conventionnels. ....	43
Conclusion.....	45

## Références Bibliographiques

A decorative border featuring green vines, leaves, and butterflies. A large blue butterfly is prominent at the top right, and several smaller butterflies are scattered throughout. The border frames the central text.

# *Remerciements*

*Notre remerciement s'adresse en premier lieu à Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donnée durant toutes ces longues années.*

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre **Encadreur**  
**Professeur HAMRI Sabrina***

*qui nous a apporté une aide précieuse. Nous lui exprimons notre gratitude pour sa grande disponibilité ainsi que pour sa compréhension et les encouragements qu'il nous a apportés...*

*Nos remerciements vont aussi à tous nos enseignants  
qui ont contribué à notre formation et à tous les membres du  
Jury qui ont accepté de juger notre travail.*

*Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à  
Tous nos amis et collègues **ABDELLAH, DJAMEL. KACI...** pour le soutien moral et l'aide  
durant la réalisation...*

*A tous les gens que j'aime.*

A decorative ribbon with a green border, featuring a pink flower and a white flower. The ribbon is part of the overall floral and butterfly theme.

**Remerciement**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma femme AINI et mes chers enfants Younes, Youcef et Youva*

*À mes superbes parents que dieu les garde*

*Mes chers frères.*

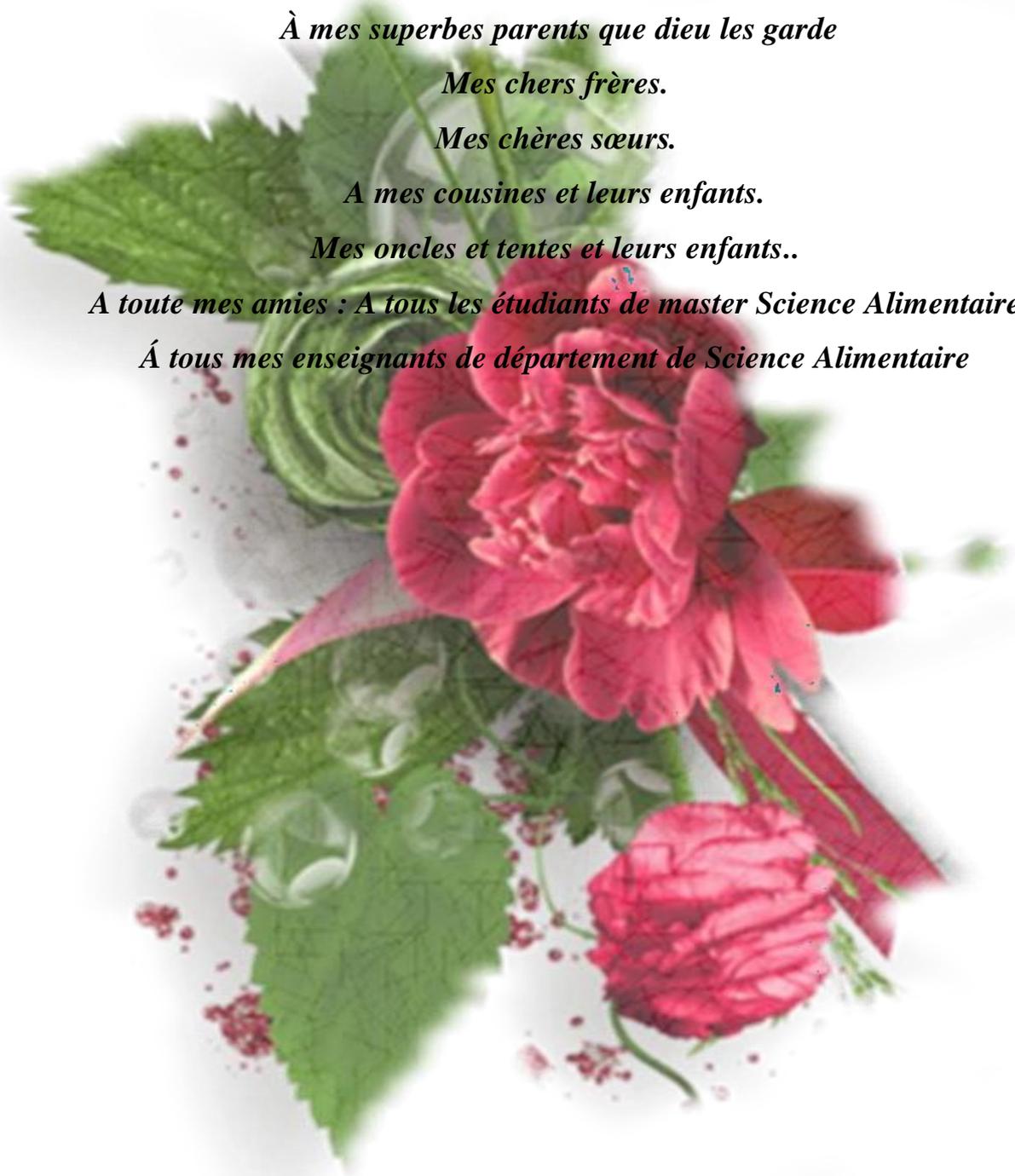
*Mes chères sœurs.*

*A mes cousines et leurs enfants.*

*Mes oncles et tentes et leurs enfants..*

*A toute mes amies : A tous les étudiants de master Science Alimentaire*

*À tous mes enseignants de département de Science Alimentaire*



## LISTE DES ABREVIATIONS

Ca	Calcium
CE	Conductivité Electrique
CELSS	Controlled Ecological life-Support system
CSA	Climat Smart Agriculture
DAES	Département des affaires économiques et sociales
DS	Décisiemens
EC	Enzyme de Commission
FAO	Food and Agriculture Organization
FIDA	Fonds International de Développement Agricole
GES	Gaz à Effet de Serre
G.M.T	Groupe de Travail Mixte
HLPE	High Level Panel of Expert
I.T.C.M.I	L'Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles
K	Potassium
KG	kilogramme
M	mètre
Mg	Magnésium
N	Azote
NASA	L'Administration Nationale de l'Aéronautique et de l'Espace
NFT	Nutrient Film Technique
O.C.D.E	Organisation de coopération et de développement économiques
ODD	Objectifs de Développement Durable
OMS	L'Organisation Mondiale de la Santé

ONU	Organisation des Nations Unies
P	Phosphore
PH	Potentiel d'hydrogène
PIB	Produit Intérieur Brut
S	Soufre
SFS	Sustainable Food System
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture.

## LISTE DES FIGURES

N°	Titres	Pages
01.	La diversification de régime alimentaire 2000-2050	6
02.	Degré d'insécurité alimentaire	8
03.	Le système alimentaire selon la FAO ( <a href="http://www.fao.org/3/w0078f/w0078f06.htm">http://www.fao.org/3/w0078f/w0078f06.htm</a> )	9
04.	Le jardin suspendu du Babylone	23
05.	Système hydroponique passif Source	24
06.	Système hydroponique actif Source	25
07.	Système aquiculture	26
08.	Système NFT Source	27
09.	Exemple de la technique aéroponique	28
10	Système de table à marées (Flux-reflux)	29
11	Système de goutte à goutte Système de table à marées (Flux-reflux)	30
12	Exemple de la technique de l'aquaponie .	31
13	Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique.	33
14	En moyenne sur 2 ans, production de melons cultivés sur trois substrats différents (perlite, laine minérale et sable) ou dans un système en pleine terre conventionne).	39

## **LISTE DES TABLEAUX**

N°	Titres	Pages
01	Augmentation de La production agricole nécessaire pour faire face a la demande, 2005/2007-2050 (Pourcentage)	21
02	Comparaison des rendements dans les systèmes hydroponiques (culture sur substrats) et des rendements agricoles moyens obtenus en pleine terre (basée sur Singh et Singh(2012))	43

## Résumé

La sécurité alimentaire devient un enjeu mondial de plus en plus important. Des facteurs tels que la croissance démographique, le changement climatique, l'urbanisation et l'industrialisation rapides ont mis à rude épreuve des ressources limitées telles que la terre et l'eau. Par conséquent, face à la menace imminente de la sécurité alimentaire, le monde ne peut plus compter sur les méthodes traditionnelles pour répondre à ses besoins. Au lieu de cela, des méthodes plus créatives et technologiquement avancées doivent être adoptées pour maximiser les ressources naturelles en diminution.

L'une de ces technologies est l'hydroponie qui a l'avantage d'être économe et résiliente face au changement climatique. La culture hors-sol est une nouvelle technique alternative de culture des végétaux qui peut être mise en place dans des exploitations horticoles de toutes tailles. Pouvant constituer une réponse aux problèmes d'eau et de pollution que connaît notre planète,

Mot clé : Sécurité Alimentaire, Culture Hydroponique, Solution Nutritive, Changement Climatique

## Abstract

Food security is becoming an increasingly important global issue. Factors such as population growth, climate change, rapid urbanization and industrialization have strained limited resources such as land and water. Therefore, in the face of the looming threat to food security, the world can no longer rely on traditional methods to meet its needs. Instead, more creative and technologically advanced methods must be adopted to maximize dwindling natural resources.

One of the technologies, is hydroponics, which has the advantage of being economical and resilient to climate change. Soilless cultivation is a new alternative plant cultivation technique that can be implemented in horticultural farms of all sizes. Could constitute a solution to the problems of water and pollution which our planet knows.

Keywords : Food Security, Hydroponics, Nutrient Solution, Climate Change

# Introduction générale

## INTRODUCTION

La population mondiale a actuellement un taux de croissance annuel de 1,1 % et atteindrait autour de 9,7 milliards de personnes en 2050 selon le scénario médian de l'ONU. Cette croissance de la population génère une augmentation très importante de la demande alimentaire mondiale qui est aussi accélérée par le développement rapide et le changement de régime alimentaire de la Chine (Bai et al., 2020). Le système agroalimentaire mondial est de plus en plus sous contraintes, d'autant plus qu'il repose sur nombre de ressources non renouvelables, de plus en plus rares ou de plus en plus dégradées (eau douce, phosphore, pétrole, sols cultivables...). Ce système va subir de plein fouet et rapidement le changement climatique de par ses effets directs (phénomènes climatologiques extrêmes, sécheresses, etc.) comme indirects (fonte des glaciers, prolifération et propagation d'espèces et organismes nuisibles, de maladies, montée du niveau de la mer) (GIEC, 2014 ; UNESCO, 2019). Il est aussi menacé par l'effondrement de la biodiversité actuellement en cours sur les semences, pollinisateurs, auxiliaires des cultures..., qui met en danger de nombreux services écosystémiques nécessaires à son bon fonctionnement (FAO, 2019a). Les conflits d'usage sur les produits, la terre et l'eau vont également s'amplifier avec par exemple la valorisation énergétique de la biomasse et la mise en place de programmes d'afforestation/ reforestation pour la capture de CO<sub>2</sub> (techniques dites « d'émissions négatives » désormais indispensables dans tous les scénarios du GIEC limitant l'augmentation de température à 2°C). De plus, pour un certain nombre de céréales critiques pour la sécurité alimentaire, les rendements agricoles semblent avoir atteint leurs limites dans les pays développés. Enfin, le système agroalimentaire actuel est peu résilient. Il dépend par exemple de ressources globalisées mal réparties sur le globe (phosphore, pétrole, etc.) et de tout un ensemble de systèmes exogènes potentiellement fragiles tels que les systèmes de transport et de logistique à flux tendu, les marchés mondiaux et la finance (spéculation, volatilité des prix...), les flux de travailleurs saisonniers migrants. La crise sanitaire de la Covid-19 a mis en évidence quelques-unes de ces fragilités. La tension grandissante entre offre et demande nous amène à un risque de pénurie alimentaire à moyen terme à l'échelle mondiale et à de nombreuses conséquences géopolitiques (Brown, 2012). Les dernières statistiques de la FAO montrent que la faim progresse de nouveau (FAO, 2017). Il existe cependant des leviers et des marges de manœuvre potentiellement très importants comme par exemple des changements de régime alimentaire dans les pays développés, la réduction drastique des pertes et gaspillages (FAO, 2019b), les capacités de recyclage et de valorisation des sous-produits et coproduits,

## INTRODUCTION

---

l'amélioration des techniques de production ainsi que les modes d'organisation du système agroalimentaire de façon à augmenter sa résilience et ses capacités d'adaptation. Ces leviers sont probablement à notre portée, mais il est crucial d'avancer très vite sur ces questions.

De l'urgence de réduire les impacts environnementaux négatifs de l'agriculture Le système productif agricole basé sur une agriculture intensive a une responsabilité majeure dans l'effondrement en cours de la biodiversité (Sánchez-Bayo et Wyckhuys, 2019), la dégradation de la fertilité des sols et celle de la qualité de l'eau (Caquet et al., 2020). Il est urgent de réduire de manière drastique l'usage des produits phytosanitaires et des fertilisants minéraux, et plus généralement de réconcilier l'agriculture et l'environnement. Enfin, il s'agit de repenser nos interactions avec les écosystèmes dits « naturels », la faune sauvage, les réserves de biodiversité forestière et pastorale, « naturel »

L'agriculture est d'ores et déjà confrontée à de nombreux défis. Ils concernent la sécurité alimentaire, les impacts environnementaux de l'agriculture et les modes d'organisation des filières. Le l'agriculture intelligente peut-elle aider à construire un futur désirable pour répondre à ces enjeux ?

# Chapitre I

# ***Sécurité Alimentaire***

## I- La sécurité alimentaire

### 1-Définition:

L'histoire de la mesure de la sécurité alimentaire a commencé en 1948 lorsque la Déclaration universelle des droits de l'homme reconnut le droit à l'alimentation. Le Conseil alimentaire mondial a repris le thème en 1974 et a présenté officiellement le concept de la sécurité alimentaire comme suit:

*« Chaque homme, femme et enfant a le droit inaliénable d'avoir à manger et ne doit pas souffrir de malnutrition afin de se développer pleinement et de conserver ses facultés physiques et mentales ».*

Dans les années 80, la Banque mondiale a continué de placer l'individu au centre de la définition et la sécurité alimentaire qui a toutefois été redéfinie en prenant en compte cette fois de la question de l'accessibilité aux denrées alimentaires, en plus de l'absence de faim et de malnutrition. Elle considère l'accès aux aliments dans sa définition de la sécurité alimentaire:

*« Assurer à toute personne et à tout moment un accès physique et économique aux denrées alimentaires dont elle a besoin. » (food and Agriculture Organization of the United Nations, 1983)*

La définition, la plus à jour, a été adoptée en 1996 par le Sommet mondial de l'alimentation :

*« La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active. »*

Les dirigeants politiques du Sommet mondial de l'alimentation de 1996 ont considéré l'accès à des aliments adéquats, sains et nutritifs comme un droit fondamental pour les populations (FAO,1996). Cette dernière définition a mis l'accent sur le respect des préférences alimentaires: ces aliments préférés sont interprétés comme les aliments culturellement et socialement acceptables conformes aux valeurs religieuses et éthiques (FAO, 1996). La sécurité alimentaire a donc évolué d'un concept macroéconomique et quantitatif à une notion microéconomique et qualitative.

D'un autre côté, cette définition présente quatre dimensions principales de la sécurité alimentaire (FAO, 2008) qui sont:

- La DISPONIBILITÉ physique des aliments
- L'ACCÈS économique et physique aux aliments
- L'UTILISATION des aliments pour atteindre un état de bien-être
- LA STABILITÉ des trois autres dimensions dans le temps

## **2- Les démentions de la sécurité alimentaire:**

### **- La disponibilité alimentaire.**

Dans les années 1970, la sécurité alimentaire faisait référence à la disponibilité alimentaire physique par habitant, mesurée à l'échelle des nations. La quantité de nourriture produite est-elle acceptable pour satisfaire les besoins de la population mondiale ? Cette approche se concentre sur l'équilibre ou déséquilibre entre la population et la disponibilité alimentaire. Les politiques s'inscrivaient dans la théorie malthusienne qui voit en l'offre alimentaire un obstacle au développement démographique et donc une priorité pour atteindre une sécurité alimentaire mondiale. A partir de cette hypothèse, les politiques visant à promouvoir la sécurité alimentaire dans le monde étaient tournées vers une intensification agricole. La mesure de la sécurité alimentaire était alors basée sur les données au niveau macro, pour estimer la disponibilité alimentaire par habitant (Coates, 2013).

La disponibilité alimentaire fait donc référence à l'existence physique de nourriture sur les marchés domestiques, pouvant provenir de production, d'importations, de stocks alimentaires ou d'aide alimentaire. Elle peut être estimée à différentes échelles (nationale, régionale, ménage) et elle est directement liée à la production agricole.

### **- L'accès physique, social et économique**

La révolution verte des années 1970 et les politiques interventionnistes incitant à la production céréalière ont permis d'entrer dans une période d'abondance alimentaire (Coates, 2013). La sécurité alimentaire était à cette époque reliée à l'assurance alimentaire. Les prix, devenus instables, incitaient à stocker de la nourriture en guise d'assurance pour l'avenir (Weingärtner, 2005). Toutefois, l'augmentation de la production agricole n'a pas systématiquement conduit à une amélioration de la sécurité alimentaire pour tous, dû à une distribution inéquitable de la production parmi les pays, les régions, les ménages et les individus (Yaro, 2004).

C'est pourquoi, à partir des années 1980, le concept s'est transformé sous l'impulsion des travaux d'Amartya Sen. Les problèmes d'accès et de pouvoir d'achat sont alors pris comme

facteurs d'insécurité alimentaire. Le passage des préoccupations en termes de disponibilités aux préoccupations en termes d'accès s'accompagnent d'un changement d'échelle. La sécurité alimentaire, auparavant appréhendée au niveau global ou national devient alors une question posée à l'échelle du ménage et de l'individu (Maxwell, 1996; Webb et al., 2006; Barrett, 2010; Coates, 2013).

L'accès doit être physique (lié à la distribution alimentaire, aux infrastructures de transports et de marché), économique (pouvoir d'achat, prix) et social (connaissances). Il va également dépendre de l'environnement dans lequel vivent les individus et de leurs capacités à utiliser efficacement leurs ressources pour se procurer la nourriture dont ils ont besoin.

### **- L'utilisation**

L'utilisation fait référence à deux points. Premièrement, elle comprend la consommation au niveau du ménage : choix et pratiques liées à l'alimentation, la manière de cuisiner, de stocker, de consommer, les connaissances nutritionnelles, le temps disponible, la distribution intra-ménage et les préférences culturelles (utilisation de variétés et de types d'aliments appropriés). Deuxièmement, l'utilisation biologique de la nourriture ingérée au niveau individuel est liée à l'environnement sanitaire et à l'état de santé de l'individu. Le second point est un facteur lié à la nutrition, et non à la sécurité alimentaire.

### **- La stabilité**

La disponibilité, l'accès et l'utilisation sont trois éléments complémentaires: bien que la disponibilité des aliments soit essentielle, elle n'est pas suffisante pour assurer l'accès. De même, l'accès aux aliments n'en garantit pas l'utilisation. Enfin, compte-tenu des risques tels que les fluctuations climatiques et la perte d'emploi, il y a eu la formulation d'une 4e dimension qui est la stabilité des trois autres dimensions dans le temps (Webb et al., 2006).

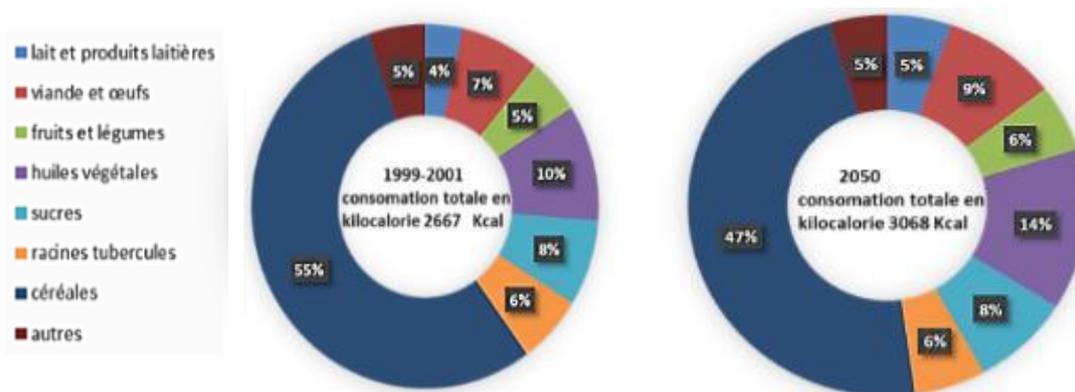
La stabilité temporelle des trois autres piliers. Ce quatrième pilier permet de mieux prendre en considération les risques qui contraignent des avancées en termes de disponibilité, accès et utilisation (Webb et Rogers, 2003). Ce recadrage conceptuel s'appuie sur des contributions des années 1980 et 1990, avec les notions de vulnérabilité (Chambers, 1989; Watts et Bohle, 1993) et de durabilité (Chambers et Conway, 1992).

Ainsi, les chercheurs considèrent que les populations se trouvent en insécurité alimentaire s'ils ne répondent pas à une ou plusieurs des dimensions de la sécurité alimentaire précédentes (Wheeler et Von Braun, 2013).

## 3- Le régime alimentaire:

Selon la FAO, un régime alimentaire suffisant, indispensable au maintien de la personne en bon état de santé et d'activité (<http://www.fao.org/nutrition/education-nutritionnelle/food-dietary-guidelines/background/sustainable-dietary-guidelines/fr/>), se définit selon divers paramètres :

- Il doit fournir une quantité suffisante d'énergie et de protéines ;
- Il doit fournir des micronutriments (vitamines et minéraux) en quantité suffisante au maintien d'un bon état de santé ;
- Il doit être sain et exempt de tout contaminant, parasite ou toxine qui pourrait être préjudiciable à la santé ;
- Il doit être acceptable sur le plan culturel et doit en outre satisfaire le palais et procurer du plaisir au consommateur. Pour tendre la sécurité alimentaire il est nécessaire de connaître les régimes alimentaires qui varient en fonction du temps, de l'espace et de la culture des populations. Toutefois, quel que soit le régime alimentaire, la répartition des aliments en groupe alimentaires est largement admise : céréales et légumineuses, eau et boisson, produits carnés, produits laitiers, fruits et légumes, produits sucrés. La figure ci-dessous (Figure 1) représente l'évolution de la moyenne mondiale de consommation énergétique en fonction des principaux groupes alimentaires, depuis 1999 à l'horizon de 2050. Cette modélisation réalisée par la FAO en 2006 révèle la prédominance des céréales dans le régime alimentaire mondiale.



**Figure 01:** La diversification de régime alimentaire 2000-2050 (FAO, 2006 )

Les céréales étant à la base des régimes alimentaire, ils représentent 47% de la consommation énergétique totale. Il apparait nécessaire et primordiale d'assurer une production nécessaire et suffisante répondant aux besoins des populations.

## 4- L'insécurité alimentaire

### 4-1 - Définition

Selon la FAO, une personne est en situation d'insécurité alimentaire lorsqu'elle n'a pas un accès régulier à suffisamment d'aliments sains et nutritifs pour une croissance et un développement normaux et une vie active et saine. Cela peut être dû à l'indisponibilité de nourriture et/ou au manque de ressources pour se procurer de la nourriture. L'insécurité alimentaire peut être ressentie à différents niveaux de gravité (Anonyme 1) . En effet, le concept de l'insécurité alimentaire saisonnière existe, il se situe entre l'insécurité alimentaire chronique et celle transitoire. Elle est semblable à l'insécurité alimentaire chronique, car elle est habituellement prévisible et suit une séquence d'événements connus. Cependant, comme l'insécurité alimentaire saisonnière a une durée limitée. Elle peut aussi être perçue comme une insécurité alimentaire récurrente, transitoire. Celle-ci existe quand il y a un modèle cyclique de disponibilité et d'accès inadéquats aux aliments (Anonyme 2).

Devant ces niveaux de gravité, la FAO introduit l'analyse de l'insécurité alimentaire : il n'est pas suffisant de connaître la durée du problème auquel les populations font face. Il faut aussi connaître l'intensité et la sévérité de l'impact des problèmes identifiés sur la sécurité alimentaire et sur l'état nutritionnel global. Ces connaissances influenceront la nature, l'étendue, et l'urgence de l'aide nécessaire aux populations affectées (Anonyme 2).

### 4-2- Les types et les formes d'insécurité alimentaire

L'insécurité alimentaire des ménages existe dans le cas d'un accès inadéquat ou incertain aux aliments. La principale cause de ce problème est généralement le manque de ressources financières. Il existe trois grands types d'insécurité alimentaire (FAO, 2008) :

- **L'insécurité alimentaire chronique :**

c'est l'incapacité, persistante sur une période prolongée, de satisfaire les besoins nutritionnels minimaux.

- **L'insécurité alimentaire transitoire :**

c'est une baisse temporaire de la capacité d'acquisition d'une quantité suffisante de nourriture pour un bon état nutritionnel.

- **L'insécurité alimentaire saisonnière:**

c'est une forme d'insécurité qui existe entre les deux types d'insécurité déjà mentionnés. D'une part, cette forme se présente sur une durée limitée dans le temps d'où elle

peut être considérée comme transitoire. D'autre part, elle peut être considérée comme chronique vu qu'elle est prévisible et suit une séquence d'événements connus. Elle est le résultat d'un accès insuffisant à la nourriture causé généralement par des fluctuations climatiques.

### 4-3 L'ampleur de l'insécurité alimentaire dans le monde:

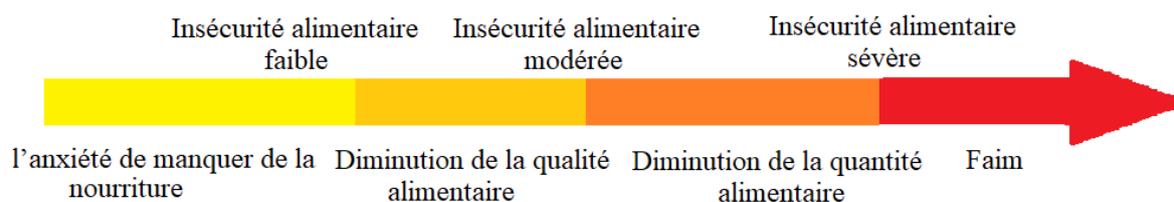
L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Fonds international de développement agricole (FIDA), le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF), l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et le Programme alimentaire mondial (PAM) déclarent une réduction soutenue des chiffres de la sous-alimentation depuis les années 2000, malgré la croissance démographique continue.

Toutefois, la vitesse de la réduction de la prévalence de la sous-alimentation dans le monde a ralenti à partir de 2007. Certaines études attribuent ceci à la variation grandissante des prix alimentaires, aux nombreux phénomènes climatiques, ainsi qu'à l'instabilité économique et aux conflits internationaux (Wheeler et Von Braun, 2013., FAO, 2014). En 2016, on note encore 815 millions de personnes sous-alimentées dans le monde

(11 % de la population mondiale).

Les auteurs du rapport « L'État de l'insécurité alimentaire dans le monde 2015 » indiquent que 72 pays ont diminué de moitié la prévalence de la sous-alimentation. Cependant, ce ne fut pas le cas pour les 57 autres pays suivis par la FAO (FAO, 2015). Selon ce rapport, une personne sur neuf n'est encore pas en mesure de s'alimenter suffisamment. Les pays qui ont réussi à atteindre les objectifs de réduction pour la prévalence de la sous-alimentation présentent des conditions politiques stables et une croissance économique active. En contrepartie, les crises prolongées dues à des conflits ou à des catastrophes naturelles freinent l'élimination de la faim dans les autres pays (FAO, 2015).

La figure 02, ci-dessous, illustre les trois degrés d'insécurité alimentaire. Cette insécurité passe de l'anxiété de manquer de nourriture comme le niveau le plus faible d'une insécurité alimentaire à la présence de la faim comme étant le niveau le plus sévère.



**Figure 02 :** Degré d'insécurité alimentaire (adaptée de la (FAO, 2017))

5. Le système alimentaire.

Un système alimentaire cohérent et dont les différentes composantes sont complémentaires et harmonieuses, traduit systématiquement l’accomplissement de la sécurité alimentaire. Il est représenté dans la figure (Figure 03) ci-dessous.

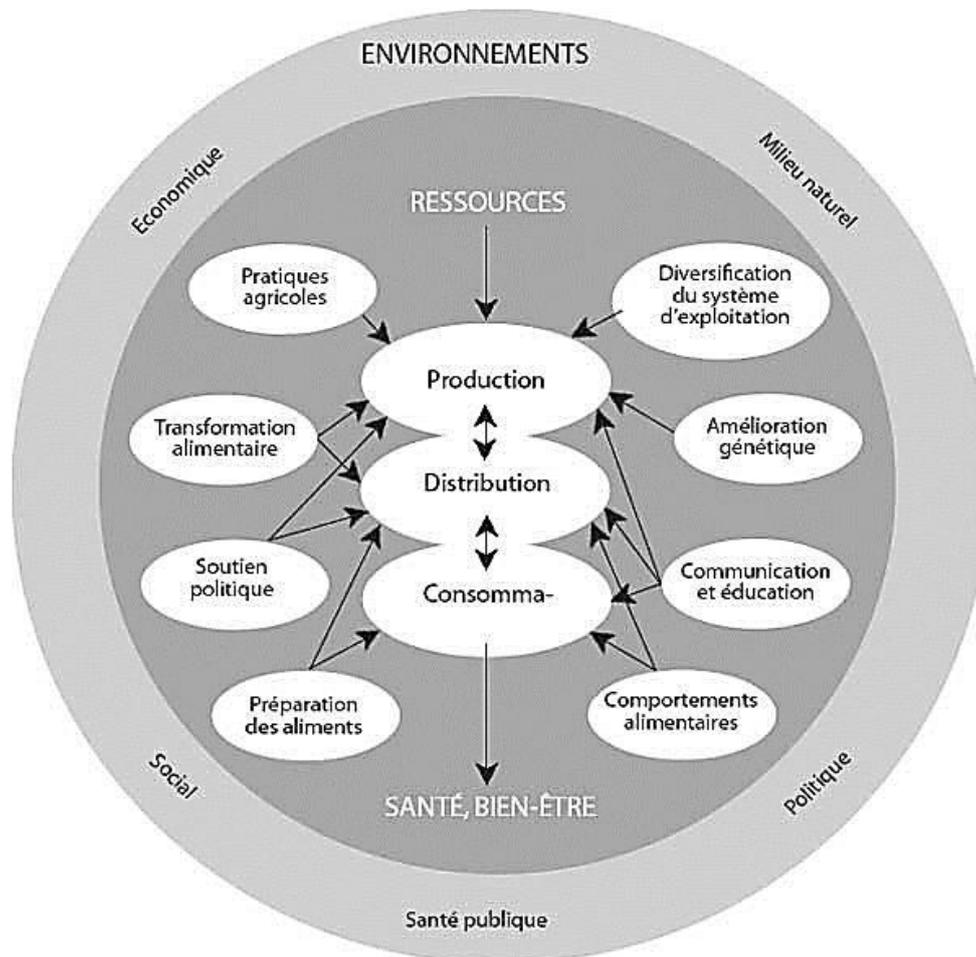


Figure 03 : Le système alimentaire selon la FAO (Anonyme 3)

En effet, le système alimentaire est défini comme un réseau complexe d’activités de production, de transformation, de transport et de consommation des aliments. Les questions dont dépend le système alimentaire sont: les politiques gouvernementales, les enjeux économiques de la production des aliments, sa durabilité, le degré du gaspillage alimentaire, l’effet de la production sur l’environnement naturel, l’individu et la santé publique (Anonyme 4).

## **5-1-Les défis des systèmes alimentaires.**

Les systèmes alimentaires sont au centre des défis environnementaux, sociaux et économiques mondiaux tels que la rareté des ressources, la dégradation des écosystèmes et le changement climatique (Lang, 2009; Freibauer et al., 2011 ; Searchinger et al., 2013 Garnett, 2014 ; IPES-Food , 2015; Gladek et al., 2016). La pauvreté, la faim et la malnutrition, les régimes alimentaires inadéquats, la dégradation des terres, la rareté de l'eau, les inégalités sociales, la perte de biodiversité et le changement climatique sont intrinsèquement enracinés dans la façon dont nous produisons, distribuons et consommons les aliments (Foresight, 2011; FAO, 2014a). Les systèmes alimentaires actuels génèrent des résultats négatifs tels que la dégradation des sols, de l'eau et des écosystèmes ; Perte de biodiversité; émissions excessives de gaz à effet de serre; la malnutrition persistante et la faim, et échouent à éradiquer la pauvreté, en particulier des populations rurales dans les pays du Sud (Godfray et al., 2010a; Foresight, 2011; FAO, FIDA et PAM, 2015). Actuellement, plus qu'assez de nourriture est produite pour nourrir la population mondiale (Dyson, 1996), mais le problème de l'insécurité alimentaire persiste, caractérisé par de grandes différences entre les pays, même au sein d'un même pays et même d'un même ménage (FAO, 2002 ; FAO, FIDA et PAM, 2015).

Les futurs systèmes alimentaires devront assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle tout en faisant face à des défis de durabilité sans précédent, ce qui souligne la nécessité d'une transition vers des systèmes alimentaires plus durables (Vermeulen, Campbell et Ingram, 2012 ; Banque mondiale, 2015).

## **5-2 Durabilité du système alimentaire.**

Les systèmes alimentaires sont façonnés par une multitude de facteurs, tels que la géographie, la démographie, l'urbanisation et la mondialisation ; le statut socioéconomique et les revenus, le marketing, l'attitude des consommateurs, la religion et la culture (Kearney, 2010). Ces facteurs ont également un impact sur la sécurité alimentaire aux niveaux national, local et des ménages. S'appuyant sur les travaux de Nugent (2011), Fanzo, Cogill et Mattei (2012) ont décomposé le système alimentaire en domaines compartimentés de production, de consommation et de nutrition et ont défini les déterminants clés de chaque domaine : la production alimentaire (agriculture, stockage des aliments et transformation, distribution, vente en gros et au détail et commercialisation des produits alimentaires); consommation alimentaire (quantité de nourriture, disponibilité de la nourriture, qualité de la nourriture, abordabilité de la nourriture, diversité alimentaire, habitudes alimentaires, influences culturelles et sociales, goût et plaisir, et environnement physique); et la nutrition (régimes

équilibrés, malnutrition et bien-être). Ce faisant, ils ont souligné l'importance de relier production et consommation tout en tenant compte des implications profondes des systèmes alimentaires en termes de nutrition et de santé.

### 5-3- Définitions des concepts liés à la durabilité alimentaire:

#### - **Développement agricole durable.**

Le développement agricole durable est un développement agricole qui contribue à améliorer l'efficacité des ressources, à renforcer la résilience et à garantir l'équité/la responsabilité sociale de l'agriculture et des systèmes alimentaires afin d'assurer la sécurité alimentaire et la nutrition pour tous, maintenant et à l'avenir (HLPE, 2016)

#### - **Régimes durables.**

Les régimes alimentaires durables sont les régimes alimentaires à faible impact sur l'environnement qui contribuent à la sécurité alimentaire et nutritionnelle et à une vie saine pour les générations présentes et futures. Les régimes alimentaires durables sont protecteurs et respectueux de la biodiversité et des écosystèmes, culturellement acceptables, accessibles, économiquement équitables et abordables; nutritionnellement adéquat, sûr et sain; tout en optimisant les ressources naturelles et humaines (Burlingame et Dernini. 2012).

#### - **Système alimentaire durable.**

Un système alimentaire durable (SFS) est un système alimentaire qui fournit de la nourriture la sécurité et la nutrition pour tous de manière à ce que les bases économiques, sociales et environnementales permettant de générer la sécurité alimentaire et la nutrition pour les générations futures ne soient pas compromises (HLPE ,2014a).

Un système alimentaire durable existe lorsque la production, la transformation, la distribution et la consommation sont intégrées et que les pratiques associées régénèrent plutôt que dégradent les ressources naturelles, sont socialement justes et accessibles, et soutiennent le développement des communautés et des économies locales (Harmon, et Gerald. 2007) .

## Chapitre II

# ***Généralités sur l'Agriculture***

## II. Généralités sur l'Agriculture

Le secteur agricole a connu une vaste révolution dans la seconde partie du XXe siècle, marquée par un changement radical dans les techniques de production qui a engendré une hausse spectaculaire de la productivité et, des volumes produits dans le monde, une vraie révolution verte.

Plus récemment, la situation agricole mondiale s'est nettement modifiée sous l'effet de la forte augmentation des prix des matières premières agricoles (liée à une baisse des stocks, conjuguée à une hausse de la demande alimentaire et une concurrence nouvelle, celle des agro carburants). Dans un tel contexte, il devient indispensable, de repenser l'agronomie et les échanges internationaux, afin de parvenir à concilier la sécurité alimentaire de tous et le développement durable (Dufumier, 2009).

### 1- Définition

L'agriculture est un processus par le quel les hommes aménagent leurs écosystèmes pour satisfaire les besoins alimentaires en premier et autres, de leurs sociétés (Dufumier, 2009).

Au sens large, c'est la culture du sol, c'est-à-dire l'ensemble des travaux et activités développés par l'homme dans un métier donné...afin de produire végétaux et animaux utiles a son alimentation (Armand, 2006).

Au sens étroit elle recouvre les activités déployées par le paysan visant a la production de végétaux sur une parcelle (Armand, 2006).

L'activité agricole assure principalement l'alimentation des humains. En outre, l'agriculture produit un nombre important de produits tels que des peaux d'animaux, des engrais, des produits destinés à l'industrie (éthanol, féculé, chanvre), des plantes vertes, des fleurs, et du bois (Dufumier, 2009).

De nombreux facteurs interviennent dans l'agriculture en favorisant ou perturbant la production :

- l'eau en termes de disponibilité au moment opportun mais aussi en termes de qualité ;
- le climat et ses variations inattendues (chaleur, sécheresse, pluie, grêle, gel et autres calamités climatiques) ;
- le sol ;
- les espèces végétales ;

- les espèces animales ;
- les prédateurs (parasites, maladies, et consommateurs de toute sortes : végétaux, insectes, animaux sauvages...);
- la mécanisation agricole ;
- l'agronomie (fertilisation, biologie, génétique, etc...) et globalement tout l'environnement socio-économique (prix du pétrole, législation, consommateur, gouvernement, etc.)

## 2- Généralité sur l'agriculture et l'environnement

Il est généralement admis qu'il est nécessaire d'améliorer les performances environnementales de l'agriculture, en renforçant les effets bénéfiques sur l'environnement et en réduisant les effets néfastes afin de garantir une utilisation durable des ressources. Cependant, l'agriculture entretient une relation complexe avec les ressources naturelles et l'environnement, et il est difficile d'attribuer des effets environnementaux spécifiques à ce secteur. Si l'agriculture est un utilisateur important de ressources en sol et en eau, il lui est indispensable de préserver la quantité et la qualité de ces ressources afin de rester viable. L'agriculture engendre des déchets et de la pollution, mais elle préserve et recycle aussi des ressources naturelles, et modifie les paysages et les habitats pour la faune et la flore sauvages. Nombre de ses effets sur l'environnement sont confinés au secteur lui-même, mais les effets externes sont aussi importants. Les impacts sont souvent concentrés aux niveaux local et régional, encore que certains revêtent une importance nationale et internationale (O.C.D.E, 2004).

La demande alimentaire croissante ainsi que les politiques encourageant la production et les changements technologiques et économiques ont souvent abouti à une nette intensification de l'activité agricole (gains de production par unité de superficie ou de travail) et à l'exploitation de terres écologiquement fragiles, engendrant dans certains cas des effets dommageables sur l'environnement. Ces effets englobent principalement la pollution de l'eau et de l'air, mais aussi la disparition d'espèces sauvages, d'habitats et d'éléments du paysage. La dégradation des sols et l'appauvrissement des ressources en eau suscitent aussi de graves préoccupations dans certaines zones (O.C.D.E, 2004).

Au cours des 30 prochaines années, de nombreuses nuisances causées par l'agriculture à l'environnement resteront graves. Il se peut, cependant, que certaines puissent s'aggraver plus lentement que par le passé, et que d'autres puissent même régresser ( Harrison, 2002).

La culture et l'élevage ont un profond effet sur l'environnement au sens large. Ce sont les causes principales de la pollution de l'eau par les nitrates, les phosphates et les pesticides. Ils constituent aussi les principales sources anthropiques des gaz à effet de serre - le méthane et l'oxyde nitreux et ils contribuent massivement à d'autres types de pollution de l'air et de l'eau. L'étendue et les méthodes de l'agriculture, de la foresterie et de la pêche sont les principales causes de perte de biodiversité dans le monde. Les coûts externes de ces trois secteurs peuvent être considérables ( Harrison, 2002).

Autrement dit l'utilisation d'engrais chimique et de produit phytosanitaire ont un profond effet sur l'environnement.

### **2.1- L'évolution de l'agriculture et sa gestion des ressources hydriques.**

L'intensification de l'agriculture, fortement alimentée par les innovations scientifiques et le contexte économique-social, a marqué la fin des années cinquante. Cela a engendré des problèmes écologiques aux conséquences non négligeables et a impacté la production mondiale agricole qui commence à baisser à l'opposé de la demande de plus en plus importante. Elle est aussi la source primaire de pollution avec 15% des émissions de gaz à effet de serre et contribue directement à la détérioration de la biodiversité et de son environnement. Effectivement, la FAO (2016) a dénombré la disparition de 75% de la biodiversité des plantes cultivables dans le monde.

Le secteur de l'agriculture moderne est le plus grand consommateur d'eau. Elle absorbe plus de 70 % de l'eau consommée. (Muller, 2015)

Cette consommation peut s'expliquer par différentes raisons :

- ✓ La demande grandissante en produits agricoles suite à l'accroissement de la population
- ✓ L'amélioration constante du niveau de vie
- ✓ L'élevage dont le régime alimentaire implique la mobilisation de grandes quantités d'eau.
- ✓ L'irrigation massive des terres agricoles (ASPE, 2012)

Cependant, l'accès à l'eau potable n'est pas une réalité quotidienne pour des milliards d'êtres humains. Du fait de pressions croissantes sur les ressources hydriques, l'agriculture se trouve contrainte à produire plus mais avec moins d'eau et cherche à atteindre l'objectif de réduire l'impact sur l'environnement. Il s'agit là d'un défi de taille, qui exige une gestion durable de l'eau pour continuer de produire des volumes importants mais de manière éco-responsable avec une agriculture de précision, plus intelligente. (Colectte et al., 2011)

### **3- Croissance de la population urbaine et artificialisation des sols.**

Plus de la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui dans les zones urbaines et cette tendance est en constante hausse. En effet, cette proportion devrait passer à près de 70% d'ici 2050. (ONU DAES, 2014)

Ainsi depuis la fin des années soixante, les surfaces agricoles reculent dans le monde. Entre 1971 et 2001, plus de 40 000 kilomètres carrés de terres agricoles canadiennes classées "catégorie 1" (terres fertiles) ont été supprimées au profit du développement urbain. Dans la région de Montréal, près de 40 km<sup>2</sup> de surfaces cultivables disparaissent chaque année au profit de l'expansion démographique. (Shields, 2013)

En France, 82 000 hectares de terres agricoles deviennent des surfaces urbanisées, cette artificialisation des sols affecte la production agricole avec l'épuration des polluants et la régulation des eaux qui ont des effets souvent irréversibles et dommageables pour les terres cultivables (déstockage de carbone plus rapide, fragmentation de la biodiversité et des écosystèmes). Ces disparitions de terres arables au profit de l'élargissement urbain provoquent un déséquilibre : moins d'espaces de production mais davantage de besoins. (Domergues, 2012)

### **4- Importance de l'agriculture pour la sécurité alimentaire:**

selon la Banque mondiale (2021), des systèmes alimentaires sains, durables et inclusifs sont essentiels à la réalisation des objectifs mondiaux de développement. Le développement de l'agriculture est l'un des leviers les plus puissants sur lequel agir pour mettre fin à l'extrême pauvreté, renforcer le partage de la prospérité et nourrir les 9,7 milliards de personnes que comptera la planète en 2050 . Par rapport à d'autres secteurs, la croissance de l'agriculture a des effets deux à quatre fois plus efficaces sur l'augmentation du revenu des populations les plus démunies. Selon une étude publiée en 2016, 65 % des travailleurs pauvres dépendent de l'agriculture pour vivre.

L'agriculture est aussi un facteur essentiel de croissance économique : en 2018, elle représentait 4 % du produit intérieur brut (PIB) mondial et, dans certains pays en développement parmi les moins avancés, sa part peut dépasser 25 % du PIB .

#### **4.1-Les facteurs qui risquent de mettre en péril la production agricole.**

Plusieurs facteurs risquent de mettre en péril la capacité de l'agriculture à tirer la croissance et à réduire la pauvreté, ainsi que la sécurité alimentaire. Des perturbations liées à la pandémie de COVID-19 aux phénomènes météorologiques extrêmes, en passant par les invasions acridiennes et les conflits, les systèmes alimentaires sont exposés à de multiples chocs qui entraînent une hausse des prix des denrées et une aggravation de la faim.

L'accélération des dérèglements climatiques, en particulier, pourrait amputer la production agricole, en particulier dans les régions du monde qui souffrent déjà d'une insécurité alimentaire. Par ailleurs, l'activité agricole, l'exploitation des forêts et le changement d'affectation des terres contribuent aussi au changement climatique puisqu'ils sont à l'origine d'environ 25 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES). C'est pourquoi l'atténuation des émissions de GES dans le secteur agricole contribuera à endiguer le changement climatique .

Selon la banque mondiale, les systèmes alimentaires actuels mettent en danger la santé de la population et de la planète et sont à l'origine de niveaux de pollution et de gaspillage non soutenables. Un tiers de la nourriture produite dans le monde est perdue ou gaspillée. Il est essentiel de lutter contre ce problème si l'on veut améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, mais aussi atteindre les objectifs climatiques et réduire les pressions qui s'exercent sur l'environnement. La malnutrition figure parmi les principaux facteurs de risque de décès dans le monde. Des millions de personnes s'alimentent mal ou insuffisamment, et ce « double fardeau » de la malnutrition est la cause de maladies et de crises sanitaires. Selon un rapport de 2021, entre 720 et 811 millions de personnes ont souffert de la faim en 2020, soit plus de 10 % de la population mondiale.

#### **5- Diversification de l'agriculture**

La production agricole mondiale est dominée par trois grandes cultures, à savoir le maïs, le blé et le riz, qui constituent près de 50 % de la consommation de calories et de protéines. En outre, seules 30 espèces végétales sont responsables de la production de près de 95 % de la nourriture mondiale (Shelef et al. 2017). Par conséquent, il ressort du nombre de cultures cultivées et de la diversité parmi les principales cultures que la biodiversité a

considérablement diminué au cours des dernières décennies (Cardinale et al. 2012). À l'heure actuelle, l'agriculture est devenue homogène et les monocultures se développent à l'échelle mondiale sur de vastes superficies. Cela rend les cultures plus sensibles aux épidémies de diverses maladies et ravageurs (Altieri et al. 2015). De plus, l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides altère les caractéristiques des sols et pollue les sources d'eau. Par conséquent, il est nécessaire de promouvoir la durabilité dans l'agriculture.

## **6- Le développement agricole.**

Le développement agricole a un rôle majeur à jouer dans la réduction de la pauvreté, de par sa contribution au développement et à la croissance économiques en général. En outre, compte tenu de l'incidence économique et sociale de l'agriculture, qui assure un moyen d'existence à 38,3 pour cent de la main-d'œuvre mondiale (FAO, 2015a), et de l'importance de la nourriture, l'un des besoins fondamentaux de l'homme, le développement agricole est un domaine clé du cadre universellement reconnu relatif aux droits de l'homme, ce qui comprend notamment la concrétisation progressive du droit à l'alimentation. Étant donné sa contribution primordiale à la sécurité alimentaire et à la nutrition, à la réduction de la pauvreté et à la gestion durable des ressources naturelles, le développement agricole durable occupe une place centrale dans la mise en œuvre des 17 objectifs de développement durable (ODD) convenus en 2015.

### **6.1- Le développement agricole et ses liens avec la sécurité alimentaire et la nutrition.**

Le développement agricole est essentiel à la sécurité alimentaire à plusieurs égards: il contribue à la disponibilité de nourriture, à l'accès aux denrées et à la stabilité alimentaire et – par la diversité de la production à l'utilisation des aliments. Il a accompagné la croissance démographique par un triplement de la production agricole mondiale en 50 ans, moyennant une augmentation de la superficie cultivée de 12 pour cent seulement (FAO, 2014a), notamment grâce à la «révolution verte», mais avec d'importants écarts selon les pays et les régions. S'appuyant sur les travaux des agronomes, la révolution verte ciblait des cultures spécifiques et impliquait de choisir des variétés à haut rendement, de développer l'irrigation et l'utilisation d'engrais synthétiques et de pesticides et d'employer des techniques de gestion améliorées. La spécialisation des systèmes d'exploitation agricole a toutefois provoqué de fortes pertes de biodiversité, susceptibles de compromettre la durabilité environnementale de ces systèmes et les possibilités de diversification de l'offre alimentaire future . De nos jours,

des gens ont faim non pas du fait d'un manque de denrées alimentaires à l'échelle mondiale, mais parce qu'ils n'ont pas les moyens de s'en procurer ni d'en produire. Ce qui importe au final, c'est l'accès à la nourriture, la demande effective de produits alimentaires (autrement dit la demande émanant des personnes en mesure de les acheter) et la répartition des denrées entre les pays et au niveau national, ainsi qu'au sein des ménages et entre les sexes (Grafton et al., 2015). Une part importante de la population mondiale produit des aliments pour sa consommation personnelle. On considère que l'accroissement de la population, l'augmentation des revenus, l'urbanisation et l'évolution des régimes alimentaires seront les principaux moteurs de la hausse de la demande de produits agricoles au cours des prochaines décennies. Le chapitre 2 expose en détail ces différents facteurs. Nous nous contenterons ici de noter que, d'après les projections établies par l'ONU en 2008, qui tablent sur une population mondiale de 9,7 milliards de personnes en 2050 et la poursuite des tendances en matière de consommation, la FAO estime que d'ici à cette date, la production agricole mondiale va devoir augmenter de 60 pour cent en volume par rapport à son niveau de 2005-2007 (FAO, 2012a). Certains produits de l'élevage – les volailles, en particulier – pourraient enregistrer une croissance bien supérieure à cette moyenne globale. L'une des questions essentielles pour l'avenir de l'agriculture et du système alimentaire mondial est de savoir quels systèmes de production et dispositifs d'accès aux marchés permettront de répondre à l'augmentation de la demande alimentaire dans les différentes régions du monde. Des augmentations de production en valeur absolue de l'ordre de celles prévues par la FAO ne s'obtiendront pas sans difficulté, car la pression sur les terres, l'eau et les autres ressources s'accroît. Du fait de l'évolution des régimes alimentaires vers une nutrition plus saine et de la réduction des pertes et gaspillages de nourriture, l'augmentation de la demande pourrait en outre être moins forte que prévu. Les éléments probants présentés par la FAO permettent d'avancer, avec toute la prudence requise, qu'il existe au niveau mondial suffisamment de ressources pour satisfaire la demande supplémentaire attendue d'ici à 2050, mais que les ressources disponibles, les revenus et l'accroissement démographique sont inégalement répartis et que les pénuries locales de ressources risquent de demeurer un frein important à la concrétisation de la sécurité alimentaire pour tous (FAO, 2012a). Le lien entre développement agricole et accès à la nourriture est une question centrale étant donné le paradoxe qui veut que la plupart des 792 millions de personnes souffrant de la faim dans le monde soient des agriculteurs ou des habitants de zones rurales. Comme le constate la Banque mondiale dans le Rapport sur le développement dans le monde 2008, *L'agriculture au service du développement*, (IBRD/World Bank, 2007), trois habitants pauvres sur quatre dans les pays en développement

vivent en zone rurale et la plupart dépendent directement ou indirectement de l'agriculture pour subvenir à leurs besoins. Le Rapport sur le développement dans le monde a montré à quel point, notamment dans les pays «à vocation agricole», l'agriculture et les activités connexes étaient essentielles pour réduire la pauvreté. D'après le rapport de la FAO sur L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde (FAO, 2007),

### **7-L'incidence des changements climatiques sur la production alimentaire, la sécurité alimentaire et la nutrition.**

La variabilité croissante des précipitations et la fréquence des sécheresses et des inondations sont susceptibles de réduire les rendements agricoles en général. Les changements climatiques peuvent par ailleurs avoir une incidence sur l'environnement aquatique, par exemple du fait des changements de la température de surface de la mer, de la circulation océanique, des systèmes de vagues et de tempêtes, de la salinité, de la concentration en oxygène et de l'acidification, et peuvent avoir des retombées sur les pêches. Des températures accrues et des réserves moins fiables d'eau créeront aussi de graves difficultés pour les petits éleveurs, en particulier dans les écosystèmes arides et semi-arides de prairie et de pâturage à faibles latitudes. L'impact des changements climatiques sur la sécurité alimentaire mondiale sera lié non seulement aux disponibilités d'aliments mais aussi à la qualité, à l'accès et à l'utilisation de ces derniers et à la stabilité de la sécurité alimentaire. L'adoption de pratiques de gestion durables des terres, de l'eau, des pêches et des forêts par les petits exploitants sera cruciale pour les efforts d'adaptation aux changements climatiques, d'éradication de la pauvreté mondiale et d'élimination de la faim. Cependant, afin d'encourager l'adoption de ces pratiques, des améliorations seront aussi nécessaires sur le plan des infrastructures, de la vulgarisation, de l'information climatique, de l'accès au crédit et de l'assurance sociale. (FAO,2017)

Dans le même temps, il est tout aussi important de s'efforcer d'atténuer les effets de l'agriculture, car cela suppose d'ouvrir des voies pour le développement agricole qui peuvent accroître la production alimentaire de manières occasionnant des émissions moindres de GES par unité alimentaire. Si des efforts ne sont pas fournis pour s'adapter aux changements climatiques et les atténuer, l'insécurité alimentaire connaîtra probablement une augmentation considérable.(FAO,2017)

## **8- la production agricole devra augmenter, mais les hausses de rendement ralentissent.**

Selon la Fao (2017), la production agricole a plus que triplé entre 1960 et 2015, en partie grâce aux technologies améliorant la productivité associées à la Révolution verte et à l'expansion considérable de l'utilisation des terres, de l'eau et d'autres ressources naturelles à des fins agricoles. Durant la même période, l'alimentation et l'agriculture ont été confrontées à un processus inédit d'industrialisation et de mondialisation. Les chaînes d'approvisionnement alimentaires se sont spectaculairement allongées à mesure que la distance entre l'exploitation agricole et l'assiette s'est accrue et la consommation d'aliments transformés, emballés et préparés a augmenté dans toutes les communautés, sauf les communautés rurales les plus isolées. Pour satisfaire la demande, l'agriculture en 2050 devra produire presque 50 pour cent de plus d'aliments, d'aliments pour animaux et de biocarburants qu'en 2012. L'estimation de la FAO tient compte des récentes projections des Nations Unies qui indiquent que la population mondiale atteindra 9,7 milliards en 2050. En Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, la production agricole devrait plus que doubler d'ici à 2050 pour satisfaire la demande accrue, tandis que, dans le reste du monde, l'augmentation prévue serait d'environ un tiers au-dessus des niveaux actuels (tableau.01). Historiquement, des augmentations bien plus importantes de la production agricole ont été obtenues durant des périodes comparables. Cependant, malgré les améliorations globales de l'efficacité agricole, les hausses de la production connaissent actuellement un ralentissement, de sorte qu'il pourrait se révéler difficile de maintenir le rythme historique des augmentations de la production. Les pratiques de conservation des ressources, comme l'agriculture de conservation et l'agriculture intelligente face au climat, contribuent certainement à l'augmentation de la productivité agricole. Il est encourageant de constater, après une période de stagnation, une reprise de la recherche et du développement agricoles, et l'augmentation considérable des investissements privés dans ce domaine.

**Tableau 01:** Augmentation de la production agricole nécessaire pour faire face à la demande, 2005/2007-2050 (Pourcentage)

	2005/2007	2012/2050	2005/2007 2012	2013/2050
<b>MONDE</b>				
Selon les projections de AT2050 (1)	100	159,6	14,8	44,8
Avec les projections de population mises à jour (ONU, 2015) (2)	100	163,4	14,8	48,6
<b>Afrique subsaharienne et Asie du Sud</b>				
Selon les projections de AT2050	100	224,9	20,0	104,9
Avec les projections de population mises à jour (ONU, 2015) (2)	100	232,4	20,0	112,4
<b>RESTE DU MONDE</b>				
Selon les projections de AT2050	100	144,9	13,8	31,2
Avec les projections de population mises à jour (ONU, 2015) (2)	100	147,9	13,8	34,2

1 World Agriculture Towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working Paper No. 12–03. Rome, FAO. Alexandratos and Bruinsma, 2012.

2 Études prospectives mondiales de la FAO, basées sur ONU, 2015. Disponible sur <https://esa.un.org/unpd/wpp>. Consulté en novembre 2016.

## Chapitre III

# ***L'Agriculture Hydroponique***

### **III-Agriculture Hydroponique.**

#### **1- Introduction.**

Du grec ponos : effort et hydro : eau, est la culture de plantes réalisée sur substrat neutre et inerte (de type sable, pouzzolane, billes d'argile, etc.). Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte les sels minéraux et nutriments essentiels à la plante. Ce procédé a de nombreux avantages : moindre consommation d'eau, croissance contrôlée et rapide, moins d'attaque de nuisibles du sol, meilleure maîtrise de la précocité. La culture hydroponique permet également une automatisation de la culture : température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide «EC », ventilation. La culture hydroponique est très présente en horticulture et dans la culture forcée de certains légumes sous serre. Cette technique de culture s'est développée pour aboutir aujourd'hui à l'aéroponie et depuis très récemment l'ultraconionie. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits grâce à un rythme nyctéméral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an (Texier, 2013).

#### **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. (Jorge C., 2013)



**Figure 04 : Le jardin suspendu du Babylone**

### 3- La relation de la plante avec son milieu

Les conditions mentionnées dans l'introduction (meilleur rendement, maturité plus rapide, résultats uniformes) sont des caractéristiques d'une bonne relation entre la plante et son milieu. Celle-ci n'a pas besoin de terre, comme telle, mais des réserves d'éléments nutritifs et de l'humidité contenus dans la terre ainsi que du support qu'elle lui offre. Tout milieu propice à la culture peut rencontrer ces exigences et offrir un support adéquat. Dans un milieu stérile dépourvu de ces réserves, on peut s'assurer que chaque plante reçoive la quantité exacte d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires à sa croissance. En effet, tandis que la terre tend à absorber l'eau et les éléments nutritifs aux dépens de la plante, rendant plus complexe de déterminer la quantité d'eau et d'engrais nécessaire à sa croissance, La culture hydroponique, elle, est tout autre car ces éléments sont dissous et la solution est absorbée par la plante en doses exactes et à des intervalles réguliers.

### 4- Différents systèmes de la culture hydroponique

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

#### 4-1 Système hydroponique actifs et passifs :

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

##### a) Un système hydroponique passif

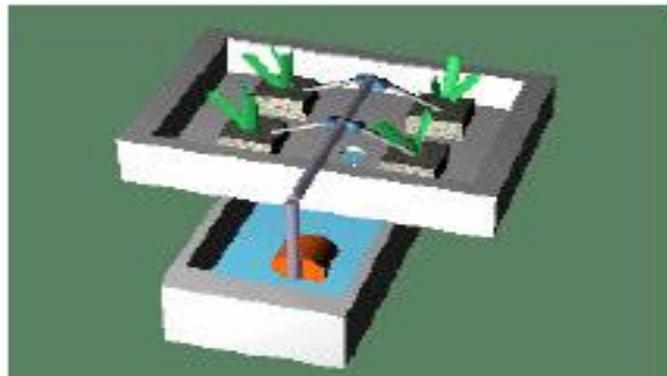
Utilise les propriétés du substrat (ou d'une mèche) pour acheminer l'eau et les nutriments aux racines par capillarité. Ces systèmes conviennent aux amateurs de plantes distraits. En effet, le système distribue en permanence l'eau aux plantes et il suffit de compléter la réserve de solution nutritive.



Figure 05 : système hydroponique passif Source : Hydrobox Team

**b) Un système hydroponique actif**

Utilise des pompes qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique pour distribuer la solution nutritive. Les systèmes hydroponiques actifs sont les plus performantes ; irrigation est déclenché quand il faut et à la juste quantité, conformément aux besoins des plantes. La circulation de la solution nutritive dans un système actif permet d'augmenter la concentration en dioxygène (O<sub>2</sub>) et d'homogénéiser la soupe nutritive. Ils permettent aussi d'obtenir des cycles de saturation en eau/sécheresse du substrat, contrairement aux systèmes passifs. (Certaines plantes comme le Laurier rose -*Nerium oleander*- demandent des alternances d'irrigation et sécheresse pour fleurir). Ces dernières années ont vu les unités de système hydroponique passif en net recul par rapport au système hydroponique actif. En effet, ces derniers sont plus performants. Cependant, face au contexte de « crise de l'énergie » et en attendant les systèmes actifs à énergie renouvelable nous semblait judicieux de parler de ces systèmes passifs (Gilberto, 2013).



**Figure 06 : système hydroponique actif Source : Hydrobox Team**

**4-2 . les systèmes hydroponiques avec et sans substrat****4-2-1. Systèmes sans substrat (liquide de culture)**

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

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

#### 4-2-1.1. 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 (Cervantes, 2012).



Figure 07: système aquiculture

#### 4-2-1. 2. Technique du film nutritif (N.F.T.)

Le système Nutriment Film Technique (N.F.T.) a été inventé en 1979 par l'anglais Allen Cooper. Ce système de culture utilisé par les professionnels de l'horticulture ne requiert pas de substrat, mais demande une solution nutritive sans pathogène.

L'apport en éléments nutritifs provient d'une solution nutritive irriguant le substrat dans le cas des techniques de culture en eau profonde et sur film nutritif. Elle est composée des éléments nécessaires à la croissance de l'espèce cultivée. Cette dernière est composée spécifiquement pour apporter les éléments nécessaires à la croissance de la plante cultivée.

Les plantes vont absorber ces éléments via leurs racines qui sont immergées dans la solution

(Salmon et al.,2016). Les plantes sont disposées avec leurs mottes de substrats sur des plateaux de culture légèrement inclinés. Une bâche opaque assure l'obscurité nécessaire aux racines. Le liquide nutritif circule sur les plateaux sous la forme d'un fin film qui entre en contact avec les racines. Celles-ci se développent sur un tapis racinaire. L'oxygénation de la solution nutritive s'effectue par son déplacement dans les gouttières et par la grande surface d'échange du liquide avec l'air. (Gilberto ,2013).

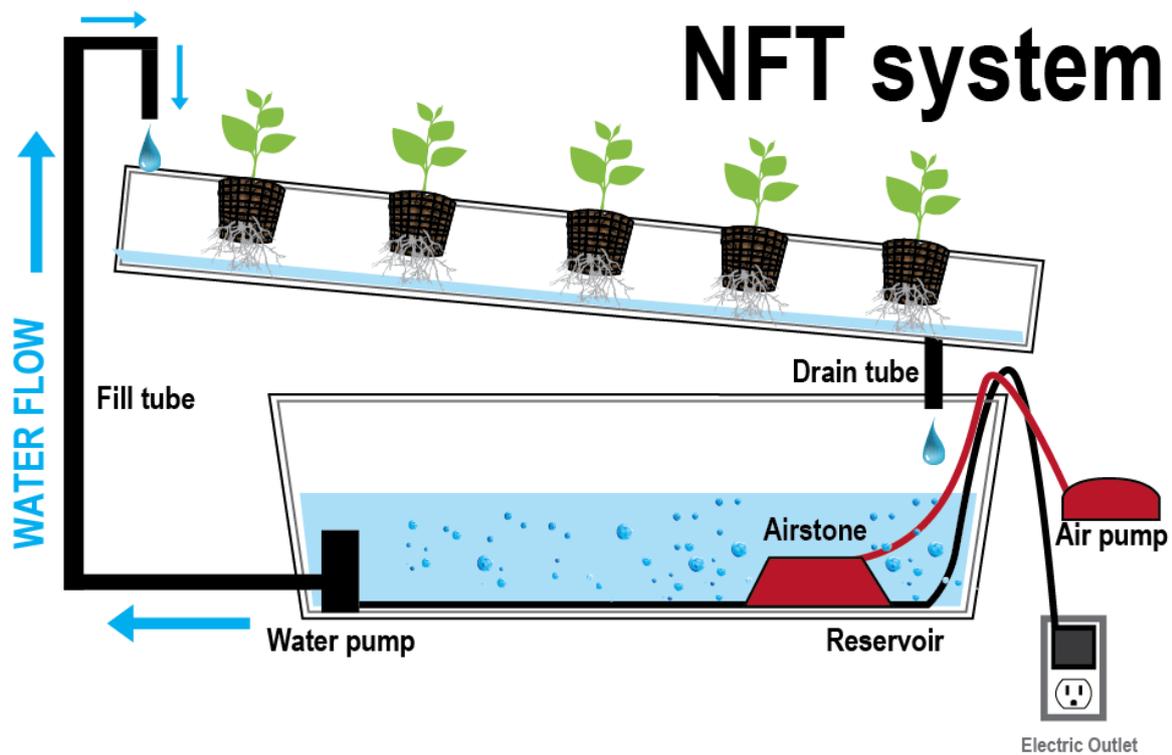


Figure 08 : système NFT .(Anonyme 5 )

#### 4-2-1.3. Aéroponie

Dans une application inhabituelle de la culture hydroponique de système fermé, les plantes sont cultivées dans des trous des panneaux de polystyrène expansé ou d'un autre matériau. Les racines des plantes sont mises en suspension dans l'air sous le panneau et 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 ) ont démontré que le rendement de la production des mini-tubercules s'est sensiblement amélioré en utilisant l'aéroponie dans des conditions tempérées.



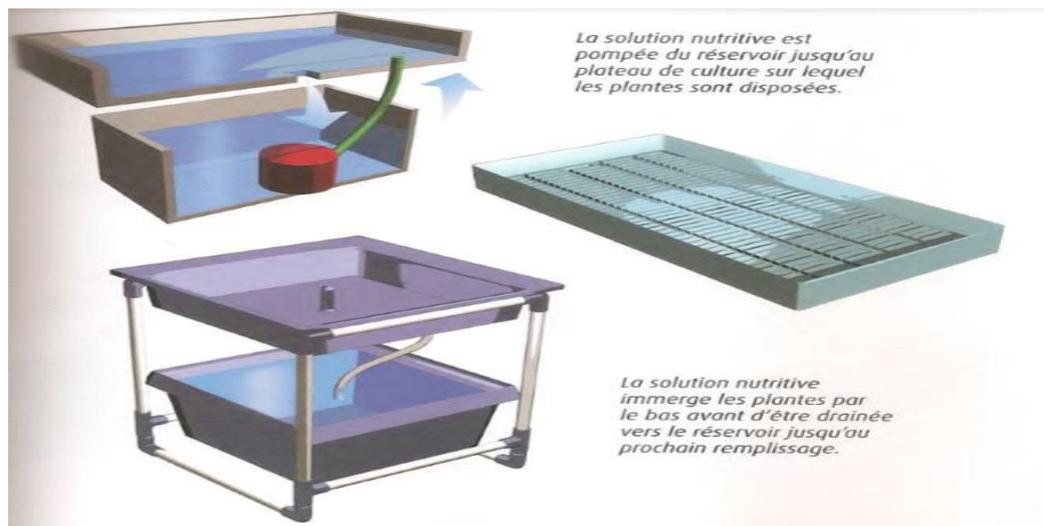
**Figure 09 : exemple de la technique aéroponique (agri ponie, 2008)**

#### **4-2-1- 4. 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 (Figure 10). 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

(Zerkout,2015).



**Figure 10: Système de table à marées (Flux-reflux) (Jorge, 2013).**

#### **4-2-1-5. Système de goutte à goutte.**

Ces systèmes utilisent une pompe qui amène l'eau au-dessus du substrat via un goutte à goutte. L'eau s'infiltré à travers le substrat, redescend dans le réservoir et est prête à être réinjectée. Les systèmes goutte-à-goutte sont faciles à installer. L'eau est pompée dans un réservoir, généralement situé sous l'espace planté, jusqu'aux goutte-à-goutte, un pour chaque plant (Figure 11). Les plants eux-mêmes peuvent être installés dans les pots individuels ou sur un plateau commun. L'eau circule à travers les pots et revient dans le réservoir. La capacité du réservoir doit être d'environ 40 litres au mètre carré de plantation. Les marques spécialisées dans l'hydroponie commercialisent un certain nombre de systèmes de goutte-à-goutte ingénieux. Certains d'entre eux réutilisent l'eau de chaque pot, avec un plant par pot. D'autres réutilisent l'eau d'un réservoir central. Les deux systèmes marchent bien (Zerkout, 2015).

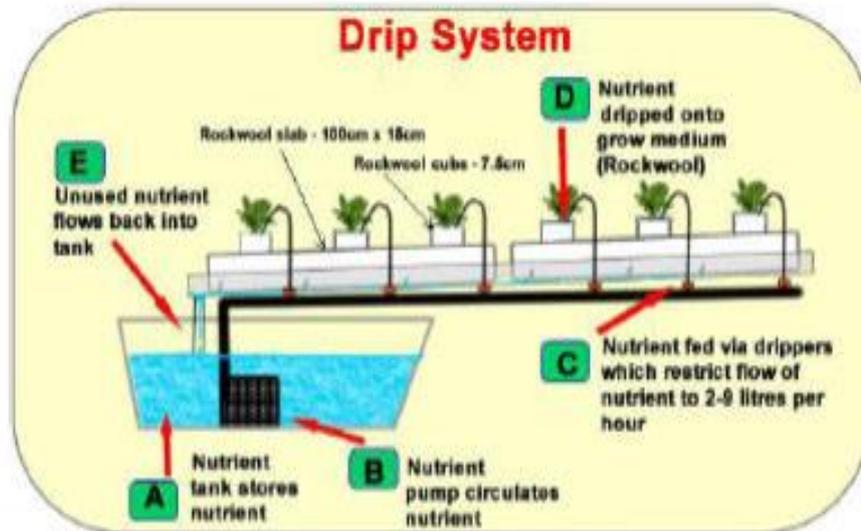


Figure 11: Système de goutte à goutte

#### 4-2-1-6. Système à flux continu

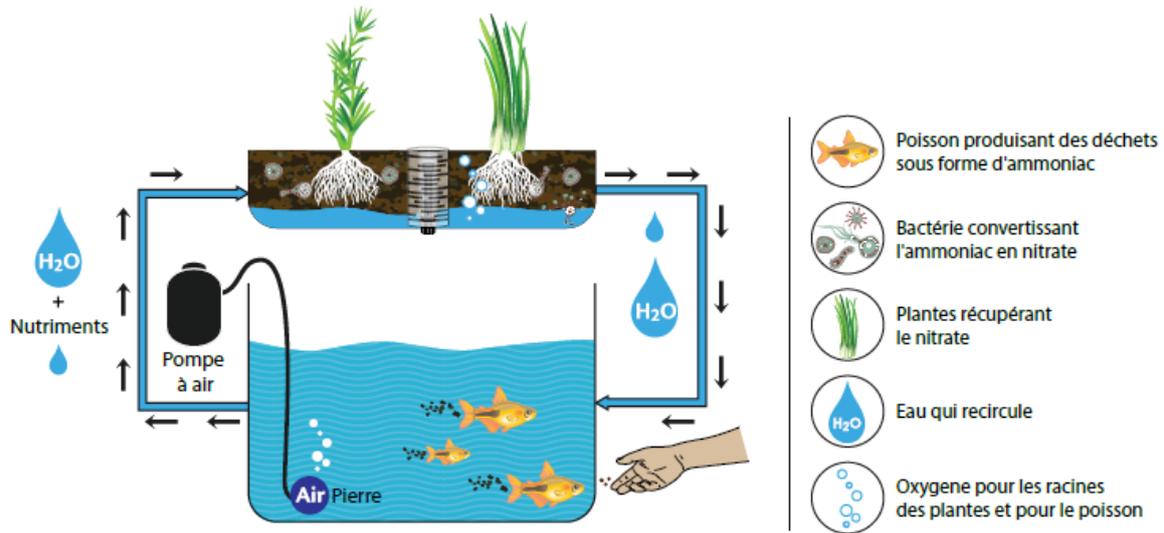
Ce système est généralement de petite taille et constitué de plusieurs petites unités. Ce système a des applications multiples. Il est surtout utilisé pour la culture de plantes culinaires ou aromatiques. Les plantes poussent dans des bacs opaques remplis le plus souvent de billes d'argile, car ce substrat 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 (Michel, 2016)

#### 4-2-1-7. L'aquaponie

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

Dans cette technique (figure 12), la solution nutritive est contenue dans un bac. Elle demande une oxygénation complémentaire de la solution nutritive pour éviter l'asphyxie des racines, via l'utilisation d'un procédé technique complexe (Mohammed, 2013), à partir d'un compresseur, d'une turbine ou plus simplement d'une pompe à air d'aquarium, ce bullage

d'air favorise également le brassage de la solution qui évite un gradient de concentration d'ions autour de la racine (Philippe, 1995). L'attrait de l'aquaponie réside donc dans son aspect non polluant, dans les économies d'eau (pouvant aller jusqu'à 90%), et dans le fait qu'il n'y ait qu'un besoin limité en engrais chimiques pour la croissance des végétaux.



**Figure 12 :** Exemple de la technique de l'aquaponie .

## 5. Exigences de la culture hydroponique :

### 5.1. Les substrats :

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tout matériau, naturel ou artificiel qui, placé en conteneur, pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support. (Blanc, 1987).

En culture hors-sol, les substrats ont un rôle de support solide. Ils n'ont pas de rôle nutritionnel direct puisque l'intégralité de l'alimentation en eau et de la nutrition minérale est apportée par la solution nutritive. Le choix d'un substrat se fait donc en fonction de ses propriétés mécaniques, physiques, chimiques et biologiques. (Simon et Minatchy. 2009 ).

En culture hors-sol, une multitude de matériaux sont disponibles afin d'élaborer un substrat de culture. Ils peuvent être de nature inorganique ou organique. (Valerie, 2015).

**A) L'origine organique :**

- **Tourbe** : L'appellation générale « tourbe » regroupe un grand nombre de matériaux qui renferment au minimum 75% de matière organique (sur base poids sec). (Morel et al, 2000). Ce sont des matériaux d'origine végétale, essentiellement organiques mousses plantes vasculaires, plantes à fleurs et feuillus. Les propriétés fondamentales des tourbes sont : le comportement mécanique (élasticité, retrait), (rétention d'eau, aération) et chimique (teneur en azote et rapport carbone/azote).(Bottraud, 1980).
- **Fibre de coco** : La fibre de coco ou moelle est une ressource naturelle et renouvelable produite à partir de cosse de noix de coco. Les cosse sont broyées, les fibres longues et moyennes sont enlevées, le coir restant étant constitué d'une moelle granulaire avec des fibres courtes. Il a de grandes capacités de rétention d'eau et de nutriments mais a une faible capacité d'échange de cations. Avec un pH de 5,7 à 6,5, le chaulage n'est pas requis. (Texier, 2015).
- **Sphaigne** : C'est une plante aquatique, mousse, hydrophyte qui peut être partiellement décomposée. Son poids frais représente 10 fois de son poids sec grâce à une bonne rétention de l'eau (Morel et al, 2000).

**B) L'origine minérale:**

- **Graviers** : Ces granulats minéraux destinés à la construction et aux travaux publics sont tirés des carrières (granite, basalte, calcaires durs) concassés puis calibrés pour donner des grains anguleux aux arêtes vives, d'autres sont tirés de rivières une fois calibrés, les grains sont arrondis ou émoussés. Ce sont en général des produits siliceux contenant des matériaux calcaires. (Titouna, 2011).
- **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 initiale. (Morard, 1995).
- **Les billes d'argile** : Ce matériau ressemble à de petites boules brunes que l'on utilise pour recouvrir les pots de fleurs, les granulés sont obtenus par un traitement de forte chaleur de l'argile. L'argile expansée possède un bon pouvoir isolant, ce qui est nécessaire pour protéger les racines des changements de température. Il est composé

de silice, d'alumine, d'oxydes de fer, et de soufre. Sa capacité de rétention en eau est de 15% en masse. (Anonyme 6).

Les substrats organiques	Les substrats minéraux
<p>Polystyrène</p> 	<p>Argile expansée</p> 
<p>La tourbe</p> 	<p>Laine de roche</p> 
<p>Terreau</p> 	<p>Vermiculite</p> 

**Figure 13 :** Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique. (Belbachir, 2017).

## 5-2. La solution nutritive.

Une solution nutritive est une solution de sels minéraux contenant à l'état dissout toutes les éléments minéraux dont la plante a besoin. Ce qui implique que les besoins en eau et les ions minéraux soutiennent parallèles. Cette solution nutritive doit être complétée équilibrée «équilibre entre l'eau et chaqu'un des ions suivant les besoins relatifs de la plante, en plus une égalité équivalente entre anions et cations » (Bouhadja, 2008).

**A). Besoins en éléments nutritifs :**

Un élément essentiel est un élément chimique dont une plante a besoin durant son cycle de développement, qui consiste à passer de l'état de graine à la production d'une autre génération de graines. (El Houssine, 2006).

On divise généralement les éléments essentiels à une plante en :

- **Éléments majeurs ou macroéléments** : Azote(N), potassium(k) et le phosphore (P)

Ce sont ceux dont la plante a besoin en plus grande quantité.

- **Les nutriments ou les éléments secondaires** : le calcium Ca, le magnésium Mg et le soufre S, ils sont nécessaires en moins de quantité par apport aux les macroéléments.

- **Éléments mineurs ou oligoéléments (macroéléments)** : le fer le zinc le manganèse Bore chlore. (Jorge, 2013).

**B). Gestion de la solution nutritive :**

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.(Sonneveld et Voogt, 2009).

**- Le pH :**

La gamme de pH optimale pour la solution nutritive de culture hors-sol est comprise entre **5,8-6,5**. Plus le pH d'une solution nutritive dépasse la gamme de pH recommandée, plus on a de chances d'échouer .chaque espèce cultivé a un ph spécifique la tomate entre **5.5-7.5**. (Sonneveld et Voogt, 2009).

**- Conductivité électrique (CE) :**

La conductivité électrique indique la concentration de la solution nutritive, elle mesurée par un conductimètre. L'unité de mesure de la CE est le dS/m.La CE idéale est spécifique à chaque culture et dépend des conditions environnementales. Pour les systèmes hydroponiques les valeurs de la CE sont de 1,5 à 2,5 ds/m. (Sonneveld et Voogt, 2009).

**- 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. (Samarakoon et al., 2006).

## 6. Espèces cultivées en hors-sol :

Avec un système hydroponique, vous n'êtes pas vraiment limité dans le type de plante que vous souhaitez cultiver, avec un conteneur assez grand, vous pouvez toujours faire pousser un arbre en leur sein, il s'agit de vérifier les exigences de la plante elle-même pour assurer un milieu pour la croissance et les niveaux de nutriments appropriés dans la solution utilisée. (Morrow, 2015).

### 6-1. Cultures légumiers sous serres :

Le développement des techniques hors-sol date des années 75 aux Pays-Bas, et du début des années 80 en France.

- ❖ **La tomate** : Est largement cultivée en hors-sol: laine de roche, fibres de coco, tourbe, bois, pouzzolane, écorce de pin, mousse de polyuréthane, ... sous toutes les latitudes.
- ❖ **Le concombre, l'aubergine, le poivron** : en laine de roche principalement et aux Pays-Bas surtout (+ France, Belgique, Danemark et Grande-Bretagne pour le concombre)
- ❖ **La laitue**: sur bandes de laine de roche ou en hydroponique mais de façon très peu développée compte-tenu de la faible rentabilité économique du hors-sol sur cette production (il existe cependant des productions hydroponiques de laitues en Belgique et au Québec).
- ❖ **Le fraisier**: en laine de roche, en coco ou en conteneurs de terreaux tourbeux en Belgique, Grande-Bretagne et aux Pays-Bas. (Alain, 2003).

### 6-2. Les cultures florales :

Les premiers essais remontent au début des années 80, d'abord sur œillets en sacs de tourbe puis en laine de roche, puis sur gerberas et roses. (Alain, 2003).

### 6-3. Arbres fruitiers nains :

Les travaux nos montrent que. On peut aussi cultiver des choses plus exotiques comme les orangers nains ou même les citrouilles, vous devrez juste vous assurer que vous avez le bon milieu et les nutriments nécessaires. (Morrow, 2015).

## **7- Avantage et inconvénient de l'agriculture Hydroponique:**

### **A)- Les avantages de l'hydroponie**

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

#### **- Le contrôle de la nutrition :**

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

#### **- L'économie d'eau et d'engrais minéraux :**

Les cultures hors sol conduisent à une meilleure maîtrise des apports d'eau et en éléments minéraux. En comparant la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un kg de produit à partir d'une culture de plein champ à celle utilisée avec une culture hydroponique, l'économie réalisée par cette dernière peut atteindre 90% à 95% des apports d'eau , ainsi les cultures hors sol ont permis de développer des activités horticoles dans des régions où l'eau est un facteur limitant: on évite ainsi les pertes par diffusion dans le milieu naturel.

Quant aux engrais minéraux, les techniques de culture hors sol conduisent aussi à une économie importante puisque les apports sont calculés en fonction des besoins et qu'il n'y a pas de stockage au niveau du sol. En réalité, l'économie réalisable va dépendre du choix de la technologie utilisée. Quand l'agriculteur choisit un système à solution recyclée, cette économie sera importante, la plante consomme la quasi-totalité des apports, par contre, quand la culture est effectuée à partir d'une solution nutritive non recyclée (circuit ouvert) les pertes

au niveau des percolas sont importantes et les économies réalisables sont limitées (Morard., 1995).

**- L'élimination des problèmes liés au sol**

La principale raison du développement agricole de la culture hors sol provient de la nécessité d'éliminer certains problèmes liés au sol comme le problème de la salinité ou la contamination par les agents pathogènes. Cette technique a permis, par exemple, de lutter contre la fusariose de l'œillet ou le corky root de la tomate (Morard., 1995). En outre, le recours à la culture sans sol devient nécessaire quand ce dernier est de qualité médiocre peu profond ou difficile à amender: C'est le cas du désert sableux notamment dans les pays du Moyen-Orient où cette technique a permis le développement d'une production maraîchère. Il ne faut pas négliger, par ailleurs, les potentialités de cette technique pour utiliser des surfaces où il n'y a pas de sol, ainsi des tentatives ont été effectuées pour créer des espaces verts en culture hors sol sur les terrasses d'immeubles ou sur des décharges publiques (Morard., 1995).

**- La réduction de l'utilisation de pesticides, grâce à une meilleure santé et une croissance plus rapide :**

Le mot « pesticide », du reste, est impropre ! Il faudrait plutôt parler de « biocide », dans la mesure où ce genre de produit tue tout ce qui vit (mais qui irait acheter du biocide ?). Beaucoup de gens pensent que les pesticides ne suppriment que les insectes nuisibles. En réalité, ces produits ne font pas de distinction, et éliminent aussi les organismes bénéfiques pour la plante. Leur utilisation devrait être exceptionnelle. Bien conduite, la culture hydroponique assure à la plante une croissance saine et rapide, lui permettant ainsi de surmonter les attaques de nuisibles ou, du moins, d'y résister. Cela ne signifie pas que vous n'aurez plus jamais besoin d'agir contre les nuisibles, mais cette nécessité sera réduite, et vous pourrez remédier aux problèmes que vous rencontrerez de façon plus douce, sans éradiquer tout organisme vivant dans le voisinage de vos plantes. Cet argument, bien entendu, n'est valable que pour les plantes annuelles à croissance rapide. (William T, 2013).

**- L'inutilité d'un recours aux herbicides :**

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

**- La vigueur d'une plante dont la culture a été amorcée dans un système hydroponique :**

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

**- L'utilisation optimale du potentiel génétique de la plante :**

On représente souvent une opération de culture comme une chaîne dont le maillon le plus faible définit la solidité. Appliquée à la croissance végétale, cette image signifie qu'il y a toujours un facteur inhibant. Ce peut être la lumière, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'humidité, une carence nutritionnelle ou bien d'autres choses encore ! Grâce à l'hydroponie, on supprime la plupart des maillons faibles de la chaîne, en particulier tout ce qui se rapporte au blocage des éléments dans la terre, ce qui est très fréquent pour de multiples raisons. En hydroponie, la plante bénéficie de conditions optimales pour exprimer tout son potentiel. C'est la génétique qui pourrait devenir le maillon faible, si vous ne choisissez pas bien votre variété. Au fil des ans, nous avons fait pousser dans notre serre des plantes immenses, qu'on n'avait jamais vues si grandes en pleine nature ; nous ne faisons rien de spécial, nous avons simplement renforcé les maillons faibles. La plupart du temps, l'hydroponie permet d'offrir aux plantes des conditions idéales de nutrition, de luminosité, de température et d'humidité. Le maillon faible, alors, devient le dioxyde de carbone (William T, 2013).

**- Une meilleure qualité des produits :**

Bien que le concept de la qualité soit difficile à préciser et à quantifier, la culture hors sol a une influence favorable sur certains critères comme :

- L'aspect extérieur des fruits et des légumes: On récolte des produits plus attrayants pour le consommateur, plus propre car jamais souillés de particules de sol et plus brillants.
- Moins de résidus de pesticides puisque ces cultures reçoivent moins de traitements phytosanitaires.
- Poids et quantités de protéines: Pendant la période de récolte, certaines études ont montré que les mesures de différents paramètres représentant la qualité des fruits de tomates cultivées en sol (fumure minérale ou amendements organiques) ou en hors sol montrent qu'aucune différence significative ne peut être attribuée à la technique culturale et la

comparaison est même favorable à la culture hors sol qui augmenterait le contenu en protéines (Morard., 1995).

**- L'accès aux racines :**

Vérifier la santé des racines quand bon vous semble devient un jeu d'enfant. La plupart des systèmes hydroponiques le permettent, ce qui facilite le traitement de problèmes tels que la présence éventuelle d'un agent pathogène ; pris à temps, cela se résout facilement.

L'accès aux racines vous apprendra également beaucoup sur la santé et le développement futur de vos plantes. L'expérience aidant, vous serez en mesure de reconnaître les boutures vivantes qui forment de belles racines saines... mais qui ne présentent pas une bonne implantation autour de la tige. Je m'y suis si bien habitué que je trouve étrange de faire pousser une plante sans pouvoir regarder ses racines. Mais cela va plus loin, pour la plupart des plantes médicinales, c'est (exclusivement, ou du moins partiellement) dans les racines que se trouvent les principes actifs. Dans certains cas, les principes actifs contenus dans les racines ne sont pas les mêmes que ceux contenus dans la partie aérienne de la plante, et il est impossible d'extraire ceux des racines sans détruire la plante. Par conséquent, de nombreuses plantes médicinales sont récoltées à l'excès dans la nature, parfois jusqu'à l'extinction. Dans les systèmes hydroponiques fermés, les racines nues sont plongées dans un flot continu de nutriments. De cette façon, on peut récolter une grande quantité de racines quasiment en permanence sans détruire les plantes. Bien entendu, il faut couper simultanément certaines parties aériennes de la plante pour préserver son équilibre ; cette biomasse sert parfois à l'extraction d'autres éléments, d'autres fois elle est simplement compostée. Les racines ainsi récoltées restent propres et ne nécessitent ni lavage, ni autre manipulation avant l'extraction. En outre, elles présentent une haute teneur en principes actifs. Cette concentration peut encore être augmentée en adaptant la nutrition de la plante au type de molécule que l'on veut produire. On peut également améliorer la croissance des racines elles-mêmes en contrôlant la quantité d'oxygène dissous dans la solution nutritive. Dans ce domaine comme dans tous les autres lorsqu'il est question de culture, il est indispensable de s'assurer qu'il existe bien un marché, et d'organiser la commercialisation du produit en amont de la production. (William T, 2013). Cependant, la production de racines médicinales est moins risquée que celle des fruits et légumes, car les racines, une fois séchées, peuvent se conserver longtemps sans être endommagées. Cet aspect ouvre de nouveaux horizons pour l'industrie des cultures sous serre aujourd'hui menacée.

**- La production d'une grande quantité de biomasse :**

Grâce à l'hydroponie, c'est possible. Le niveau élevé de nitrate dans la solution nutritive suscite une croissance végétative phénoménale. C'est un avantage si l'on a besoin d'une grande quantité de feuillage. On pourrait se servir de bassins hydroponiques pour assainir des eaux lourdement polluées. La conséquence indirecte de ce procédé de dépollution serait la production d'une grande quantité de verdure, qui pourrait à son tour être transformée en carburant. Cette technologie existe : de nombreuses expérimentations concluantes ont été menées sur ce sujet, notamment au Portugal, où un institut de recherche est parvenu à dépolluer les effluents d'une porcherie – on peut difficilement faire plus polluant ! – tout en obtenant une récolte plus que rentable. Pourquoi cette méthode n'est-elle pas plus répandue, voilà qui reste un mystère à mes yeux. (William T, 2013).

**- Une meilleure utilisation de l'espace :**

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

**- Pas de sac de terreau à porter :**

À mes yeux, c'est un grand avantage. Pour tout dire, c'est même à cause de cela que j'en suis venu à l'hydro. Dans les années 1980, lorsque j'ai décidé de construire ma première chambre de culture, j'ai frôlé à la seule idée de devoir traîner tous ces sacs trop lourds. Dans une maison, ce n'est pas tellement un problème, mais, quand on habite en appartement, ce n'est vraiment pas pratique de devoir porter un si grand nombre de sacs remplis de terreau. Cela peut même devenir franchement pénible. L'hydro génère peu de déchets, et il n'y a pas non plus grand-chose à remplacer entre chaque cycle de culture, ce qui en fait la technologie idéale si l'on dispose d'un espace réduit. C'est une certaine paresse qui m'a poussé à m'intéresser aux technologies permettant de cultiver des plantes dans l'eau, et cet intérêt ne s'est pas démenti depuis. Je n'ai jamais regretté ce choix et rien ne me ferait remettre mes plantes en terre. Je préfère œuvrer à enrichir l'eau avec les éléments bénéfiques de la terre. (William T, 2013).

**- La croissance rapide des plantes-mères :**

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

Cependant comme toute nouvelle technologie, les cultures hors sol apportent aussi des difficultés, parmi lesquelles on cite:

**B) Inconvénients de l'hydroponie**

La première et la plus importante d'entre elles, c'est que les plantes n'ont pas de protection en cas d'erreur de votre part. La terre a un pouvoir tampon. Autrement dit, elle a la capacité de maintenir une certaine stabilité autour de la masse racinaire. Dans un sol sain, tous les paramètres physiques et biologiques sont en équilibre. Si vous apportez à vos plantes trop d'engrais, un mélange non adapté ou un liquide au mauvais pH, les micro-organismes présents dans la couche supérieure du sol et la chimie du sol elle-même auront tendance à rétablir l'équilibre. C'est également le cas en hydro, mais dans une moindre mesure. La solution nutritive a aussi un pouvoir tampon, en particulier concernant le pH, mais cela n'a rien de comparable avec la terre. Un détail aussi trivial qu'un pH-mètre mal réglé peut avoir des conséquences dramatiques, comme la destruction de toutes vos plantes en une seule journée ! Ce genre de chose arrive vite en hydro. Pour illustrer mon propos, j'aime bien évoquer l'image de la voiture de course : au volant d'une voiture de course, on roule bien plus vite que dans la voiture familiale, mais un accident peut avoir des conséquences bien plus graves. Avec l'hydroponie, c'est la même chose. C'est si rapide qu'on peut littéralement voir les plantes pousser... mais on peut aussi les tuer en une heure ! La température est aussi un aspect délicat. En hydro, la température idéale à maintenir dans la zone racinaire pour que la croissance soit maximale est comprise entre 18 et 22°C. Les racines peuvent tolérer bien plus. Jusqu'à 26°C environ, il ne se passe rien ; ensuite, la croissance ralentit, et, au-delà de 35°C, racines et plantes meurent rapidement à cause du manque d'oxygène. Il existe des méthodes pour lutter contre la chaleur – nous les verrons un peu plus loin –, mais c'est un sérieux inconvénient, en particulier dans les pays tropicaux ou en intérieur, où la lumière artificielle génère beaucoup de chaleur. (William T, 2013).

Autre désavantage, l'hydroponie ne convient pas à toutes les cultures. Les tubercules et légumes racines tels que les carottes ou les pommes de terre, qui s'extraient directement du sol, nécessitent des systèmes très spécifiques et d'une conception complexe. L'aspect économique n'est pas à négliger non plus. Par exemple, le blé pousserait très bien dans un système hydroponique, mais ce ne serait pas économiquement viable. Ce sont la situation géographique et le marché local qui détermineront si une culture peut être rentable ou non. J'entends souvent d'autres critiques lors de conversations autour de l'hydro. Les deux principales objections sont le coût élevé de l'installation et le fait que le procédé ne soit pas naturel. J'ai même entendu l'expression « plantes sous perfusion » dans le sens médical du terme (William T, 2013).

- **Le coût d'installation et d'entretien élevé**

Des charges financières sont induites par une technique de production hors sol. Ces charges concernent d'une part l'investissement de début: L'installation de l'infrastructure (cuves, pompes, contrôles, le système de distribution de la solution nutritive). D'autre part, les charges proportionnelles annuelles qui impliquent l'entretien et l'achat des substrats et des solutions nutritives. Cela génère donc un surcoût des techniques hydroponiques par rapport à une même culture effectuée en sol.

- **Utilisation d'une haute technologie**

Le deuxième obstacle à la diffusion des cultures hors sol dans le milieu agricole est lié à la sophistication: Les erreurs techniques se traduisent par des troubles physiologiques qui sont beaucoup plus rares en culture sur sol. Tout personnel concerné par les cultures hors sol doit avoir une technicité assez prononcée.

- **La maîtrise incomplète des déchets**

La plupart des techniques hydroponiques horticoles utilisent des substrats. Certains de ces produits (comme la laine de roche) ne sont pas biodégradables et posent des problèmes de déchets aux agriculteurs. Cependant, actuellement les sociétés fabriquant ces produits étudient activement ce problème et proposent déjà la reprise des substrats utilisés (Morard., 1995).

D'autres parts, les risques les plus importants pour l'environnement paraissent être liés à l'utilisation incomplète de la solution nutritive par les racines des plantes. Dans les systèmes les plus couramment utilisés dit à circuit ouvert la solution nutritive est apportée aux racines des plantes en quantité très supérieure à celle des besoins des racines: L'excédent ou percola est évacué dans le sol avec les eaux de ruissellement vers les nappes phréatiques.

Pour conclure, la pratique de la culture hors sol s'accroît d'une manière significative dans le monde, c'est une solution efficace pour différentes contraintes et limites liées au sol, et au milieu et qui permet notamment l'augmentation des rendements et le développement de l'agriculture en général. En effet, elle représente un concept d'avenir puisque la population de la planète est en croissance géométrique et il y a de moins en moins de terres arables et fertiles qui sont utilisables pour subvenir aux besoins de ces populations.

### **8- Rendement dans des systèmes hors-sol et des systèmes en pleine terre conventionnels.**

Hussain et al. (2014) ont signalé l'obtention des rendements de 10 à 20 fois supérieurs en hydroponie par rapport aux rendements agricoles moyens (Tableau 02). Par conséquent, on peut s'attendre à ce qu'une superficie beaucoup plus réduite soit nécessaire pour la production hydroponique.

**Tableau 02 :** Comparaison des rendements dans les systèmes hydroponiques (culture sur substrats) et des rendements agricoles moyens obtenus en pleine terre (basée sur Singh et Singh (2012))

	Hydroponique (tonne/ha)	Moyenne agricole (tonne/ ha)	Hydroponique/ agricole
blé	5.5	0.7	8
avoine	3.5	1	3.5
riz	14	1	14
maïs	9	1.7	5
soja	1.7	0.7	2.5
betterave	23	10	2.3
chou	20.5	15	1.4
Petit pois	16	2.3	7.0
tomate	450	19	24
Chou-fleur	34	14.2	2.4
laitue	24	10	2.4
concombre	32	8	4

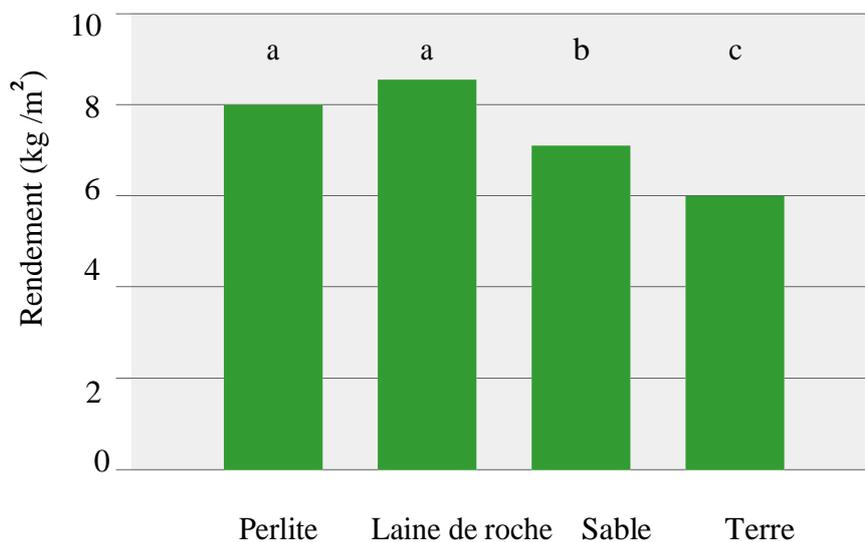
Olle et al. (2012) ont conclu de leur étude de la littérature que la production de différents légumes est en général supérieure pour les plantes cultivées dans différents support de culture à celles cultivées en pleine terre, ce qui indique que le support de culture pourrait mieux répondre aux exigences de la plante que le sol.

Abak et Celikel (1994) ont mené des expériences en Turquie et ils ont rapporté des rendements de tomates supérieurs de 15 % (statistiquement significatifs) sur laine minérale par rapport aux cultures en pleine terre. Ces auteurs ont obtenu, en moyenne sur deux ans, 23,3 kg/m<sup>2</sup> sur laine minérale, alors que les cultures en pleine terre généraient 20 kg/m<sup>2</sup>.

Barbosa et al. (2015) ont comparé les besoins en terre de l'hydroponie à ceux de l'agriculture traditionnelle en étudiant l'exemple de la culture de laitue à Yuma, Arizona, États-Unis. Les données ont été obtenues à partir des budgets de cultures et des statistiques agricoles du gouvernement et rapportées aux données théoriques pour la production de laitue en culture hors-sol dérivées en utilisant les équations techniques remplies avec les valeurs de la littérature. Les rendements annuels de laitue par serre (815 m<sup>2</sup>) étaient de 41 ± 6,1 kg m<sup>2</sup>, alors que la production conventionnelle avait un rendement de 3,9 ± 0,21 kg/m<sup>2</sup>.

L'hydroponie offrait donc des rendements 11 ± 1,7 fois supérieurs.

Guler et al. (1995) ont comparé la production de melons sur laine minérale à la production en pleine terre à La Canée, en Grèce. La culture sur laine minérale a permis d'obtenir un rendement de 8,3 kg /m<sup>2</sup>, contre 6,1 kg/m<sup>2</sup> (Figure 13) pour la culture en pleine terre. Ce rendement supérieur de 36 % sur laine minérale était dû à un poids moyen du fruit supérieur : 1 031 g fruit-1 sur laine minérale et 734 g fruit-1 en pleine terre.



**Figure 13:** En moyenne sur 2 ans, production de melons cultivés sur trois substrats différents (perlite, laine minérale et sable) ou dans un système en pleine terre conventionnel (les différentes lettres indiquent les différences importantes (Guler et al., 1995).

# Conclusion

### Conclusion

Globalement, il y a trois défis majeurs, lié au système de production alimentaire conventionnel basé sur l'agriculture. Ils sont très bien définis dans le cadre des objectifs de développement durable des Nations Unies. Ces trois défis sont la sécurité alimentaire, la sécurité nutritionnelle et la sécurité climatique. Avec une population mondiale en constante augmentation, une diminution des terres arables, l'érosion des sols et la rareté de l'eau douce disponible, ces défis aggravent l'homéostasie écologique. Ces défis interconnectés sont d'une importance capitale et peuvent être surmontés dans une certaine mesure grâce à des pratiques agricoles intelligentes face au climat telles que l'utilisation de sources d'énergie renouvelables pour stimuler l'agriculture, la diversification des cultures, la rotation des cultures et l'agriculture biologique. Cependant, le besoin de l'heure est de sauter vers des pratiques de culture résilientes au climat. Le déploiement de la technologie de culture intérieure sans sol est l'une de ces stratégies durables à long terme. L'adoption de l'agriculture hydroponique offre une excellente opportunité de produire plus avec moins de surface de culture, plus de récolte par goutte d'eau, une réduction de la charge chimique toxique et une amélioration de l'empreinte écologique, lorsqu'ils sont pratiqués dans un environnement contrôlé, les systèmes hydroponiques peuvent être conçus pour soutenir une production continue tout au long de l'année.

Les systèmes hydroponiques sont très polyvalents et peuvent aller de configurations de jardin rudimentaires à des entreprises commerciales hautement sophistiquées. Diverses cultures commerciales et spécialisées peuvent être cultivées en utilisant la culture hydroponique, notamment les tomates, les concombres, les poivrons, les aubergines, les fraises et bien d'autres. Les légumes à feuilles, tels que la laitue, peuvent également être cultivés en culture hydroponique.

Les caractéristiques et les avantages de l'agriculture hydroponique lui permet de contribuer de façon importante à la sécurité alimentaire de demain.

# Références bibliographiques

### -A-

- **Abak et Celikel**,(1994) Comparison of some Turkish originated organic and inorganic substrates for tomato soilless culture. *Acta Horticulturae* 366: 423-428. DOI: 10.17660/ActaHortic.1994.366.52
- **Agro poni**, (2008). Application de la technique aeroponique a circuit ferme dans l'agriculture. Promotion et diffusion de la technologie aéroponique dans l'agriculture, p61.
- **Alain**, (2003). Fondements & principes du hors-sol : Doc V 3.1 HRS 12 Ind. p10
- **Altieri, MA., Nicholls, CI., Henao, A., et Lana, MA.** (2015) Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.* 35 869–890  
<https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- **Armand**,( 2006). *Agriculture et développement dans le monde*, Edition Ellipses Marketing. S.A, page 6 et 112.
- **Aspe, C.** (2012). *De l'eau agricole à l'eau environnementale: Résistance et adaptation aux nouveaux enjeux de partage de l'eau en Méditerranée.* Éditions Quæ.  
<https://doi.org/10.3917/quae.aspe.2012.01>

### -B-

- **Bai, J., Seale Jr, J. L., et Wahl, T. I.** (2020). Meat demand in China: to include or not to include meat away from home?. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 64(1), 150-170.
- **Banque mondiale**, (2015). agriculture et alimentation.  
<https://www.banquemondiale.org/fr/topic/agriculture/overvie>
- **Barbosa, G.L., Gadelha, F.D.A., Kublik, N.,Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G.M et Halden, R.U.** (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International*

## Références Bibliographiques

---

Journal on Environmental Research and Public Health 12: 6879-6891.  
doi:10.3390/ijerph120606879

- **Barrett, C.B.** (2010). Measuring food insecurity. *Science* 327 (5967): 825-828.
- **Belbachir M,** (2017). Production de fourrage par techniques hydroponiques. Cas de l'orge à Sidi mdjahed, commune de beni bousaid. Univ Tlemcen.
- **Biddinger, EJ, Liu, C., Joly, RJ et Raghothama, KG** (1998). Réponses physiologiques et moléculaires des plants de tomates cultivés en aéroponie à la carence en phosphore. *Journal de l'American Society for Horticultural Science* , 123 (2), 330-333.
- **Blanc,**( 1987) Les cultures hors sol. Ouvrage collectif dirigé par Denise Blanc, les a.t.p. de l'INRA, 2eme Ed. Paris, France, p:361.
- **Bouhadj H,** (2008). Amélioration et stimulation de la croissance végétative par le procédé fertirrigation en arido- culture. Thèse de magistère INA (El-Harrach), ALGER. 40P.
- **Bottraud, JC.** (1980). Relations entre la composition micromorphologique des tourbes et leurs comportements hydrique, mécanique et physicochimique. *DDA-ENSA Montpellier*, 52p .
- **Brown, L. R.** (2012). Full Planet, Empty Plates – The New Geopolitics of Food Scarcity, W. W. Norton & Co, New-york & London.
- **Burlingame, B., Charrondiere, UR, Dernini, S., Stadlmayr, B. et Mondovì, S.** (2012). Biodiversité alimentaire et régimes alimentaires durables : implications des applications pour la production et la transformation des aliments. Dans *Technologies vertes dans la production et la transformation des aliments* (pp. 643-657). Springer, Boston, MA.

-C-

- **Cardinale, B.J; Duffy, J.E, Gonzalez, A., Hooper, D.U, Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., MacE, G.M, Tilman, D., Wardle, D.A , Kinzig, A. , Daily, G.C, Loreau, M., Grace, JB., Larigauderie, A., Srivastava, DS. et Naeem, S.** (2012). La perte de biodiversité et son impact sur l'humanité . *Nature* , 486 (7401), 59- 67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- **Caquet, T., Gascuel, C. et Tixier-Boichard, M.** (2020) *Agroécologie : des recherches*

*pour la transition des filières et des territoires*. Éd Quae, Collection : Matière à débattre et décider, 104 p.

- **Cervantes**, (2012) Culture en intérieur. Mama Edition, 1 rue Pétion 75011 (France). P : 199-203.
- **Chambers, R.** (1989). Editorial introduction: vulnerability, coping and policy. *IDS bulletin* 20 (2): 1-7
- **Chambers, R et Conway G.** (1992). Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century.
- **Christophe**, (2016). Aquaponie une solution intelligente basée sur les poissons pour produire de la nourriture en utilisant des ressources limitées et peu d'eau. Smart fiche: p 2-9.
- **Coates J.** (2013). Build it back better: Deconstructing food security for improved measurement and action. *Global Food Security* 2 (3): 188-194.
- **Collette,L., Hodgkin,T., Kassam, A., Kenmore, P., Lipper, L., Nolte, C., Stamoulis, K. et Steduto, P.** (2011). Save and Grow: a policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production, FAO.

### -D-

- **DAES, ONU.** (2014). les défis à relever pour une urbanisation durable.  
*New York : ONU .*
- **Domergue, M.** (2012). L'agriculture grignotée par la ville. *Alternatives Économiques*, 314, 33-33. <https://doi.org/10.3917/ae.314.0033>
- **Dufumeir**, (2009). ingénieur agronome, Institut national agronomique Paris  
Grignonradiofrance.fr [archive].
- **Dyson, M. E.** (1996). *Between God and Gangsta Rap: Bearing Witness to Black Culture*. Oxford University Press, Inc., 198 Madison Avenue, New York, NY 10016.

### -E-

## Références Bibliographiques

---

- **El Houssine**, (2006). Complément de cours de physiologie végétale. p11
- **Ellis, C., et Swaney, M. W.** (1947). Soiless growth of plants. *Soiless growth of plants.*, (2nd Ed).

### -F-

- **Fanzo, J., Cogill, B. et Mattei, F.** (2012). Mesures des régimes alimentaires et des systèmes alimentaires durables.
- **FAO.** (1983). World Food Security: a Reappraisal of the Concepts and Approaches. Director Generals Report, Rome.  
Repéré à <http://www.momagri.org/pdf/FAOsecurite-alimentaire.pdf>
- **FAO.** (1996). Déclaration de Rome sur la sécurité alimentaire mondiale, Sommet mondial de l'alimentation 13-17 Novembre 1996, Rome, Italie.  
Repéré à <http://www.fao.org/docrep/003/w3613f/w3613f00.htm>
- **FAO.** (2002). Measurement and assessment of food deprivation and under-nutrition. International Scientific Symposium. Rome.  
Repéré à [http://www.fao.org/3/a\\_y4250e.pdf](http://www.fao.org/3/a_y4250e.pdf)
- **FAO.** (2008). Land and Plant Nutrition Management Service.  
<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>
- **FAO.** (2008). Introduction aux concepts de la sécurité alimentaire. Sécurité alimentaire: l'information pour l'action Guides pratiques, Rome. Repéré à <http://www.fao.org/3/a-al936f.pdf>
- **FAO, FIDA et PAM.** (2014). L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2014. Créer un environnement plus propice à la sécurité alimentaire et à la nutrition, Rome:  
Repéré à <http://www.fao.org/3/a-i4030f.pdf>
- **FAO.** (2015). Aperçu régional de l'insécurité alimentaire au Proche-Orient et en Afrique du Nord ».Rome, p:36 .

## Références Bibliographiques

---

- **FAO, FIDA et PAM.** (2015). L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2015. Objectifs internationaux de réduction de la faim: des progrès inégaux. Rome, Repéré à <http://www.fao.org/3/a-i4646f.pdf>
- **FAO et FHI 360.** (2016). Minimum dietary diversity for women: a guide for measurement. Rome: FAO, <http://www.fao.org/3/a-i5486e.pdf>
- **FAO, FIDA, OMS, PAM et UNICEF.** (2017). L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2017. Renforcer la résilience pour favoriser la paix et la sécurité alimentaire. Rome, FAO. <http://www.fao.org/3/a-I7695f.pdf>
- **FAO.** (2018). Voices of the Hungry. <http://www.fao.org/in-action/voices-of-the-Hungry>
- **FAO** (2019a) The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture, Bélanger, J.& Pilling, D. (eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments.
- **FAO,** (2019b). La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2019. Aller plus loin dans la réduction des pertes et gaspillages de denrées alimentaires. FAO, Rome. AO, Rome. p:572 .
- **Foresight.** (2011). The future of food and farming. Final Project Report. London, UK. Retrieved from [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/288329/11-546-futureof-food-and-farming-report.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/288329/11-546-futureof-food-and-farming-report.pdf)

### -G-

- **Garnett, T.** (2014). Trois perspectives sur la sécurité alimentaire durable : efficacité, maîtrise de la demande, transformation du système alimentaire. Quel rôle pour l'analyse du cycle de vie ? *Journal de la production plus propre*, 73, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.045>
- **GIEC.** (2014). Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Disponible le 20-04-2021 sur <https://repository.uneca.org/handle/10855/23228>.

## Références Bibliographiques

---

- **Godfray, H.C.J., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Nisbett, N., ... et Whiteley, R. (2010).** L'avenir du système alimentaire mondial. *Transactions philosophiques de la Royal Society B : Sciences biologiques*, 365 (1554), 2769-2777.
- **Gladek, E., Roemers, G., Sabag Muñoz, O., Kennedy, E., Fraser, M et Hirsh, P. (2016).** *The global food system: An analysis*. Amsterdam. Retrieved from <https://www.metabolic.nl/publications/global-food-system-analysis>
- **Guler, H.G., Olympios, C. et Gerasopoulos, D. 1995.** The effect of the substrate on the fruit quality of hydroponically grown melons (*Cucumis melo* L.). *Acta Horticulturae* 379: 261-266. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.379.32
- **Gilberto, (2013).** Système hydroponique : actif ou passif (Publiée le 3 juillet 2013). <http://hydroponie.fr/systeme-hydroponique-actif-passif>
- **Grafton, R., Daughjerg, C. et Qureshi, Muhammad. (2015).** Towards food security by 2050. *Food Security*. 7. 179-183. 10.1007/s12571-015-0445-x.

### -H-

- **Harmon, A.H, et Gerald, B.L (2007).** Position de l'American Dietetic Association : les professionnels de l'alimentation et de la nutrition peuvent mettre en œuvre des pratiques pour conserver les ressources naturelles et soutenir la durabilité écologique. *Journal de l'Association diététique américaine*, 107 (6), 1033-1043.
- **Harrison, P. (2002).** Agriculture mondiale: horizon 2015/2030. Rapport abrégé. Archive de document de la F.A.O, Département économique et social.
- **Heron R.I. (2016).** Les mangeurs urbains burkinabè, entre satisfaction et sécurisation alimentaires, Thèse de doctorat : Socio-Anthropologie: Université Panthéon-Sorbonne-Paris I, p:436 .
- **HIF, (2012).** Hanna Instrument France. Culture hydroponiques et horticoles. p:2-3.

## Références Bibliographiques

---

- **HLPE, (2016).** Sustainable agricultural development for food security and nutrition: what roles for livestock? A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome
- **Hussain R., Sedgh, G. et Singh, S.** (2014) A review on the science of growing crops without soil (soilless culture) – A novel alternative for growing crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 7: 833-842.

### -I-

- **IFPRI.** (2015). Rapport 2015 sur la nutrition mondiale: mesures et redevabilité en vue d'accélérer les progrès mondiaux en matière de nutrition et de développement durable. <http://dx.doi.org/10.2499/9780896298835>
- **IPES-Food.** (2015). The new science of sustainable food systems: Overcoming barriers to food systems reform. Retrieved from [http://www.ipes-food.org/images/Reports/IPES\\_report01\\_1505\\_web\\_br\\_pages.pdf](http://www.ipes-food.org/images/Reports/IPES_report01_1505_web_br_pages.pdf)

### -J-

- **Janin, P.** (2017). Penser et agir contre la faim: entre crise et sécurisation. Université Paris 1-Panthéon Sorbonne IRD: Projet SAOATI, UMR Développement et sociétés, 17 p.
- **Janin, P., et Dury, S.** (2012). Les nouvelles frontières de la sécurité alimentaire. *Cahiers Agricultures* 21 (5): 285-292/
- **Jensen, MH., et Collins, WL** (1985). Production végétale hydroponique. *Revue horticole*, 7, 483-558.
- **Jorge C,** (2013) Culture en intérieur - La bible du jardinage indoor, Mama Editions, 1 rue Pétion, 75011 Paris (France) , p 195-202

### -K-

- **Kang, YS, Risbud, S., Rabolt, JF et Stroeve, P.** (1996). Synthèse et caractérisation de particules nanométriques Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> et  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Chimie des matériaux*, 8 (9), 2209-2211.

- **Kearney, J.** (2010). Tendances et moteurs de la consommation alimentaire. *Transactions philosophiques de la société royale B : sciences biologiques* , 365 (1554), 2793-2807.
- **Kim, BH, Ikeda, T., Park, HS, Kim, HJ, Hyun, MS, Kano, K., ... et Tatsumi, H.** (1999). Activité électrochimique d'une bactérie réductrice de Fe (III), *Shewanella putrefaciens* IR-1, en présence d'accepteurs d'électrons alternatifs. *Techniques de biotechnologie* , 13 (7), 475-478.

### -L-

- **Lang, T., Barling, D., et Caraher, M.** (2009). Food policy: Integrating health, environment and society. Oxford, UK: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198567882.001.0001>

### -M-

- **Maxwell, (1996).** Food security : a post-modern perspective, *Food Policy*, vol. 21 ,p.155-170.
- **Michel,B.** (2016) La culture indoor: Hydroponie, éclairage, ventilation, engrais –Master édition Broché. p128.
- **Morrow, (2015)** Hydroponics for Beginners: Essential Hydroponic Gardening Guide. Copyright, First Published. Printed in the United States of America. p16.
- **Mohammed, Essadaoui.** (2013). Bulletin de l'IMIST d'information technologique. Industrie agroalimentaire.N° 25, p:34.
- **Morard, (1995).** Les cultures végétales hors sol Ed. Lavoisier, développement, génétique et amélioration Ed Lavoisier p :75-78.
- **Morel, P., Rivière, LM, et Poncet, L.** (2000). *Les supports de culture horticoles* . Éditions Quae.
- **Muller, P.** (2015). La société de l'efficacité globale. Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.mulle.2015.02>

## Références Bibliographiques

---

### - N-

- **Naville, E., et H. R. Hall.** (1913). le temple de la XIe dynastie à Deir el-Bahari. Vol 3 Egypt Exploration Fund Memoir 32. Londres: Egypt Exploration Fund.

### -O-

- **Olle, M., Ngouajio, M. and Siomos, A.** (2012). Vegetable quality and productivity as influenced by growing medium: a review. *Žemdirbystė=Agriculture* 99: p 399–408.
- **O.C.D.E,** (2004). G.T.M, Agriculture et environnement: Enseignement tirés de dix ans de travaux (1993-2003) de l'O.C.D.E.

### -P-

- **Philippe, MJ, Serghat, M., Van Houtte, P., et Esling, C.** (1995). Modélisation de l'évolution de texture pour des matériaux à symétrie hexagonale-II. application aux alliages de zirconium et de titane  $\alpha$  ou proche  $\alpha$ . *Acta metallurgica et materialia* , 43 (4), 1619-1630.

### -S-

- **Salmon, VG, Soucy, P., Mauritz, M., Celis, G., Natali, SM, Mack, MC et Schuur, EA** (2016). La disponibilité de l'azote augmente dans un écosystème de toundra pendant cinq années de dégel expérimental du pergélisol. *Biologie du changement global* , 22 (5), 1927-1941.
- **Samarakoon UC, Weerasinghe PA, Weerakkody AP (2006).** Effet de la conductivité électrique [EC] de la solution nutritive sur l'absorption, la croissance et le rendement nutritif de la laitue frisée (*Lactuca sativa* L.) en culture stationnaire . *Trop Agric Res* 18 : 13-21.
- **Sánchez-Bayo, F., Wyckhuys, K. A.G.** (2019) Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers, *Biological Conservation*, 232,p 8-27.
- **Searchinger, T., Hanson, C., Ranganathan, J., Lipinski, B., Waite, R., Winterbottom, R., et Ari, T. B.** (2013). Creating a sustainable food future: Interim findings. A menu of solutions to sustainably feed more than 9 billion people by 2050. Washington, DC. Retrieved from [https://www.wri.org/sites/default/files/wri13\\_report\\_4c\\_wrr\\_online.pdf](https://www.wri.org/sites/default/files/wri13_report_4c_wrr_online.pdf)

## Références Bibliographiques

---

- **Shields, PM et Rangarajan, N.** (2013) A Playbook for Research Methods: Integrating Conceptual Frameworks and Project Management. Nouveau Forum Presse, Stillwater, OK
- **Shelef, O., Weisberg,PJ. et Provenza, FD.** ( 2017). Le valeur des plantes indigènes et locale production à l'ère de la mondialisation agriculture. De face. Usine Sci. 8, 2069.
- **Simon, S., et Minatchy, J.** (2009). *Guide de la tomate hors sol à la Réunion* . CIRAD.
- **Singh, S., et Singh BS.** (2012). Hydroponics – A technique forcultivation of vegetables and medicinal plants. In: Proceedings of 4th Global conference on Horticulture for Food, Nutrition and Livelihood Options.
- **Sonneveld et Voogt.** ( 2009). Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer Science and Business Media .431P

### -T-

- **Texier, W.** (2013) L'hydroponie pour tous : tout sur l'horticulture à la maison. France : Mama édition, p15-33 .
- **Texier,W.** (2015).- L'Hydroponie pour tous - Les dix clés de l'horticulture à la maison Mini édition Broché
- **Titouna, D.** (2011). Etude numérique de la solution nutritive dans un milieu poreux: cas de la laine de roche floriculture et expert (doctoral dissertation, université de batna 2).
- **Touzard, J.M., et Temple, L.** (2012). Sécurisation alimentaire et innovations dans l'agriculture et l'agroalimentaire: vers un nouvel agenda de recherche? *Cahiers Agricultures*, 21 (4): 285-292.

### -V-

- **Valérie,** (2015). Irrigation, substrats et fertilisation dans la culture hors-sol du fraisier, des enjeux pour une production optimisée, mémoire Maître ès sciences (M. Sc.), Univ Québec, canada. P 67

## Références Bibliographiques

---

- **Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., et Ingram, J. S.** (2012). Climate change and food systems. *Annual review of environment and resources*, 37(1), 195-222.

### -W-

- **Watts, MJ et Bohle, HG** (1993). L'espace de la vulnérabilité : la structure causale de la faim et de la famine. *Progrès en géographie humaine* , 17 (1), 43–67.  
<https://doi.org/10.1177/030913259301700103>
- **Weingartner L.** (2005). The concept of food and security. *Achieving food and Nutrition security* 3: 21-52
- **Webb P., Coates J., Frongillo E A., Rogers B L., Swindale A et Bilinsky P.**(2006). Measuring Household Food Insecurity: Why It's So Important and Yet So Difficult to Do, *The Journal of Nutrition*, Volume 136,p 1404S -1408S,  
<https://doi.org/10.1093/jn/136.5.1404S>
- **Webb P., Rogers B.L.** (2003). Addressing the " In" in food insecurity. Washington, DC: USAID/Food and Nutrition Technical Assistance Project Academy for Educational Development, p 36 . (*Occasional papers n° 1*).
- **Wheeler, Tim et von Braun, Joachim.** (2013). Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science* (New York, N.Y.). 341. 508-13. 10.1126/science.1239402.

### -Y-

- **Yaro J.A.** (2004). Theorizing food insecurity: building a livelihood vulnerability framework for researching food insecurity. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography* 58 (1): 23-37.

### -Z-

- **Zerkout,** (2015). Essai de valorisation des eaux usées traitées en cultures hydroponiques. Thèse de Master, Production Végétal et Système Expert en Agro pédologie, Faculté des sciences : Filières sciences agronomiques, Université 20 aout 1955- Skikda, p:1-38

### **Sites web**

- Anonyme 1: <http://www.fao.org/hunger/fr/> .
- Anonyme 2: <http://www.fao.org/3/al936f/al936f00.pdf> .
- Anonyme 3: <http://www.fao.org/3/w0078f/w0078f06.htm>
- Anonyme 4: <https://www.futureoffood.ox.ac.uk/what-food-system>.
- Anonyme 5: <https://hydroponicsinfomation.wordpress.com/2013/04/21/nfhydroponic>
- Anonyme, 6: <http://www.dorffer-patrick.com>
- <https://esa.un.org/unpd/wpp>