



FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES S N V

Domaine : Science de la Nature et de la Vie, **Filière :** Biologie

Licence : Biotechnologie Végétale

Semestre : 05/ UE Méthodologies UEM1 (O/P)

Crédits : 6/ **Coefficients :** 3

Matière : Techniques en cultures hors sol

Objectifs de l'enseignement :

L'étudiant aura beaucoup de connaissances en nutrition et comportement des plantes dans un environnement défavorable à l'agriculture classique. Acquisition de techniques permettant de produire une végétation sur un milieu inerte chimiquement.

Connaissances préalables recommandées :

L'étudiant doit avoir des connaissances en physiologie végétale, chimie minérale

Références bibliographiques

BLANC D., 1987 : Les cultures hors sol, 2^{ème}, Ed. INRA, Paris. 409p

MARTINEZ S., et MORARD P., 2000 : Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol h, Forum Graines de Chercheurs, ENSAT, Toulouse .322p

MORARD P., 1995 : Les cultures végétales en hors sol h, Pub. Agris, Paris, 301p.

MORARD P., CAUMES E., SILVESTRE J., 2003 : Influence de la concentration de la solution nutritive sur la croissance et la nutrition minérale de la tomate. Canadian Journal of Plant Science, Canada, pp299-304.

Mode d'évaluation : contrôle continu et Examen

Contenu de la matière

I. Culture hydroponique

1. Définition et concept
2. Outillage et application
3. Avantages et inconvénients

II. Substrats utilisés

1. Classification selon la nature et les propriétés des matériaux
2. Caractéristiques techniques de substrat : matériaux minéraux naturels, matériaux traités (perlite, **vermiculite, argile expansée, autres...**)

Solutions nutritives

1. Composition chimique (éléments majeurs, éléments mineurs)
2. Préparation des solutions nutritives

III. Systèmes d'irrigation en culture hors sol

Matière

Techniques en cultures hors sol

Cours

Introduction

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

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

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

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

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 1: jardine suspendus de Babylone

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.

La différence entre la terre et l'hydroponie

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

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

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

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

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

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

Passons en revue les avantages et inconvénients de chaque culture :

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

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

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

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

➤ **Inconvénients de la culture hydroponique :**

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

➤ **Avantages de la culture hydroponique :**

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

Source (cannaweed, 2008)

X. Différents systèmes de la culture hydroponique

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

1. Système hydroponique actifs et passifs :

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

c) Un système hydroponique passif

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

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



Figure 2 : système hydroponique passif

Source : Hydrobox Team

d) Un système hydroponique actif

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

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

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

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

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

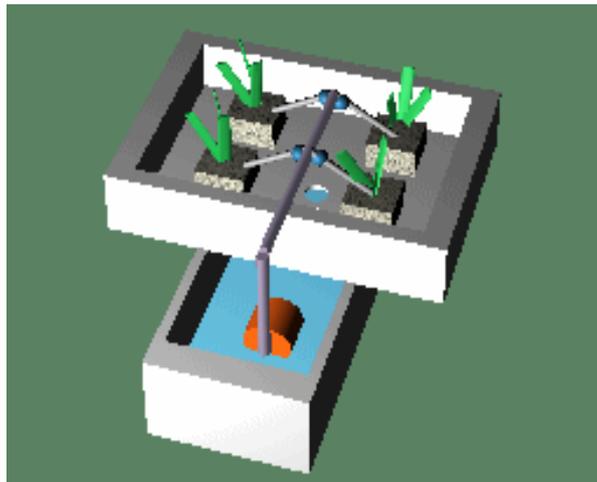


Figure 3 : système hydroponique actif

Source : Hydrobox Team

2. les systèmes hydroponiques avec et sans substrat

c) Systèmes sans substrat (liquide de culture)

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

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

i. Aquiculture

Dans l'aquiculture, la solution nutritive est contenue dans un bac. Elle demande une oxygénation complémentaire de la solution nutritive pour éviter l'asphyxie des racines, via l'utilisation d'un procédé technique complexe. L'aquiculture reste de ce fait un système destiné à la recherche et peu développé dans la pratique (Cervantes, 2012).



Figure 4 : système aquiculture

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

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

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

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

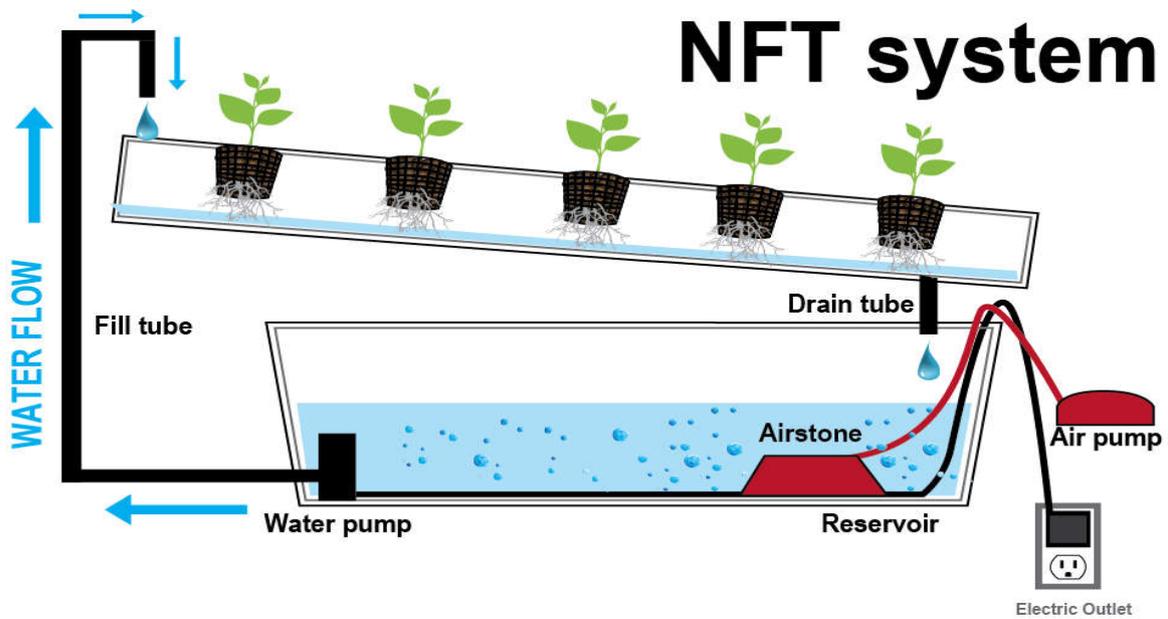


Figure 5 : système NFT

Source (google)

iii. Aéroponie

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

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

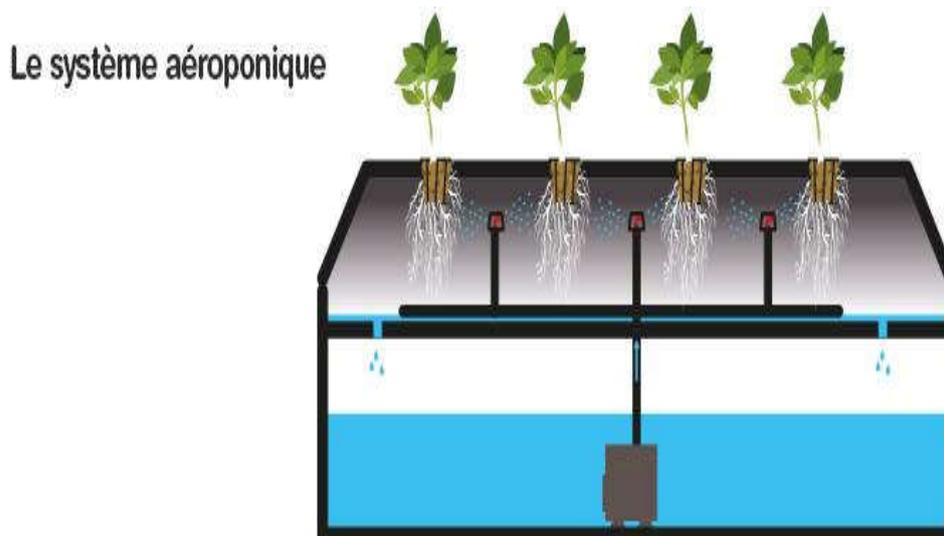


Figure 6 : système aéroponie

Source :(google)

iv. Ultraponie

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

d) Systèmes avec substrat

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

i. L'origine minérale:

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

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

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

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

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

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

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

ii. L'origine organique :

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

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

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

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

Tableau 1 : Les principaux substrats utilisés en culture hydroponique

| Les substrats organiques | Les substrats minéraux |
|---|--|
| <p data-bbox="438 421 592 454">Polystyrène</p>  | <p data-bbox="1018 436 1220 470">Argile expansée</p>  |
| <p data-bbox="450 824 580 857">La tourbe</p>  | <p data-bbox="1023 808 1216 842">Laine de roche</p>  |
| <p data-bbox="464 1314 566 1348">Terreau</p>  | <p data-bbox="1038 1312 1198 1346">Vermiculite</p>  |

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

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

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

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

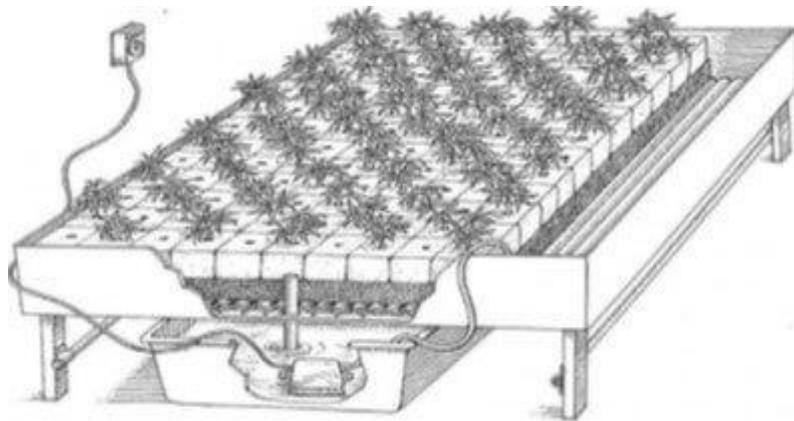


Figure 7 : Le système de table à marées (Flux-reflux).

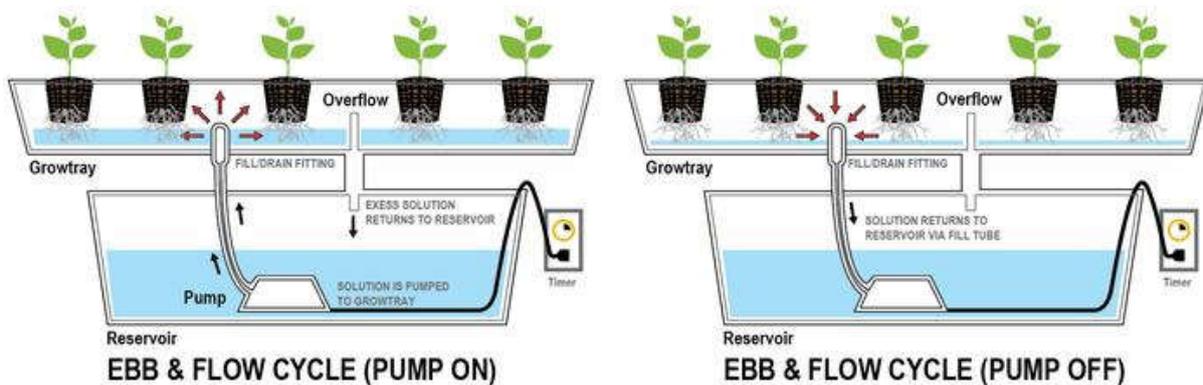


Figure 8 : Fonctionnement d'une table à marée

➤ **Système de goutte à goutte**

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

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

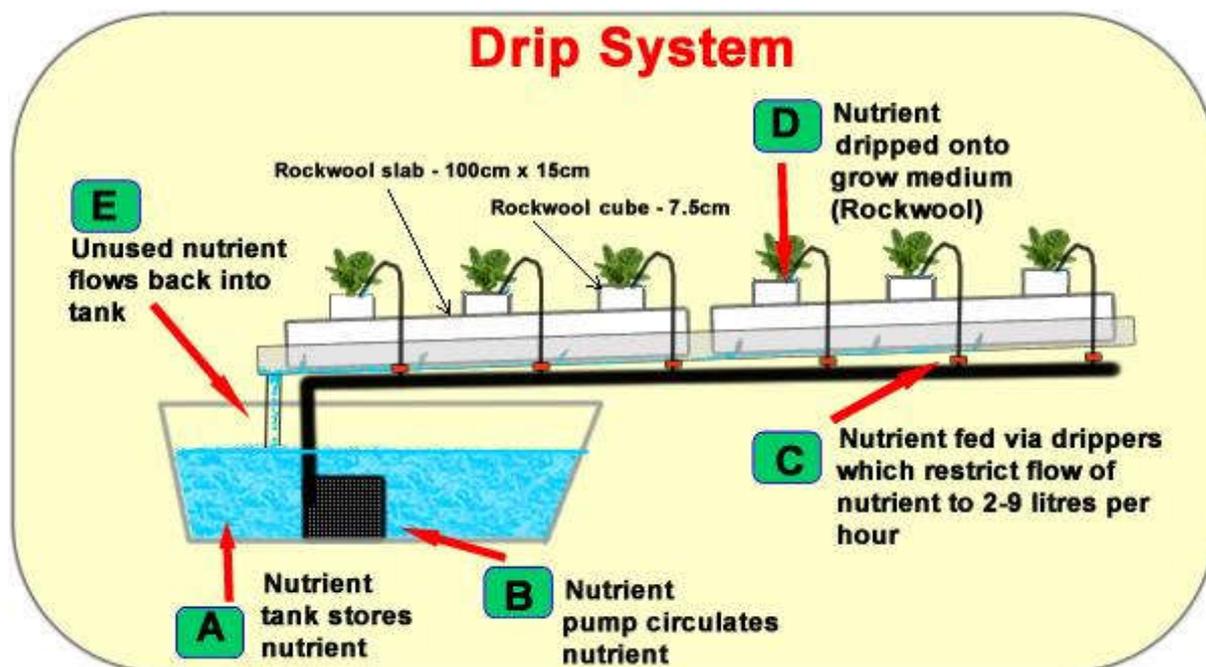


Figure 9 : système goutte à goutte

➤ Système à flux continu

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

X. Exigences de la culture hydroponique

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

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

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

➤ **Solution nutritive**

On distingue deux principales catégories de nutriments :

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

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

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

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

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

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

➤ Gestion de la solution nutritive

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

➤ Le pH

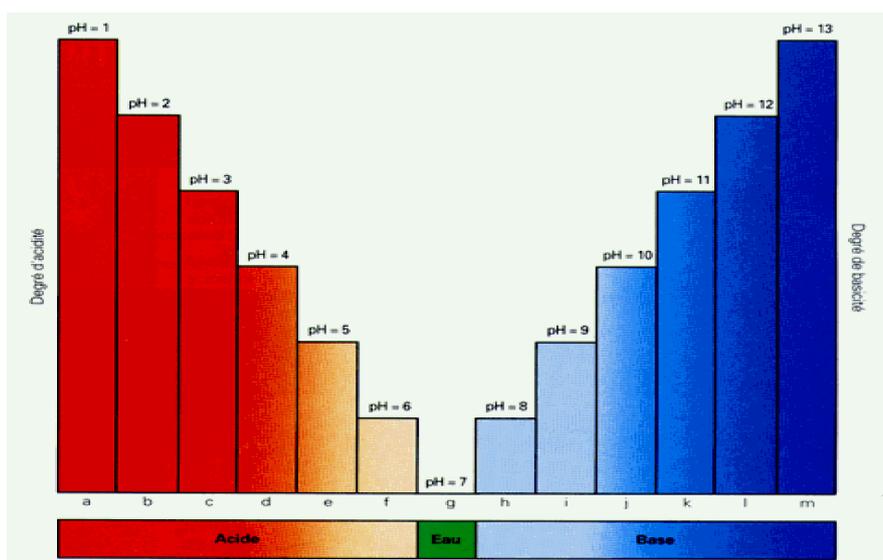


Figure 10 : les niveaux de ph

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

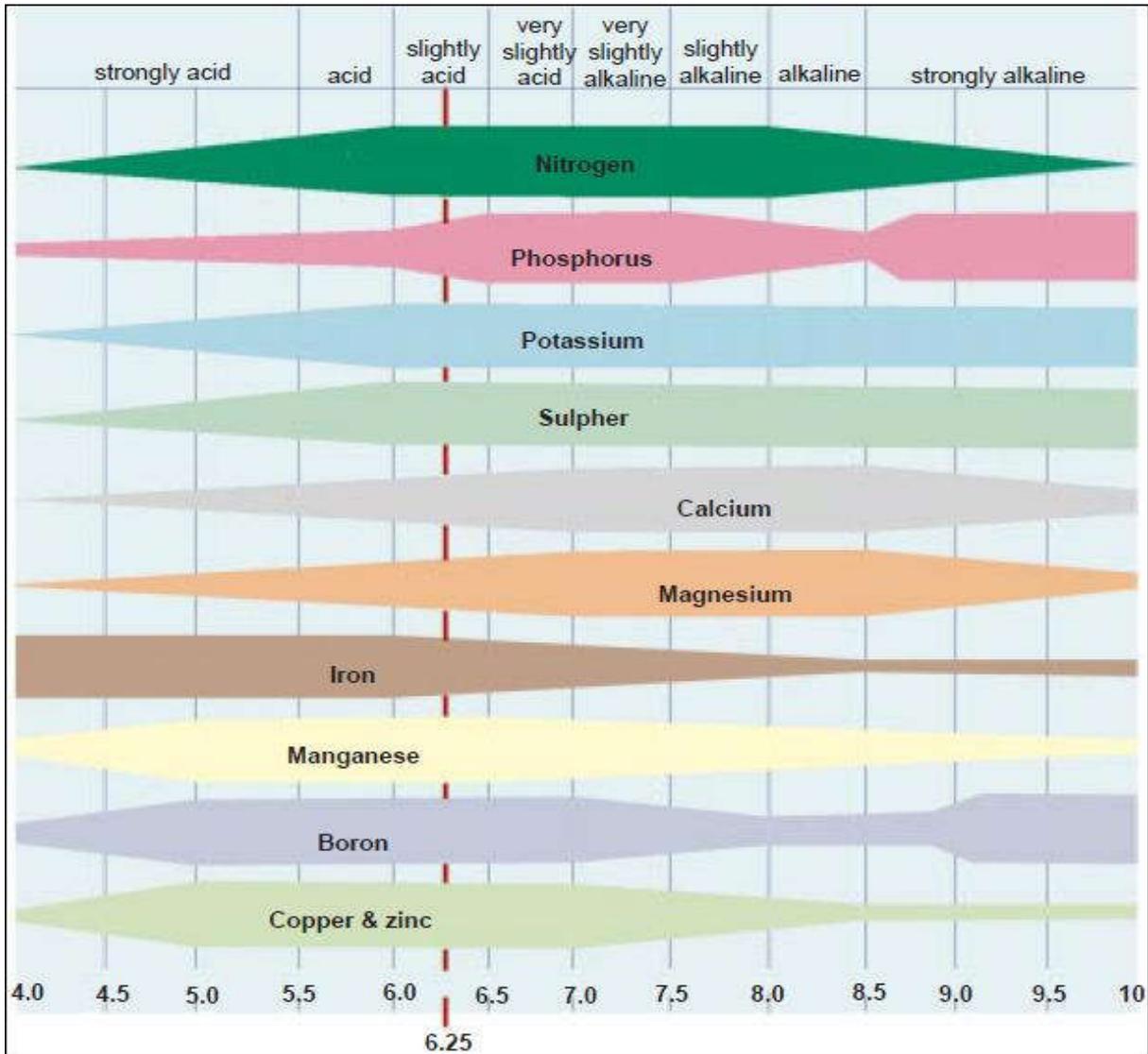


Figure 11 : Graphique montrant la disponibilité des éléments nutritifs à différents niveaux de pH.

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

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

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

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

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

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

Tableau 2 : Le niveau de pH idéal pour certains légumes, fruits et plantes aromatiques.

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

➤ **Conductivité électrique (CE)**

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

➤ **Température**

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

XI. Les avantages de l'hydroponie

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

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

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

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

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

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

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

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

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

➤ **L'utilisation optimale du potentiel génétique de la plante :** On représente souvent une opération de culture comme une chaîne dont le maillon le plus faible définit la solidité. Appliquée à la croissance végétale, cette image signifie qu'il y a toujours un facteur inhibant. Ce peut être la lumière, le dioxyde de carbone (CO₂), l'humidité, une carence nutritionnelle ou bien d'autres choses encore ! Grâce à l'hydroponie, on supprime la plupart des maillons faibles de la chaîne, en particulier tout ce qui se rapporte au blocage des éléments dans la terre, ce qui est très fréquent pour de multiples raisons. En

hydroponie, la plante bénéficie de conditions optimales pour exprimer tout son potentiel.

C'est la génétique qui pourrait devenir le maillon faible, si vous ne choisissez pas bien votre variété. Au fil des ans, nous avons fait pousser dans notre serre des plantes immenses, qu'on n'avait jamais vues si grandes en pleine nature ; nous ne faisons rien de spécial, nous avons simplement renforcé les maillons faibles. La plupart du temps, l'hydroponie permet d'offrir aux plantes des conditions idéales de nutrition, de luminosité, de température et d'humidité. Le maillon faible, alors, devient le dioxyde de carbone (William T, 2013).

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

➤ **L'accès aux racines :** Vérifier la santé des racines quand bon 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).

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

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

➤ **Pas de sac de terreau à porter :** À mes yeux, c'est un grand avantage. Pour tout dire, c'est même à cause de cela que j'en suis venu à l'hydro. Dans les années 1980, lorsque j'ai décidé de construire ma première chambre de culture, j'ai 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 oeuvrer à enrichir l'eau avec les éléments bénéfiques de la terre. (William T, 2013).

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

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

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

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

XII. Inconvénients de hydroponie

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

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

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

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

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

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

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

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