

Hydroponie



Un chercheur de la NASA vérifie les oignons hydroponiques : à sa gauche se trouve de la laitue Bibb et à sa droite des radis.



Récolte de poivrons sur le potager hydroponique HydroTown.



Photo d'un plant de bananier dans le potager hydroponique HydroTown.



Culture hydroponique de tomates (hybrides de Black Macigno), Sardaigne, Italie

L'hydroponie ou **culture hydroponique** (ou **agriculture hors-sol**), du grec *πονος* (ponos, « le travail » ou « l'effort ») et *ὕδωρ* (hudōr, « l'eau »), est la culture de plantes réalisée sur un substrat neutre et inerte (de type sable, pouzzolane, billes d'argile, laine de roche etc.). Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte des sels minéraux et des nutriments essentiels

à la plante.

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 sa variante l'ultraconduite. Elle permet d'accélérer le processus de maturation des fruits



Variante de culture hydroponique de tomates, sur ballot (hybrides de Black Macigno), Sardaigne, Italie

grâce à un rythme nyctéméral plus rapide et permet plusieurs récoltes par an.

L'état sanitaire de ces cultures est contrôlé par des pesticides ou produits phytosanitaires.

1 Introduction

Pour que les végétaux poussent de manière optimale, ils ont besoin de lumière (qu'elle soit naturelle ou artificielle), d'une température stable et tempérée, d'une hygrométrie de l'air suffisante ainsi que d'une oxygénation satisfaisante des racines, enfin d'une nourriture adéquate en suffisance composée d'eau, de sels minéraux et d'oligo-éléments.

Les plantes possèdent un métabolisme qui est capable d'assimiler des aliments et de les éliminer sous forme de déchets, comme bon nombre d'êtres du règne du vivant. Êtres vivants immobiles, les plantes assimilent leur nourriture sous forme d'eau minéralisée grâce à leurs racines, et l'énergie nécessaire pour métaboliser par la lumière. Dans la nature, c'est le sol qui joue le rôle de réservoir de sels nutritifs. Il est cependant très rare d'avoir un sol de qualité qui possède tous les éléments nécessaires à la vie des végétaux dans des proportions optimales ; de plus, l'acidité adéquate est propre à chaque plante et peut grandement varier en fonction du terrain, de la météo ou encore des saisons. Les cultures potagères et les cultures de

fleurs, par exemple, nécessitent un pH se situant entre 5.5 et 6.5 (acide). Le sol possède de l'humus contenant des agents chélates, appelés aussi substances tampons, substances qui ont le pouvoir de garder l'acidité du sol à l'équilibre en absorbant des substances qui y sont en excédent, pour les libérer éventuellement lorsque les conditions varient. Dans le cas des cultures hors-sol, les cultures se déroulent sans terre, se libérant ainsi des contraintes liées aux cultures terriennes classiques.

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. Pou- vant constituer, semble-t-il, une réponse aux problèmes d'eau et de pollution que connaît notre planète, être au service des chercheurs qui utilisent cette technologie pour faire des recherches sur les végétaux, que ce soit pour les plantes médicinales ou encore pour les micro-organismes embarqués dans les vaisseaux spatiaux.

2 Histoire

2.1 Première apparition de culture hors-sol

Bien qu'il ne s'agisse pas réellement d'hydroponie, l'idée de culture hors-sol naturel apparaît avec les jardins suspendus de Babylone. Les peuples vivant au bord de lacs de hautes montagnes du Pérou comme le Titicaca, cultivaient leurs potagers à la surface de l'eau. Les Aztèques quant à eux s'établirent dans les marécages proches de la future ville de Mexico et conçurent des sortes de radeaux faits de joncs et de roseaux recouverts d'une couche de limon nommés *chinampa* sur lesquels les agriculteurs jardinaient ; il est toujours possible de voir de nos jours. Les racines des plantes plongeaient dans l'eau des lacs : sans le savoir, ils étaient les précurseurs d'une espèce d'aquaculture primitive. Les Chinois emploient encore des techniques millénaires de culture sur gravier.

La culture hors-sol que l'on connaît de nos jours est née au XIX^e siècle en Allemagne. Elle fut découverte dans le cadre de recherches réalisées afin de découvrir de quoi se nourrissaient les plantes. Ce n'est qu'en 1930 que Gericke produisit le premier système hydroponique commercial aux États-Unis. Pendant la Seconde Guerre mondiale, des Américains cultivèrent des légumes hydroponiques dans les îles volcaniques du Pacifique pour assurer l'apport en vitamine nécessaire à la bonne santé de leurs troupes qui y étaient en garnison.

Depuis, des essais ont prouvé la viabilité de la technique, ainsi que son potentiel économique et environnemental.^[réf. nécessaire]

Aujourd'hui, la culture hors-sol est pratiquée en agriculture sur des millions d'hectares dans le monde. Un grand nombre des légumes frais comme la tomate, le concombre, la courgette, la laitue, le poivron, les piments,

les épinards, les brocolis, les haricots, les carottes, les betteraves, les pommes de terre, les herbes aromatiques, qui sont cultivés en serre sont issus de cultures hors-sol, et, c'est également le cas de la majorité des fleurs coupées que l'on retrouve chez les fleuristes.

2.2 Première recherche sur les engrais

C'est le Baron Justus von Liebig (1803-1873), professeur de chimie à l'université de Giessen, qui fut un des pionniers de la recherche dans le domaine de la chimie physiologique. Il fut le fondateur de la chimie agricole et forma un certain nombre des plus grands chimistes de son époque. En observant tout simplement une plante qu'il avait fait brûler, il conclut que les éléments présents dans les cendres, azote, phosphore et potasse, nourrissaient les plantes, et que celles-ci transformaient des matières minérales en provenance du sol et de l'atmosphère en matière organique. Grâce à cette découverte, il réussit ses premières expériences avec des engrais artificiels. Avant Liebig, les sols vierges étaient très fertiles et plein d'humus. On pensait que cette matière brune, pourrissante, était, à ses différents stades, la source principale d'alimentation des plantes. Liebig attaqua cette notion avec force.

En 1905, Fritz Haber, un chimiste allemand, découvrit un procédé permettant de transformer l'azote de l'air en ammoniac liquide, constitué de 80 % d'azote. En 1915, il s'associa avec Karl Bosch, un ingénieur allemand, pour dresser les plans de la première usine d'ammoniac synthétique du Reich, avec des conséquences historiques dramatiques.

Les deux guerres mondiales ont été le terrain d'essais chimiques à grande échelle. À la fin de la Seconde Guerre mondiale, les principales mines d'ammoniac durent trouver d'autres débouchés, c'est ainsi que des firmes comme DuPont, Dow Chemical, Monsanto, American Cyanamid lancèrent la production en masse d'engrais minéraux.

2.3 Premières recherches sur les cultures hors-sol

Les débuts de la culture hors-sol remontent au XVII^e siècle. À cette période, on pensait encore que les plantes se formaient à partir de l'eau. Au début du XVIII^e siècle, John Woodward pensait que c'était la terre et non l'eau qui créait la plante, ceci suite à ses expériences de culture sans sol.

Ce n'est qu'en 1758 que Duhamel du Monceau eut l'idée de reprendre les études de la culture sans sol. Il fit germer des graines dans des éponges, pour plonger ensuite les racines des plantes dans une solution d'engrais. Il déduisit de ses expériences que la plante n'absorbait pas que de l'eau, mais aussi les minéraux qui y étaient dissous.

Toutes ces nouvelles découvertes amenèrent à faire de

nouvelles recherches. Les premières recherches sur la culture hors-sol dite moderne, s'effectuèrent suite aux découvertes sur la nutrition minérale des végétaux, effectuée par Justus von Liebig. Ces premières ébauches seront appelées hydroponique, ou hydroculture, mot qui vient du mot allemand *Hydrokultur*. Cette culture remplace désormais le sol traditionnel par une solution nutritive renouvelée régulièrement, et permet la culture d'un grand nombre de légumes ainsi que de certains fruits.

Suite à ces découvertes, les scientifiques ont réellement commencé à s'intéresser à ce sujet. Cependant, pour être exact, la découverte de cette technique doit être attribuée à deux chercheurs allemands Knop et Sachs, qui, en travaillant sur la fertilisation des plantes, ont mis en évidence le rôle de l'eau, de l'air, et du sol. Et c'est précisément en cherchant le rôle de chacun des éléments constituant le sol, qu'ils se sont aperçus que celui-ci pouvait être totalement reconstitué de façon artificielle. Simultanément et de manière indépendante, ils ont réussi à faire pousser des plantes sur des milieux entièrement liquides constitués d'eau et de sels minéraux.

Les cultures hors-sol se sont développées rapidement au détriment de l'environnement, car les rendements obtenus étaient supérieurs aux rendements des cultures normales, et les coûts et la peine au travail s'en voyaient fortement diminués.

3 Les différents substrats

On entend par **substrat** une substance inerte chimiquement (qui est incapable de réagir avec d'autres substances), qui remplace la terre, et qui est utilisé comme support de culture pour les plantes. Il doit protéger les racines de la lumière et leur permettre de respirer. Mais le substrat véhicule aussi la solution nutritive jusqu'aux racines des plantes.

Il existe plusieurs substrats, ainsi que plusieurs variantes d'utilisation :

- Le substrat peut se placer en vrac dans des bacs ;
- Le substrat se trouve dans des enveloppes qui sont disposées horizontalement (souvent remplies de coco) ;
- Le substrat est sous forme de pains entouré de film plastique opaque, et est disposé horizontalement, soit sur des tables, soit sur le sol (il s'agit de pains de laines de roches) ;
- Le substrat est suspendu dans des sacs verticalement sous les serres (souvent remplis de perlite).

3.1 La perlite

Ce matériau a l'aspect de granulés de litière pour chat, de couleur blanche. C'est un sable siliceux d'origine volcanique contenant de l'eau qui est expansé industriellement par un traitement à la chaleur (1 200 °C). Il est composé de silice, d'alumine, d'oxyde de fer, d'oxyde de titane, de chaux, de magnésie, d'oxyde de sodium et de potasse. Il a une très grande capacité de rétention d'eau (4 à 5 fois son poids) son pH est de 7 à 7,2, et il s'utilise pour la culture sur substrat, pure ou mixte.

3.2 La vermiculite

Ce matériau a l'aspect de granulés. C'est un silicate d'alumine (mica) qui est expansé par un traitement à la chaleur. Il est composé de magnésie et d'alumine. Il est très léger et a une grande capacité de rétention d'eau (environ 350 L/m³), tout en assurant un bon drainage. Son pH est de 7 à 7,2.

3.3 Les substrats de culture volcanique

Constitués de mélange de matières premières d'origine volcanique, ils combinent aussi pour certains des ensemencements organiques permettant d'approcher les caractéristiques biologiques d'un sol cultivé avec des avantages physico-chimiques permettant d'excellents rendements. Ces mêmes substrats dans des formulations adaptées sont utilisables pour la création de toits végétalisés.

Ce type de substrat est souvent utilisé dans des bacs ou des pots, pour la réalisation de semis, ou lors de l'enracinement des boutures.

- avantages :
 - Il est très léger ;
 - Il a une très bonne capacité de rétention d'eau ;
 - Il est chimiquement inerte ;
 - Il est isolant.
- inconvénients :
 - Parfois très polluant quand le transport depuis des contrées lointaines de substrat de vermiculite se fait grâce à des énergies fossiles ;
 - Son prix est très élevé ;
 - Il se dégrade facilement en poussière et se tasse ;
 - Il s'envole facilement car il est très léger ;
 - Il est difficile à désinfecter.

3.4 Billes d'argile

Ce matériau ressemble à de petites boules brunes que l'on utilise pour recouvrir les pots de fleurs. Ces granulés sont obtenus par un traitement à forte chaleur de l'argile. L'argile expansé 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. Il est utilisé pour la culture en container, sur des systèmes de tables à marées, ou à une plus petite échelle dans des systèmes hydroponiques à flux continu. Contrairement à la laine de roche, les billes d'argile sont un substrat durable, sain, biologique et écologique.

3.5 Laine de roche

Ce matériau se trouve sous forme de pains ou de flocons, ressemblant à l'isolant que l'on utilise pour isoler les toits des maisons. La laine de roche est fabriquée industriellement à partir de roches volcaniques fondues et extrudées à plus de 1 500 °C, elle est ensuite rendue hydrofuge par l'ajout d'une huile spéciale. Elle est composée de silice, d'alumine, d'oxyde de titane, de chaux, de magnésie, d'oxyde de manganèse, de potasse, d'oxyde de fer, et d'oxyde de sodium. La laine de roche n'est pas chimiquement inerte, elle peut libérer du calcium.

3.6 Fibres de coco

Ce matériau se trouve sous forme de pains ou sous forme brut à placer dans des bacs, ou des pots. La fibre de coco est fabriquée à partir de l'écorce de noix de coco râpée, puis traitée. Elle est de pH neutre, c'est un substrat inerte.

- Avantages :
 - Le coco en sac s'utilise seul dans des pots comme la terre ;
 - Il est réutilisable à condition d'être désinfecté entre chaque utilisation ;
 - Il est très aéré et augmente la formation de micro-racines ;
 - Sec, il est très léger ;
 - Il a une forte capacité de rétention d'eau (10 fois son poids) ;
 - Il est assez bon marché compte tenu du fait qu'il peut se réutiliser plusieurs fois ;
 - Il est dénué de parasites au départ ou de maladie du sol ;
 - Il a une faible inertie thermique ;
 - Il est biodégradable en ce qui concerne le substrat ;

- Sécuritaire^[évasif] et sans danger pour la santé ;
- Augmente les rendements.^[réf. souhaitée]
- Inconvénients :
 - Ce système est polluant car la production et le transport depuis des contrées lointaines de substrat de noix de coco se fait grâce à des énergies fossiles ;
 - Il perd de sa porosité au cours de son utilisation ;
 - Il demande des engrais adaptés beaucoup plus chers.

4 Hydroponie et pesticides

Les monocultures intensives sont vulnérables à la propagation rapide de pathogènes.

L'usage des pesticides en serre (milieu plus ou moins fermé) et dans les systèmes fermés d'irrigation ou de brumisation pose des problèmes particuliers de dosage et de qualité de l'air intérieur de la serre ou du liquide nutritif.

Dans une serre agricole (hydroponique ou non, et même bien aérée), l'air peut ainsi être très concentré en pesticides, notamment dans les heures qui suivent l'épandage (s'il y a eu épandage de tels produits sur les plantes ou le sol ou fumigation). De plus, pour certains produits, la serre pourrait se comporter comme un réacteur photochimique. Respirer ces produits chimiques (ou mélanges de produits) a des effets sur la santé des travailleurs encore mal compris, éventuellement synergiques (effet combiné de pesticides entre eux, ou avec leurs molécules de dégradation ou de photo-dégradation, ou sensibilisation croisée avec l'exposition à la lumière, etc.).

Les teneurs de l'air en pesticide ou molécules de dégradation varient principalement selon le taux d'application et la volatilité (constante de Henry) du produit. On a ainsi montré^[1] en serre de culture hydroponique que les épandeurs respirent plus de chlorothalonil que de méthamidophos. La durée de présence dans l'air varie selon ce même paramètre, mais aussi selon la vitesse de dégradation des molécules (notamment à la lumière). Pour le Méthamidophos (très volatil), le pic de concentration dans l'air apparaît environ 2 heures après l'application (27,5 µg/m³), en raison de sa forte volatilité, et jusqu'à 12 heures après l'application, une diminution rapide est enregistrée dans l'air (pour arriver à 0,45 µg/m³ 6 jours après l'application)^[1]. Le Chlorothalonil bien que moins volatil atteint 4,9 Ng/m³ après application, pour arriver à 0,15 µg/m³ à 6 jours après l'application^[1]. Ces deux pesticides ont été mesurés dans l'eau de vidange du système hydroponique où les taux, élevés après l'application diminuent régulièrement en 3 jours environ. Dans un système hydroponique fermé, ces deux pesticides sont accumulés dans le milieu nutritif durant 24 heures puis « disparaissent » lentement en 3 jours environ^[1].

5 Les nouvelles techniques

5.1 Le NFT

Conçue par l'Anglais Cooper en 1979, c'est une des techniques sans substrat les plus utilisées en horticulture. Comme il est très difficile d'aérer un liquide stagnant, le milieu nutritif circule sur une faible épaisseur (une fine pellicule d'eau) sous les racines, ce qui apporte une forte oxygénation du liquide nutritif, d'où le nom de « *Nutrient film technique* ».

La solution nutritive qui est envoyée dans les rigoles par une pompe située dans un réservoir s'enrichit en oxygène au niveau de la surface du film liquide grâce à son déplacement continu. L'arrosage s'effectue par ruissellement sous les racines des plantes, qui sont disposées dans une sorte de buse ou gouttière légèrement inclinée, de façon que le liquide retourne dans le réservoir après avoir été en contact avec les racines.

Ce système fonctionne en circuit fermé, ce qui signifie une évaporation limitée, et donc une grande économie en eau. La solution doit cependant être réajustée en permanence aussi bien en volume qu'en concentration en éléments minéraux, la solution étant absorbée par les plantes. Cette méthode présente un inconvénient : les plantes qui sont situées en bout du circuit reçoivent une alimentation appauvrie en oxygène, et parfois en éléments nutritifs.

On retrouve ce système de culture surtout en France et en Bretagne pour la culture de tomates, en Belgique, plutôt pour la culture de salades laitues.

- Avantages :
 - Ce système apporte une bonne oxygénation ;
 - Il permet un arrosage homogène ;
 - Il est économique car il n'utilise qu'un fin film d'eau ;
 - Il permet d'obtenir un rendement élevé ;
 - Comme il n'utilise aucun substrat, il ne pose aucun problème pour le roulement des cultures.
- Inconvénients
 - Ce système est polluant car il engendre le versement d'engrais dans l'environnement ;
 - Comme il fonctionne en circuit fermé, il augmente les chances de propagation des maladies et donc l'emploi de pesticides ;
 - Emploi massif de matière plastiques ;
 - Les plantes qui se situent en fin de cycle peuvent recevoir une alimentation appauvrie en oxygène et en éléments nutritifs.

5.2 L'aéroponie

L'aéroponie représente l'une des plus récentes évolutions des techniques de cultures hors-sol et aussi une des plus sophistiquées. En effet, les racines des plantes ne sont en contact ni avec un milieu solide, ni même avec un milieu liquide : elles sont alimentées par un brouillard nutritif obtenu par brumisation (via un **brumisate**) de la solution nutritive dans un milieu fermé.

L'aéroponie est un système qui optimise la croissance des plantes en créant l'équilibre idéal entre la circulation de la solution nutritive et la quantité d'oxygène qui y est dissoute. La solution est récupérée puis réutilisée : le système fonctionne en circuit fermé, ce qui limite l'évaporation de l'eau. L'atmosphère du milieu de culture où se trouvent les racines est saturée par un brouillard nutritif qui se dépose sur les racines puis ruisselle sur ces dernières en assurant leur alimentation minérale.

Ce système assure un excellent rendement, qui est dû au fait que les plantes qui poussent en aéroponie créent une masse de racines beaucoup plus importante que les autres. La pulvérisation, qui peut être continue, est en général discontinuée, par cycles de 15 à 20 minutes, avec des arrêts de quelques minutes pendant la journée, et de quelques heures durant la nuit.

- Avantages :
 - Augmentation du nombre de plantes cultivées par m² ;
 - Réduction des traitements contre les parasites, le milieu étant stérile ;
 - Comme ce système fonctionne en cycle fermé, il évite, en principe, la contamination des nappes phréatiques et de l'environnement ;
 - Économie d'eau d'environ 90 % par rapport à une culture normale ;
 - Comme il ne nécessite pas de substrat, il y a un peu moins de problèmes de déchets ;
 - Il est possible de cultiver toutes les espèces de plantes avec ce système.
- Inconvénients :
 - Emploi massif de matière plastiques ;
 - La saveur et la teneur saturée en eau dans les végétaux n'est pas maîtrisée ;
 - Comme ce système fonctionne en cycle fermé, le risque de propagation de maladies est augmenté et donc l'utilisation de pesticides aussi ;
 - Étant dénué de substrat, ce système est très sensible aux variations de température ;
 - Ce système engendre de la maintenance, les systèmes de brumisation se bouchant facilement ;

- Il est coûteux à l'achat car le système d'arrosage nécessite l'apport d'une pompe ainsi que d'un filtre.

5.3 L'hydroponie

L'hydroponie est un terme qui regroupe les différentes techniques de cultures hors-sol, mais c'est aussi un système de culture assez simple, qui ne nécessite pas beaucoup de matériel et qui n'engendre pas de gros frais. L'hydroponie est la première culture de plantes hors-sol qui fut développée à échelle industrielle.

Cette technique consiste à nourrir les racines des plantes qui se trouvent dans du substrat (par exemple, dans des pains de laines de roche) avec une solution nutritive ; ce principe permet à la plante d'avoir un meilleur accès à l'oxygène, à l'eau, ainsi qu'à la nourriture. Le contrôle du pH de la solution ainsi que sa conductivité électrique permettent de gérer le milieu par rapport aux besoins de chaque plante, et à chacun des stades de leur vie. Grâce à ce principe, la plante est poussée au maximum de son potentiel génétique et elle produira de plus grosses fleurs, de plus gros fruits et, dans le cas des plantes médicinales, celles-ci verront une forte augmentation de la production de leur concentration en principe actif.

Ce système permet de servir de support à la plante tout au long du cycle de sa vie. La simplicité du système permet un entretien assez simple et rapide.

- Avantages :
 - Ce système permet une augmentation de la production au m² ;
 - Il permet de faire une économie en eau et en énergie ;
 - Raccourcissement de la période de culture (d'au moins une semaine sur un cycle par rapport à une culture traditionnelle sur terre) ;
- Inconvénients :
 - Ce système n'est pas écologique, car, après avoir arrosé les substrats, la solution nutritive n'est pas réutilisable ;
 - Une accumulation importante de déchets de plus souvent non recyclables est provoquée par l'utilisation de substrats ;
 - Il provoque une augmentation de l'humidité dans le milieu de culture.

5.4 Système à marée

Cette technique consiste à faire pousser des végétaux sur du substrat placé dans des containers étanches de matière plastique appelés tables à marée. Ils sont appelés ainsi

car ils ressemblent à de grandes tables possédant un rebord d'une hauteur pouvant varier de dix à une vingtaine de centimètres. Il existe plusieurs possibilités de cultures avec ce système : soit on peut placer des billes d'argiles, soit des enveloppes ou différents substrats directement dans la table, ou dans des pots pour l'enracinement des plantes en horticulture.

Les plus couramment utilisés sont le coco, les billes d'argile ou les pains de laines de roche. Les substrats sont alimentés en solution nutritive par leur partie inférieure pendant un laps de temps assez court mais fréquemment l'eau y demeure un certain temps selon le substrat, puis la gravité la fait évacuer dans le réservoir. En règle générale, l'eau arrive par le dessous de la table, grâce à une pompe qui est placée dans un réservoir situé sous celle-ci. Pour éviter que l'eau stagne après l'arrosage, un système de drainage est placé sur le fond de la table pour que l'eau s'écoule par un tuyau qui retourne dans le réservoir après récupération, le cycle recommence. Ce qui permet aux racines de se réoxygéner après chaque cycle d'arrosage.

Grâce à ce système, les racines ont facilement accès à la nourriture ainsi qu'à l'oxygène.

Ce système permet une densité de plantation supérieure aux autres systèmes. De plus, il est assez simple de régler le pH ainsi que l'EC de la solution. Grâce à ce système, toutes les plantes seront arrosées en même temps et avec la même quantité de solution nutritive, ce qui diminue les différences de tailles des plantes et garantit une homogénéité des récoltes. Ce système permet un grand gain de temps et d'argent. Ce système à solution recyclée est surtout utilisé pour les cultures de plantes vertes sous serre.

- Avantages :
 - Assez simple à mettre en place ;
 - N'engendre pas de gros frais ;
 - Offre une alimentation homogène des plantes ;
 - Maintenance facile et rapide ;
 - Recyclage de la solution nutritive.
- Inconvénients :
 - Grandes pertes d'eau par évaporation ;
 - Le recyclage de la solution nutritive peut faire fortement varier le pH et l'EC ;
 - Le circuit fermé agrandit les risques de propagations des maladies ;
 - N'est pas adapté à tous les types de cultures.

5.5 Système goutte à goutte

Ce système de culture est un système sur substrat qui nécessite des goutteurs ou capillaires, ainsi qu'un tuyau de distribution et une pompe. En culture hors-sol sur substrat, on utilise au moins un goutteur par plante. Mais,

pour plus de fiabilité, on en utilise deux par plante. La solution nutritive est distribuée aux plantes par irrigation discontinue sur la surface supérieure de l'enveloppe ou du pot puis ruisselle par gravité vers le dessous du substrat. Les pots et les enveloppes sont percés dans le fond pour permettre à l'eau de s'écouler.

Grâce à ce système, on peut arroser les plantes directement aux racines. Ce système est l'un des plus répandus actuellement. (les systèmes de plus en plus sont munis de récupérateur de solution nutritive, un bac contenant la ou les plante(s) et un autre qui contient la solution en dessous qui lui-même est percé pour y laisser passer le surplus.) De plus si les solutions sont récupérées, il ne peut, en principe, y avoir contamination des sols. De par ce fait, ce sont des systèmes peu polluants^[réf. nécessaire].

5.6 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 mères (plantes sur lesquelles on prélève des boutures), pour des plantes culinaires ou aromatiques.

Cette technique permet aux plantes de s'épanouir pleinement. 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 au-dessous. Pour éviter que les racines ne soient abîmées par la pompe, ici, c'est une autre technique qui est utilisée. Une pompe à air envoie la solution dans une colonne de pompage, puis la répartit par un anneau de distribution. L'eau ruisselle à travers les billes d'argiles puis retombe dans le réservoir (système de type Aquafarm ou Waterfarm qui sont de marque GHE). Le mouvement continu du flux de la solution fait se gorger d'oxygène et humidifie constamment les racines ; celles-ci y puisent la nourriture plus facilement.

- Avantages :
 - Simple d'installation ;
 - Autonomie du système ;
 - Diminue l'évaporation car l'arrosage se fait directement aux racines ;
 - Ce système engendre de très grosses récoltes à petites échelles ;
 - Il permet d'obtenir très rapidement de très grosses plantes et de les garder en pleine forme très longtemps ;
 - Il nécessite un système de relais le liant à un grand réservoir.
- Inconvénients :
 - Contamination des sols possible ;
 - Différence entre le débit des capillaires ;

- Maintenance régulière ;
- Frais importants : remplacement du matériel ;
- Il nécessite l'achat de pompes à air ;
- Il ne permet pas de faire de grosses cultures harmonieuses ;
- Il engendre une forte augmentation de l'humidité ;
- Il n'est pas économique en eau car ce système subit fort l'évaporation de sa solution.

5.7 Systèmes de culture sans substrat

5.7.1 L'aquiculture

Ou culture en eau profonde. C'est historiquement la méthode la plus ancienne qui correspond à l'utilisation des premières solutions nutritives, mise au point vers 1860 par Knop et Sachs.

Les racines sont plongées dans un milieu liquide, la solution nutritive étant contenue dans un bac de culture de taille variable (en général de matière plastique opaque). Le bac doit être peint en blanc à l'extérieur pour éviter l'échauffement du liquide à l'intérieur. Comme la solution nutritive est stagnante, la quantité d'oxygène est faible et généralement insuffisante pour le bon fonctionnement des racines. Pour éviter une asphyxie partielle (hypoxie), il est nécessaire d'enrichir régulièrement le milieu en oxygène en lui insufflant de l'air (à partir d'un compresseur, d'une turbine ou plus simplement d'une pompe à air pour aquarium) ou en rajoutant de l'H₂O₂ (eau oxygénée). Cette aération peut être continue, mais elle est le plus souvent discontinue, à intervalle régulier durant tout le cycle. Ce bullage d'air favorise également le brassage de la solution qui évite la précipitation des engrais ainsi que leur concentration autour des racines (ce qui peut provoquer le dessèchement des racines, puis leur mort).

La quantité d'eau est variable selon l'âge de la plante, cela peut varier entre 1,5 à 15 litres. Pour compenser l'évapotranspiration et la faible évaporation, cette solution doit être régulièrement complétée avec de l'eau pure, car avec ce système, la plante ayant ses racines complètement plongées dans la solution, elle absorbe plus d'eau que de sels minéraux, ce qui peut faire varier le pH et l'EC. Il est néanmoins nécessaire de remplacer la solution par une nouvelle au moins une fois par mois.

Cette technique de culture est de loin celle qui aura un meilleur rendement au niveau de la quantité de production de fruits ou de légumes ; grâce à cette technique, on peut arriver à obtenir des fruits énormes, les racines étant directement plongées dans la solution, elles ont accès à toute la nourriture, ce plus qu'en suffisance.

L'aquiculture est très peu utilisée en agriculture industrielle, mais elle est plus fréquemment utilisée pour la recherche, car elle permet de calculer avec une grande

précision les quantités exactes d'eau et de sels minéraux que les plantes utilisent pour pousser.

Cependant, des productions horticoles se rapprochent de cette technique de culture : la production de salades (surtout en Chine), le forçage de l'endive, et dans de plus rares cas la culture de fraises.

- Avantages :
 - Ce système obtient de très gros rendements et profits ;
 - Il ne nécessite pas beaucoup de maintenance pour son bon fonctionnement ;
 - Comme il n'utilise aucun substrat, il ne cause pas de problème pour gérer les déchets autres que ses plastiques ;
 - Il permet de calculer avec une grande précision les quantités exactes d'eau et de sels minéraux que les plantes utilisent pour subvenir à leurs besoins.
- Inconvénients :
 - Il n'est pas dans une logique durable écologiquement car il engendre une grande quantité d'engrais de synthèse rejetés dans l'environnement et nécessite une grande quantité d'eau ;
 - La culture sur de grandes surfaces est difficilement envisageable ;
 - Il nécessite l'achat de matériel coûteux pour régler les diverses variations de pH et d'EC ;
 - Ce système nécessite l'apport de tuteur pour maintenir les plantes.

6 Conclusion

La culture hors-sol a connu une évolution et un perfectionnement technique grâce à la recherche. Diverses variantes de cette technologie ont vu le jour et des applications leur ont été trouvées. Il lui reste à démontrer leur supériorité sur les cultures traditionnelles.

6.1 Avantages

Ce procédé est supposé présenter 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, ventilation.

En raison de son potentiel de productivité, elle permet d'obtenir des résultats tout en faisant des économies

d'eau. Cette technique permet de faire pousser des végétaux tout en leur permettant d'exprimer tout leur potentiel génétique.

La culture hors-sol serait l'une des solutions à massivement mettre en place pour résoudre les problèmes actuels et à venir du manque d'eau, de malnutrition sur notre planète.

C'est aussi la solution que les chercheurs envisagent pour les voyages spatiaux de longue durée, et la colonisation future de planètes comme Mars ou la Lune.

La demande du marché est grandissante et pour pouvoir y répondre, le développement de ce type de cultures est en forte augmentation.

6.2 Inconvénients

6.2.1 Inconvénients économiques

L'adoption et le développement de ces techniques en agriculture industrielle, malgré leur grand potentiel de productivité, sont limités à cause de l'importance des capitaux qu'il faut investir pour qu'elles soient mises en place ce qui dissuade de nombreux paysans à les installer.

De plus, elles engendrent une consommation électrique importante.

6.2.2 Développement durable



Jean Ziegler et Michel Monette ont démontré l'impact négatif de la culture hors-sol sur les biotopes, la consommation humaine, le commerce mondial^[citation nécessaire]

Ce type d'agriculture fait largement appel à l'utilisation d'énergies fossiles participant encore plus au réchauffement climatique :

- emploi massif de matières plastiques pour les bâches des tunnels, de paillage, de poches à substrat ;
- fertilisation majoritairement à base d'engrais minéraux chimiques ;

- emploi de chauffages de serres pour les productions de contre-saison.

L'imperméabilisation des sols engendrée par l'abri de centaines d'hectares de cultures accroît la baisse du niveau des nappes phréatiques. L'eau de pluie, alimentant normalement ces nappes, ruisselle directement dans les cours d'eaux et ne participe plus à l'alimentation de la nappe phréatique. Cela engendre une érosion des sols. Toutes les variétés de légumes et de fruits ne sont pas adaptées à cette technique. Son emploi, à long terme, ferait probablement perdre à l'humanité des variétés végétales obtenues après des centaines d'années de sélection. La mise en œuvre de cette technique, qui emploie des produits industriels manufacturés (tuyaux goutte à goutte, pompes doseuses d'engrais, pompe d'alimentation, bâche...) n'est pas envisageable pour les paysans pauvres des pays du Sud.

La question reste posée, dans les pays tempérés, de l'intérêt de produire à contre-saison alors que toutes les saisons couvrent des productions végétales vivrières adaptées.^[citation nécessaire]

7 Notes et références

- [1] S. Hatzilazarou, M. Charizopoulos, E. Papadopoulou-Mourkidou, A.S. Economou (2004) ; *Pesticide dissipation in the greenhouse environment during hydroponic cultivation of gerbera* ; ISHS Acta Horticulturae 639 : XXVI International Horticultural Congress : Expanding Roles for Horticulture in Improving Human Well-Being and Life Quality ; (Résumé, en anglais)

8 Voir aussi

- Chinampa, une des premières techniques hydroponiques.
- La Ferme Verticale, un projet agricole utilisant principalement l'hydroponie.
- Le Projet SUA0, un système horticole combinant l'ultra-ponie et l'informatique.
- Aquaponie

•  Portail de l'agriculture et l'agronomie

•  Portail de l'horticulture

•  Portail de l'eau

9 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

9.1 Texte

- **Hydroponie** *Source* : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydroponie?oldid=113357437> *Contributeurs* : Anthere, Tarquin~frwiki, Orthogaffe, Tra-roth, DominiqueM, Alno, Abrahami, Archeos, Spedona, Aroche, Phe, MedBot, Phe-bot, Louis-garden, Domsau2, Fufthmin, The RedBurn, Zantastik, Piku, Neuceu, Pseudomoi, Sherbrooke, Laurent Jerry, Guerinsylvie, Jorunn, Zetud, Jona, David Berardan, Pok148, Gzen92, Jeansef, RobotQuistnix, FlaBot, YurikBot, Eskimbot, Jerome66, MMBot, Moez, CHEFALAIN, Xelfe, Pautard, Fl75, Esprit Fugace, Pierre cb, Pld, MetalGearLiquid, Lamiot, Ton1, Guérin Nicolas, Milean Creor, Thijs !bot, California dream, Salix, En passant, Alkashi, Laurent Nguyen, Rémi, JAnDbot, T more, 'cien, TARBOT, Nadiyah, Cqui, Eiffele, VonTasha, PimpBot, Salebot, Arnaud4096, Zorrobot, Lykos, Stef48, DodekBot~frwiki, DorganBot, Cristianu, TXiKiBoT, VolkovBot, Theoliane, Tengu84, 20ce, Ptbotgourou, SieBot, Skiff, Chouca, Kyro, LaTeX, Wanderer999, Duterrage, Ange Gabriel, Lepstyleon, Vlaam, Dhatier, Lilyu, Hercule, DumZiBoT, Nicolasdurand2020, Tra- leni, Gbinter, Ir4ubot, Joseph54, Hydroman, Alexbot, Maurilbert, ZetudBot, Ggal, Bub's wikibot, Elfix, Luckas-bot, Dramygor76, Ref6, Vyk, Joe31600, Touslesgrowsops, Moipaulochon, Papatt, Sniff, Long John Silver, Mickeulw, Xqbot, Nouill, MastiBot, RedBot, Kami- kazeBot, Ripchip Bot, Vegeal, ChrisSleeps, LAGRIC, EmausBot, ZéroBot, G02jeff, ChuispastonBot, Jules78120, Mjbmrbot, LoveBot, OrlodrimBot, Aymeric797, Le pro du 94 :, Titlutin, Mattho69, Yohan.hubert, Makecat-bot, OrikiBot, Addbot, NourSlit33, Buθω, Dada- dae, Lot2002 et Anonyme : 100

9.2 Images

- **Fichier:Banancier-hydrotown.JPG** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Banancier-hydrotown.JPG> *Licence* : CC BY 3.0 *Contributeurs* : Système hydroponique Hydrotown *Artiste d'origine* : Joseph54 Joseph KEMP - Fleursdubien.fr
- **Fichier:Hydroponic_onions_nasa.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/Hydroponic_onions_nasa.jpg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Icono_Gota_de_Agua.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Icono_Gota_de_Agua.svg *Licence* : GFDL *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : **Rastrojo** (D•ES)
- **Fichier:Idroponica_g3.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Idroponica_g3.jpg *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Idroponica_g5.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Idroponica_g5.jpg *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Nuvola_apps_kuickshow.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Nuvola_apps_kuickshow.png *Licence* : LGPL *Contributeurs* : <http://icon-king.com> *Artiste d'origine* : David Vignoni / ICON KING
- **Fichier:Poirvrons-sur-hydrotown.JPG** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Poirvrons-sur-hydrotown.JPG> *Licence* : CC BY 3.0 *Contributeurs* : Photo prise de mon potager hydroponique le 10 septembre 2008 *Artiste d'origine* : Joseph54 Joseph KEMP - Fleursdubien.fr
- **Fichier:Question_book-4.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Question_book-4.svg *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : Created from scratch in Adobe Illustrator. Originally based on Image:Question book.png created by User:Equazcion. *Artiste d'origine* : Tkgd2007
- **Fichier:Recycle002.svg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Recycle002.svg> *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : own work with multiple sources for common (like image <http://www.symbols.com/encyclopedia/36/3613.html>) with enough significant effort to improve design *Artiste d'origine* : Marcelo Reis (image), bayo (svg conversion)
- **Fichier:Tomateinv.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/41/Tomateinv.jpg> *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Tractor_icon.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Tractor_icon.svg *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Spedona

9.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0