
La culture hors-sol

Chapitre II : La culture hors-sol

1. Généralités sur la culture hors-sol

1.1. Définition

Au sens strict, la culture hors-sol est la culture dans un milieu racinaire qui n'est pas le sol naturel, mais un milieu reconstitué et/ou isolé du sol. Dans ce type de système, les racines des végétaux sont alimentés par un milieu liquide minéral appelé solution nutritive, qui apporte l'eau, l'oxygène et les éléments minéraux indispensables au développement de la plante (VITRE, 2003).

On parle souvent de cultures sur substrat, car ce milieu reconstitué repose souvent sur l'adoption d'un matériau physique stable : le substrat, parfois d'origine manufacturé et industriel, parfois d'origine naturelle.

Il existe cependant des cas de cultures hors-sol n'utilisant pas de substrats : cultures sur film d'eau ou hydroponiques.

1.2. Historique

Les premiers essais sont très anciens: ils ont été effectués par des chercheurs travaillant sur la fertilisation des plantes et la mise en évidence du rôle de l'eau et de l'air dans le sol. Pour être exact, la découverte de cette technique est à attribuer à deux chercheurs allemands *Knop* et *Sachs* en 1860, qui en travaillant sur la fertilisation des plantes, ont mis en évidence le rôle de l'eau, de l'air, et du sol. Il fallait seulement retrouver toutes les caractéristiques physique, chimique et biologique du sol.

Plus près de nous, les chercheurs se sont rendu compte que la répétition des mêmes cultures dans un sol, favorisait le développement de parasites dans ce sol (notamment les *fusarioses*), comme on ne pouvait plus s'en débarrasser par des moyens chimiques ou biologiques, on a alors pensé au remplacement du sol par des substrats voisins, le plus souvent organiques ou minéraux. (Anonyme, 2010)

Enfin, de façon plus pragmatique, les cultures hors-sol se sont développées parce que les performances agronomiques obtenues étaient supérieures aux performances des cultures traditionnelles en sol.

1.3. L'intérêt de cultiver hors sol

- Nécessité pour les cultures expérimentales et scientifiques
- Possibilité de cultiver dans des espaces réduits (confinement des racines dans un espace limité)
- Elimination des contraintes liées au sol
 - Sol inadapté ou de mauvaise qualité agronomique
 - Présence d'agents pathogènes, de polluants,...
- Simplification des techniques culturales
 - Pas de préparation du sol
 - Rotations culturales rapides et mise en œuvre facile
- Meilleure qualité du produit
 - Aspect esthétique
 - Réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires
- Meilleure productivité de la plante
 - Optimisation du potentiel génétique de la plante
 - Réduction des pertes en culture (MOREL et *al.*, 2000)

1.4. Exigences des cultures hors sol

Contrairement à une idée répandue, 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 en tant que système et ne pas porter son attention sur un élément ou 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, pompes, 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
- un contrôle du pH de l'eau

1.5. Facteurs indispensables pour la culture hors-sol

La vie se définit comme l'ensemble des phénomènes (nutrition, assimilation, croissance, reproduction, etc.) communs aux êtres organisés et qui constituent leur mode d'activité propre, de la naissance à la mort. Les facteurs indispensables au maintien de la vie chez les végétaux en culture hors sol ne sont pas tous liés au substrat de culture. Cependant, la complexité des interactions est telle que cette distinction s'avèrerait difficile à soutenir. Les besoins sont donc présentés en deux groupes : les besoins énergétiques et les besoins en matériaux.

1.5.1. Les besoins énergétiques

La lumière : le règne végétal se définit comme l'ensemble des êtres vivants pluricellulaires capables de réaliser la photosynthèse grâce à la lumière (source d'énergie) et la présence de chlorophylle. La photosynthèse confère à ces organismes un caractère autotrophe.

Les cultures hors-sol sont généralement des cultures de l'intérieur (indoor) d'où l'importance de bien contrôler et déterminer les valeurs d'intensité lumineuse qui permettent une activité photosynthétique optimale. Dans ce type de culture, les plantes sont éclairées avec des lampes de haute intensité qui permettent de réaliser une croissance optimale.

La chaleur : les végétaux ont besoin de chaleur. Ils sont capables de supporter de grandes variations thermiques. Tenant compte du faible volume des substrats de culture, la réactivité à la température est rapide. Les cultures doivent donc être protégées des fortes températures de l'été et des gelées de l'hiver. Les températures infligées doivent cependant rester dans une fourchette acceptable. La limite inférieure correspond à la formation de cristaux de glace détériorant l'intégrité cellulaire. La limite supérieure est fixée par la dénaturation des protéines, donc des enzymes. Croissance et développement augmentent avec la température, à l'intérieur de cette fourchette.

1.4.2. Les besoins en matériaux

La nutrition fait appel à des processus d'absorption de gaz et de solutions minérales, soit directement dans la solution nutritive par les racines, soit dans l'air par les feuilles. Les matériaux indispensables à la vie d'une plante se subdivisent en deux catégories : les matériaux organiques et minéraux.

Les matériaux organiques : Ils sont généralement constitués de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O).

Le carbone : c'est l'élément de la chimie du vivant. Chez les végétaux chlorophylliens, il est apporté par le dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂).

Hydrogène : l'hydrogène est extrait à partir des molécules d'eau (H₂O) par oxydoréduction.

Oxygène : troisième constituant de la matière organique, est apporté par le gaz carbonique et le dioxygène (O₂) provenant de l'air intervient dans la respiration cellulaire.

Les matériaux minéraux : sur le plan nutritionnel, la culture hors sol est totalement dépendante de l'apport de la solution nutritive pour assurer la croissance des plantes, les éléments minéraux indispensables sont répartis en deux groupes : macro-éléments et micro-éléments ou oligo-éléments. Cette distinction concerne l'abondance relative de ces éléments dans les végétaux.

2. Définition du substrat de culture

D'après Morel (2000), le terme substrat désigne tout matériau naturel ou artificiel qui, placé en conteneur pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue vis à vis de la plante le rôle de support. Il doit présenter des caractéristiques compatibles avec l'activité métabolique des racines. Il intervient à des degrés divers dans l'alimentation hydrique ou minérale de la plante. Dans le système hydroponique, le rôle de substrat se limite tout simplement à l'encrage et au maintien de la plante.

2.1. Principaux substrats utilisés en culture hors-sol

Tout système de culture hors sol est caractérisé par trois composantes : le conteneur, le réseau de distribution de la solution nutritive, et le substrat (WINTERBORNE, 2005).

Le choix du substrat. Il doit constituer un milieu favorable aux exigences de l'espèce mais défavorable au développement des agents pathogènes qui lui sont spécifiques.

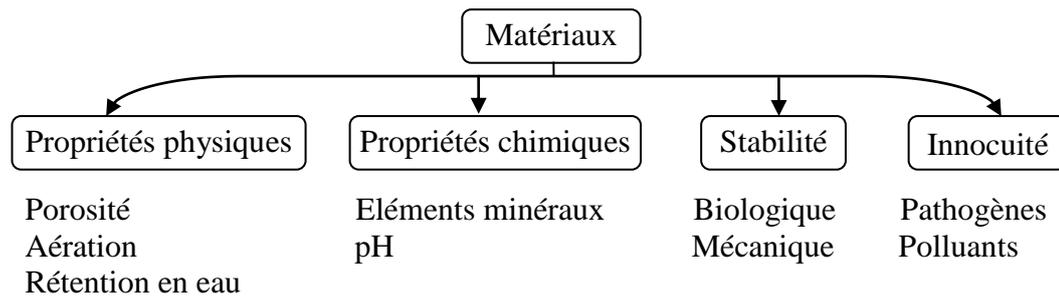


Figure 9 : Critères de choix d'un substrat de culture



Figure 10 : Principaux substrats utilisés en culture hors-sol.

2.1.1. Les substrats minéraux

De nombreux matériaux inorganiques entrent dans la composition des supports de culture. L'usage le plus habituel est l'ajout de ces matériaux à des substrats afin de modifier certaines de leurs caractéristiques physico-chimiques. La comparaison sommaire des caractéristiques physiques et chimiques des substrats minéraux et organiques est indiquée dans le tableau ci-dessous,

Tableau 9 : Propriétés physiques et chimiques générales des substrats minéraux et organiques (LEMAIRE et *al.*, 1990)

	Type de substrat	
	Minéral	Organique
<u>Propriétés physiques</u>		
Porosité	Faible à élevée	Elevée
Eau à pF1	Variable	Variable
Air à pF1	Variable	Variable
Disponibilité en eau	Faible à moyenne	Moyenne à forte
Masse volumique	Faible à élevée	Faible à moyenne
<u>Propriétés chimiques</u>		
pH	Neutre à basique	Acide
Conductivité électrique	Faible	Faible à élevée
Salinité	Faible	Faible à élevée
CEC	Faible	Faible à élevée
C/N	/	Variable
Libération des éléments minéraux	Nulle à faible	Faible à forte
Evolution des propriétés	Faible	Lente à rapide
Recyclage après culture	Parfois difficile	Plus facile

Dans ce travail on présentera seulement les matériaux les plus utilisés avec leurs grandes caractéristiques et leurs intérêts majeurs :

2.1.1.1. Argile expansée

Origine : minérale

Utilisation : Ce matériau ressemble à de petites boules brunes que l'on utilise pour recouvrir les pots de fleurs. Les granulés sont obtenus par un traitement de forte chaleur

de l'argile. L'argile expansée possède un bon pouvoir isolant, ce qui est nécessaire pour protéger les racines des changements de température.

Il est composé de silice, d'alumine, d'oxydes de fer, et de soufre. Sa capacité de rétention en eau est de 15% en masse. 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.

2.1.1.2. Laine de roche

Composition et origine : substrat inorganique artificiel. La laine de roche est fabriquée à partir de roche volcanique liquéfiée et extrudée. La laine de roche est issue du basalte, une roche volcanique noire présente dans de nombreuses régions du monde. Le procédé de fabrication de la laine de roche s'apparente à l'activité naturelle d'un volcan. La roche volcanique entre en fusion dans un four chauffé à 1500 °C. La roche en fusion est ensuite changée en fibres par l'action de roues tournant à grande vitesse.

Utilisation et description : La laine de roche sert de substrat dans certaines formes de cultures hydroponiques. 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 et augmenter le pH, des mesures correctives sont généralement à prévoir, comme une préparation initiale ou l'emploi de substances acidifiantes.

2.1.1.3. Vermiculite

Composition et origine : minéral (silicate)

Utilisation et description : Ce matériau connu sous le nom commercial de Vermex et Zonolite 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 au m³), tout en assurant un bon drainage. Son pH est de 7 à 7,2.

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

Il est également utilisé comme milieu de culture neutre en expérimentation scientifique.

2.1.2. Les substrats organiques

2.1.2.1. Polystyrène

Origine : Matériau organique synthétique.

Utilisation : 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.

2.1.2.2. Terreau

Composition et origine : Organique

Utilisation et description : 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.

2.1.2.3. La tourbe

L'appellation générale « tourbe » regroupe un grand nombre de matériaux qui renferment au minimum 75% de matière organique (sur base poids sec) (MOREL et *al.*, 2000). Les tourbes sont des sols organiques hydromorphes, se développant dans des milieux saturés en eau en permanence. La végétation qui y pousse est constituée, selon le type de tourbière, de mousses (genre *Sphagnum*, *Hypnum*...), de cypéracées (genre *Carex*), de graminées, d'arbustes, d'arbres. En raison de la forte anaérobie régnant dans ces milieux, l'activité biologique, et donc la décomposition des végétaux, est très faible, de sorte que les apports annuels sont plus importants que les pertes par minéralisation. Ainsi, la tourbe s'accumule sur des épaisseurs parfois importantes : plusieurs mètres. Cependant, la formation de cette tourbe est très lente à raison de 0,2 à 0,16 mm/an quand les conditions sont favorable, ce qui explique que l'on parle de ressource non renouvelable à l'échelle humaine

Il y a plusieurs critères de classification des tourbes qui sont fonction de :

leur composition botanique : tourbes à sphaignes (sphaignes et bryophyte), tourbes herbacées (graminées, joncs, phragmites...), tourbes ligneuses (dés qu'un tiers de la tourbe est constitué de fragments de bois.

Pour conclure, on peut dire que du fait de ses propriétés très particulières et plus précisément :

- de sa biodégradabilité résiduelle pratiquement nulle,
- de sa capacité de rétention en eau élevée (jusqu'à 20 fois son poids) et de sa forte porosité,
- de sa réactivité naturellement acide, mais facile à contrôler par addition de carbonate de calcium et de magnésium, la tourbe est du point de vue cultural, un bon substrat difficile à remplacer dans certains cas comme pour la culture hors sol. (MOREL et *al.*, 2000).

Tableau 10 : Composition biochimique moyenne des tourbes en fonction de leur composition botanique initiale et de leur degré d'évolution. Les valeurs sont rapportées à la teneur en carbone organique totale (VALAT, 1989 *in* MOREL 2000)

Type botanique	Type de décomposition	Cellulose (%)	Hemi-cellulose (%)	Humine (%)	Substances humiques (%)
Bryophytique		9 - 36	30 - 58	23 - 43	10 - 17
Sphaignes	Peu décomposées	21	31		
	Décomposées	16	25		
Hypnum	Peu décomposées	25	19		
	Décomposées	4	11		
Herbacé et bryophytique		8 - 18	30 - 52	28 - 56	10 - 41
Herbacé		8 - 12	22 - 33	31-58	12 - 34
Carex	Frais	28	18		
	Evolués	12	21		
Herbacé et ligneux		6 - 10	25 - 33	39 - 56	12 - 26
Tourbe ligneuse	Décomposées	7 - 11	26 - 29	27 - 50	21 - 39

Tableau 11 : Classification des tourbes en fonction de leur couleur et de leur origine (MOINEREAU et al., 1985 in MOREL 2000).

Couleur	Origine des végétaux	pH
Blonde	Sphaignes	3.8 - 4.5
Brune	Sphaignes + <i>Eriophorum</i>	4.5 - 5,5
Noire	Carex	5.5 - 6.5
Noire	Roseaux phragmites	7.0 - 7.5

3. Les systèmes de culture hors sol

3.1. Le ruissèlement nutritif ou (NFT)

Le principe du système NFT (Nutrient Film Technique ou Technique du Film Nutritif) est d'avoir un flux constant (pellicule d'eau 2 à 4mm) de la solution nutritive. Ce courant nutritif permet une bonne oxygénation et un apport optimum de nourriture aux plantes, C'est l'Anglais Cooper qui en 1979, développa cette technique de culture.

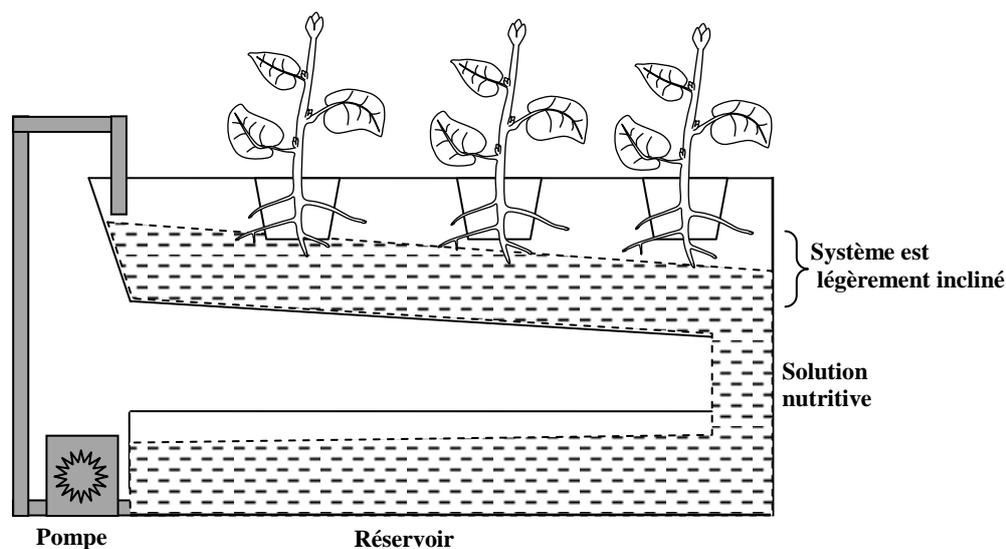


Figure 11 : Schéma d'un système hydroponique NFT

La solution hydroponique est distribuée dans des petits canaux au moyen d'une pompe qui se trouve dans le réservoir. Elle se charge en oxygène continuellement en passant à la surface du film liquide. C'est le ruissèlement qui permet d'arroser les racines de la plante. Le système est légèrement incliné, de ce fait le liquide rejoint le réservoir après avoir irrigué les racines. C'est un système hydroponique qui fonctionne en circuit fermé. L'évaporation est limitée, donc on économise beaucoup d'eau. La solution est absorbée

par les plantes. Il faut donc réajuster en permanence le volume et la concentration en nutriments.

3.2. Système Aéroponie

L'aéroponie représente l'une des plus récentes évolutions des techniques de cultures hors-sol. 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 une brume nutritive obtenue par brumisation (via un brumisateur) de la solution nutritive dans un milieu fermé.

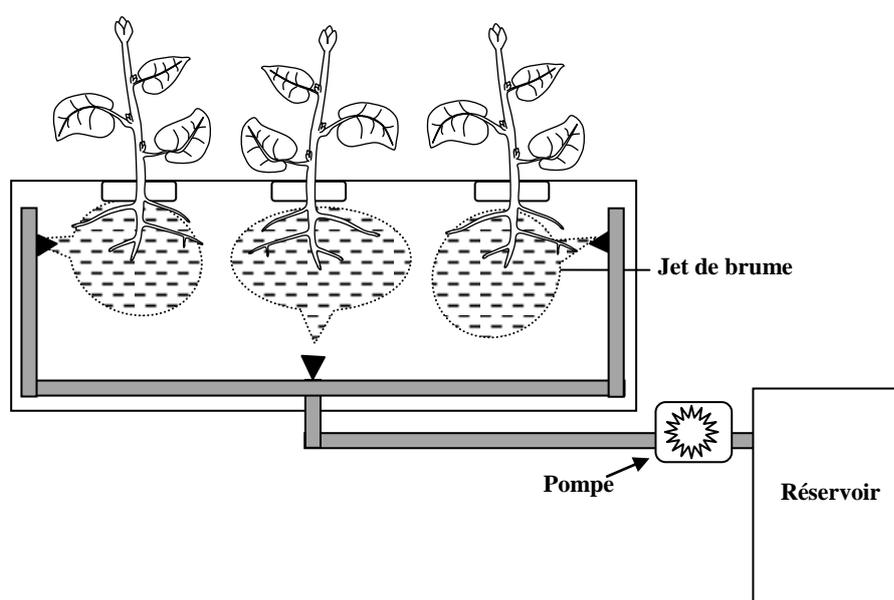


Figure 12 : Schéma d'un système Aéroponique

En aéroponie, les fonctions de support et d'approvisionnement en eau et en éléments nutritifs, habituellement remplies par le terrain, sont assurées par des « supports de plantes », généralement en matière plastique, et par des vaporisations permanentes (brouillard) de solutions nutritives à base de sels minéraux tournant en circuit fermé au moyen d'une pompe. On a donc à la fois 95% de disponibilité en eau et 98% de disponibilité en air. Le milieu de culture est saturé d'un brouillard nutritif qui ruisselle en continu sur les racines. Les minéraux sont donc très facilement absorbés. La pulvérisation, qui peut être continue, est en général discontinue, par cycles de 15 à 20 minutes, avec des arrêts de quelques minutes pendant la journée, et de quelques heures durant la nuit.