

# **FONDEMENTS & PRINCIPES DU HORS-SOL**

## **I. ORIGINE & HISTORIQUE:**

### **11. 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 isolé du sol. 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.

### **12. Historique**

1. 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. En cherchant le rôle de chacun des éléments constituants le sol, on s'est aperçu que celui-ci pouvait être entièrement reconstitué de façon artificielle. Il fallait seulement retrouver toutes les caractéristiques physique, chimique et biologique du sol (voir plus loin)
2. Plus près de nous, on s'est rendu compte que la répétition de mêmes cultures dans un sol, favorisaient le développement de parasites du sol (fusarioSES notamment), dont on ne pouvait plus se défaire par des moyens chimiques (pesticides) ou biologiques (non existence de variétés résistantes): on a alors pensé au remplacement du sol par des substrats voisins, le plus souvent organique (tourbes ou terreaux) réduits en volume et isolés du sol par une enveloppe plastique.
3. 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: la réduction du milieu racinaire associée à l'irrigation localisée, la possibilité de mieux maîtriser la température des racines, la souplesse et la mobilité des systèmes proposés permettent une meilleure maîtrise des facteurs de production.  
Aujourd'hui, on peut dire que c'est ce dernier critère de performance agronomique qui conduit les producteurs à se convertir au hors-sol.

## 13. Espèces cultivées en hors-sol

### 131. cultures légumières sous serres

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

La tomate est largement cultivée en hors-sol: laine de roche, fibres de coco, hydroponique, tourbe, bois, pouzzolane, écorce de pin, mousse de polyuréthane, ... sous toutes les latitudes

Le concombre, l'aubergine, le poivron: en laine de roche principalement et aux Pays-Bas surtout (+ France, Belgique, Danemark et Grande-Bretagne pour le concombre)

La laitue sur bandes de laine de roche ou en hydroponique mais de façon très peu développée compte-tenu de la faible rentabilité économique du hors-sol sur cette production (il existe cependant des productions hydroponiques de laitues en Belgique et au Québec).

Le fraisier: en laine de roche, en coco ou en conteneurs de terreaux tourbeux en Belgique, Grande-Bretagne et aux Pays-Bas.

En Espagne, il y a beaucoup de cultures hors-sol sur gravier ou sable mais parfois il s'agit du sol naturel, seulement isolé de la roche-mère par un film plastique : le « substrat » occupe un volume réduit qui facilitera les désinfections et l'écoulement dirigé des drainages.

### 132. Les cultures florales

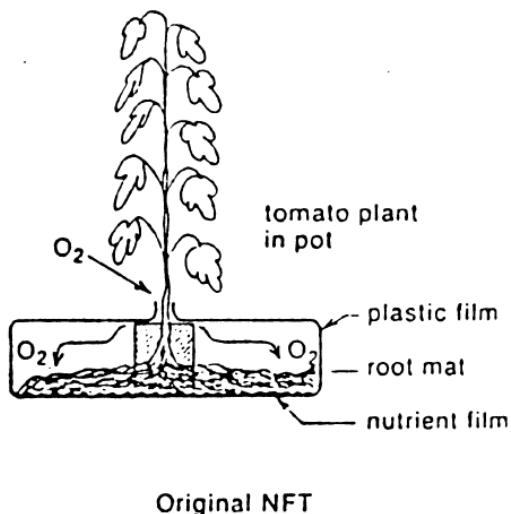
Les premiers essais remontent au début des années 80, d'abord sur oeilletts (à cause des fusarioSES) en sacs de tourbe puis en laine de roche, puis sur gerberas et roses. Aux Pays-Bas d'abord, puis ailleurs en Europe, le hors-sol (laine de roche et coco) se sont développé sur ces trois cultures principalement.

## **2. CLASSIFICATION DES SUBSTRATS:**

### **21. milieu fluide: (absence de substrat)**

#### **211. hydroponique ou N.F.T. (Nutrient Film Technique)**

Les racines se développent dans une lamelle d'eau courante



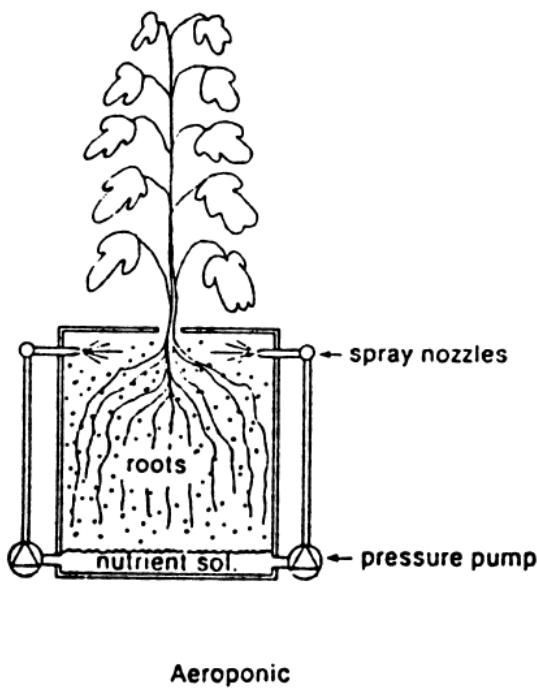
Le NFT a été développé en Grande-Bretagne où il subit une récession liée à celle des cultures sous abri dans ce pays

On le trouve en Bretagne (Brest & Rennes) sur 50 ha en tomates et en Belgique (plutôt en laitues)

Il a été peu développé ailleurs en raison de la forte exigence en sécurité du système et souvent à cause de la salinité d'eau de départ (nous sommes dans un système RECYCLE). Les volumes en circulation sont de l'ordre de 50 m<sup>3</sup>/heure/hectare, sans désinfection.

#### **212. aéroponique:**

Les racines sont maintenues dans l'air alimentées en solution nutritive par des pulvérisations régulières



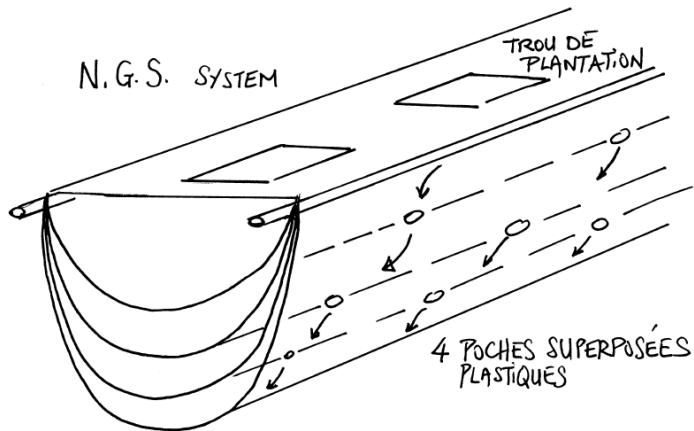
Le système aéroponique essayé dans les années 80 ne semble pas utilisé en production.

Il consiste à pulvériser la solution nutritive en continu sur les racines suspendues dans une gouttière rigide obscure.

L'inconvénient majeur est la nécessité de pulvériser sous pression et de façon permanente la solution nutritive (coûts, entretien)

### 213. aéro-hydroponie:

Association des deux précédentes techniques  
Exemple du système N.G.S.



Le système NGS s'est développé récemment en Espagne. La technologie est israélienne. Le système consiste à faire circuler la solution dans 4 feuilles de films plastiques, l'eau passant d'un étage à l'autre par gravité (la gouttière est en légère pente)  
L'alimentation des plantes se fait par goutte-à-goutte quasi continu.

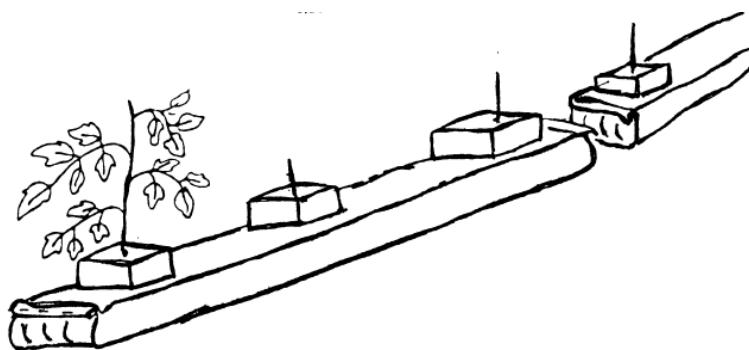
## **22. milieu solide: (présence d'un substrat)**

### 221. d'origine minérale:

- naturels (extraits) : graviers, sables, pouzzolane
- manufacturés: laine de roche, laine de verre, argile expansée, vermiculite, perlite

### 222. d'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)



La culture sur substrat s'effectue en général en modules ou pains de culture sur lesquels sont disposés 2 ou 3 plantes

Tous ces substrats peuvent être également classés en fonction de leurs inerties physique, chimique ou biologique, c'est à dire sur leurs réactivités sur ces trois plans, quand ils sont utilisés en culture

### **3. BASES THEORIQUES DU HORS-SOL:**

#### **31. Remplacer le sol**

Comme nous l'avons déjà dit, le substrat peut se substituer au sol, dans la mesure où on y retrouve toutes les qualités d'un bon sol, à savoir les qualités physiques, les qualités chimiques et les qualités biologiques.

#### **22. La structure physique**

Le substrat hors-sol n'est qu'un support physique dont la structure est telle qu'il retient suffisamment l'eau (et les éléments fertilisants dissous dans cette eau) tout en ménageant suffisamment d'air (aération: les racines ont aussi besoin d'oxygène)

Il faut reconstituer une structure permettant d'ancrer les racines mais la stabilité verticale de la plante est surtout obtenue par le palissage.

##### **221. porosité**

Le substrat doit présenter une porosité (micro et macro) telle qu'elle ménage des vides où l'air et l'eau sont présents en proportions satisfaisantes, avec une capillarité satisfaisante

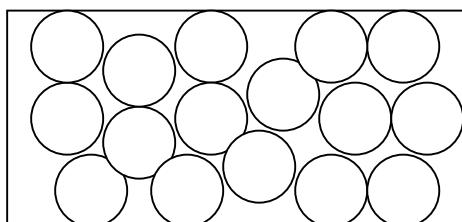
Par exemple, en substrat d'origine minérale, suivant la nature de celui-ci, il faudra bien définir la granulométrie des grains ou l'épaisseur des fibres, leurs agencements, considérer leurs qualités d'adsorption, ...

En substrat d'origine organique, il faut tenir compte du rôle des composants argileux ou colloïdaux (humus)

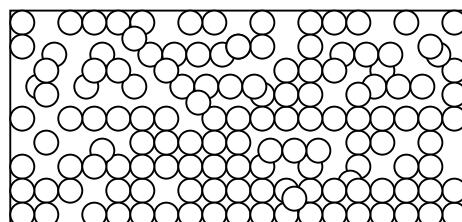
La granulométrie du substrat conditionne la force de rétention d'eau:

Exemple de 2 substrats:

Exemple n° 1:



Cette texture retient peu l'eau  
Milieu plutôt aéré/ faiblement capillaire



Cette texture retient fortement l'eau  
Milieu humide et capillaire, peu aéré

##### **222. stabilité**

Le milieu racinaire devra garder ces qualités structurales dans le temps (pas de tassemement par exemple) et dans l'espace: le volume racinaire doit être physiquement homogène.

La hauteur du substrat devra être choisie en fonction des facultés de capillarité du substrat (possibilité de plusieurs couches de texture différentes : par exemple supérieures à texture fine pour retenir l'eau et couches inférieures à texture grossière pour faciliter l'écoulement de l'eau (drainage)

## **23. L'aspect chimique**

L'alimentation chimique des plantes doit être assurée par la solution nutritive apportée par le goutte-à-goutte. La libération d'éléments chimiques par le substrat est à éviter, surtout si on n'en maîtrise pas la cinétique.

### **231. Inertie chimique du substrat**

En pratique, aujourd'hui on préfère utiliser des substrats chimiquement inertes (avec une capacité d'échange nulle ou faible) car on préfère contrôler toute l'alimentation des plantes au niveau de la confection des solutions nutritives. On évitera donc les substrats organiques qui risquent d'avoir des libérations d'éléments intempestives ou mal contrôlées

Signalons que les fibres de coco libèrent une quantité non négligeable de potassium, chlore et sodium au moment du gonflement et de l'humidification des pains. On préfère les lessiver avant la plantation (roses) ou assez vite en culture (tomate) : on peut également adapter la solution nutritive de remplissage des pains.

### **232. la solution nutritive**

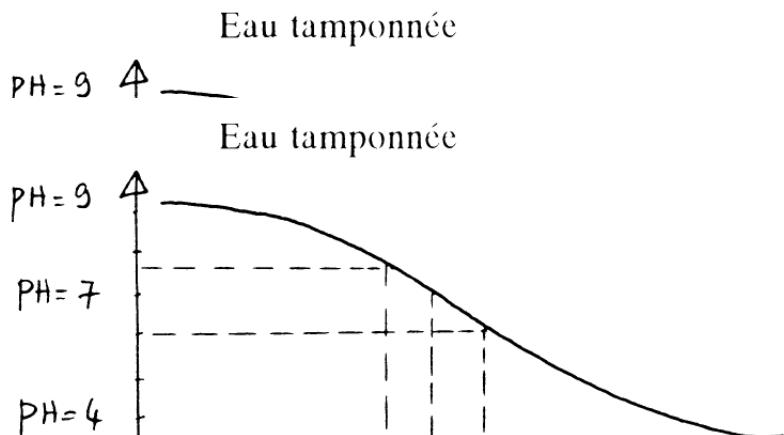
Compte-tenu de la relative inertie chimique des substrats et de leurs volumes réduits, il y aura très peu de "réserves nutritives" et l'alimentation en solution nutritive doit en tenir compte. Les doses et fréquences d'apports seront finement calculées de même que les équilibres de la solution: il faut apporter tous les éléments dont la plante a besoin (macro et oligo-éléments), dans une formulation facilement et rapidement assimilable, avec les équilibres convenant aux stades de cultures.

### **232. le pH**

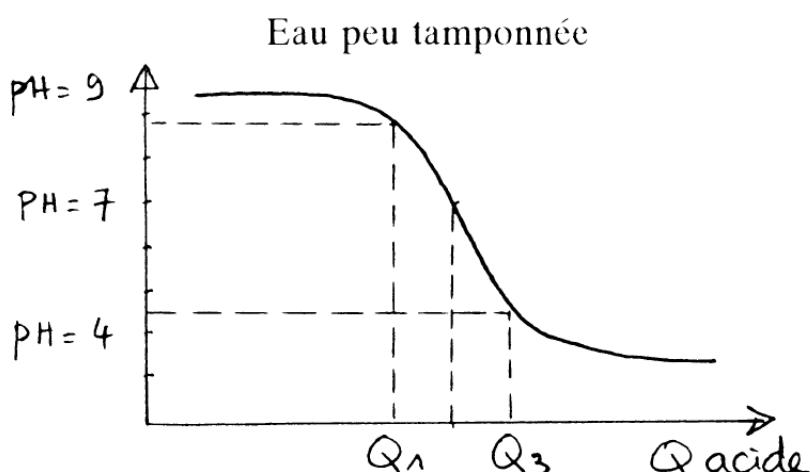
Un substrat minéral comme la laine de roche est inerte au niveau du pH car il n'y a aucune réaction chimique entre le substrat et la solution qui le mouille et car le substrat ne libère aucun élément fertilisant: stabilité chimique totale.

Les substrats organiques sont normalement stables car imputrescibles (du moins à l'échelle temps d'une culture): c'est le cas des substrats organiques utilisés maintenant: tourbe ou coco.

La courbe de pH ne dépend en fait que de l'eau d'origine et des engrains dissous dans la solution: le pH évolue toujours suivant le type de courbe suivant:



Une eau tamponnée est une eau "chargée" riche en bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et en général à conductivité élevée     $Q_1$      $Q_3$      $Q_{\text{acide}}$



En conclusion, quelle que soit la nature de l'eau, il faut retenir que l'évolution du pH n'est pas du tout proportionnelle à la quantité d'acide ou de base qu'on ajoute.

## 24. Les aspects biologiques

### 241. L'inertie biologique

Le substrat sera biologiquement inert s'il n'a aucune réactivité biologique, c'est à dire qu'il est stérile de toute vie biologique.

Ce n'est pas toujours le cas des substrats organiques: ils peuvent contenir des microorganismes et des molécules organiques vivantes comme l'humus, qui évoluent et par là même modifient le comportement physique et chimique du milieu.

Aujourd'hui, on préfère les substrats biologiquement inertes, toujours dans le même souci de maîtriser parfaitement le milieu racinaire, d'autant plus qu'on n'a pas pu montrer l'intérêt agronomique de l'absorption par les racines d'éléments organiques: acides aminés, cytokinines, acides humiques ...

## 242. l'aspect pathologique

Les producteurs choisissent souvent les cultures hors-sol pour lutter contre la fatigue des sols causés par la permanence de maladies racinaires spécifiques aux cultures. Les substrats doivent donc être indemnes de tout germe pathogène et les substrats biologiquement inertes présentent toutes les assurances dans ce domaine au contraire des substrats organiques naturels (terreaux ou tourbes)

## 25. L'incidence thermique

Compte-tenu de leurs faibles volumes, les substrats ont des inerties thermiques plus faibles que le sol, qui s'échauffe et se refroidit lentement. L'inertie thermique des modules de substrat dépendra surtout de la quantité d'eau qu'ils retiennent: plus ils seront aérés et moins chargés en eau, moins ils seront inertes sur le plan thermique et plus vite varieront leurs températures.

## 26. Notion de « Pouvoir tampon »

Les racines d'une plante dans un sol sont situées dans un milieu dit "tamponné", car les conditions y sont stables et peu évolutives:

- sur le plan physique: un grand volume racinaire et une texture invariable assurent des conditions d'humidité et d'oxygénation relativement stables dans le temps: le sol est physiquement tamponné
- sur le plan chimique: un grand volume et la complexité de la chimie du sol, où les éléments peuvent être plus ou moins facilement libérés (rétrogradation du potassium dans les feuillets d'argile, rôle du complexe argilo-humique dans le stockage des éléments, rôle des micro-organismes influents la dynamique de l'azote) rendent les variations chimiques lentes: le sol est chimiquement tamponné.
- sur le plan biologique, la présence simultanée de milliers d'espèces de micro-organismes rend improbable le développement subit et dominant de l'une d'entre elle: le sol est biologiquement tamponné.

Au contraire du sol, le substrat hors-sol en général de faible volume, qui peut s'asphyxier ou se sécher très rapidement, qui ne possède aucune réserve d'éléments nutritifs, qui n'a pas de population biologique régulatrice est dit peu tamponné.

En pratique, cela veut dire qu'en hors-sol, tout est plus rapide qu'en sol:

- l'avantage est qu'on peut rapidement modifier les conditions d'humidité, d'oxygénation, de fertilisation et mieux les adapter aux besoins des plantes et ce, à tout moment.
- l'inconvénient est qu'une mauvaise maîtrise de ces mêmes conditions conduit très vite à des situations extrêmes préjudiciables aux plantes:

vibrations brusques de pH, sécheresse jusqu'au point de flétrissement, absence totale d'un élément nutritif.

Quand un producteur se convertit au hors-sol, il doit être conscient qu'il faudra être très rigoureux et pondéré dans le suivi de la technique, et mettre en place toutes les techniques et les équipements qui pourront améliorer la sécurité du systèmes.

## 27. L'importance de la conductivité

La conductivité est la mesure dans la solution du substrat de la concentration totale en engrais (salinité de la solution). Plus la solution est salée en engrais, plus la conductivité mesurée électriquement est grande.

Normalement, on conduit l'irrigation fertilisante en adoptant une conductivité moyenne, propre à chaque espèce cultivée, et permettant une absorption équilibrée en eau et en éléments nutritifs au niveau des racines.

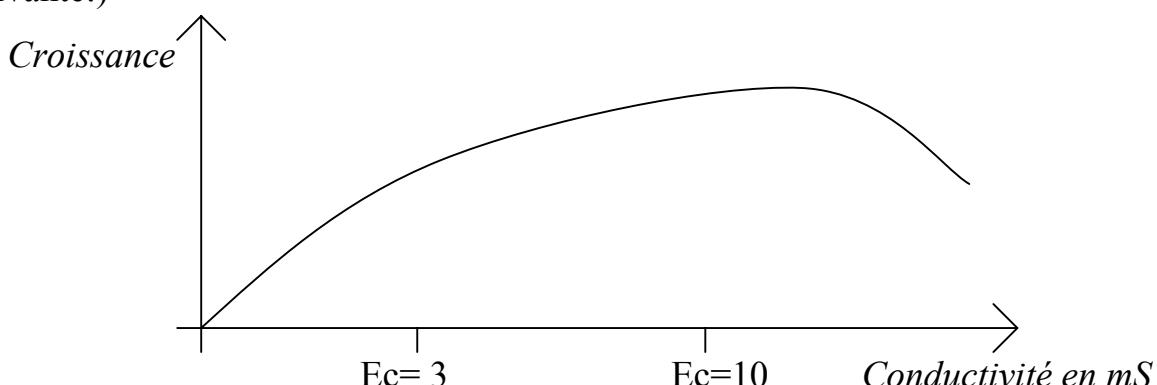
Cependant en serre, en conditions de contre-saison (en hiver, par faible luminosité mais à assez forte température à l'intérieur de la serre), les plantes ont un développement végétatif très exagéré aux dépens des fonctions de reproductions (floraison et nouaison).

Classiquement en sol, pour remédier à ce comportement des plantes, on freine l'irrigation pour maintenir le sol sec pour limiter le fonctionnement racinaire.

En hors-sol, il est trop dangereux de limiter l'humidité du substrat aux risques d'approcher le point de flétrissement: on préfère maintenir un niveau d'humidité satisfaisant mais on augmente de façon très importante le niveau de salinité pour bloquer aussi le fonctionnement des racines.

La conductivité mesure la quantité globale d'éléments fertilisants dans la solution donc d'engrais dans le substrat: c'est donc une mesure de concentration, de salinité qui va dépendre également du volume d'eau.

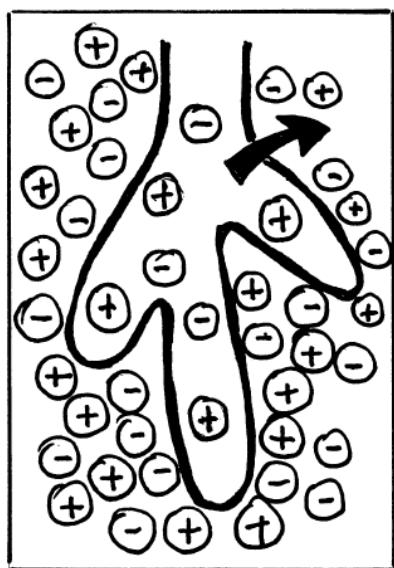
La courbe de croissance de la plante dépend de la conductivité suivant la courbe suivante:



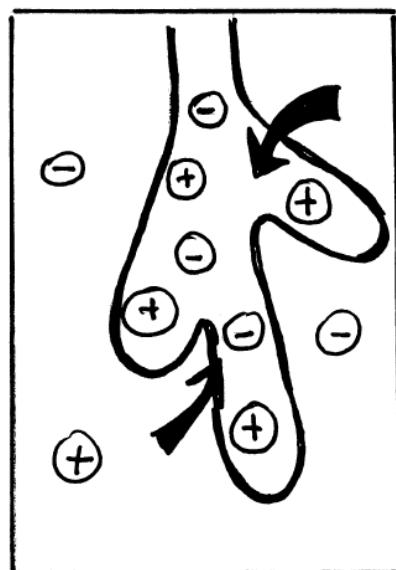
Conséquence de ce constat: **utilisation d'une "extra-conductivité"** pour le contrôle de l'activité racinaire en début de culture

En exagérant la conductivité du milieu racinaire en début de culture, on peut ainsi limiter le prélèvement d'eau par les radicelles et freiner un développement intempestif des racines : on augmente la pression osmotique entre le milieu de la solution nutritive et le milieu cellulaire interne aux racines.

### 1. Cas de FORTE SALINITE



### 2. Cas de FAIBLE SALINITE



La pression osmotique au niveau de la paroi cellulaire des racines (qui se comporte comme une membrane poreuse), tend à égaliser les concentrations électriques de part et d'autre de cette paroi

Quand la salinité est faible : l'eau rentre facilement « dans » la racine pour diluer la concentration cellulaire en ions.

A l'inverse, quand la salinité est très forte autour de la racine, la pression osmotique pousse l'eau à quitter le milieu racinaire pour diluer la forte concentration extérieure : en pratique, elle tend vers cet objectif mais n'y parvient pas : en tout cas, l'absorption d'eau par les racines est très contrainte.