CONNAÎTRE LA NUTRITION MINÉRALE DES VÉGÉTAUX POUR BIEN FERTILISER

Par Jacques Boccon-Gibod

Pour bien raisonner la fertilisation, il est important de connaître les mécanismes de nutrition des végétaux. Jacques Boccon-Gibod nous les dévoile par une approche scientifique qui nous montre avec précision la complexité de la nutrition d'une plante.

La plante se nourrit de sels minéraux qui existent dans le sol sous forme d'ions et qui pénètrent dans les racines. De grandes surfaces racinaires et des systèmes actifs d'absorption expliquent que, malgré les faibles concentrations des ions dans la solution du sol, l'acquisition des nutriments minéraux par les plantes est un processus très efficace. Par ailleurs, des symbioses formées entre des bactéries ou des champignons (mycorhizes) et les racines, participent à l'acquisition de ces éléments minéraux. D'immenses progrès ont été réalisés récemment dans la compréhension des mécanismes moléculaires du transport ionique ainsi que des gènes impliqués dans la nutrition minérale.

— LES ÉLÉMENTS MINÉRAUX ET LA FERTILITÉ DU SOL —

Les principaux éléments minéraux dont la plante a besoin pour sa croissance sont dits essentiels et sont classés, selon les quantités absorbées, en macro-éléments principaux : azote (N), phosphore (P), potassium (K) ; et secondaires : calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S), sodium (Na). L'azote constitue un des éléments majeurs pour la croissance des végétaux, sa carence ayant un très fort impact sur la réduction de croissance. Il entre dans la constitution des protéines, des acides aminés, de la chlorophylle ainsi que de l'ADN. Le phosphore intervient dans la photosynthèse, la gestion de l'énergie métabolique (ATP) et entre dans la constitution d'enzymes ainsi que de nombreuses molécules. Il stimule la croissance et le développement des racines et des fruits. Le potassium a un rôle très important dans le contrôle de la pression osmotique, la régulation stomatique, l'économie de l'eau, ainsi que dans les résistances au stress hydrique, au gel et aux maladies. Il est donc nécessaire d'entretenir la fertilité du sol en reconstituant ses réserves par des apports de matières fertilisantes adaptées. Ces apports dépendront de la richesse du sol et des besoins des plantes.

CONNAÎTRE LES MÉCANISMES DE NUTRITION DES VÉGÉTAUX PERMET DE RAISONNER LA FERTILISATION POUR OBTENIR DES PLANTES DE QUALITÉ ET RÉSISTANTES AUX MALADIES - © J.-F. COFFIN

L'examen de la phase solide du sol montre qu'il est constitué, en général, de particules d'argile associées à des composés organiques, l'humus, en formant des complexes argilo-humiques (CAH). Les CAH sont des gels colloïdaux chargés négativement qui se lient aux ions chargés positivement (cations : K+, Ca++, H+, Mg++, NH4+…). Ils sont ainsi des réservoirs de cations, caractérisés par leur capacité d'échange cationique ou CEC. Les ions chargés négativement (anions : NO3-, SO4--…) sont libres et circulent dans l'eau du sol.

— L'ABSORPTION DES IONS PAR LA RACINE EST SÉLECTIVE —

Les ions sont absorbés principalement au niveau la zone proche de la pointe racinaire qui comporte des poils absorbants. Ils peuvent aussi être absorbés au niveau de la zone subéreuse voisine ou des zones plus âgées pourvues de microfissures. L'absorption par les feuilles est aussi possible et peut conduire à des applications pratiques. Quand les racines sont associées à un champignon myco-

rhizien[1], ce qui est très souvent le cas, l'absorption a alors lieu au niveau des filaments mycéliens.

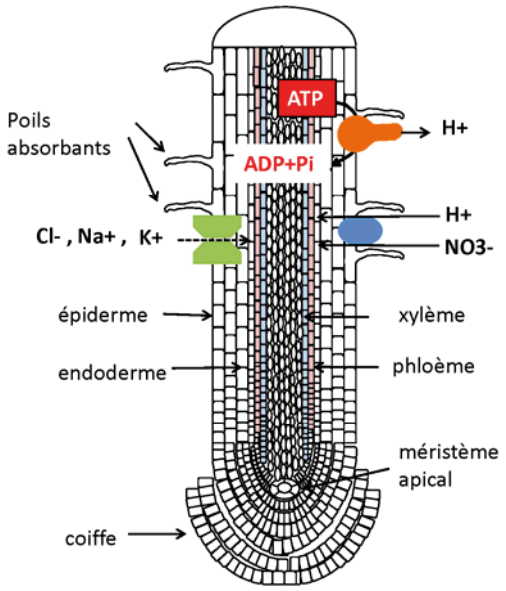
Les ions (sauf Ca++ et MG++) sont absorbés de façon sélective et à des vitesses variables selon la nature de l'ion : cette sélectivité est due aux canaux et aux transporteurs ioniques intégrés dans la membrane plasmique des cellules épidermiques racinaires. Chez les cations, l'ion ammonium (NH4+) est rapidement absorbé et échangé par un ion H+, ce qui provoque une acidification de la zone proche des racines. Chez les anions c'est l'ion nitrate (NO3+) qui est le plus rapidement absorbé il est échangé par un ion OH-, entraînant une alcalinisation du milieu racinaire. Ainsi, l'engrais azoté contenant du chlorure d'ammonium aura un effet acidifiant sur le sol et celui contenant du nitrate de sodium aura un effet alcalinisant. Par absorption sélective, les végétaux sont capables de maintenir une concentration ionique interne relativement stable et indépendante de celles variables du sol.

— MÉCANISMES DE L'ABSORPTION —

Les mécanismes de l'absorption sont complexes et fortement régulés. En voici quelques éléments. Deux systèmes fonctionnent simultanément : l'un est actif et fait intervenir des pompes à protons, situées dans l'épiderme des poils absorbants et au niveau du cylindre central de la racine, qui sont consommatrices en énergie (ATP), l'autre est passif et non consommateur en énergie où les ions sont entraînés dans la sève brute par la transpiration. Une interaction importante entre les ions lors du passage dans la racine est observée : par exemple, l'absorption du potassium sera stimulée par la présence d'ions nitrate et, au contraire, sera inhibée par la présence d'ions calcium. Un excès de potassium ou de calcium va provoquer une baisse de l'absorption du magnésium. On veillera donc à l'équilibre les réserves minérales du sol en tenant compte des analyses de sol (équilibres K/Mg et Ca/Mg) et des apports d'engrais.

L'absorption, en tant que mécanisme physiologique actif, est soumise au contrôle de plusieurs facteurs physiques comme la température du sol, l'oxygène et le pH du sol. Par exemple, une augmentation de 10 °C de la température du sol induit, pour la plupart des ions, un doublement ou un triplement de l'absorption. Une asphyxie racinaire[2] peut réduire fortement ou stopper l'absorption. Certaines espèces sont très sensibles au pH, comme les azalées qui poussent dans des sols acides (pH 4,0-5,5). Les pH légèrement acides ou neutres (5,5-7,0) sont optimums pour beaucoup d'espèces ornementales, tandis que les pH supérieurs à 7 favorisent les plantes calcicoles.

L'absorption des nitrates est fortement régulée : une fois absorbé l'azote est aussitôt réduit par l'intervention d'une enzyme, la nitrate réductase, ce qui constitue la première étape de la synthèse des protéines. Cette régulation de l'absorption est pilotée par la demande nutritionnelle de la plante selon un processus complexe faisant intervenir le métabolisme azoté, la photosynthèse et la respiration. Ces fonctions sont étroitement coordonnées pour organiser un système efficace de régulation de l'absorption et de l'assimilation des nitrates.

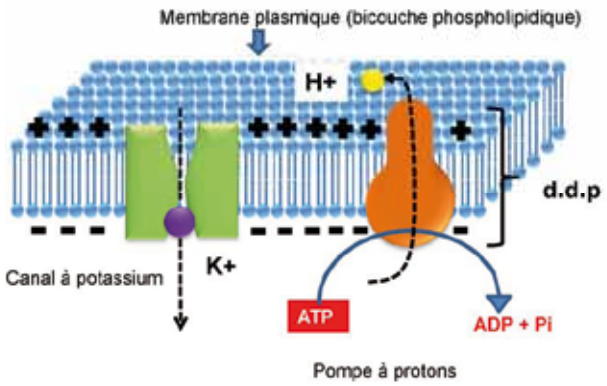


1 Les mycorhizes sont des champignons symbiotiques dont les filaments mycéliens colonisent les racines en formant un réseau connecté aux vaisseaux. Ils pénètrent dans les cellules du cortex racinaire (endomycorhize) ou restent externes en formant un manchon autour de la racine (ectomycorhize). Les filaments mycéliens absorbent les éléments minéraux et sont particulièrement efficaces pour rendre le phosphore accessible aux plantes par hydrolyse des composés organiques dans le sol. Plus de 90 % des espèces végétales sont susceptibles d'être mycorhizées. Voir aussi le dossier de Jardins de France de mars-avril 2013 « Mycorhizes, auxiliaires discrètes du jardinier ». http://www.jardinsdefrance.org/la-collection/622-mycorhizes-auxiliaires-discretes-du-jardinier

2 L'asphyxie racinaire se produit quand l'oxygène présent dans le sol et nécessaire au métabolisme racinaire disparaît par exemple en cas d'inondations, de forts tassements ou de surélévation du sol par rapport au niveau initial.

— LE TRANSPORT ET LA DISTRIBUTION DES IONS DANS LA PLANTE —

Une fois absorbés dans la racine, les ions sont véhiculés dans les tissus, soit dans le réseau des parois cellulaires (apoplaste), soit de cellule à cellule en traversant les membranes (symplaste), puis sont déchargés dans les vaisseaux du xylème. Il existe deux modes de transport : un transport passif par diffusion, ou diffusion facilitée par un transporteur, et un transport actif (qui est le plus important) qui fait intervenir des protéines membranaires existantes chez la majorité des êtres vivants. Ces protéines comprennent des pompes à protons, des canaux et des transporteurs. Les pompes à protons, grâce à l'enzyme ATP-ase utilisent l'énergie ATP, et créent un mouvement d'ions H+ à travers les membranes plasmiques et vacuolaires : ceci provoque une différence de potentiel de chaque côté de la membrane, qui va alors entraîner le mouvement des autres ions. Ce mouvement des ions à travers les membranes est contrôlé et filtré par des canaux spécialisés (canaux à K+, Na+, Ca++, NO3-…) dont le mécanisme d'ouverture/fermeture est piloté par la différence de potentiel transmembranaire. Quant aux transporteurs protéiques, ils fonctionnent avec un système de co-transport proton/ion et sont spécifiques de certains ions (K+, NH4+, Mn++,…).



POMPE À PROTONS (ATPASE) ET CANAL À POTASSIUM DONT L'OUVERTURE EST CONTRÔLÉE PAR LA DIFFÉRENCE DE POTENTIEL TRANSMEMBRANAIRE (D.D.P).
© J. BOCCON-GIBOD

Les ions sont véhiculés dans le xylème (sève brute) pour être distribués dans tous les organes foliaires et reproducteurs. Une fois distribués, les ions sont stockés puis redistribués dans les organes en croissance via le phloème (sève élaborée). Les racines, les bulbes et les feuilles adultes constituent ainsi des réserves d'éléments minéraux pour les zones en croissance. L'alimentation minérale des fruits par la sève élaborée est particulièrement importante car ils transpirent peu et ne peuvent donc pas être alimentés par le xylème.

La plupart des gènes impliqués dans la nutrition minérale, la régulation de l'absorption et du transport des ions, ainsi que de leur assimilation, sont maintenant bien identifiés. Leur mode de fonctionnement est de mieux en mieux connu : ceci permettra à l'avenir de créer des variétés économes en engrais et aussi des plantes capables d'absorber sélectivement et d'accumuler des métaux toxiques en vue de dépolluer les sols.

— RAISONNER LA FERTILISATION —

Aujourd'hui, on cherche à avoir une meilleure connaissance de l'offre du sol en sels minéraux (en termes de réserve et de flux : c'est la biodisponibilité), et aussi à mieux évaluer les besoins nutritifs des plantes. L'apport d'engrais doit donc être raisonné et calculé (si possible) en fonction des résultats d'analyses de sol réalisées par un laboratoire spécialisé, et des besoins de la plante cultivée, ce qui est moins évident. Les engrais phosphorés et potassiques seront apportés une fois par an, et les engrais azotés devront être apportés en fonction de la demande de la plante, par fractions, pour éviter les risques de perte par lessivage dans les eaux de drainage. Le choix des dates d'apport d'azote peut être fait grâce à des méthodes d'aide à la décision (logiciels, test Nitracheck® d'évaluation de la richesse en nitrates du sol, test PILazo® basé sur le dosage en nitrate de la plante, analyse de jus de pétiole…).

La connaissance des besoins nutritifs des plantes continuera à progresser, et aujourd'hui il est essentiel d'organiser une alimentation minérale équilibrée pour permettre une croissance de qualité et une bonne résistance aux maladies.

À lire…

- Burte, J.N., Cointat, M.- Le bon jardinier, Encyclopédie horticole- vol.1, pp.411-443, 153° édition, Ed. La Maison rustique, 1992.
- Hopkins, W.G.- Physiologie végétale, chapitre 5, Ed. de Boek, 2003.