

La nutrition des plantes : d'Antoine Laurent de Lavoisier à nos jours

Konrad Mengel* professeur, docteur

Summary : *Plants nutrition - from Antoine Laurent de Lavoisier till nowadays*

Relatively late in the mankind history it was found that plant nutrients are of inorganic nature and represent the essential basis of soil fertility. The modern concept of plant nutrition is based on the pioneer works of Lavoisier, Sprengel, Liebig, Boussingault and Hellriegel. The practical realization of this concept resulting in a consequent fertilizer use - mineral fertilizers as well as farmyard manure - has increased crop yields by a factor of 3 to 5 in industrial countries. Also in third world countries the consequent realization of this concept will contribute substantially to improve food production and welfare

Mots clés : *Fertilité des sols, humus, engrais, azote, micro-éléments.*

Key-words : *Soil fertility, humus, fertilizers, nitrogen, microelements.*

Au cours de l'histoire de l'humanité, la fertilité du sol a joué un rôle croissant. Elle était un indicateur de la capacité du sol à produire des plantes utiles. Pendant très longtemps, le mécanisme de la fertilité du sol n'a pas été compris, il était associé aux dieux et constituait une part importante des différentes religions. C'est relativement tard dans l'histoire de l'humanité qu'on a découvert que la fertilité du sol est d'abord une question de nutrition des plantes, donc une question de physiologie végétale et non pas un problème surnaturel. De même, on a cru que la transformation du moût en vin était un processus réalisé par des forces surnaturelles. C'est le grand génie Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) qui a montré que la fermentation était un processus chimique au cours duquel le sucre est transformé en éthanol et en dioxyde de carbone, et que cette transformation n'était pas le fait de forces surnaturelles. Cette découverte fondamentale a beaucoup aidé les philosophes et les scientifiques à comprendre que le mécanisme

de la fertilité du sol était lié à un processus physico-chimique.

La famine était un grand problème en Europe à l'époque de Lavoisier et, bien sûr, il y fut confronté. Il a vite compris que le manque d'engrais était la question essentielle. L'utilisation du fumier qu'il réalisa en parquant des vaches et des moutons pendant la période de juin à octobre, la nuit, sur un terrain délimité qui se trouva fertilisé par les excréments des animaux, a permis de doubler les récoltes et a montré que les substances matérielles contribuent à la fertilité du sol. Vers la fin de sa vie, en 1792, Lavoisier a commencé à entrevoir que la nutrition des plantes n'était pas le fait de l'humus [1].

En Europe, la fertilisation des sols par les excréments des animaux et des humains a été introduite au cours des XVIII^e et XIX^e siècles. En Allemagne, elle a été propagée par Albrecht Thaer (1752-1828) et en Autriche par Johann Burger (1773-1842). Ces protagonistes sont connus comme étant les fondateurs de la théorie de l'humus, théorie selon laquelle l'humus est la source directe de la nutrition des plantes. L'utilisation du fumier augmente la teneur en humus du sol et accroît sa productivité. Les travaux scientifiques d'Albrecht Thaer

étaient étroitement liés à la pratique de l'agriculture et ont eu un effet bénéfique sur la vie des fermiers.

Carl Sprengel (1787-1859) était un élève de A. Thaer. Ses travaux sur l'humus l'ont amené à reconnaître l'importance des minéraux pour la nutrition des plantes. Ses recherches sur les minéraux dans les sols, dans les végétaux et le fumier l'ont convaincu que ce n'était pas l'humus mais les minéraux qui étaient les substances nutritives des plantes. Cette idée nouvelle a été publiée pour la première fois en 1828, c'est-à-dire 12 ans avant que Liebig ne publie sa théorie de la nutrition minérale des plantes. Sprengel a aussi trouvé la loi du minimum : loi selon laquelle l'élément présent dans la plus petite quantité est déterminant pour le niveau de la récolte [2].

Jean-Baptiste Boussingault fut un promoteur remarquable de la science de la nutrition des plantes. Selon Lavollay [3], Boussingault fut le fondateur de la chimie agricole moderne. Ses travaux sur l'azote, en particulier, ont considérablement augmenté notre connaissance de la nutrition des plantes. En 1839, il écrivait : « *Le seul gisement d'azote est l'atmosphère, il est donc très probable que les êtres organisés aient emprunté*

Conférence

* Justus Liebig Universität, Am Weingarten 1,
35 415 Pohlheim, Allemagne.
Tél./Fax : +49 6403 62313.
E-mail : Konrad.Mengel@ernaehrung.uni-giessen.de

l'azote à l'atmosphère ». C'était une observation très importante parce que l'azote est un élément essentiel pour la nutrition des plantes. Cette découverte nouvelle a amené la question suivante : comment les organismes vivants sont-ils capables d'assimiler l'azote atmosphérique ? Les expériences de Boussingault réalisées dans sa ferme de Pechelbronn en Alsace ont montré que les plantes absorbent l'azote du sol et indirectement celui de l'atmosphère. Entre 1851 et 1854, grâce à 21 expériences très minutieuses [4], Boussingault démontre que l'azote de l'air n'est pas assimilé directement par la plante. Il a découvert que l'azote organique du sol est transformé en nitrate et que cette transformation a besoin du sol pour se réaliser.

Justus Liebig (1803-1873) a étudié à Paris avec des savants réputés comme Gay-Lussac, Thénard et Vauquelin et, bien évidemment, les idées de l'école française et plus particulièrement celles de Lavoisier ont influencé ses concepts. Lavoisier avait déjà vu la circulation des éléments nutritifs entre les animaux et les végétaux [5]. Liebig a présenté sa théorie de la nutrition des plantes dans son fameux livre « *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie* » dont la première édition est parue en 1840 [6]. Le cycle des éléments nutritifs représente une part importante de cette théorie. Les plantes sont le média entre le monde inorganique du sol et le monde organique des animaux et des hommes : c'est une propriété fondamentale des plantes de transformer les éléments inorganiques en substances organiques grâce à l'énergie du soleil. La nourriture des hommes et des animaux est produite directement ou indirectement par cette transformation. Les excréments et également les substances des organismes morts, apportés dans le sol, y sont décomposés et transformés en éléments inorganiques et servent d'éléments nutritifs pour les plantes. Pour Liebig, toutes les substances nutritives des plantes ont avant tout un caractère inorganique et la teneur du sol en éléments nutritifs est un indicateur de sa fertilité. Pour maintenir cette fertilité, il est indispensable d'apporter des éléments nutritifs au sol en remplacement de ceux qui ont été absorbés par les plantes et de ce fait éliminés du sol sous forme de produits agricoles.

Liebig a supposé que non seulement le dioxyde de carbone mais également l'azote étaient absorbés par les feuilles sous forme d'ammoniaque. Son « Patentdünger » (engrais minéral artificiel) ne contenait probablement pas d'azote et les essais en plein champ conduits à Rothamsted par Lawes et Gilbert ont montré que le « Patentdünger de Liebig » était totalement inefficace [7]. Les expérimentations de Lawes et Gilbert ont montré que l'application de l'azote sous forme organique ou inorganique pouvait augmenter considérablement le rendement des plantes. Plus tard, les propres expérimentations de Liebig l'ont convaincu que la croissance des plantes était favorisée par l'application d'azote inorganique sous forme d'ammonium ou de nitrate. Ceci est bien documenté dans la 7^e édition parue en 1862 de son fameux livre qui fut un « bestseller » au XIX^e siècle [8]. Liebig a compris que l'azote pouvait au niveau global probablement devenir un facteur limitatif de la production végétale, et il a conseillé aux agriculteurs allemands d'utiliser l'azote du fumier avec grand soin et d'éviter les pertes en ammoniaque [9]. Aucun chimiste ne pouvait, à son avis, concevoir que l'azote atmosphérique pût être transformé sous forme d'ammonium ou sous forme de nitrate. Liebig prévoyait que la réserve de guano serait rapidement consommée si les agriculteurs allemands l'utilisaient en quantités aussi importantes que les agriculteurs anglais, et il les a convaincus de fertiliser les sols avec de la chaux, de la potasse, des phosphates et de cultiver des espèces légumineuses en assolement avec des céréales. Il croyait que les espèces légumineuses étaient capables d'absorber l'ammoniaque par leurs feuilles et donc d'enrichir le sol avec l'azote disponible. Ce principe a été de plus en plus mis en œuvre par les agriculteurs et couronné de succès : les rendements des cultures végétales ont augmenté, particulièrement sur les sols sableux [10].

Les disciples de Boussingault, J.J. Th. Schloesing et A. Müntz ont découvert que la nitrification de l'azote dans le sol était un processus microbien. L'idée, reposant sur les travaux du génial Louis Pasteur (1822-1895), que des microorganismes puissent rendre possible des processus chimiques n'était

pas acceptée par Liebig. Environ dix ans après sa mort, on a découvert que l'azote atmosphérique était assimilé par des microorganismes vivant en symbiose avec des espèces légumineuses. Dès 1880, différents chercheurs ont trouvé que les nodules des racines des espèces légumineuses contenaient des microbes. Grâce à une expérimentation géniale, Hermann Hellriegel et son collaborateur Hermann Wilfert ont découvert qu'il y avait des bactéries dans les racines des espèces légumineuses capables de transformer l'azote atmosphérique sous une forme utilisable par les plantes. Le succès de cette expérience a permis de comprendre les observations déjà rapportées par les Romains et aussi constatées par Lavoisier [11], à savoir que la culture des espèces légumineuses augmentait la fertilité du sol. Cette découverte concordait également avec la supposition de Boussingault que les espèces légumineuses pouvaient contrairement aux céréales utiliser directement l'azote atmosphérique [3].

La découverte de Hellriegel a eu une influence considérable sur la pratique de l'agriculture. La crainte de Liebig que la réserve d'azote assimilable par les plantes soit consommée très rapidement n'était plus fondée. En Allemagne, les espèces légumineuses sont donc devenues un élément essentiel de la rotation des cultures agricoles et ont permis en combinaison avec l'utilisation d'engrais comme la chaux, la potasse et le phosphore d'augmenter les rendements agricoles de plus de 100 % [12]. Ce type d'agriculture a dominé pendant la 2^e moitié du XIX^e siècle et les premières décennies du XX^e siècle avec une influence bénéfique, non seulement sur la production végétale, mais aussi sur l'élevage des animaux parce que, désormais, une quantité plus importante de fourrage de haute qualité était disponible en raison notamment de la culture du trèfle [13]. La prospérité des petits cultivateurs en a été améliorée de façon significative. D'un point de vue écologique, ce type d'agriculture était meilleur que l'agriculture moderne actuellement pratiquée en Europe.

Outre les éléments nutritifs déjà mis en évidence par Liebig, d'autres éléments chimiques essentiels pour la nutrition des plantes ont été découverts

pendant le XX^e siècle. Ces éléments, nommés microéléments ou oligo-éléments, sont nécessaires au maintien d'une production végétale uniquement pour certaines qualités de sols très particuliers [14]. C'est Anna Sommer aux États-Unis (Alabama) qui a plus particulièrement montré, avec ses expérimentations sur des solutions nutritives réalisées avec des sels purifiés, que des microéléments comme le cuivre, le bore et le zinc sont, en quantité minime, essentiels pour la vie des plantes [15].

La situation dans beaucoup de pays du tiers monde est actuellement semblable à celle de l'Europe du XIX^e siècle. A cette époque, la famine représentait en Europe un danger permanent et elle a été maîtrisée par d'importants progrès scientifiques et techniques. Ce sont les mêmes concepts et les mêmes techniques qui peuvent aider à maîtriser la situation nutritionnelle dans les pays du tiers monde : c'est-à-dire l'utilisation d'engrais chimiques accompagnée d'une rotation appropriée des cultures avec culture d'espèces légumineuses et récupération des éléments nutritifs du fumier [16]. De nos jours, dans les pays développés, l'utilisation des engrais chimiques est indispensable pour des raisons économiques. Dans ce cas, le défi scientifique et technique de la nutrition des plantes consiste en l'adéquation des quantités d'engrais fertilisés aux quantités d'éléments nutritifs assimilables déjà contenues dans le sol. La conception de Barber et aussi de Nye sur la « diffusion et mass flow » des éléments nutritifs dans le sol a particulièrement contribué à la compréhension du phénomène de la disponibilité du phosphore et du potassium dans le sol [17]. En ce qui

concerne l'azote, le problème est plus complexe parce que l'activité microbienne dans le sol joue un rôle majeur. Le concept moderne de modélisation sur ordinateurs de ces processus multifactoriels laisse aussi espérer des progrès dans le domaine de la disponibilité de l'azote dans le sol [18]. Des expérimentations récentes ont montré que ce n'est pas l'humus mais des substances comme les peptides (l'azote aminé) dans le sol qui sont les plus importantes sources pour la minéralisation de l'azote organique et qui jouent donc un rôle essentiel pour la nutrition des plantes [19].

Beaucoup de progrès ont été réalisés pendant les dernières décennies dans la connaissance des mécanismes par lesquels les racines des plantes absorbent les éléments nutritifs du sol et dans la connaissance des processus physico-chimiques et microbiens dans la rhizosphère. Les progrès faits dans le domaine de l'absorption des éléments nutritifs, plus particulièrement des processus par lesquels les éléments nutritifs sont absorbés (transport à travers les membranes biologiques), sont révolutionnaires. Pour le processus d'absorption, les pompes à protons (H⁺ ATPase) jouent un rôle primordial.

Références

[1] Boulaïne J., *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, **1994**, 80-67(4), p. 9-73.
 [2] Böhm W., *Biografisches Handbuch zur Geschichte des Pflanzenbaues*, Verl. K.G. Saur, Munich, **1997**, p. 323-326.
 [3] Lavollay J., *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, **1987**, 73, p. 3-10.
 [4] Boulaïne J., *Comptes Rendus de*

l'Académie d'Agriculture de France, **1987**, 73, p. 11-20.
 [5] Cauderon A., *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, **1994**, 80, p. 41 (4)-50.
 [6] Liebig J., *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*, 1. ed., Verlag Vieweg Braunschweig, **1840**.
 [7] Johnson A.E., Liebig and the Rothamsted Experiments, In « *150 Jahre Agrikulturchemie* », Liebig Ges. Giessen ed., **1991**, p. 37- 64.
 [8] Böhm W., Liebig und die Entwicklung der Pflanzenbauwissenschaften, In « *150 Jahre Agrikulturchemie* », Liebig Ges. Giessen ed., **1991**, p. 65-84.
 [9] Liebig J., *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*, 8e ed., Vieweg Verlag, Braunschweig, **1965**.
 [10] Böhm W., *Angewandte Botanik*, **1986**, 60, p. 1-5.
 [11] Poirier J.-P., Antoine Laurent de Lavoisier, 1743-1794, *Pygmalion*, Gérard Watelet, Paris, 1993.
 [12] Siemes J., *Pflug und Spaten*, **1979**, 27, n° 6.
 [13] Schmitt L., *Vom Segen der richtigen Düngung*, DLG-Verlag Frankfurt, **1958**.
 [14] Loué A., *Les oligo-éléments en agriculture*, Agri-Nathan International, Paris, **1986**.
 [15] Evans L.T., *Feeding the Ten Billion*, Cambridge University Press, **1998**.
 [16] Sanchez A., Leakey R.R.B., *European Journal of Agronomy*, **1997**, 7, p. 15-23.
 [17] Jungk A., Claassen N., *Advances in Agronomy*, **1997**, 11, p. 53-100.
 [18] Molina J.A.E., Smith P., *Advances in Agronomy*, **1998**, 62, p. 253- 298.
 [19] Mengel K., Schneider B., Kosegarten H., *J. Plant Nutr. Soil Sci*, **1999**, 162, p. 139-148.

