

# Quatre siècles de fertilisation

## Première partie

Jean Boulayne - Membre de l'Académie d'Agriculture.

*“....quand tu apportes les fumiers au champ...  
c'est pour lui rebailler une partie de ce que lui a été osté...”*

*Bernard Palissy*

### RÉSUMÉ

Entre 1600 et 1840 de grands savants ont exploré les problèmes de la fertilisation. Leurs successeurs ont construit un des chapitres les plus efficaces de l'Agronomie. L'histoire permet une hiérarchisation des problèmes qui leur avait souvent échappé.

Les terres de France étaient épuisées à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle, par une très longue exploitation par une population très supérieure en nombre à celles des pays voisins. La dégradation de l'humus, le blocage du phosphore et du potassium, ainsi que les pertes d'azote, en étaient les manifestations majeures.

La Révolution de 1789 a supprimé de nombreuses contraintes : elle a permis la culture des légumineuses fourragères et des plantes sarclées qui ont stoppé la baisse des rendements et entraîné quelques progrès très limités durant le XIX<sup>ème</sup> siècle lequel a connu par ailleurs une quête effrénée de fertilisants, sans résultats appréciables au niveau national. Localement, des succès remarquables ont pu être enregistrés.

L'apport du phosphore, grâce à des ressources minérales extérieures, a permis de surmonter cette contrainte majeure. Les rendements moyens en blé sont passés de 10 à 20 quintaux/ha. Mais alors, la contrainte de "l'azote minéral" s'est manifestée car en année moyenne, la minéralisation de l'azote organique plafonne à ce niveau. A partir de 1945 les engrais azotés ont, à leur tour, provoqué l'essor prodigieux des rendements : celui du blé d'hiver a triplé en trente ans.

D'autres éléments, au premier rang desquels le potassium, interviennent pour nuancer ce schéma simplifié. La nature très variée des terres, les disparités climatiques, les niveaux de formation des hommes interviennent eux aussi dans l'histoire complexe de la fertilisation, en France, depuis quatre siècles.

### Mots clés

Humus, fertilisation rationnelle, azote, phosphore.

### SUMMARY

#### FERTILIZATION HISTORY OVER FOUR CENTURIES

*Problems of fertilization were of interest to great scientists since 1600, but real progress has been made since 1840. With a look back at history, we can now make an evaluation of all the problems discovered during these past activities.*

*The situation in France at the end of the 18th century showed an impoverishment of soils due to a long time use by a too numerous population. This decreased the amount of nutrients and led to a soil degradation.*

After the French Revolution, efforts were concentrated on cropping patterns and introducing fodder crops and pulses. But the progress remained low during the 19th century, even if locally some successes were made. The use of mineral phosphorus from external resources overcame the phosphorus limitation, increasing the average yield of winter wheat from 10 to 20 quintals per hectare. However, this improvement was limited by the mineral nitrogen availability. Since 1945, the application of nitrogen fertilizers brought a new improvement in yields, tripling winter wheat yield in thirty years.

Of course, these improvements will remain as the most important ones, but other nutrient elements, like potassium, soils and climate characteristics, and farming training levels also took place in the history of fertilization during these four centuries.

### Key-words

Humus, rational fertilization, nitrogen, phosphorus.

## RESUMEN

### CUATRO SIGLOS DE FERTILIZACIÓN

Entre 1600 y 1840, grandes sabios han explorado los problemas de la fertilización. Los sucesores han construido uno de los capítulos más eficaces de la Agronomía. La historia permite una jerarquía de los problemas que les habían a menudo escapado.

Las tierras de Francia estaban agotadas al fin del siglo XVIII, por cuatro mil años de explotación por una población muy superior en cantidad a la de los países vecinos. La degradación del humus, el bloqueo del fósforo y del potasio, así que las pérdidas en nitrógeno, fueron las manifestaciones mayores.

La revolución de 1789 suprimió numerosas dificultades : permitió el cultivo de las leguminosas forrajeras y de las plantas que se escardan, que bloquearon la caída de los rendimientos y dieron algunos progresos muy limitados durante el siglo XIX. Conoció también una búsqueda desordenada de fertilizantes, sin resultados apreciables al nivel nacional. Localmente, sucesos notables fueron registrados.

El aporte de fósforo, gracias a recursos minerales exteriores, superó esta limitación mayor. Los rendimientos promedios en trigo pasaron de diez a veinte quintales por ha. Pero entonces, la limitación del nitrógeno mineral se manifestó. En año medio, la mineralización del nitrógeno orgánico se queda a este nivel máximo. A partir de 1945 los abonos nitrosos provocaron, a su turno, el aumento prodigioso de los rendimientos : el del trigo de invierno triplicó en treinta años.

Otros elementos, en primer lugar el potasio, intervienen para variar este esquema simplificado. La naturaleza muy variada de las tierras, las diferencias climáticas, los niveles de formación de los hombres intervienen también en la historia compleja de la fertilización, desde cuatro siglos.

### Palabras claves

Humus, fertilización racional, nitrógeno, fósforo.

**I**l y a quatre siècles que l'essentiel a été dit et publié. Le texte qui entoure cette citation explicite avec beaucoup de précision que la culture produit des substances qui sont exportées et dont une partie seulement revient à la parcelle productrice sous forme de fumier. La production agricole s'accompagne donc d'une perte incompressible et inéluctable qu'il faut, à un moment ou à un autre compenser si la production doit se poursuivre.

Il faut donc restituer - le mot est employé par Mustel en 1781 - à la terre, les éléments nutritifs qui lui ont été "osté". Le retour des fumiers ne suffit pas et on sait maintenant que l'altération des roches sous-jacentes ou les apports de poussières sont très insuffisants. Il faut fournir aux cultures des engrais complémentaires pour compenser les pertes. Et, pour augmen-

ter les rendements, ce qui est impératif si le nombre des hommes augmente ou s'il est souhaitable que leur niveau de vie s'améliore, il faut apporter des engrais de "redressement".

La fertilisation a fait, depuis deux siècles, des miracles. En France, le rendement en blé tendre - qui est le meilleur indicateur du progrès agricole - est passé de 9 quintaux à l'hectare il y a deux siècles, (Lavoisier, 1792) à 69 quintaux à l'hectare en 1991 (Graphagri). L'accroissement a été à peine perceptible au XIX<sup>ème</sup> siècle, lent de 1900 à 1950, très rapide ensuite. Il est d'ailleurs improbable que cette croissance puisse continuer. L'histoire de la fertilisation depuis Bernard Palissy est donc passionnante. Elle est surtout pleine d'enseignements et sa découverte nous permet de mieux percevoir les limites probables de son efficacité. A ce titre elle conditionne l'avenir...

## DE LA GRAISSE OU DES SELS ?

*“Employer les corps gras et les plus rafraîchissants dans les terres sèches et légères, et dans celles qui sont humides et pesantes, mettre des fumiers chauds et légers”.* (Liger, éd 1775).

Le mot “engrais” vient de la vieille croyance que la partie de la terre qui est utilisée par les plantes pour leur nourriture est constituée de substances grasses. Les sols fertiles étaient pour les Grecs et les Romains, ceux qui sont riches en ce que nous appelons aujourd’hui humus, et ces substances donnent aux sols un caractère onctueux qui s’apparente à celui des graisses animales, ces dernières capables de brûler notamment sur les autels des sacrifices religieux, et dont la fumée, montant au ciel, apportait aux divinités l’hommage des hommes... En bref, la graisse était la partie noble des nourritures pour les dieux, pour les hommes et pour les plantes. D’ailleurs si les animaux ont de la graisse, ils se nourrissent de plantes qui doivent en contenir...le raisonnement a les apparences de la logique.

C’est au XVI<sup>ème</sup> siècle que le doute apparaît chez de très rares savants. Il y aura toujours un décalage considérable entre les connaissances rationnelles et expérimentales, et les illusions ou les utopies du public. Cette distance et ce décalage existent encore aujourd’hui.

A la fin du XVI<sup>ème</sup>, B. Palissy observe qu’à l’emplacement d’anciens tas de fumiers lavés par les pluies, les plantes poussent beaucoup plus vigoureusement. Pour lui ce sont les “sels”, substances solubles dans l’eau, qui ont enrichi le sol. Et ces sels, il faut les renouveler :

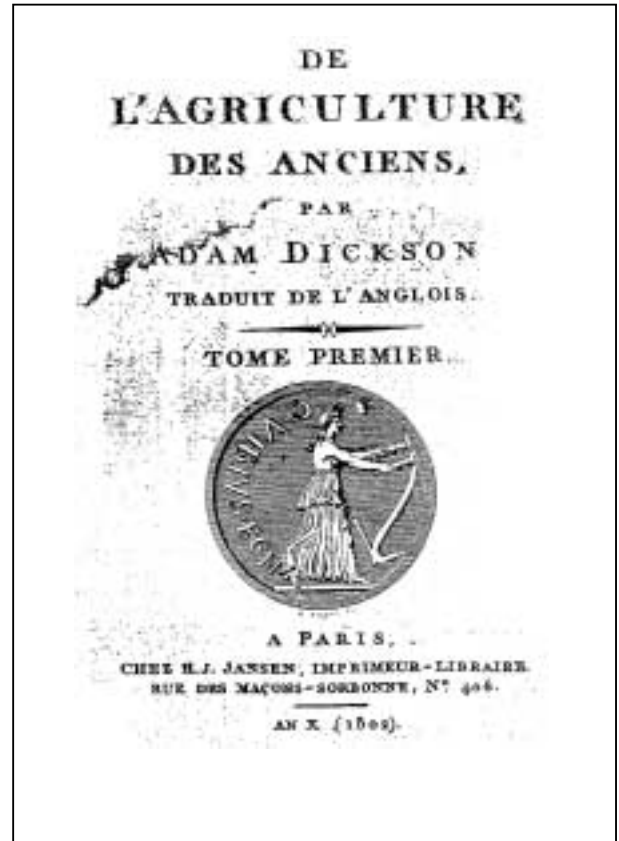
*“Si quelqu’un sème un champ plusieurs années de suite sans le fumer, les semences tireront le sel de la terre pour leur accroissement, et la terre, par ce moyen, sera dénudée de sel et ne pourra plus produire. Je ne parle pas d’un sel vulgaire mais je parle de sel végétal...Si je connaissais toutes les vertus des sels, je penserais faire des choses merveilleuses.”* (B. Palissy, 1580).

Le mot “sel” désigne aussi bien les acides, les bases que les sels au sens moderne du mot. En fait, il s’agit de la plupart des substances solubles ; les graisses n’en font pas partie. Un premier problème est donc posé : quelle est la nature des substances fertilisantes ? Un second s’y ajoutera rapidement, au moins pour les “savants” : quel est le mécanisme de leur action ?

Pendant “l’âge d’or de la science”, les dix années qui ont vu œuvrer Galilée, Descartes, Pascal, Bacon et d’autres, entre 1620 et 1630, F. Bacon pose la question fondamentale : *“Quel est le principe de la végétation ?”*. Lavoisier, à la fin de sa vie, en 1792, affirmera que c’est le problème le plus important de la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle. En effet, si on comprend à peu près comment l’homme et les animaux se nourrissent, le développement et la croissance des plantes demeurent mystérieux ; la

**Figure 1** - Page de titre de l’ouvrage synthétique consacré à l’agriculture romaine.

**Figure 1** - Heading page from the synthetic book on roman agriculture.



réponse des anciens par les quatre éléments (la terre, l’air, le feu et l’eau) devient insuffisante dès le milieu du siècle ; Van Helmont crut avoir démontré que l’eau était seule en cause avec une expérience très originale, bien que fausse, car elle inaugurerait la méthode des bilans.

Glauber, en revanche, mettant en évidence l’effet spectaculaire du “nitre” (nitrate de potasse), orienta définitivement les recherches vers l’action des “sels”, tandis que Mariotte mettait le “feu” hors de cause..

Les travaux sur les substances qui favorisent la croissance des plantes restèrent confidentiels durant tout le XVIII<sup>ème</sup> siècle. Les chimistes (Woodward, Boerhave...) y contribuèrent. De nombreuses substances furent essayées par des agriculteurs curieux et avides d’améliorer leurs productions. C’est vers cette époque que le mythe de la fertilité des sols français a pris corps dans les milieux intellectuels. La supériorité agricole de l’Angleterre est mise sur le compte de son régime social :

“les pays ne sont pas cultivés en raison de leur fertilité, mais en raison de leur liberté” (Montesquieu). En fait l'Angleterre est un pays neuf, peuplé et cultivé depuis peu, donc avec encore des réserves de fertilité.

### La mise au point de Duhamel du Monceau

La question de l'utilité des engrais avait été posée par un anglais, Jethro Tull (1733) qui prétendait que la multiplication des labours et des façons culturales suffit à satisfaire les besoins des plantes. C'est une illusion, valable seulement quelques années car le travail du sol mobilise les réserves alimentaires qui s'épuisent rapidement. Le marquis de Turbilly en fit l'amère expérience entre 1750 et 1770 (Boulaine, 1992).

Dans une synthèse magistrale de quatorze années de travaux, menés avec le concours de bons agronomes, Duhamel du Monceau fait le bilan des connaissances agronomiques dans son ouvrage intitulé “Trois éléments d'agriculture” (1762).

Dans le tome I de ses “éléments d'agriculture” Duhamel du Monceau se défend énergiquement de suivre Jethro Tull dans son dédain des engrais. Bien au contraire, il met le plus grand soin à étudier en détail tous les produits organiques au premier rang desquels les fumiers mais aussi les substances minérales les plus diverses (marnes, calcaires etc.) et les résidus possibles, y compris les déchets du “travail des os et de l'ivoire”.

Durant les vingt années suivantes, plusieurs auteurs confirmeront la nécessité “des engrais”. Charlemagne, agriculteur de Bobigny va établir le premier record de France de production de blé tendre avec 32 quintaux à l'hectare en 1766. Il emploie des doses massives de fumier (Boulaine et Feller, 1987) ; Lavoisier va baser toute son expérimentation de Freschines (1778-1794) sur des apports massifs de fumier.

Vers 1780, les agronomes sont convaincus qu'il faut apporter des engrais aux cultures.

Dans son traité de botanique, Mustel (1781) emploie le terme “restituer” qui reprend l'idée de Bernard Palissy de “rebailer” les substances que les récoltes ont enlevées aux sols.

Les agriculteurs de tous les pays savaient depuis des siècles répandre les fumiers et diverses substances sur leurs terres. Restait à savoir pourquoi et comment le faire.

Duhamel du Monceau s'interrogeait d'ailleurs sur le rôle possible de ces substances. Il le faisait prudemment, n'ayant pas de données expérimentales, et répugnant, comme Réaumur ou bien d'autres savants du “siècle des lumières”, à soutenir des théories sans fondements solides.

Dans son introduction il annonce le contenu de son ouvrage : “*Quel est en gros le mécanisme de la végétation ?... Quels sont les meilleurs engrais, les moyens de s'en procurer et la meilleure manière de les employer ?*” (Tome I, page 7, 1762). Sur les mécanismes de la nutrition végétale, il dit prudemment : “*L'utilité des fumiers et des plantes pourries est trop connue pour qu'on puisse la révoquer en doute ; mais*

*on ne sait s'ils agissent en retenant l'humidité qui est absolument nécessaire à la végétation ou en rendant plus légères les terres trop compactes, pour mettre les racines en état de s'étendre, ou en excitant, par les substances grasses et huileuses qu'ils contiennent, une sorte de fermentation dans l'intérieur de la terre, fermentation qui aide à cette espèce de digestion par laquelle se prépare dans la terre le suc nourricier des plantes, ou enfin, si quelque partie des fumiers - soit huile, soit sels volatils - passe comme aliment dans les plantes.*” (tome I, pp. 214-215).

Ce texte contient plusieurs interrogations qui vont vers les sujets de discussions du XIX<sup>ème</sup> siècle : les engrais sont-ils des aliments ou des excitants ? S'il s'agit de substances “nourritives”, y a-t-il transformation dans le sol en “suc nutritif” ? Et si non, est-ce que ce sont des substances grasses ou solubles

**Figure 2** - Page de titre des annales de chimie de juillet 1792 contenant le célèbre texte «anonyme» de Lavoisier.

**Figure 2** - Heading page from the annals on chemistry of July 1792 which contain the famous «anonymous» text by Lavoisier.



“huile ou sels” qui nourrissent les plantes ?

### Les agronomes de la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle.

Ils sont tous convaincus de la nécessité des engrais même s'ils ne savent pas en faire le bilan. Poncelet le dit sans ambiguïté : “Nous maintenons, d'après les principes de la saine physique, qu'il ne saurait y avoir de végétation sans nourriture, et point de nourriture sans engrais, ou naturels ou artificiels. Donc les engrais sont d'une nécessité absolue.” (in F. de Neufchateau, 1809, T. II, page 26)

Une confirmation intéressante a été apportée par les travaux de Mourgues, agriculteur et agronome, membre de la Société Royale des Sciences de Montpellier, qui est cité aussi par F. de Neufchateau (tome I, page 123 et suivantes). Mourgues note avec justesse que les labours profonds et répétés peuvent avoir un effet bénéfique les premières années mais qui disparaît ensuite, alors que l'apport répété d'engrais (fumiers) a un effet immédiat et persistant. Ses expériences ont été poursuivies pendant au moins quinze ans.

Tous ces agronomes, dont le plus célèbre est Lavoisier (Boulaine, 1994) avaient assez bien posé les problèmes. Mais ceux-ci vont être brouillés par la théorie de l'humus. Il ne s'agit plus du résultat de recherches confidentielles de quelques rares savants isolés, mais d'un élément majeur des livres d'agriculture, d'une conception qui présente les caractères d'une théorie scientifique et qui sera adoptée par des chimistes de renom international qui la couvriront de leur autorité. Quelques isolés auront beau la nier, elle aura force sinon de loi, du moins de théorie générale.

**Figure 3** - Mathieu de Dombasles, «Le meilleur laboureur de France», inventeur d'une célèbre charrue et fondateur de l'enseignement agricole en France.

**Figure 3** - Mathieu de Dombasles, «The best farmer in France», who contrived a famous plough and founded agricultural training in France.



## VERS LA FERTILISATION RATIONNELLE 1760 - 1840

### La question de l'humus

En 1765, un chimiste suédois, Wallerius (1709-1785), qui occupait son troisième âge à des recherches agronomiques, actualise sous le nom de "théorie de l'humus" une vieille idée qui traînait depuis l'antiquité sous la forme de l'adage latin : "*similia similibus curantur*" signifiant que les êtres vivants se nourrissent de leurs semblables. Wallerius avec beaucoup de bon sens apparent, pensa qu'il était "naturel" que tout ce dont a besoin un être vivant se trouve dans le cadavre des mêmes êtres, morts. Ce qui paraît naturel est parfois faux, et c'est le cas pour le problème présent.

La théorie de l'humus prit de l'importance, trente ans après sa formulation, en 1792, à l'Académie des Sciences de Paris.

### Hassenfratz et Lavoisier

Dans les premiers mois de 1792 l'Académie des Sciences fut saisie, par deux lettres de Séguin et Hassenfratz, du problème de la nutrition végétale. Ces lettres amorçaient une controverse entre Lavoisier et Hassenfratz.

Ce dernier renforce sa théorie par trois publications successives dans les annales de chimie pour prouver, expériences à l'appui, que les végétaux se nourrissent de l'humus, directement, sans transformation, et exclusivement de lui.

Lavoisier, en froid avec Hassenfratz et "patron" de Séguin, ne s'opposa pas directement au premier. Mais il rédigea un programme de concours de l'Académie des Sciences pour l'année 1794 et qui fut publié, anonymement en juillet 1792, par les annales de chimie (brouillon du texte découvert en 1860 par J.B.Dumas).

Le texte complet comporte d'abord l'annonce du concours proprement dit qui est consacré au rôle du foie dans la nutrition animale. Puis Lavoisier soutient l'idée que le problème de la nutrition végétale consiste dans un cycle "végétation/animalisation/putréfaction" ; ce qui reste à comprendre, c'est le mécanisme qui règle le transfert des matières nutritives entre la putréfaction et la végétation (les synthèses végétales). L'Académie ayant quelques moyens, elle se réserve d'étudier elle-même le problème (avec Séguin comme opérateur). Les événements politiques et la suppression de l'Académie le 8 août 1794 empêchèrent ce projet d'aboutir.

Les thèses d'Hassenfratz furent reprises par Thaer le fondateur de l'enseignement agricole en Allemagne (1809), par Davy, chargé d'un cours d'agriculture par la Société Royale de Londres en 1813, et par Berzelius, lointain successeur de Wallerius en Suède et dont l'autorité était considérable dans toute l'Europe. De 1800 à 1840 la théorie

de l'humus fut une référence indiscutée du monde savant et ne fut détruite sans appel qu'en 1840 par Justus Liebig (Boulaïne, 1992).

Mais pendant plus d'un tiers de siècle, d'autres événements faisaient avancer le dossier de la fertilisation.

### Le triomphe de l'azote

Dans le monde savant l'azote fait fortune. Découvert tardivement par Lavoisier, mais décelable et dosable à l'état gazeux, on le met en évidence dans de nombreux produits organiques. On ne voit que lui et on en arrivera à apprécier la richesse d'un engrais par sa seule teneur en azote (Boussingault). Les travaux sur l'azote renforcent la théorie de l'humus et A. de Gasparin dans son cours d'agriculture de 1843 consacre 153 pages aux engrais qui contiennent des alcalins et alcalino-terreux, et ne parle pas des phosphates, excepté des os, qui sont pour lui un engrais azoté. A cette époque les chimistes savent doser l'azote, mais la détermination du phosphore et du potassium est très difficile.

### Le noir animal

Il serait plus précis de dire "noirs des sucreries". Ils contiennent environ 30 % de phosphates.

L'emploi des os broyés se répandit peu à peu cependant, mais avec des interprétations erronées. En 1822 Fabre puis Payen signalent les bons effets du noir animal. Il s'agit d'os calcinés à l'abri de l'air dont on venait de découvrir les propriétés décolorantes dans le raffinage du sucre. Et c'est donc le produit usé, chargé d'impuretés des mélasses - on l'appelle noir de raffinerie - et donc sous-produit sans valeur, qui sert d'engrais. On va l'utiliser de plus en plus autour des ports qui importent les sucres coloniaux, en particulier dans la région de Nantes. La production atteindra 20 000 tonnes dans les années 1860-1870.

### Le guano

**(N, 3 à 9 % ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 6 à 9 % ; K<sub>2</sub>O, 2 à 3 %)**

Le Second Empire connaît la diffusion du guano du Pérou qui contient du phosphore ainsi que de l'azote, du potassium et des éléments mineurs. Cet engrais organique, très complet, eut la faveur du public comme des agronomes. La tradition gréco-latine avait depuis longtemps désigné les fientes d'oiseaux (la "colombine") comme le meilleur engrais qui soit.

En 1860 la ville de Nantes fournissait à l'agriculture bretonne 20 000 tonnes de noir animal par an (Dehéraïn, 1860), et la France importait 20 000 tonnes par an de guano (l'Angleterre plus de 100 000 tonnes).

### Les recherches empiriques

Les techniciens et les agriculteurs abordent le problème de façon beaucoup plus pratique. En 1799 Lord Dundonald signale que les déchets de fabrication des manches de couteaux en

os constituent un excellent engrais autour de Sheffield. Les Allemands en font de même autour de Solingen (1802) et les gens de Thiers, en France, prétendent eux aussi avoir fait la même observation. James Murray fabrique les premiers superphosphates en 1818 et crée leur nom en 1837. Des sujets autrichiens du plateau de Bohême, en Moravie, le font également vers 1835. Springel, jeune professeur d'école d'agriculture d'Allemagne, écrit en 1837 un livre dans lequel il présente des idées sur la nutrition minérale des plantes.

Mais le grand événement - en librairie - survient en 1840.

## 1840 : JUSTUS LIEBIG ET LA CHIMIE AGRICOLE

Cependant quelques auteurs (Murray, Sprengel, 1837) commençaient à affirmer que l'humus n'était pas seul en cause dans la nutrition végétale. En 1840 un livre allait démontrer avec humour que la théorie de l'humus était inacceptable.

### L'intervention de J. Liebig

En 1837, au cours d'un voyage en Grande Bretagne, le chimiste allemand Justus Liebig, professeur de chimie à Giessen, assista à Liverpool, au congrès de l'Association britannique pour l'Avancement des Science (fondation en 1832). L'Association émit le vœu de voir rédiger un ouvrage sur les rapports de la chimie et de l'agriculture. La demande fut adressée à Liebig qui rédigea un livre sur : *“La chimie organique appliquée à l'Agriculture et à la Physiologie”* (Brunswick, septembre 1840), et dont le titre a été traduit de différentes façons. La première traduction française en fut réalisée par Ch. Gerhardt en 1841.

L'ouvrage de Liebig n'est pas une publication scientifique originale mais plutôt un traité exposant les connaissances de l'époque en matière de chimie agricole, de nutrition des plantes et de science des sols. Il répond donc à la demande des Britanniques. Les faits sur lesquels l'auteur appuie ses démonstrations, notamment les résultats d'analyses chimiques, sont rarement ceux qu'il a pu obtenir lui-même mais sont cités à partir d'ouvrages de ses contemporains : de Saussure, Wiggmann et Polstorff, Boussingault, Berzelius etc. (Boulaire, 1989).

Ce livre comporte des chapitres qui en font un véritable traité d'agriculture comme par exemple les chapitres 9, origine de la terre labourable ; 10, assolements ; 11, jachères etc. La première partie s'intitule “de la nutrition aux plantes” ; la seconde est consacrée à la décomposition des végétaux.

L'originalité de cet ouvrage, ce qui en a fait un événement scientifique majeur, c'est la *réfutation sans appel de la théorie de l'humus et la conclusion*, après un exposé rigoureux de faits expérimentaux, *que les plantes s'alimentent à partir de substances minérales simples*. Les conséquences agromonomiques de cette mise au point furent gigantesques : elles ont permis plus que toute autre découverte l'augmentation

**Figure 4** - Justus Liebig, l'un des fondateurs de la chimie organique.

**Figure 4** - Justus Liebig, who participated to the foundation of organic chemistry.



des subsistances et l'explosion démographique du XX<sup>ème</sup> siècle.

La contribution personnelle de Liebig consiste en une théorie et deux lois :

### La théorie de Liebig

*La théorie de la nutrition minérale* des plantes expose que celles-ci absorbent par leurs racines et par leurs feuilles des éléments chimiques à l'état de combinaisons simples : gaz ou sels d'acides minéraux. Les composés organiques du sol, notamment l'humus, ne sont que des réserves dont les constituants interviennent après leur dégradation à l'état d'éléments résiduels “minéralisés”.

En fait Liebig et ses contemporains distinguent deux notions sous le terme d'alimentation minérale. Liebig affirme :

- d'une part, ce sont des composés simples qui pénètrent dans la plante.

D'autres éléments minéraux ont peut-être aussi un rôle dans la nutrition des végétaux : on les retrouve dans les cendres des plantes calcinées ; ce sont en plus des quatre

constituants (N, O, H, C) reconnus à l'époque, des composés organiques ;

- d'autre part, les plantes peuvent être fertilisées par des produits minéraux (engrais chimiques) et que les engrais organiques interviennent après leur minéralisation, c'est à dire, après leur transformation en substances chimiques simples.

### La question des cendres

Il existait encore un doute chez certains, Dumas et Boussingault notamment, quant à la nécessité des éléments qui se retrouvent dans les cendres des végétaux. S'agissait-il d'impuretés ou d'éléments constitutifs indispensables malgré leurs quantités minimales ?

L'Université de Göttingen met au concours de la même année 1840 "la question des cendres" qui sera résolue affirmativement par Wiggmann et Polstorff en 1843 grâce à des cultures en milieu synthétique. Plus tard, vers 1860, on montrera le rôle des éléments secondaires ou "plastiques" (fer, soufre, calcium...) et Gabriel Bertrand démontrera à partir de 1903 celui de nombreux oligo-éléments.

Liebig traite rapidement des phosphates (pp 91-92), essentiellement d'après Saussure (1804) et s'attarde sur les alcalins (pp 93-117) sans donner cependant une place particulière au potassium ;

### Les deux lois de Liebig

#### La loi de restitution

Elle exprime le fait que la continuation de la culture sans diminution de rendement exige que les éléments chimiques enlevés au sol par les plantes lui soient restitués. Déjà en 1781 Mustel, botaniste de Rouen, avait parlé de cette nécessaire restitution (il emploie le mot). Liebig donna à cette notion la valeur d'un principe fondamental : *"le principe fondamental est de rendre toujours à la terre, en pleine mesure, n'importe sous quelle forme, tout ce qu'on lui enlève par les récoltes"* (1844, p. 364). Ce texte montre que Liebig a une vision très globale du problème. Il ne se préoccupe pas de l'effet immédiat des apports qu'il préconise, mais de leur effet à plus ou moins long terme. C'est le sens qu'il faut donner, à notre avis, à cette expression étonnante *"n'importe quelle forme"* ;

#### La loi du minimum

La loi du minimum affirme que le rendement d'une culture est contrôlé quantitativement par l'élément fertilisant dont la teneur dans les sols est la plus faible, par rapport aux besoins des plantes cultivées : *"les éléments fertilisants doivent être restitués tous dans une juste proportion"* (1846). Là encore, il s'agit d'une approche globale : *"la juste proportion"* doit se comprendre par rapport à la consommation à moyen ou à long terme.

Ces deux lois ont été confirmées par toutes les expériences ultérieures et sont encore de nos jours les lois fondamentales de l'agronomie.

Les idées de Liebig évoluèrent peu à peu et il modifia ses livres au fur et à mesure des éditions successives (les titres aussi furent modifiés d'une édition à l'autre). La septième édition de son livre de 1840 par exemple, est une refonte complète qui tient compte des progrès réalisés entre temps.

## VULGARISATION DIFFICILE ET PÉNURIE MENAÇANTE - 1840 - 1870

L'accueil fait à la mise au point de Liebig fut très différent suivant les pays. L'évolution des idées et celle des pratiques furent aussi très variables. Il n'est question au début que de l'azote et presque pas du phosphore et du potassium. Par contre, le magnésium, le calcium, la silice, voire le sodium, furent longtemps l'objet d'un intérêt supérieur à leur importance réelle.

### Le phosphore

La Grande-Bretagne avait été demandeur et des hommes comme Murray, le grand précurseur, et Sir John Lawes, comprirent tout de suite le parti commercial qui pouvait être tiré de ces idées nouvelles. Ils prirent, le même jour en mai 1842, à quelques heures d'intervalle, des brevets pour la fabrication des superphosphates. (Cela leur valut par la suite des procès dont on parle encore). Dès 1843 Lawes construisit une usine spécialisée à Deptford dans la banlieue de Londres, et il fit passer dans les journaux une "réclame" pour ses engrais, la première du genre.

En Allemagne et en Europe centrale, les applications furent plus lentes malgré l'existence de précurseurs en Moravie (Boulayne, 1993). Les expériences au champ furent perturbées par les très mauvaises années climatiques 1845 et 1846. Liebig lui-même ne croyait guère au succès des superphosphates et les premières usines (Leithe) furent construites sans lui. Il ne gagna jamais d'argent avec les engrais mais avec les extraits de viande...

L'Europe du Nord (Belgique, Pays-Bas, Danemark) et l'Autriche-Hongrie suivirent l'exemple allemand avec des décalages plus ou moins prononcés.

Les Américains, plus proches des Britanniques culturellement, commencèrent assez tôt sur la côte Est à fabriquer des superphosphates. L'industrie française prendra modèle sur eux (Saint-Gobain) en 1892.

Les réticences les plus prononcées vinrent des milieux scientifiques français et surtout de Jean-Baptiste Dumas qui était alors le plus influent de tous. Il avait donné un cours devant les étudiants de l'école de médecine le 20 août 1840 dans lequel il exposait brillamment les cycles de l'azote, du carbone, de l'oxygène, et de l'hydrogène mais disait par ailleurs que les substances minérales n'étaient que des impuretés dans les tissus végétaux. Boussingault qui édita ce cours en 1841, écrivit dans l'introduction qu'il était solidaire de son ami Dumas. C'était



condamner Liebig. Payen dont on sait maintenant qu'il était très proche des idées de Liebig n'osa rien dire\*.

L'agriculture française a lourdement payé cette erreur de jugement.

Pendant près de trente ans il fut exclu de façon trop appuyée que les substances minérales étaient indispensables. On ressortit même la vieille idée des "engrais-excitants", et pour faire sa thèse sur le phosphore dans les végétaux, Déhéralin dut aller travailler chez un zootechnicien, Baudement, au Conservatoire des Arts et Métiers ; Charles de Molon, protégé par Elie de Beaumont, dut se contenter de phosphates moulus ; Kuhlmann se fit rabrouer en 1864 à la commission des engrais...Le seul qui protesta fut Georges Ville, protégé de Napoléon III et ennemi juré de Boussingault. Les démêlés des deux hommes amusèrent Paris mais les chimistes n'osèrent prendre position ouvertement contre ces deux puissances conjuguées qu'étaient alors les deux Jean-Baptiste, l'un professeur à la Sorbonne et l'autre au Conservatoire, tous deux puissants à l'Académie des Sciences.

## Le potassium

La lessive, mélange de sels de sodium et de potassium est connue depuis longtemps. Le mot "potasse", date de 1577 en Flamand et de 1690 en Français. La soude et la potasse ont été distinguées par Duhamel du Monceau en 1743 ; mais "potassium" n'est apparu qu'en 1808.

Les premiers sels reconnus comme engrais furent les "nitres", nitrates de sodium et de potassium dont le salpêtre était la forme la plus courante. Durant tout le XVIII<sup>ème</sup> siècle, on sut que le nitre avait des "qualités merveilleuses" (probablement à cause de son effet bénéfique sur les cultures en pot), au point que certains philosophes en firent un cinquième élément (à côté de l'air, l'eau, la terre, le feu). On ne séparait pas l'action de l'azote de celle du potassium. De plus la fabrication, le stockage et l'utilisation du salpêtre étaient monopole d'état et secret défense du fait de son usage dans la fabrication de la poudre noire. Lavoisier (Mengel, 1994), régisseur des poudres et salpêtres, et grand industriel qui sut expérimentalement en améliorer la fabrication, se garda bien de préciser la nature du sel et surtout d'évoquer ses qualités agronomiques fertilisantes.

En 1804, Th. de Saussure montre par ses nombreuses analyses que les cendres des plantes contiennent toutes de la potasse. Les sels de potassium n'étaient d'ailleurs pas disponibles car les jus des cendres étaient utilisés de toute éternité pour les lessives dans les familles et les résidus ("la charrée") en contenaient très peu.

\* : voir aussi encadré «Gasparin».

## La prudence de Gasparin

*Dans son cours d'agriculture, A. de Gasparin, en 1843 étudié, dans le tome I pages 477-485, les aliments indispensables aux plantes. Il traite avec aisance les cas du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène ainsi que de l'azote. Mais son embarras est comique pour les substances minérales : terres, silice et phosphore. Il dit qu'ils ne sont pas indispensables mais utiles ; que ce sont des aliments «spéciaux». Il se retranche derrière Payen pour rappeler que ces éléments se concentrent dans certains organes, que celà ne semble pas le fait du hasard et finalement prédit un avenir glorieux aux recherches sur la question. Après 150 ans, quand on sait la polémique entre Dumas et Liebig, ce texte est savoureux. D'autant plus que dans un autre passage de l'ouvrage, Gasparin sera beaucoup plus affirmatif au sujet du phosphore.*

*Dans le chapitre VII sur les engrais azotés, Gasparin a une section sur les os. Il commence par affirmer que c'est la gélatine qui est active, il cite longuement Darcet sur ce sujet, puis (T. I pp 258-530), se livre à une dissertation très affirmée sur la nécessité des phosphates, leur déperdition, et même la fabrication des phosphates solubles par l'action de l'acide sulfurique. Il calcule la possibilité pour un sol bien pourvu de porter environ 1 800 récoltes avant d'être épuisées. Enfin il explique la perennité de la végétation par des apports à partir des embruns marins, l'eau de mer devant contenir des phosphates puisque les arêtes des poisson en contiennent ... Dans le tome III p 405, il renouvelle ses marques sur l'exportation du phosphore par le lait des vaches*

La chimie du potassium progressa très lentement car ses sels sont difficiles à distinguer de ceux de sodium ; on les a longtemps réunis avec ceux de magnésium et de calcium dans le terme de "bases" (comme on disait à l'époque), capables de "salifier" un peu indifféremment les acides. Gasparin (1843) en parle un peu mais sans lui donner l'importance d'un élément majeur, pas plus que de la "soude" c'est à dire du sodium.

Liebig et ses contemporains, entre 1840 et 1850, tout en sachant que le potassium est un élément constitutif des plantes, savaient aussi qu'il est très soluble, et s'interrogeaient sur l'opportunité d'en ajouter aux sols puisque la première pluie devrait le lessiver. Mais, J. Th. Way, en montrant l'existence dans le sol d'un complexe absorbant ayant une capacité de rétention et d'échanges formé d'argile et de matière organique, apporta la réponse à ce problème (1850). Boussingault chargea son élève Brustlein de vérifier ce phénomène.

La découverte du gisement de Stassfurth en Allemagne, permit d'utiliser les sels de potassium sur une grande échelle et dynamisa l'agriculture germanique...Elle fut annoncée par Tisserand au Ministre de l'Agriculture dans son rapport de mission en Allemagne de 1864 (Commission 1864, T. II, 247-248).

Quelques rares passages des comptes-rendus de la commission des engrais de 1864 montrent le peu d'information et le manque d'intérêt des agronomes de l'époque. Seuls, Mares insiste sur les bons effets des "joncs de mer" et des sels de potasse sur la vigne dans l'Hérault et Malagui affirme que le potassium est plus intéressant que l'azote en Bretagne. Il faudra les succès de l'agriculture allemande pour que les sels de potassium soient reconnus comme éléments majeurs. Il faudra attendre la dévolution à la France des mines de potasse d'Alsace, propriété du Kaiser, après 1918, puis la création des Mines Domaniales des Potasses d'Alsace (MDPA) et de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace (SCPA), pour déclencher des recherches, une production et une publicité qui ont fait accepter cet engrais par les agriculteurs français...essentiellement après la seconde guerre mondiale.

## L'azote

Dès le début du XIX<sup>ème</sup> siècle, l'azote est l'objet de discussions académiques et de recherches acharnées. Dans le domaine de l'application il ne manque pas. Les substances organiques en contiennent, le guano et le noir animal en apportent, et le nitrate de soude du Chili commence à faire son apparition sur le marché des engrais après 1850.

Sur le plan scientifique c'est autre chose. Liebig se trompe doublement : il croit que les plantes le prélèvent dans l'air où il abonde ; mais Boussingault et les Anglais démontrent que cela est faux, ou du moins limité à quelques cas isolés et pour des quantités faibles. Puis il constate que l'humus comporte des quantités énormes par rapport aux besoins des plantes et affirme qu'il n'est donc pas nécessaire d'en ajouter. On sait depuis que l'humus se dégrade lentement et ne fournit ses éléments nutritifs que parcimonieusement.

Enfin il y a les légumineuses, surtout les fourragères pluriannuelles. Elles font merveille dans les assolements sans jachère mais on ne sait toujours pas comment. C'est Boussingault, à Pechelbronn, qui démontre au début des années 50 que ces plantes enrichissent le sol en azote. C'est le triomphe de la méthode du bilan, mais on continue à ignorer les mécanismes. Pasteur suggère bien, dans les couloirs de l'Académie, à son professeur Boussingault de "regarder du côté de mes mycodermes" (il appelait ainsi les microbes) ; mais Boussingault veut "éprouver toutes les ressources de la chimie". Il faudra attendre 1887 et Hellriegel pour comprendre le rôle des nodules et des bactéries symbiotiques.

## La pénurie de matières premières

Entre 1850 et 1880 il y a contradiction entre une prise de

conscience de plus en plus lucide et le manque de matières premières sur les marchés. Liebig fut l'un des premiers à prendre conscience de cette contradiction et il se fit l'apôtre du "recycling", ensemble de techniques de récupération et de restitution aux sols des éléments fertilisants exportés par les récoltes. Victor Hugo fit lui aussi campagne et expliqua lyriquement aux parisiens que leurs égouts versent à la mer l'équivalent de millions en pièces d'or par évacuation des résidus urbains. On chante les vertus de la pompe à vidange qui "minuit sonnant se met à fonctionner..." afin que rien ne se perde... Les découvertes des géologues mirent fin à ces angoisses.

## La commission des engrais de 1864

Le commerce du noir animal avait occasionné des escroqueries et des fraudes (Boulaïne, 1989). Le gouvernement nomma une commission de 15 personnalités présidée en titre par le Ministre de l'Agriculture et du Commerce, en fait par J.B. Dumas, pour préparer une législation contre les fraudes. La commission se réunit 14 fois du 24 novembre au 21 décembre 1864, et recueillit 41 dépositions orales et 4 écrites. Un secrétaire, Porlier, édita dans l'année qui suivit les comptes-rendus (tome I, 978 pages ; tome II, 300 pages). Ce texte, très vivant, restitue les débats dans tous les détails avec beaucoup de précisions et il est accompagné d'annexes, lettres, circulaires, statistiques...Précisons que les techniques d'analyse chimique étaient encore très simplistes à cette époque et que les teneurs, comme les prix, se référaient au produit brut, pratiquement aux sels et non aux unités fertilisantes qui n'apparaîtront que bien plus tard.

C'est de loin le *guano* qui est l'engrais le plus apprécié. M. Decauville obtient, à Corbeil, 30 quintaux de blé à l'hectare avec 15 quintaux de guano sur la betterave qui le précède (C.R. commission, p.p. 136 - 148). On évoque aussi le cas des phosphates naturels : ils sont employés moulus et dans six départements seulement. Par ailleurs, différents engrais organiques comportent eux aussi du phosphore et les analyses le mettent en évidence : noir animal, fumier, gadoues et engrais humain que l'on appelle pudiquement "engrais flamand". L'index des comptes-rendus de la commission comporte quelques titres significatifs concernant les phosphates moulus : "*Accroissement rapide de sa consommation en France*" (p. 391) ; "*On le traite en Angleterre par l'acide sulfurique*" (p. 391) ; "*M. de Molon a découvert ses premiers gisements en France*" (p. 705) ; "*le prix est trop élevé*" (p. 707) ; "*son immense succès à Rennes*" (p. 705) ; "*inutilité d'y ajouter du sulfate d'ammoniac*" (p. 113)...Par contre à superphosphate, on ne trouve que trois références dont : "*son emploi en Angleterre et en Allemagne*" (p. 252).

L'intervention de Kuhlmann est la plus significative ; c'est l'instant de vérité : "*La commission sait parfaitement que l'usage du superphosphate est général en Angleterre, en*

**Tableau 1** - Nombre de départements utilisant les engrais\*.**Table 1** - Number of «French departments» using fertilizers.

guano	65	noir animal	30
os	19	cendres	50
sang	29	corne	21
vidanges	39	plâtre	30
marne	14	poudrette	39
chaux	25	phosphates	12
chiffons	38	marcs	20
varech	11		

\* : statistiques de l'année 1863, extraites du rapport de la Commission des engrais de 1864.

*Allemagne et même en Autriche....Comment se fait-il qu'en France son emploi soit resté à peu près nul ?...et qu'à peine quelques essais fort timides aient eu lieu ?...il est impossible que l'emploi du superphosphate soit, depuis un assez grand nombre d'années, étendu de plus en plus en Angleterre, sans que les avantages de cet engrais aient été confirmés par des avantages nombreux et décisifs !"... à quoi le Président de la Commission répondit : "si vous voulez bien le permettre, Monsieur, nous allons passer à un autre ordre d'idées."*

Ce sont là les deux premières lignes de la page 263 des C.R. ; la scène eu lieu le 3 décembre 1864, et le président de séance était Jean-Baptiste Dumas. Cette scène montre que Kuhlmann était courageux mais pas téméraire, et que le secrétaire qui a rapporté ces propos était, lui aussi, courageux ! Mais elle démontre surtout que Dumas voulait à tous prix éviter une discussion sur les preuves, manifestes dans les travaux britanniques, de l'intérêt des superphosphates.

Un problème qui est fréquemment soulevé est celui des analyses de sol. Elles étaient encore très sommaires à cette époque (voir à ce sujet le "traité d'analyse des terres" de A. Gasparin, 1862). Devant la commission, M. Rivot déclare : "ces analyses ne m'ont pas servi à grand-chose ; il est impossible d'en tirer un résultat pratique." (p. 772).

A la fin du Second Empire la perception du problème du phosphore changea. Les chimistes comprirent enfin qu'il y a trois phosphates : le mono, le bi et le tricalcique (vers 1885). On comprend que le tricalcique est pratiquement insoluble, et que, dans les sols calcaires ou neutres il est inefficace (Puviss cité par Malagutti). C'est la justification de l'action jusque là déroutante, des phosphates moulus et la justification de l'emploi des superphosphates en sols calcaires. Ces engrais connaissent un véritable triomphe dans les stands anglais et allemands de l'exposition universelle de Paris de 1867.

Les dirigeants de Saint-Gobain diront plus tard que ce fut

pour eux un véritable choc psychologique. Dans une séance de la Société Centrale et Impériale d'Agriculture de France, le 26 février 1869, plusieurs membres confirmèrent l'effet quasi miraculeux de ce type d'engrais et M. de Kergolay annonça 48 quintaux de blé à l'hectare : record de France battu !

*Fin de la première partie*

## BIBLIOGRAPHIE

- Boulaine J., 1989 - Histoire des pédologues et de la science des sols. ; I.N.R.A. Paris. 230 pages.
- Boulaine J., 1991 - Justus von Liebig ; la nutrition des plantes, la chimie organique et l'agronomie. La vie des sciences T. 8 - N°3, pp 241-253. Académie des Sciences, Paris.
- Boulaine J., 1992 - Le phosphore, moteur du progrès agricole dans l'Europe du XIX<sup>ème</sup> siècle. In : phosphore, vie et environnement ; de la recherche à l'application. Actes IV<sup>ème</sup> Conf. Int. de l'IMPHOS. Gand. 8-11 septembre 1992. pp 169-198. Ed. par Inst. Mondial du Phosphate. Casablanca, Maroc.
- Boulaine J., 1992 - Histoire de l'Agronomie en France. 392 pages. Lavoisier. Paris.
- Boulaine J., 1995 - Henri Louis Duhamel du Monceau, 1700-1782. Revue "Sciences" (AFAS) N°1, janvier 1995, pp. 49-50.
- Boussingault J.B. 1851 - Économie rurale considérée dans ses rapports avec la chimie, la physique et la météorologie. T. II ; 763 pages. Bechet, Paris.
- Commission des Engrais, 1864 - Tome I et tome II. Paris, Imprimerie Impériale, 1865-1866.
- Deherain P., 1860 - Recherches sur l'emploi agricole des phosphates. Mémoire présenté à l'Académie des Sciences ; séances du 6 juillet 1857 et du 20 décembre 1858. (publication retardée de la thèse de l'auteur).
- Deherain P., 1895 - Les engrais, les ferments de la terre. 220 pages. Rueff, Paris.
- Duby G. et Wallon A., 1976 - Histoire de la France rurale. 570 pages. Tome III. Le Seuil, Paris.
- Duhamel du Monceau H.L., 1762 - Éléments d'agriculture. Deux tomes. Paris.
- Feller Ch. et Boulaine J., 1987. La réapparition du mot humus au XVIII<sup>ème</sup> siècle et sa signification agronomique. in Revue Forestière Française, 1987, n°6, pp 487-495. Ed. ENGREF Nancy.
- Grandeau L., 1889 - L'épuisement du sol et les récoltes. 220 pages. Hachette, Paris.
- Lenglen M., 1937 - J.B. Boussingault à la société d'agriculture, à la commission d'enquête sur les engrais. 185 pages. Imp. Administrative. Beauvais.
- Liebig J., 1840 - Traité de chimie organique. Tome I. Fortin et Masson, Paris.
- Liebig J., 1841 - Chimie appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture. 544 pages. Traduit de l'allemand par Ch. Gerhardt ; librairie de Fortin, Masson, Paris.
- Liger, 1775 - La maison rustique, éd. en deux tomes. Humblot, Paris.
- Palissy B., Œuvres complètes éditées en 1844. Paris.