

NOTES TECHNIQUES

TECHNISCHE NOTAS

TECHNICAL NOTES

NOTAS TÉCNICAS

Gestion de la matière organique dans les sols tropicaux

J. Wouters*

Keywords: Fertilization — Organic Matter — Liming — Aluminium toxicity — Tropical soils.

Résumé

La matière organique est le pivot de la fertilisation en milieu tropical, où elle est intimement associée aux systèmes culturaux par son mode dominant de transfert: interne ou externe, vertical ou horizontal.

Quoique très complexe par nature, la matière organique dans les sols peut se ramener à quelques étapes de transformation, accélérée en milieu tropical humide par rapport aux conditions tempérées, notamment la minéralisation de l'humus.

Les sols ferrallitiques, qui y sont majoritaires, sont caractérisés par une faible rétention en bases de l'argile et une forte acidité, engendrant une saturation en aluminium échangeable et toxique qui constitue la contrainte majeure de leur fertilité, et qui est la cause de symptômes défavorables tels que la fixation du phosphore.

De sorte que la neutralisation de l'aluminium échangeable est à la base de l'action d'amendement de la matière organique, qui peut être ainsi comparée au chaulage.

Cette neutralisation est liée à la formation de complexes entre l'aluminium et des acides di- et tri-carboxylés, à courte chaîne, caractéristiques de la matière fraîchement décomposée plutôt que de l'humus, ce qui renforce l'idée de l'avantage, en milieu tropical chaud et humide, d'incorporer la matière organique au sol avant l'humification, conformément à beaucoup de pratiques culturelles traditionnelles.

La question de la gestion de la matière organique illustre bien la nécessité d'une approche multidisciplinaire où les aspects agronomiques et fondamentaux seraient étudiés de façon intégrée.

Summary

Organic matter is the key of fertilization in tropical conditions and is closely associated with the cultural systems by its dominant kinds of transfer: internal or external, vertical or horizontal.

Although very complex by nature, organic material in the soils can be reduced to few transformation stages, accelerated in humid tropics compared with temperated environment, more particularly the mineralization of humus.

Among the problems inherent to tropical ferrallitic soils, low cation adsorption capacity of the clay and low phosphorus availability to plant associated to high exchangeable and toxic aluminium content in strong acidity conditions constitute their main fertility constraints.

So that reducing of exchangeable aluminium is the basis of the fertilizer effect of organic matter that can be compared with liming.

This reducing is related to the formation of aluminium complexes with short chain di- and tri-carboxylic acids, characteristics of the freshly decomposed material rather than the humus.

These data seem support the idea of the advantage of incorporating organic matter in soil before the humification in warm-humid tropics, according to many traditional cultural practices.

The question of organic matter management is a good illustration of the necessity of a multidisciplinary approach with the agronomic and fundamental topics being treated in an integrated way.

Introduction

Cultiver, c'est gérer son agro-système de façon harmonieuse, en tirant un bénéfice soutenu de sa productivité, sans compromettre son avenir par des détériorations des équilibres qui le régissent.

Dans cette optique, la fertilisation et plus particulièrement la fertilisation organique, doit s'inscrire dans un «turn-over» de la biomasse en cohérence avec les systèmes et les façons culturaux ainsi qu'avec leur environnement climatique, pédologique et économique.

Globalement considéré, fertiliser son champ, c'est lui apporter quelque chose qui, nécessairement vient de quelque part; c'est-à-dire effectuer des transferts de matière, minérale ou organique.

Les transferts internes sont majoritaires dans l'agriculture basée sur l'autosuffisance des moyens de production, ce qui est souvent le cas des cultures tropicales, surtout vivrières. Ces transferts sont essentiellement à base de matière organique: jachères, paillis, résidus divers, composts ou fumiers lorsqu'une association entre l'agriculture et l'élevage existe.

Les transferts externes caractérisent les agricultures intensifiées par les intrants: engrais, produits phytosanitaires, mécanisation, mais aussi, éventuellement l'apport de matière organique produite hors de l'exploitation.

Ces transferts peuvent être verticaux ou horizontaux. Dans les transferts verticaux, les échanges in situ avec l'atmosphère et les couches souterraines dominent. L'agroforesterie en est l'exemple typique, notamment lorsqu'elle

associe à la culture, des légumineuses autotrophes pour l'azote et à enracinement profond. La jachère ajoute à cette notion spatiale une composante temporelle (repos du sol, restitution naturelle de la fertilité).

Les transferts horizontaux concernent par exemple les apports d'engrais importés ou les systèmes agro-pastoraux où une partie de la fertilité est drainée des parcours aux champs, par l'intermédiaire des déjections du bétail.

Quel que soit le niveau d'intensification et le mode dominant de fertilisation, tout système agricole devrait tirer avant tout le meilleur parti des transferts de matière organique. Ceci est particulièrement vrai en milieu tropical humide où la plupart des sols connaissent des conditions pédo-climatiques qui rendent leur fertilité faible, fragile et fugace, particulièrement en leur absence.

Encore faut-il que les techniques s'inspirent de la connaissance des propriétés de la matière organique et des sols ainsi que de leur interaction qui, sous les tropiques humides, présentent certaines particularités importantes.

Les constituants organiques, leur évolution et leur rôle dans la fertilité des sols

Contrairement aux constituants minéraux (sables, limons, argiles) de composition relativement stable, les matières organiques sont multiples et difficiles à définir : elles se transforment sans cesse, puisque leur devenir normal est de redonner les substances qui ont servi à les construire après

avoir subi des réactions complexes de dégradation et de synthèse.

On peut les classer d'après leur degré d'évolution, où on distingue quatre groupes de matière organique du sol correspondant à quatre étapes de leur formation (planche 1) :

1. Les êtres vivants sur le sol et dans le sol.
2. Les débris organisés ou « matière organique fraîche », dont certains, faciles à décomposer, serviront surtout d'aliments énergétiques et plastiques aux micro-organismes (sucres, amidon, cellulose, protéines) tandis que d'autres laissent un important résidu (lignine, matières grasses, résines, tanins).
3. Les « produits transitoires » sont les maillons de cette chaîne de transformation partant des matières organiques fraîches à grosses molécules et aboutissant pour la plupart de ces molécules à des substances minérales simples. Leur évolution s'accompagne d'une prolifération, suivie d'une décroissance de la masse microbienne. Parmi ces produits, on peut trouver par exemple des sucres, des alcools, des acides organiques.
4. L'humus, constitué dans de bonnes conditions de molécules organiques de néoformation à partir des produits transitoires et éventuellement d'un complément d'azote. L'humification peut être considérée comme une voie détournée de la décomposition de la matière organique et retardant l'évolution vers son stade ultime : la minéralisation.

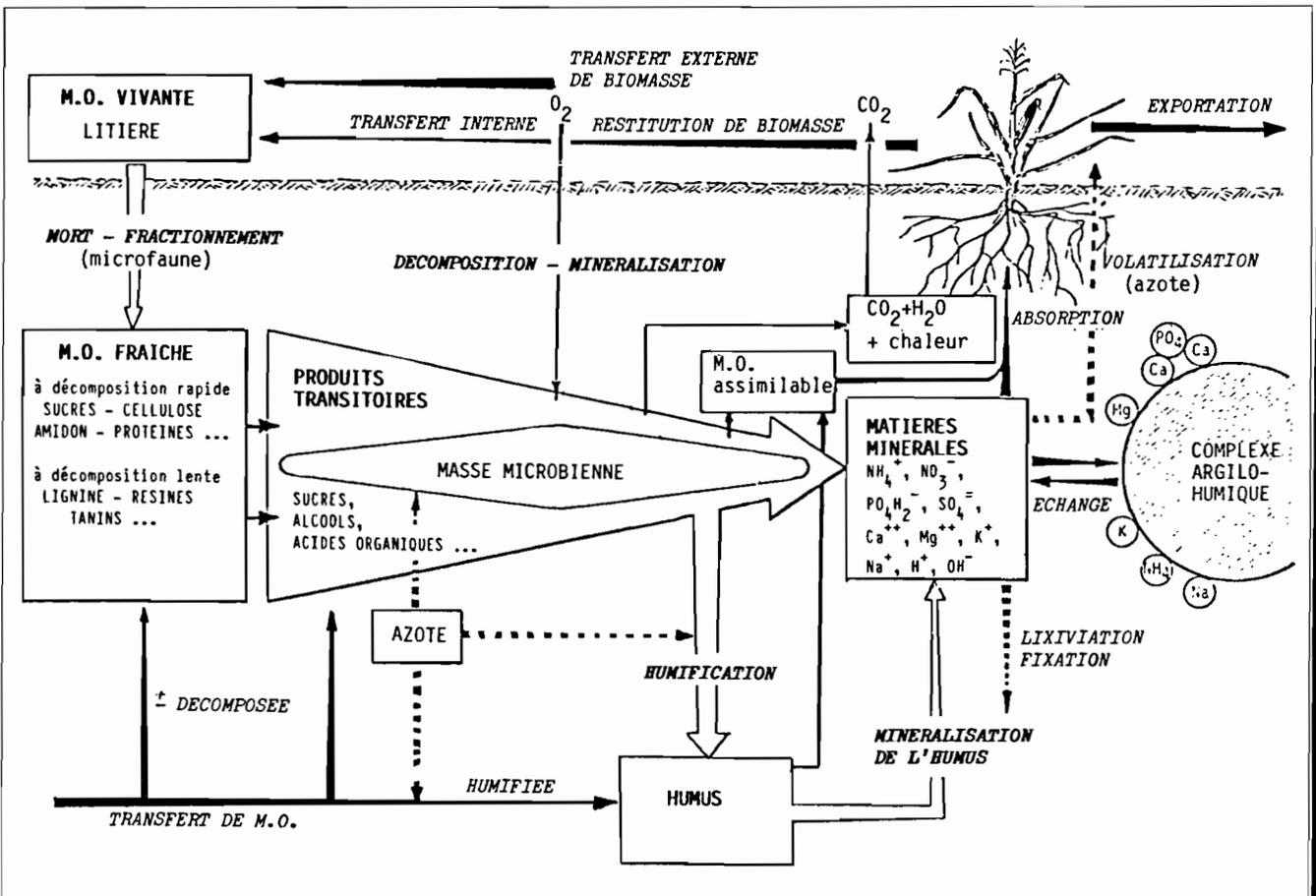


Planche 1 — Schéma général de l'évolution des matières organiques (M.O.) dans le sol.

Ce schéma, d'une portée très générale, doit être compris dans un contexte dynamique et cyclique où coexistent en principe les divers constituants.

Toutefois, on admet que la vitesse de minéralisation de l'humus (1,5 à 2% par an) est beaucoup plus faible que celle des autres étapes de transformation, de sorte que la majorité de la matière organique du sol présente à un moment donné se trouve sous forme d'humus et peut lui être confondue.

Dans ces conditions, l'aspect organique de la fertilité peut se ramener aux propriétés de l'humus et de son association avec les composants minéraux du sol.

L'humus idéal a les propriétés d'un colloïde acide, hydrophile et électronégatif et contient environ 5% d'azote. De façon simplifiée, on peut dire que, outre son effet d'engrais dû aux éléments nutritifs qu'il contient, l'humus a un rôle d'amendement lié à ses propriétés : augmentation de la capacité d'échange cationique, amélioration de la structure du sol et de sa rétention d'eau, etc.

De plus, il existe une réaction synergique entre l'humus et les colloïdes minéraux du sol et le complexe argilo-humique est considéré comme l'élément de base de la fertilité potentielle d'un sol.

Cette conception est sans doute valable dans les climats frais et à saisons basées sur une alternance thermique. Elle y est à la base de pratiques agricoles de fertilisation éprouvées qui consistent, en dernière analyse, à fabriquer une sorte d'humus (fumière, compostière) que l'on incorpore ensuite au champ.

Quoique les données à ce sujet soient encore sommaires et même contradictoires en conditions tropicales, il est fort probable qu'il faille y revoir cette conception à la lumière des faits expérimentaux.

En effet, l'observation des pratiques culturales tropicales ainsi que des mesures d'évolution de la matière organique, montrent que l'humification et la minéralisation de l'humus y sont plus rapides, ainsi d'ailleurs que tout le cycle de la biomasse, bien que le statut organique des sols soit primordial pour leur fertilité, et même davantage que dans les régions tempérées.

La question est importante car, outre son intérêt fondamental, en dépend aussi l'application de pratiques raisonnées et adaptées de fertilisation plutôt que des transferts de technologies «Nord-Sud» sans discernement tels qu'on en observe dans certains projets de développement agricole.

Par exemple, il se pourrait que des applications de matière organique fraîche, valorisant les «produits transitoires» et favorisant leur association et leur évolution au contact des constituants minéraux du sol, soient préférables à la fabrication différée de compost. Cette idée est d'ailleurs assez conforme aux pratiques culturales traditionnelles ainsi qu'aux propriétés des sols ferrallitiques et aux résultats récents dont il est question plus loin.

Particularités des principaux sols tropicaux en régions humides

En fait de la combinaison des hautes températures et des pluies abondantes, la plupart des sols ont subi un intense processus de lessivage, entraînant les bases (Ca, Mg, Na,

K) ainsi que d'importantes quantités de silice. Ces sols dits ferrallitiques correspondant aux ultisols et surtout aux oxisols de la «soil taxonomy», sont largement majoritaires en région forestière humide.

Ils sont essentiellement caractérisés par la dominance de kaolinite dans leur fraction argileuse, associée à des quantités variables d'oxydes et d'hydroxydes de fer et d'aluminium. Leur pouvoir de rétention en bases est dès lors limité, inférieur à 10 méq/100 g de sol.

Dans ces conditions, la contrainte la plus sérieuse à la fertilité de ces sols est liée à leur forte acidité engendrant des teneurs excessives en aluminium sous forme cationique et échangeable (Al^{3+}) qui sature le complexe d'échange et la solution du sol.

Dans les cas les plus sérieux, des sols de pH (eau) 4,0 à 4,5 sont saturés à pratiquement 100% par l'aluminium ce qui les rend stériles et toxiques.

La toxicité aluminique est due à la carence en éléments biogènes du sol auxquels l'aluminium se substitue mais aussi à une toxicité propre de ce cation vis-à-vis de la végétation (4).

On peut l'exprimer par l'indice «m» de Kamprath :

$$m = \frac{Al \text{ échangeable} \times 100}{C.E.C. \text{ effective}}$$

avec C.E.C. eff. = ($Al^{3+} + H^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$)

L'aluminium échangeable est certainement le paramètre du sol qui concrétise le mieux les contraintes à la fertilité des sols ferrallitiques.

D'autres symptômes défavorables lui sont associés, dont la déficience en phosphore, rendu inassimilable par sa fixation sur la surface des oxydes de fer et d'aluminium et même par sa précipitation sous forme de phosphate de ces métaux.

Les engrais minéraux ont alors peu d'effet, étant donné le pouvoir fixateur élevé du sol pour le phosphore, joint aux faibles capacités d'adsorption des éléments biogènes sur le complexe d'échange et au lessivage intense de l'azote minéral.

Certains, qui sont les plus fréquemment utilisés, ont même des effets pervers en acidifiant davantage le sol (3).

La neutralisation, au moins partielle, de l'aluminium échangeable est le préalable obligé à une mise en culture soutenue et à toute action visant à l'augmentation de la production par les engrais.

Neutralisation de l'aluminium échangeable

Deux amendements sont théoriquement envisageables : le chaulage et l'application de matière organique.

D'un point de vue pratique, le chaulage en agriculture tropicale rencontre des difficultés d'ordre économique. De plus, son effet est fugace étant donné le lessivage important et la faible capacité d'échange des sols.

Le chaulage a toutefois été étudié de façon approfondie dans les sols ferrallitiques ce qui en fait une référence précieuse pour lui comparer d'autres techniques de neutralisation de l'aluminium échangeable.

Plusieurs chercheurs se sont efforcés de mettre en relation l'aluminium du sol avec la quantité de calcium appliquée. La relation de Kamprath (2), généralement confirmée pour les sols contenant moins de 7% de matière organique, considère que 1,5 méq Ca²⁺/1 méq Al³⁺ échangeable, neutralise pratiquement totalement ce dernier. Cette convention élargie à la somme (Ca²⁺ + Mg²⁺) s'est avérée valable et applicable aux calcaires dolomitiques du Burundi (5).

Les quantités de chaux ou de calcaires ainsi déterminées conduisent généralement à remonter le pH aux environs de 5,6 et sont largement inférieures à celles que l'on appliquerait pour atteindre la neutralité comme il est de pratique en agriculture dans les régions tempérées. Elles sont toutefois suffisantes et des apports plus élevés sont déconseillés par risque de surchaulage dans des sols peu tamponnés.

Les amendements organiques se confondent avec les différents systèmes culturaux et les diverses façons culturales auxquels ils sont associés, souvent de manière mal définie (jachères, brûlis, résidus de sarclage, ...).

La pratique de l'agriculture montre toutefois que la matière organique reste le pivot de la fertilisation. Elle constitue aussi bien souvent la seule ressource disponible.

Le problème est que la fertilisation organique est difficilement accessible à une expérimentation rigoureuse, tant elle est variée dans sa composition, ses modes et ses conditions d'application.

Quoique de nature différente, l'action de la matière organique sur la toxicité aluminique peut être comparée à celle du calcium, mieux maîtrisable, et l'on parle volontiers de son «effet de chaulage» (liming effect).

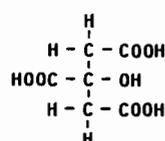
Cet effet a été généralement attribué à une action protectrice des molécules organiques complexant ou «chélatant» l'aluminium ainsi rendu inoffensif dans le sol.

Malheureusement, si les tests biologiques et les essais agronomiques confirmaient généralement l'action désintoxiquante de la matière organique, les dosages chimiques ne permettaient pas de distinguer au sein de l'aluminium total, les formes complexées. Ceci prêtait à supposer que celles-ci étaient détruites lors des triturations nécessaires au dosage de l'aluminium.

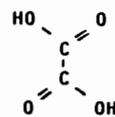
Grâce à des techniques récentes, telles que la chromatographie liquide à haute pression (HPLC) et la filtration sur gel, plusieurs chercheurs ont pu caractériser les molécules en question et proposer des mécanismes de liaison avec l'aluminium.

C'est ainsi par exemple, que Hue et al. (1), dans une série d'expériences combinant des tests biologiques de sensibilité à l'aluminium de racines de cotonnier, des incubations de matière organique sur des sols ferrallitiques et des dosages de molécules organiques ont pu, sur base du coefficient de stabilité de leur complexe avec l'aluminium, préciser la nature des molécules impliquées.

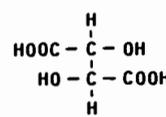
Il s'agit d'acides organiques di- et tri-carboxylés, à courte chaîne, dont les principaux sont les suivants par ordre décroissant d'action



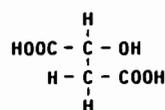
ac. citrique



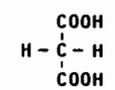
ac. oxalique



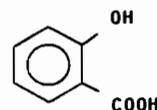
ac. tartrique



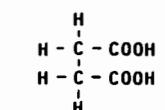
ac. malique



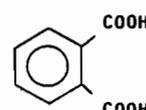
ac. malonique



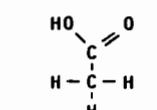
ac. salicylique



ac. succinique

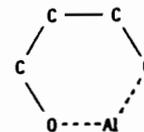


ac. phthalique

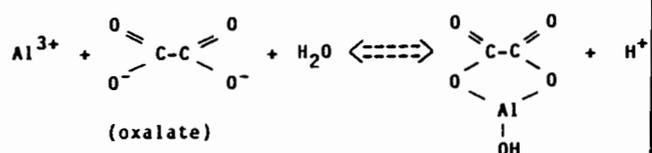


ac. acétique

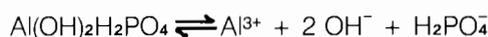
Le pouvoir désintoxiquant de ces acides est lié aux positions relatives des radicaux OH/COOH, favorables à la formation de structures stables 5 ou 6 cycliques, par exemple :



Avec l'acide oxalique, la réaction est la suivante, l'aluminium se trouvant ainsi complexé :



L'action favorable bien connue de la matière organique sur l'assimilabilité par les plantes du phosphore pourrait être due, par exemple, au déplacement vers la droite d'une réaction du type suivant, suite au prélèvement d'aluminium de la phase réactionnelle :



Ces résultats sont très intéressants pour la pratique agricole si l'on se souvient que ces acides organiques sont caractéristiques des «produits transitoires», plutôt que de l'humus. De telles données ont une incidence évidente sur le choix raisonné du mode d'application de la matière organique et sont de nature à apporter un support scientifique à un domaine d'investigation traditionnellement laissé à l'empirisme des essais de fumure en champ.

Conclusion

Le problème de la gestion de la matière organique dans les sols tropicaux illustre particulièrement bien la nécessité d'une recherche agronomique multidisciplinaire et intégrée.

Deux tendances existent.

L'une consiste à établir des essais agronomiques où, le plus souvent, est comparé à un témoin l'effet sur le rendement d'une culture test de traitements tels que des applications à doses variables d'engrais, de fumier, de compost, ...

Cette démarche garde tout son intérêt lorsqu'il s'agit d'en utiliser les conclusions dans des conditions proches de l'expérience. Elle a l'avantage aussi de donner des indications quantitatives qui peuvent être utiles en pratique.

Par contre, ces essais ont souvent l'inconvénient de ne représenter qu'eux-mêmes, tant sont variables les conditions expérimentales possibles (substrat, mode d'application, climat, sol...). De plus, leur valeur scientifique se limite à leur emballage statistique qui se prête mal à comprendre, à interpréter les phénomènes et à les extrapoler. Bien souvent, de

tels essais, à eux seuls, n'ajoutent pas grand chose au bon sens et à l'expérience des agriculteurs.

A l'opposé, on peut chercher, par des investigations fines de laboratoire, à pénétrer le fond des mécanismes en cause. Cette démarche, pour fondamentale qu'elle soit dans la compréhension des phénomènes, risque, à elle seule, de pêcher par un excès de réductionnisme qui n'a plus de commune mesure avec la complexité des réactions mises en jeu en agriculture.

C'est ainsi que trop souvent le dialogue entre ces deux types d'information ne passe pas alors qu'il serait du plus haut intérêt pour le progrès des sciences agronomiques.

Comme les moyens et les compétences ne peuvent être réunis en une personne, la solution est d'associer agronomes, chimistes, pédologues, physiologistes, microbiologistes de diverses institutions dans une démarche intégrée visant un but commun : la meilleure utilisation de la matière organique en agriculture.

Références bibliographiques

1. Hue N.V., Craddock G.R. & Fred Adams, 1986. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. *Soil Sci. Am. J.* **50**: 28-34.
2. Kamprath E.J., 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* **34**: 252-254.
3. Opdecamp L. & Sottiaux G., 1984. Saturation aluminique accrue et autres modifications physico-chimiques induites par la fumure minérale d'un hygroxéoferrasol acide à Murongwe. I.S.A. Bu., Publ. n° 55 - Burundi.
4. Wouters J.F.R., Wakana M. et Opdecamp L., 1986. Sensibilité du haricot (*Phaseolus vulgaris*) à la concentration en aluminium des sols de la région des grands lacs. *Tropicultura* **4**: 20-26.
5. Wouters J.F.R. & Bacanamwo M., 1989. Rapport de synthèse. Maintien et amélioration de la fertilité des sols du Burundi par la valorisation des ressources calco-magnésiennes locales. Publ. Facagro-Burundi.

J. Wouters: Belge. Ingénieur Agronome. Gembloux. Docteur en Sciences Agronomiques, chargé de cours à l'Université Libre de Bruxelles, Chaire de phytotechnie tropicale

STAGE AGCD/FAO: «FERTILISATION ORGANIQUE ET COMPOSTAGE»

En collaboration avec l'Université Libre de Bruxelles, du 7/9 au 10/10/92 (en français).

Réservé à 10 agronomes de pays africains francophones; leur candidature doit être transmise par leur gouvernement à la F.A.O., qui fera suivre les dossiers à l'A.G.C.D. pour sélection.

Pour de plus amples renseignements, s'adresser au secrétariat du

COMITE JEAN PAIN asbl
Av. Princesse Elisabeth 18
1030 Bruxelles
02/241.08.20.