Fonction des matières organiques apportées au sol : enjeu et contraintes en situation de sécheresse.

F. Ganry et L.Thuriès

Introduction
Les effets de la matière organique apportée aux sols
1 - Conservation de l'humus des sols
2 - Nutrition azotée des plantes
3 - Fixation biologique de N_2 (FBN) par les légumineuses
4 - Suppression des effets phytotoxiques
5 - Capacité d'échange cationique des sols (CEC) et agent de chélation
6 - Structuration du sol et développement racinaire
7 – Valeur nutritionnelle des récoltes
8 - Résistance à la sécheresse des plantes
9 – Lutte contre les maladies et le parasitisme tellurique des plantes.
Conclusion

Introduction

Ce cours est une introduction à un module de Formation consacré à l'étude des impacts agronomiques et environnementaux de la gestion de la matière organique en zone tropicale. Nous entendons par matière organique celle qui entre dans le sol (fumures et amendements) et celle qui constitue le sol (humus plus généralement appelée matière organique des sols, en abrégé MOS).
Ce sujet d'importance posait un problème particulièrement difficile : faire entrer dans le cadre nécessairement limité d'un cours, une thématique scientifique dont le volume s'accroît sans cesse. Pour cette raison, nous avons volontairement limité notre propos aux sols exondés, en situation de sécheresse considérant qu'il s'agit là, avec le problème de l'engrais, de la menace majeure sur la productivité des sols, dans un proche avenir.

De nombreux travaux ont porté sur les fonctions et effets de la MO dans les sols tropicaux de la zone tropicale sèche. Cette note n'a pas la prétention d'en faire la synthèse mais seulement d'aborder la gestion organique du sol sous l'angle de son aptitude à lutter contre à la sécheresse, en nous fondant sur des résultats agronomiques obtenus en Afrique de l'Ouest.

Rappel sur l'évolution de la prise de conscience du problème da la matière organique des sols depuis les années 50.

Les recherches menées en Afrique de l'Ouest à partir des années 50 ont d'abord privilégié une conception économique en visant principalement une amélioration de la composante chimique de la fertilité. Ainsi, les gouvernants ont prôné l'emploi massif des engrais minéraux pour améliorer de façon significative les rendements. Dans les années 70, la crise énergétique, l'acidification des sols, *la dégradation pluviométrique*, vont remettre en cause ce type de gestion de la fertilité en recherchant une économie maximum d'engrais fondée entre autres sur une valorisation des intrants locaux dont la matière organique (MO). La valorisation des

résidus de récolte et l'intégration agriculture-élevage alors fortement encouragées, participaient de cette économie d'engrais. A partir des années 90, la prise en compte par les Etats de la préservation de l'environnement, va opérer un changement radical dans l'approche des agrosystèmes en ce qui concerne (1) l'importance du sol qui est considéré (en fait réaffirmé) comme partie intégrante et vitale de la biosphère, (2) l'objectif à atteindre qui n'est plus la « maximisation » du rendement, mais son « optimisation » qui prend en compte la quantité et la qualité des récoltes, et la protection de l'environnement. Les acquis de la Recherche tropicale sur la gestion des MO et la maîtrise de l'azote (notamment la réduction des pertes de N) dès les années 70, ont pu être très rapidement mis en cohérence et valorisés au profit de cette nouvelle approche pour une agriculture durable respectueuse de l'environnement.

Les effets de la matière organique des sols pour une production durable

De nombreux travaux ont montré le rôle multiple de la MO dans l'aptitude du sol à produire durablement des récoltes en quantité et en qualité, diminuant corrélativement le risque. Par exemple, en ce qui concerne le risque « sécheresse », on a montré, en conditions expérimentales dans le Nord Sénégal, que lorsque les sols sont fumés régulièrement par le fumier composté, la sécheresse même sévère (pluviométrie comprise entre 200 mm et 300 mm), permet une production végétale d'environ 1t ha^{-1} alors qu'en milieu paysan la production est souvent nulle ! Cet exemple montre que certaines famines ne sont pas inexorables….

Dans le développement qui va suivre nous aborderons successivement les principaux effets de la MO en indiquant les mécanismes en jeu et en les étayant par des résultats obtenus au champ **(diapo 1, 2 et 3)** :

1 - Conservation de l'humus des sols
2 - Nutrition azotée des plantes
3 - Fixation biologique de N_2 (FBN) par les légumineuses
4 - Suppression des effets phytotoxiques
5 - Capacité d'échange cationique des sols (CEC) et agent de chélation
6 - Structuration et développement racinaire
7 - Valeur nutritionnelle des récoltes
8 - Résistance à la sécheresse des plantes
9 - Amélioration de l'état sanitaire des racines

Les six premiers seront étayés par des résultats obtenus au champ.

1 - Conservation de l'humus des sols (diapo 4)

La mise en valeur des sols en zones sèches est souvent entravée par le fait que leur matière organique (MOS) est beaucoup plus rapidement biodégradée que celle des sols de région tempérée ; l'accélération de la biodégradation est due non seulement à la température mais aussi à l'hygropériodisme. Le phénomène est d'autant plus intense que les sols sont pauvres en colloïdes protecteurs. Une question se pose : existe t-il une relation entre la teneur en MOS et la productivité des terres, un niveau critique de MOS ?

Jusque dans les années 1990, la littérature internationale ne faisait pas état de niveau critique de MOS et on admettait que « plus on en dispose, meilleurs sont les résultats ». Aujourd'hui,

de nombreux auteurs admettent l'existence de valeurs seuils de C total du sol en zone tropicale, au-dessous desquelles la durabilité de la productivité végétale et la conservation de la ressource sol ne sont plus assurées en raison d'une dégradation des propriétés des sols importante et irréversible (érosion en nappe). D'autres indicateurs à caractère organique et/ou biologique sont à prendre en considération pour maintenir le stock de MOS à un niveau suffisant.

Pour cela, on peut, soit essayer soit d'accroître les apports de MO, soit essayer de ralentir le processus de biodégradation lui-même. La première méthode consiste à apporter des MO préhumifiées (composts ou fumiers compostés), ou à intervenir sur la quantité et sur la qualité des matières végétales apportées ou restant dans le sol (agroforesterie). La deuxième méthode consiste à abriter le sol avec des plantes de couverture pouvant elle-même être source de MO. La qualité de la MO apportée - ou de la couverture végétale - est un facteur essentiel du stockage du C dans le sol et le rapport C/N de cette MO est un indicateur nécessaire mais pas suffisant pour caractériser cette MO. A titre d'exemple, nous citerons des travaux au Sénégal qui montrent que des matériaux à C/N élevé peuvent enrichir sensiblement le sol en C pour autant que le rapport taux de fibres/contenu cellulaire (NDF/CC)[1] est suffisamment élevé (par exemple la coque d'arachide compostée pour laquelle NDF/CC est égal à 28). Par contre, la paille de sorgho, à C/N identique mais relativement moins riche en fibres (NDF/CC = 0.8), va induire, une fois incorporée au sol, une surminéralisation de la MOS et de sa fraction organo-minérale. Cela conduit à un bilan de C total largement négatif.

2 - Nutrition azotée des plantes (diapo 5)

L'hygropériodisme risque d'entraîner un appauvrissement des réserves azotées et une diminution de la quantité de la MOS assurant la stabilité des sols.

L'engrais azoté seul ne peut pallier la baisse des réserves azotées, la fumure organique doit lui être associée, ce qu'attestent les résultats suivants obtenus au Sénégal. Dans les conditions agro-écologiques de sols sableux tropicaux (la majorité des sols de l'Afrique de l'Ouest), l'effet de l'engrais azoté sur le rendement est important. Par exemple, sur mil, en station, la productivité moyenne de l'unité de N est de 17 pour une dose optimale moyenne de 110 N. Mais paradoxalement, le coefficient réel d'utilisation de N engrais (CRU) est faible de l'ordre de 20 à 25%. L'engrais N favorise l'utilisation de N sol et sa réorganisation dans le sol est importante. La raison de ce paradoxe réside dans un « turn over » rapide de la MOS. On observe une synergie d'action entre l'engrais N et le compost au bout de plusieurs années.

Contrairement à la paille fraîche, la paille compostée enfouie contribue à renouveler et augmenter le *pool d'azote mobilisable*. Ces résultats nous conduisent à affirmer que la fourniture d'azote (comme de P et de K) à la plante est tributaire de l'entretien organique du sol**.**

3 - Fixation biologique de N_2 (FBN) par les légumineuses (diapo 6)

Personne ne met en doute les effets bénéfiques des amendements organiques. Mais il est un mécanisme impliqué dans cette amélioration qui est souvent ignoré : c'est la stimulation de la FBN des légumineuses à graines (arachide et soja par exemple) par les apports de fumier et de compost. Cette stimulation est d'autant plus élevée que la pluviométrie est faible. La raison de cette stimulation réside dans le fait que le stress hydrique chez une légumineuse est le premier

1 NDF = Neutral detergent fiber ; CC = cellular content

facteur limitant de sa FBN. L'accroissement de la FBN peut être spectaculaire. Sur une arachide cultivée au nord du Sénégal, on trouve des valeurs variant de 17 à 91 kg Nfix $ha^{-1}an^{-1}$ sous l'action des apports de fumier.

4 - Suppression des effets phytotoxiques (diapo 7)

Après enfouissement des pailles, apparaissent généralement des problèmes de carence en N et/ou de phytotoxicité liés à la libération d'acides phénols ; par ailleurs, certains précédents culturaux, en particulier le sorgho, peuvent engendrer dans certaines conditions un effet dépressif sur la culture suivante (allélopathie). Le compostage des pailles, dans le premier cas, et l'apport de fumier, dans le deuxième cas, permettent de lever l'effet de ces facteurs limitants.
Les causes de l'effet dépressif sont d'ordre édaphique (% argiles, activité biologique) et culturales (certaines cultures libèrent des acides phénols dans le sol). La sécheresse selon sa nature va entraîner une baisse de l'activité biologique (faible humidité sur un temps assez long) ou une stimulation de celle-ci (alternances humectation-dessication rapprochées), et par voie de conséquence favoriser ou réduire la phytotoxicité, mais en tout état de cause, la fumure organique du sol est une assurance contre le préjudice potentiel de phytotoxicité.

5 - Capacité d'échange cationique des sols (CEC) et agent de chélation (diapo 8)

Des travaux portant sur un ensemble de sols de l'Afrique de l'Ouest ont clairement montré que la CEC croît en raison inverse de la taille des fractions, celle des fractions de la taille des argiles étant toujours les plus élevées[2], et que c'est bien la teneur en C qui semble partout gouverner les valeurs de la CEC, y compris dans les fractions fines. Ces travaux soulignent avec à-propos que les amendements organiques compostés, "avec un certain impact" sur le contenu de la fraction de la taille des argiles, contribuent au maintien de la CEC du sol. Le degré d'humification des amendements organiques est donc un déterminant primordial de la CEC d'autant plus important que le sol est sableux et que la biodégradation est active.

Plusieurs travaux mettent en évidence un effet de la fumure organique des sols sur la réduction de la lixiviation de l'azote. Trois raisons expliquent cet effet : (1) l'enracinement accru ; (2) une inhibition des activités uréasique et nitrifiante par les produits de décomposition de la lignine, notamment les quinones[3], favorable à un étalement de la fourniture d'azote à la plante (au Sénégal, ceci a été montré au Sénégal de façon très nette dans des essais au champ avec un engrais organique, la N-lignine) ; (3) une adsorption plus grande de l'ammonium qui réduit le risque de volatilisation de cet élément.

Cette composante de la fertilité du sol n'est pas en interaction directe avec la contrainte hydrique, mais indirectement, oui, dans la mesure où la stimulation de la biodégradation de la MOS est accrue par l'hygropériodisme et la température, ce qui renforce la nécessité du compostage des matières organiques apportée ou d'une certaine composition biochimique (richesse en fibres) de celles-ci (cf. ci-dessus 1).

Un autre rôle de la MO est de favoriser l'absorption du fer par les plantes. Le fer ferrique n'est pas soluble aux pH généralement observés dans le sol ; le fer ferreux, soluble, ne se rencontre en sol drainé qu'en petites quantités au sein de micro habitats où règne une semi-

---

2 Guibert H, Fallavier P et Romero JJ (1999). Carbon content in soil particle size and consequence on cation exchange capacity of alfisols. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 30,17/18
3 Flaig W, Nagar BR, Söchtig H et Tietjen C (1976). Soil Organic Matter and Soil Productivity, Soils Bulletin, FAO, 200p

anaérobiose si l'humidité y est suffisante. La MOS, quant à elle, joue un rôle important en favorisant la solubilisation du fer (suite à un dégagement de CO_2 = bicarbonate ferreux) et sa chélation. La plante peut alors absorber le fer sous forme ferreuse ou chélatée. Dans les sols sableux au Sénégal à faibles pouvoir tampon, on attribue un rôle de chélation au fumier (qui contient des humates ferreux) pour expliquer son action favorable dans la lutte contre la chlorose ferrique induite par l'irrigation (dans des sols pourtant acides avant irrigation, mais à faible pouvoir tampon)[4].

6 – Structuration du sol et développement racinaire (diapo 9)

Comme on le sait, la MOS augmente la porosité du sol et favorise de ce fait l'enracinement (action physique). Un autre effet de la MO sur le développement racinaire est de nature biochimique, par une double action : d'une part de libération de facteurs de croissance, et d'autre part d'augmentation de l'absorption et de la perméabilité cellulaire ; mais en trop grande quantité cette MO peut avoir une action inhibitrice plus ou moins prononcée selon sa nature (cf. § 4 ci-dessus). La MO doit être enfouie car apportée en surface elle favorise un enracinement superficiel qui accroît le risque de stress hydrique de la plante en cas de sécheresse[5].

7 - Valeur nutritionnelle des récoltes (diapo 10)

De nombreux travaux montrent une augmentation du taux de protides sous l'action de l'engrais azoté. Cependant, sur Blé, la teneur en lysine de ces protides diminue d'autant plus que l'apport d'azote est tardif[6].
Au Sénégal, des travaux confirment cette augmentation du taux de protides chez le mil sous l'action de l'engrais mais aussi la diminution concomitante de la valeur nutritionnelle des ces protides (fondée sur la teneur en acides aminés indispensables, dont la lysine). Le compost accroît la teneur en protides de +5 à +8 % par rapport à l'engrais N seul ; cet accroissement est plus que proportionnel à la baisse des teneurs en acides aminés indispensables. Donc, globalement, le compost en présence d'une dose moyenne d'engrais azoté (50 à 100 N), accroît le taux de lysine, l'acide aminé indispensable à l'homme le plus limitant dans une alimentation pauvre en protéines d'origine animales. Ce dernier résultat est corroboré par l'augmentation du coefficient d'efficacité protidique[7] (C.E.P), mesuré *in vivo* sur des rats qui passe de 1,20 à 1,47 sous l'action du compost avec une fertilisation de 90N. Des travaux portant sur un suivi de la nutrition azotée par l'analyse d'extraits de tissus conducteurs ont permis d'avancer une explication à cet effet du compost : alors que le N apporté seul a un effet fugace et ne modifie que peu la nutrition du mil, le compost stimule la fourniture de N-NO_3^- et la prolonge, et favorise ainsi la formation de protéines[8].
Dans un contexte climatique d'hygropériodisme, l'effet accru des discontinuités dans l'alimentation azotée de la plante et, en particulier, des carences azotées temporaires, est sans doute néfaste à la formation des protéines (hypothèse). L'apport de compost pourrait en partie y remédier et jouer en faveur de la qualité nutritionnelle des grains.

---

4 Blondel D (1970) Induction d'une chlorose ferrique en sol sableux (dior) par des eaux d'irrigation calco-magnésiennes Agron. Trop., 25, 555-560.
5 Ganry F et Guiraud G (1979). Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système Mil-Sol sableux au Sénégal. Etude au moyen de ^{15}N. *In* : Isotopes and Radiation in research on soil-plant relationship. AIEA-SM. 235/16, International Atomic Energy Agency (ed.), Vienna, pp. 313-331.
6 Coïc Y (1968) Fertilité chimique et qualité des récoltes. Bull. techn, 251.
7 Rapport entre le gain de poids et la quantité de protides consommée, par animal et par jour.
8 Siband P et Ganry F (1976). Application de l'analyse d'extraits de tissus conducteurs à l'étude de l'effet d'un compost sur une culture de mil. (*Pennisetum typhoides*). In : Proc. of 4th International Colloquium on the control of plant nutrition, Gent (Belgique). Rijksuniversiteit (ed.), Belgique, vol. 1.

8 - Résistance à la sécheresse des plantes

La matière organique apportée au sol favorise la résistance à la sécheresse des plantes en agissant à trois niveaux : (1) les propriétés du sol (cf. ci-dessus), (2) la rétention de l'eau, (3) l'absorption de substances actives. En ce qui concerne *la rétention de l'eau*, les matières organiques présentent un pouvoir de mouillabilité qui varie selon la nature de la MO, mouillabilité qui est un facteur important de régulation du bilan de l'eau. Plus les matières végétales sont humifiées, plus elles retiennent l'eau ; à titre d'exemple, la paille retient 250 à 260 kg par 100 kg ; le fumier, 800-850 kg par 100 kg. En ce qui concerne l'*absorption de substances actives*, nous aborderons ce sujet avec modestie et de façon simplifiée car essayer de résumer ici tout ce qui a été écrit sur ce sujet depuis Aristote serait courir à l'échec. Nous citerons les travaux conduits par l'équipe allemande du Pr Flaig dans les années 60 à 80 qui ont fait école et sont toujours d'actualité. Ces auteurs montrent clairement une influence physiologique des substances actives issues de la MO et de l'humus (notamment phénols et quinones) d'autant plus importante que les conditions environnementales (humidité en premier) du milieu-sol s'écartent de leur optimum[9]. L'explication avancée est la suivante : lorsqu'une plante absorbe des substances phénoliques, son métabolisme est modifié surtout si ce phénol est oxydé en hydroquinone (celle-ci étant 10 à 100 fois physiologiquement plus active dans le métabolisme de la plante que celui-ci). Cette absorption induit la formation de sucres réducteurs dans la plante ; en conséquence, la pression osmotique s'accroît, ce qui induit une plus grande résistance à la sécheresse de la plante[5].

9 - Lutte contre les maladies et le parasitisme tellurique des plantes (diapo 11)

On sait que tous les facteurs de stress environnementaux accentuent les déséquilibres naturels et, en accélérant l'épuisement des réserves des plantes, augmentent la précocité des attaques. Davet dans son ouvrage[10] décrit bien ce phénomène en indiquant que la contrainte la plus couramment subie par le tournesol et le blé en culture non irriguée est due à la sécheresse qui engendre l'apparition de maladies ; il indique aussi que les sojas, les tournesols, les sorghos affectés par un stress hydrique sont rapidement envahis par *Macrophina phaseolina* si la température est par ailleurs assez élevée.

On voit toute l'importance d'une fumure organique des sols qui accroît la résistance à la sécheresse de la plante comme nous l'avons vu ci-dessus (cf. § 8), donc renforce sa résistance à ces maladies provoquées précisément par la sécheresse.

On ne peut conclure sans mentionner le rôle de la fumure organique dans l'amélioration de l'état sanitaire des racines et d'une façon générale dans l'accroissement de la résistance aux maladies et dans la baisse du parasitisme tellurique tels que les nématodes. Citons à ce titre les résultats de Seck (1993) au Sénégal sur l'action des BRF (Bois Raméal Fragmenté) qui montrent une diminution importante des nématodes sur les parcelles avec BRF versus les témoins

9 Flaig et al. (1976) (voir citation précédente No 3)
10 Davet P (1996). Vie microbienne du sol et production végétale. INRA Editions, 382 p.

pour la culture de tomates[11].

Flaig (citation No 3) signale qu'une plus grande résistance de la pomme de terre contre le *Phytophtera* est liée à un accroissement de la teneur en substances phénoliques dans la plante et signale à cet égard que la plus grande attention devrait être portée à la contribution de la MOS. Davet (citation No 10) signale que le fumier et le compost diminuent les attaques sur radis, sur haricot et sur tomates et avance trois raisons pour expliquer ce rôle : régulation de l'azote disponible, stimulation de la microflore antagoniste et libération de composés inhibiteurs.

Conclusion

Nous nous sommes attachés dans ce cours à rappeler l'ensemble des propriétés de la MO apportée au sol (prétransformée ou non) qui agissent sur la production végétale. Nous avons montré que la fonction minérale, néanmoins essentielle (notre premier souci est d'équilibrer le bilan minéral) n'est pas la seule, et que les autres fonctions, même hiérarchisées, concourent à promouvoir le potentiel de fertilité du sol et particulièrement celui des sols de la zone tropicale sèche. Nous terminerons sur le rôle anti-risque des apports organiques au sol et de l'humus du sol, en citant Flaig et al (citation No 3) : *"On peut expliquer l'effet favorable de l'humus sur la croissance et le rendement de la façon suivante : quand les facteurs de croissance, comme la température, l'humidité, la lumière, la tension d'oxygène dans le milieu de culture, la saturation en eau du sol, aussi bien que les nutriments, sont à "l'optimum", le rendement de la plante est le plus élevé. Les substances physiologiquement actives favorisent l'élaboration du rendement si un ou plusieurs facteurs sont en déficit ou en excès. Avec cette explication de l'effet de substances provenant de l'humus, de produits de dégradation de la lignine et d'autres substances physiologiquement actives, tous les résultats contradictoires de la littérature peuvent être expliqués. Sur un plan économique, ces résultats montrent l'intérêt d'un moindre risque de baisse de rendement dû à l'action de la matière organique du sol, un risque provoqué par des facteurs climatiques, telles des saisons sèches, une forte pluviosité, et d'autres conditions anormales »* **(diapo 12)**

.

11 Seck, M.A. *Essai de fertilisation organique avec les bois raméaux fragmentés de filao (Casuarina equisetifolia) dans les cuvettes maraîchères des Niayes (Sénégal).* In Lemieux, G. et Tétreault, J.P. (éds), Les Actes du Quatrième Colloque International sur les Bois Raméaux Fragmentés, Université Laval, Québec, pp. 36-41, 1993.