

**INFLUENCE DES RESIDUS DE COQUES D'ARACHIS
HYPOGAEA ET DE *CASUARINA EQUSETIFOLIA* SUR LA
PRODUCTIVITE DES SOLS SABLEUX, CULTIVES EN
IRRIGUE DANS LES NIAYES DE PIKINE**

Les sols constituent la base du système productif en Afrique sub-saharienne. Au Sénégal, il est difficile d'envisager une amélioration de la productivité agricole sans une restauration de la fertilité des sols, naturellement faible et qui s'est dégradée après plusieurs décennies d'exploitation agricole (Khouma *et al.*, 2005). Les Niayes, zone d'horticulture par excellence, n'échappent pas à cette dynamique. Dans la Niaye de Pikine, la dégradation des sols se manifeste par une baisse du taux de matière organique parfois accompagnée d'une acidification ou d'une salinisation ; on assiste de ce fait à une baisse des rendements accentuée par le cloisonnement des surfaces cultivables sous l'effet de l'urbanisation galopante et de l'ensablement des cuvettes (Fall *et al.*, 2000).

Ainsi pour augmenter les rendements, les paysans des Niayes, notamment ceux des zones périurbaines comme Pikine, utilisent les eaux usées non-traitées qui ont la réputation de réduire le cycle des cultures maraîchères. Ils augmentent par conséquent le nombre de rotation dans l'année (Gaye & Niang, 2002). L'utilisation de ces eaux usées se fait au profit des eaux de puits nommés « céanes » traditionnellement utilisées pour l'irrigation. Dans certains cas, les eaux usées sont mélangées avec les eaux de « céanes ». Cette pratique n'est cependant pas sans risque sur l'environnement. Ces eaux usées riches en matières en suspension, en azote minéral et en coliformes fécaux font en effet planer des risques de colmatage du sol, de pollution de la nappe phréatique; de salinisation et d'acidification (Gaye & Niang, 2002 ; Seck, 2005 ; Ndiaye *et al.*, 2006; Ndour *et al.*, 2008).

C'est pourtant dans les champs irrigués avec les eaux de « céanes » que sont enregistrés les rendements par rotation les plus importantes, même si le cycle est plus long (Gaye & Niang, 2002). Ce sont aussi, d'après ces auteurs, ces champs qui reçoivent le plus de fumier organique (en particulier du fumier de cheval) et exclusivement le fumier minéral. L'utilisation de la matière organique est cependant contrainte par l'insuffisance de cette matière et aussi par des problèmes d'accès (coût élevé et difficulté de transport) ; sa qualité n'est pas optimale et ne satisfait pas les besoins de la plupart des cultures maraîchères (Fall & Badiane, 2001). Il urge donc aujourd'hui de rationaliser ces apports organiques. Ceci est d'autant plus nécessaire que c'est dans les champs irrigués à l'eau de nappe que sont observées les tendances les plus favorables d'une agriculture

durable sur sol sableux (Gaye & Niang, 2002 ; Ndour, 2004 ; Seck, 2005 ; Ndiaye *et al.*, 2006), avec:

- des pourcentages en éléments fins (limons, argiles et sables fins) plus élevés;
- des teneurs en phosphore, carbone et azote organiques plus importantes;
- et des valeurs de pH relativement neutres.

La culture sous eaux de nappe est en outre plus favorable à la santé des populations (maraîchers, vendeurs, consommateurs, etc.). Les études de Gaye & Niang (2002) dans la zone périurbaine de Dakar ont montré une contamination par des coliformes fécaux des produits agricoles récoltés dans des champs irrigués avec des eaux usées.

Les analyses des sols cultivés sous eaux usées montrent des teneurs élevées en azote minéral (nitrate et ammonium), qui est par ailleurs un facteur limitant dans nos sols. Ce fait résulte de la richesse des eaux usées en ammonium dont une partie se transforme dans le sol en nitrate, forme d'azote préférée des plantes mais perdu facilement par lessivage, surtout dans les sols sableux. Ce nitrate lessivé s'accumule progressivement dans la nappe phréatique, rendant à la longue cette dernière impropre à la consommation en se référant aux normes de l'OMS (50 mg/l). Dans la zone des Niayes, cette contamination est plus importante au niveau des nappes peu profondes captées par les « céanes » ($424 \pm 87,0$ mg/l de nitrate dans la zone de Pikine selon Ndiaye *et al.*, 2006). Apporté par les eaux d'irrigation de « céane », le nitrate est lessivé et se retrouve à nouveau dans la nappe phréatique.

Le rôle de l'azote minéral dans les sols est central. Il commande les pertes en éléments alcalins. Ainsi, à chaque kilo d'azote déficitaire dans le bilan correspond une perte équivalente de 3 kg de CaO et MgO, ce qui contribue très largement à l'acidification des terres (Piéri, 1991). Il est donc nécessaire d'apporter l'azote en quantité suffisante pour les cultures maraîchers tout en évitant de polluer la nappe phréatique.

Plusieurs études (Müller *et al.*, 1988 ; Palm & Sanchez, 1991 ; Thomas & Asakawa, 1993) ont mis en évidence le rôle de la qualité des litières sur la disponibilité de l'azote minéral dans le sol. Cette qualité est déterminée, selon ces auteurs, par le rapport carbone sur azote (C/N) de la matière organique, sa teneur en lignine et sa teneur

en polyphénol. Ainsi plus le C/N de la matière organique apporté est élevé (ou plus la matière organique apportée est pauvre en azote), plus celle-ci favorise l'immobilisation de l'azote minéral du sol (Dommergues & Mangenot, 1970 ; Davet, 1996). La disponibilité de l'azote minéral dans le sol dépend aussi de la concentration en polyphénols et lignine des litières apportées (Constantinides & Fownes, 1994). En outre, les litières dites de faibles qualité caractérisées par des teneurs élevées en lignine et polyphénols se décomposent lentement dans le sol. Elles assurent ainsi des conditions microclimatiques favorables aux microorganismes tout en favorisant le statut organique du sol avec tous les effets positifs induits sur ses paramètres physico-chimiques. L'apport de litières pauvres en azote et riche en lignine (coques d'*Arachis hypogaea*) ou en polyphénols (*Casuarina equisetifolia*) pourrait ainsi améliorer la productivité des sols sableux cultivés sous eaux de nappe tout en régulant la disponibilité de l'azote minéral. En plus, la décomposition de ces résidus pourrait être stimulée ou ralentie par la disponibilité de l'azote minéral. En effet, plusieurs auteurs (Mary *et al.*, 1996 ; Brisson *et al.*, 1998 ; Recous *et al.*, 1995 ; Nicolardot *et al.*, 2001) ont montré le rôle de la disponibilité de l'azote minéral du sol sur la décomposition des apports organiques. Selon Recous *et al.* (1995), l'incubation de résidus végétaux dans des conditions d'azote minéral non limitant entraîne une forte décomposition des résidus et une forte immobilisation.

L'objectif de ce travail est donc d'améliorer la productivité des sols sableux irrigués à l'eau de nappe par une meilleure gestion des résidus organiques. Dans ce dessein, nous nous proposons de tester l'effet des résidus de *Casuarina equisetifolia* et d'*Arachis hypogaea* sur :

- La disponibilité de l'azote minéral dans le sol sableux et le rendement d'une culture de tomate irriguée à l'eau de nappe,
- et de suivre l'influence de l'azote minéral sur la décomposition de ces résidus dans le sol.

Dans la première partie de ce document, nous allons faire une revue de la bibliographie se rapportant au sujet ; ensuite énoncer la méthodologie adoptée pour mener cette étude ; et enfin exposer les résultats suivis de leurs discussions.

I^{ère} PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : LE SOL

Les sols sont définis, de manière générale, comme le produit remanié et organisé de l'altération de la couche superficielle de la croûte terrestre, essentiellement sous l'action d'agents climatiques et biologiques (Musy & Soutter, 1991). Ils se forment dans un milieu qui constitue la zone de contact entre, d'une part, la lithosphère et d'autre par l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère (Gaucher, 1968). Le sol est ainsi un milieu complexe, biologiquement actif et siège de nombreux phénomènes transitoires qui s'inscrivent dans un processus évolutif global, en constante interaction avec les autres éléments de l'écosystème dans lequel il s'insère (Musy & Soutter, 1991). La nature de ses constituants se rapporte, comme dans tout écosystème, aux phases solide, liquide et gazeuse.

I. La phase solide du sol

Plus important quantitativement (environ 83 % en poids et 52 % en volume dans un sol bien équilibré), elle conditionne le comportement des autres phases (Gaucher, 1968). Cette phase solide comprend une fraction minérale et une fraction organique.

I.1. La fraction minérale

Elle reflète la composition des matériaux de base dont est issu le sol (roche-mère; collision d'origine éolienne, hydrique ou gravitaire) et les aléas de sa genèse (Musy & Soutter, 1991). Elle représente, d'après Gaucher (1968), 81 % en poids et 48 % en volume du sol. Elle détermine la texture et entre dans la constitution de la structure, deux propriétés essentielles des sols.

I.1.1. La texture du sol

Les propriétés les plus importantes du sol dépendent des dimensions de ses constituants, c'est-à-dire de la granulométrie du sol (Gaucher, 1968). En outre les particules élémentaires entrants dans la constitution de la fraction minérale sont idéalement caractérisées par leurs volumes et leurs formes. La texture des sols, en tant que critère de différenciation, est alors définie par la répartition numérique des particules élémentaires en fonction de leur géométrie (Musy & Soutter, 1991).

Par l'analyse granulométrique, on parvient à différencier par la taille les éléments minéraux du sol et à quantifier leur répartition pondérale, par des classes de diamètres prédéfinies (Musy & Soutter, 1991). Ses classes sont souvent réparties par ordre de diamètre croissant de la manière suivante : les argiles (0-2 μm), les limons (2-50 μm), les sables (50-2000 μm) et les graviers (>2mm). Les proportions relatives en sables, limons et argiles définissent ainsi la texture du sol.

I.1.2. La structure du sol

La structure est la manière dont les éléments constitutifs du sol s'assemblent entre eux (Gaucher, 1968). Elle permet d'expliquer certains comportements du sol dont la texture à elle seule ne peut pas rendre compte. En effet, c'est la structure qui détermine la répartition dans l'espace de la matière solide et des vides dont certains sont occupés par de l'eau ; d'autres, par de l'air. Cette répartition conditionne l'ensemble des propriétés physiques et biochimiques du sol : aération et possibilité de respiration des racines et de l'ensemble de la biomasse, rétention par les forces capillaires d'une réserve d'eau utilisable par les plantes en période sèche, etc. (Duchaufour, 1997).

Il convient néanmoins de noter que la structure ne dépend pas seulement de la fraction minérale. Elle dépend aussi en grande partie de la fraction organique du sol, surtout dans son rôle de liant.

I.2. La fraction organique

Quantitativement faible par rapport à la fraction minérale aussi bien en termes de poids que de volume, à l'exception des sols tourbeaux, la phase organique du sol n'en demeure pas moins un élément clé de la qualité des sols. Cette fraction est constituée d'un ensemble de substances essentiellement caractérisées de manière qualitative par leur nature chimique (Musy & Soutter, 1991). Elle englobe toute substance organique, vivante ou morte, fraîche ou décomposée, simple ou complexe. Elle peut être classée en deux compartiments : un compartiment vivant qui fournit environ 4% du stock de carbone total du sol et un compartiment inerte qui fournit plus de 96% de celui-ci (Theng, 1987).

I.2.1. La phase organique inerte du sol

Elle est formée de résidus, sécrétions et excréments de plantes et d'animaux (Musy & Soutter, 1991). L'essentiel de la matière organique parvenant au sol est cependant d'origine végétale (Davet, 1996). Dans le sol, la matière organique fraîche, fraction organique peu transformée, d'origine végétale ou animale, s'oppose à l'humus, fraction organique colloïdale plus ou moins foncée, qui contracte des liens étroits avec l'argile et les oxydes libres (Duchaufour, 2001). C'est la transformation de la première forme qui aboutit à la formation de la seconde. Cette transformation se fait sous l'action de divers facteurs, surtout des êtres vivants.

I.2.2. La Matière organique vivante du sol

Le sol est un milieu vivant et c'est là une caractéristique essentielle qui le différencie d'une roche, où les êtres vivants ne sont présents qu'en surface, dans la croûte d'altération (Robert, 1996). Les organismes du sol interviennent en effet dans de nombreux processus et fonctions essentielles des sols, notamment dans la décomposition des débris végétaux et animaux, la transformation et le stockage des éléments nutritifs, l'infiltration de l'eau et les échanges de gaz, la formation et la stabilisation de la structure des sols, mais aussi la synthèse des substances humiques (Dick, 1997). Le sol est ainsi traversé par des flux d'énergie et de matière dont la régulation est en grande partie assurée par les communautés vivantes qui le colonisent (Chotte *et al.*, 2001).

La classification des organismes du sol selon leur taille est souvent adoptée, bien que n'ayant aucune valeur systémique (Swift *et al.*, 1979). Elle permet de différencier trois ensembles: les organismes dont la taille est supérieure au centimètre (macrofaune), les organismes dont la taille est comprise entre deux cents micromètres et un centimètre (microfaune) et enfin les organismes microscopiques (micro-organismes). On ajoute à ces organismes un quatrième ensemble particulier, celui des organes souterrains des végétaux.

a) La macrofaune

Les organismes de la macrofaune sont principalement représentés par des invertébrés. Certains de ces organismes construisent des structures organo-minérales de grandes tailles qui perdurent de longues périodes (de quelques mois à quelques années);

ils développent, à des degrés divers, des relations mutualistes avec les micro-organismes dans leur tube digestif (rumen interne) et (ou) dans les structures qu'ils créent que l'on peut comparer à des rumens externes. Ces organismes comprennent principalement les termites, les vers de terre et les fourmis. En raison de l'impact de leur activité sur les caractéristiques du milieu, ces organismes sont aussi appelés les **ingénieurs de l'écosystème** (Jones *et al.*, 1994).

b) La microfaune

Ce groupe comprend une faune très diverse, essentiellement composée de micro et de macro-arthropodes (myriapodes, isopodes) et de nématodes. Contrairement à la macrofaune, les structures qu'ils produisent sont uniquement organiques. Elles ont une durée de vie plus courte que celles qui sont issues de l'activité des macro-organismes (Giller *et al.*, 1997).

c) Les micro-organismes

Ce sont des acteurs clés des cycles biogéochimiques, et jouent un rôle très important dans le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes. Ils constituent la biomasse microbienne du sol dans lequel on distingue les trois groupes taxonomiques suivants :

➤ Les bactéries

Elles sont responsables de la plupart des transformations dans le cycle de l'azote (Paul & Clark, 1989) : ammonification (large éventail de bactéries), oxydation de l'ammonium en nitrite (*Nitrosomonas*), oxydation des nitrites en nitrates (*Nitrobacter*), réduction des nitrites en nitrates (*Clostridium*), dénitrification (*Pseudomonas*), fixation libre de l'azote moléculaire (N_2) (*Azotobacter*) ou par symbiose (*Rhizobium*).

Le rôle des bactéries dans les cycles du carbone, du phosphore et du soufre est moins spécialisé, mais reste important.

➤ Les champignons

Ils sont présents dans le sol à l'état de mycéliums et d'organes de propagation ou de conservation que l'on peut désigner sous le nom de « spores » (Dommergues &

Mangenot, 1970). Leur rôle dans le cycle de l'azote est peu spectaculaire : certaines espèces sont douées d'une faible activité fixatrice, leur pouvoir ammonifiant paraît inférieur à celui des bactéries dans les conditions naturelles où les champignons semblent plutôt participer à l'organisation de l'azote qu'à sa minéralisation (Dommergues & Mangenot, 1970). Ceci correspond à leurs activités synthétiques plus élevées que celles des bactéries et à leur répartition particulière. En effet, leur rôle essentiel se trouve probablement dans la minéralisation du carbone organique, en particulier des sources les plus complexes. Ils possèdent parfois, à un degré extraordinaire, l'aptitude à dégrader de grandes quantités de matières organiques en se contentant de faibles quantités d'azote. Ceci explique leur prépondérance dans les sols pauvres, les débris végétaux frais, surtout les plantes âgées où le rapport C/N peut atteindre des valeurs considérables (Dommergues & Mangenot, 1970).

➤ **Les actinomycètes**

Ce sont des Eubactéries Gram positives à structure végétative de type mycélien (Dommergues & Mangenot, 1970). Ces micro-organismes présentent ainsi des similitudes à la fois avec les Eubactéries et avec les champignons. Représentées par les genres *Nocardia* et *Streptomyces*, leurs densités est en général 3 à 15 fois plus faibles que celle des autres bactéries. Ils se distinguent dans le sol par leur aptitude à dégrader les substances organiques peu biodégradables par les champignons et les autres bactéries ; mais aussi par leur aptitude à produire des substances probiotiques, antibiotiques ou toxiques (Dommergues & Mangenot, 1970).

d) Les organes souterrains des végétaux

À ces organismes précités, on peut ajouter les organes souterrains des végétaux qui jouent un rôle très important dans le sol. La présence de ces organes entraîne en effet de multiples conséquences sur les autres communautés vivantes mais aussi sur les caractéristiques physico-chimiques des sols (Chotte *et al.*, 2001). Au cours de leur croissance, les racines exercent une pression sur les particules minérales qui entraînent leur réorganisation (Foster, 1986) ; conjointement, elles exsudent des composés organiques qui favorisent la formation d'agrégats. Ces produits racinaires représentent

une des principales voies d'entrée de carbone organique dans les sols (Sauerbeck & Johnen, 1976).

II. La phase liquide du sol

L'eau du sol a une importance considérable. Elle intervient d'une part dans la nutrition des plantes en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous; et d'autre part, dans la pédogenèse, qui conditionne la plupart des processus de formation des sols (Duchaufour, 2001). Les propriétés principales du sol résultent ainsi de son comportement vis-à-vis de l'eau (Gaucher, 1968). En effet toute l'eau que reçoit un sol après une pluie ou une irrigation ne s'écoule pas par gravité vers les horizons inférieurs. Un volume plus ou moins important reste retenu dans les pores du sol, par capillarité et à la surface du complexe argilo-humique, par les forces de liaisons (Davet, 1996). De ce fait, le volume relatif et la composition de la phase liquide varient non seulement dans le temps, mais également, à un instant donné, d'un point à un autre du sol (Musy & Soutter, 1991). Selon Duchaufour (2001), cette eau qui provient essentiellement des précipitations et dans certaines stations de l'eau souterraine se répartit comme suit:

- en eau de ruissellement*, superficielle ou "hypodermique" lorsqu'elle circule au sein des horizons supérieurs, parallèlement à la surface. Le ruissellement n'est pas constant et n'affecte que les surfaces en pente soumises à des pluies violentes.
- en eau de gravité*, entraînée par la pesanteur. Cette eau circule dans les pores grossiers et moyens ($>10\mu\text{m}$) le plus souvent verticalement parfois aussi obliquement s'il y'a une pente et que la perméabilité du sol diminue dans les horizons profonds. L'eau de gravité à écoulement vertical se subdivise en deux parties : *l'eau de gravité à écoulement rapide*, qui circule dans les pores grossiers ($> 50 \mu\text{m}$), dans les quelques heures qui suivent les pluies et *l'eau de gravité à écoulement lent*, qui descend lentement (souvent plusieurs semaines) dans les pores de diamètre moyens compris entre $50 \mu\text{m}$ et $10 \mu\text{m}$. L'ensemble des eaux de gravité alimente le drainage profond, si le sol est perméable.
- en eau retenue* par le sol, qui, au cours de l'infiltration des pluies, occupe les pores fins et très fins ($<10\mu\text{m}$ environ): les forces capillaires et d'absorption sont suffisamment élevées pour s'opposer aux forces de gravité. L'eau retenue se subdivise en deux parties: *l'eau capillaire* absorbable par les racines, qui occupent

les pores fins et **l'eau liée** qui forme une fine pellicule à la surface des particules du sol. Cette dernière eau n'est pas absorbable par les racines.

Il apparaît en définitive que c'est la composition et l'organisation de la phase solide du sol qui déterminent le comportement de la phase liquide. Celle-ci conditionne à son tour le comportement de la phase gazeuse puisque cette dernière remplit l'espace des pores non occupée par la phase liquide du sol.

III. La phase gazeuse du sol

La particularité de la phase gazeuse, outre le fait que son comportement soit conditionné par les phases solide et liquide, est dans l'influence qu'exerce les processus biologiques sur la dynamique de certaines de ces composantes. Les échanges gazeux dans le sol se distinguent, en outre, des échanges hydriques par la présence de zones de production et de consommation, matérialisées par les systèmes racinaires des végétaux et les microorganismes, qui sont des producteurs de gaz carbonique et des consommateurs d'oxygène (Musy & Soutter, 1991). La composition de l'air est ainsi soumise à de constantes modifications.

Les principaux éléments qui composent la phase gazeuse du sol sont dans l'ensemble les mêmes qu'on trouve dans l'air avec cependant des proportions variables (CO_2 , O_2 , N_2O , N_2 , CH_4 , H_2O ...). Cette phase gazeuse du sol est, dans une certaine mesure, en équilibre avec l'air avec lequel l'ampleur des échanges dépend des caractères du sol (texture, structure, humidité...). La qualité globale de ses échanges avec l'atmosphère, c'est-à-dire l'aération des sols constitue dès lors un facteur important de leur fertilité (Musy & Soutter, 1991).

Ces trois phases solide, liquide et gazeuse déterminent ainsi les propriétés d'un sol dont le fonctionnement exerce une influence majeure sur les différents cycles biogéochimiques.

Chapitre II : LES RESIDUS VEGETAUX

L'essentiel de la matière organique parvenant au sol est d'origine végétale (Davet, 1996). Celle-ci parvient au sol sous forme d'exsudats racinaires ou foliaires et de débris de feuilles, de rameaux, de fruits ou de graines. L'évolution de ses résidus dans le sol se fait en fonction de leurs qualités biochimiques et des propriétés physico-chimiques du sol.

I. Composition biochimique des résidus végétaux

Les parois végétales sont composées de polymères ainsi que de molécules de faible poids moléculaire, comme les sucres circulants. Ces polymères sont de deux types : les polymères glucidiques (cellulose, hémicellulose, substances pectiques) et les polymères non glucidiques (lignines et composés phénoliques).

I.1. La cellulose

La cellulose est la molécule organique naturelle la plus abondante sur la terre. Ce polymère de glucose constitue la structure principale de nombreux tissus végétaux avec des teneurs allant de 15 à 99 %. De formule $(C_6H_{10}O_5)_n$ (n compris entre 200 et 14000), cette macromolécule est dans son état naturel fibrillaire et partiellement cristalline.

La décomposition de la cellulose dans le sol n'est accessible qu'à une flore spécialisée comme les bactéries et les champignons cellulolytiques (Davet, 1996). Ces derniers sont, en effet, pourvus d'un complexe qui comprend toujours plusieurs enzymes agissant en synergie. La dégradation aérobie de la cellulose fait apparaître des glucides simples solubles (cellobiose et glucose) qui entretiennent une nouvelle flore consommatrice de sucres, différente de la première soumise à une compétition sévère (Davet, 1996). En anaérobiose, il apparaît de l'éthanol, des acides organiques, du dioxyde de carbone et du méthane.

I.2. L'hémicellulose

Ce sont des polysaccharides complexes (à base de xylanes, xyloglucanes, galactanes, arabinane, arabinogalactane) de faibles poids moléculaires solubles en milieu alcalin. C'est le deuxième composant de la paroi pectocellulosique des végétaux, après la

cellulose. Elle a un rôle de pontage entre les fibres de cellulose, mais aussi avec d'autres composés matriciels. L'hémicellulose se décompose plus facilement que la cellulose et la lignine.

I.3. La lignine

La lignine est après la cellulose le plus important composant des tissus végétaux (Davet, 1996). Elle se trouve principalement localisée dans les structures intercellulaires et fournit la cohésion aux matériaux ligneux. Elle est constituée d'un assemblage hétéroclite d'éléments analogues, mais non identiques, composé de noyaux phénoliques porteurs d'une chaîne latérale à trois carbones.

La lignine est un composé très récalcitrant à la dégradation. Sa décomposition n'est possible qu'en conditions aérobies et requiert apparemment la présence d'aliments glucidiques, comme si un appoint énergétique était nécessaire (Davet, 1996). Cette décomposition se fait à l'aide de champignons qui, en présence d'une microflore glucidique peu active, consomment les polysides tout en décapant les revêtements de lignine qui protègent la cellulose. Le substrat se transforme en une masse fibreuse blanchâtre constituée par une trame cellulosique (Davet, 1996).

I.4. Les composés phénoliques

Ce sont des alcools aromatiques qui proviennent des végétaux. Les phénols simples, déchets du métabolisme végétal, sont assemblés en polyphénols comme la lignine. Ces composés phénoliques sont souvent solubles à l'eau et n'existent pas à l'état libre car ils sont situés dans les vacuoles cellulaires des végétaux (Rice & Pancholy 1974). Il y a quatre principales familles de composés phénoliques : les acides-phénols, les flavones, les anthocyanes et les tanins.

Selon Doré *et al.* (2004), les composés phénoliques ont des effets controversés sur la nutrition minérale. Certains auteurs ont, en effet, insisté sur l'existence d'un nombre varié de phénols ayant un effet inhibiteur sur l'absorption des éléments minéraux. Il a cependant été démontré que les effets d'inhibition des acides phénoliques sur la nutrition minérale ne sont pas permanents et qu'il y a rétablissement de l'absorption dès que les composés disparaissent ou diminuent dans le milieu (Bernhard-Reversat *et al.*, 2003). Enfin, les acides phénoliques ont également des effets d'inhibition sur les organismes de

la nitrification, ce qui peut avoir des répercussions indirectes sur la nutrition azotée des végétaux.

II- Décomposition des résidus végétaux

Elle se fait par les organismes vivants du sol et part de la matière végétale fraîche qui est le point de départ de deux processus de transformation : la minéralisation et l'humification. L'équilibre entre ses deux processus conditionne la plupart des propriétés agronomiques des sols.

II.1. La minéralisation

Le processus de minéralisation conduit à la destruction d'une partie de la matière organique. Les molécules organiques sont ainsi transformées en éléments simples : gaz carboniques (CO_2), azote minéral (NH_4^+ , NO_3^- , N_2O) et autres éléments minéraux. Selon Davet (1996), le matériel végétal (déjà en partie colonisé par une microflore épiphyte) est rapidement envahi dès son arrivée sur le sol. Les substances solubles et de poids moléculaire peu élevé sont consommées les premières et rapidement minéralisées par une flore très variée. Cette flore est constituée de consommateurs de sucres simples, qui déclinent aussitôt que ces substrats sont épuisés. Le reste du matériel végétal constitué de cellulose, d'hémicellulose et de lignine n'est accessible qu'à une flore plus spécialisée.

C'est durant cette phase de minéralisation dite primaire que la matière organique fraîche est fractionnée en trois parties : une partie minérale (CO_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}), une partie transformée en cellules microbiennes et une partie récalcitrante constituée surtout de tanins et de résidus polyphénoliques des lignines combinés à des protéines (Davet, 1996). La partie minérale incorporée dans les cellules microbiennes est dite immobiliser.

L'**immobilisation** se déroule en même temps que la minéralisation. La prédominance de l'un sur l'autre est déterminante dans le bilan minéral du sol. Lorsqu'un élément minéral du sol est assimilé par les micro-organismes telluriques, il entre dans des combinaisons organiques à l'intérieur des cellules microbiennes et cesse d'être utilisable pour les végétaux supérieurs (Dommergues & Mangenot, 1970). À la mort des micro-organismes, ou à la suite de processus d'excrétion, les molécules organiques sont libérées dans le sol. Elles subissent, ensuite, diverses transformations qui aboutissent à des formes

plus ou moins stables ou même labiles qui, par minéralisation ultérieure, redonnent les formes initiales parfaitement assimilables par les végétaux (Dommergues & Mangenot, 1970).

II.2. L'humification

C'est le processus de transformation de la matière organique en humus sous l'action de facteurs physico-chimiques et biologiques. Elle consiste ainsi en des recombinaisons de molécules organiques de nature diverses :

- molécules complexes déjà présentes dans le sol ;
- molécules simples venant directement de substrats organiques récemment dégradés par la flore et la faune du sol ;
- très peu de molécules directement issues des débris végétaux ou animaux.

Cette transformation aboutit à une repolymérisation en composés amorphes appelés **humus**. L'humus se caractérise dans le sol par la couleur noire qu'il donne à celui-ci, son rapport carbone sur azote (C/N) plus faible, de l'ordre de dix et par sa relative stabilité (Musy & Soutter 1991). L'humus est souvent associé aux minéraux argileux, avec lesquels il partage des propriétés colloïdales, pour former des complexes argilo-humiques. Ces derniers jouent un rôle essentiel dans la structure du sol. C'est la quantité de charges électriques portées par ce complexe qui définit la capacité d'échange cationique (CEC). Plus cette CEC est élevée, plus le complexe peut adsorber ou libérer des cations qui sont mis à la disposition des racines.

L'humus ne s'accumule pas indéfiniment dans le sol. Dans des conditions pédoclimatiques données, il y'a équilibre entre l'humification et les pertes par minéralisation secondaire (Davet, 1996). Cet équilibre est conditionné par un certain nombre de facteurs influençant la décomposition de la matière organique dans le sol.

II.3. Facteurs influençant la décomposition des résidus végétaux

La décomposition des résidus végétaux dans le sol dépend d'un certain nombre de facteur qui contrôle les processus de minéralisation et d'humification. Ces facteurs sont liés à l'environnement physique d'une part et à la qualité des résidus végétaux d'autre part.

II.3.1. Facteurs physiques

C'est l'ensemble des facteurs physico-chimiques (humidité, température, propriétés physiques des sol...) qui conditionnent le comportement des organismes vivants responsables de la décomposition des résidus végétaux dans le sol.

a) L'humidité du sol

L'humidité est un des facteurs écologiques les plus puissants qui surclasse parfois les autres facteurs majeurs, tels que la température (Dommergues & Mangenot, 1970). Les variations de la teneur en eau ont des répercussions considérables sur l'activité biologique du sol. L'humidité du sol est optimale aux valeurs proches de la capacité au champ. Trop d'eau empêche, en effet, la circulation de l'oxygène nécessaire à la respiration des organismes vivants alors que le déficit entraîne une faible activité microbienne.

b) La température et le pH

La vitesse de décomposition de la matière organique fraîche est très sensible à la température. En effet, pour une élévation de température de 1°C, la vitesse de décomposition de la litière d'espèces forestières caduques augmente de 1,8% (Olson *et al.*, 1961 cités par Dommergues & Mangenot, 1970). Ainsi, en milieu suffisamment humide, les températures comprises entre 30 et 40°C stimulent considérablement la décomposition des substances humiques : il en résulte que, sous climat tropical humide, l'agronome a souvent des difficultés à maintenir à un niveau suffisant le stock humique des sols.

c) Propriétés physiques des sols : nature des argiles

Les propriétés physiques des sols sont définies par la texture et la structure. La texture et surtout la structure déterminent les dimensions des pores et par conséquent les quantités d'eau et d'air qui y circulent. Du point de vue de la structure, les agrégats protègent la matière organique de la décomposition par deux mécanismes : protection mécanique de la matière organique et ralentissement de la diffusion de l'oxygène à l'intérieur de l'agrégat (Dommergues & Mangenot, 1970). Les agrégats argileux servent,

en outre, de sites d'adhésion aux cellules microbiennes avec comme conséquences un abaissement du pH, une diminution de la vitesse de diffusion des ions et une concentration de substances organiques biologiquement actives (Dommergues & Mangenot, 1970).

De nombreux composés organiques peuvent être adsorbés par les argiles sous forme de cations (amines, acides aminés), d'anions ou de composés non chargés (Dommergues & Mangenot, 1970). Ces composés adsorbés sont ainsi protégés de la biodégradation microbienne ou enzymatique. L'effet des argiles sur la décomposition dépend, cependant, de leurs natures. En effet, selon Dommergues & Mangenot (1970), certains argiles ont un effet stabilisateur considérable (attapulгите, montmorillonite) alors que d'autres s'avèrent peu efficaces (kaolinite). Ainsi, dans les sols sableux tropicaux caractérisés par leur grande porosité, leur pauvreté en agrégats, leur pauvreté en argiles et la nature de ses argiles (kaolinite), on observe une forte minéralisation de la matière organique, surtout en début de saison des pluies.

d) Statut minéral du sol

Le statut minéral du sol a une influence sur les organismes vivants. Ainsi, lorsqu'ils atteignent une teneur anormalement élevée dans le sol, certains éléments minéraux inhibent plus ou moins une partie ou l'ensemble de la microflore tellurique (Dommergues & Mangenot, 1970). C'est le cas de l'excès de sel qui constitue, pour de nombreux microorganismes telluriques, un milieu défavorable en raison de la présence d'ions toxiques, du pH (très basique), de la structure (asphyxiante) et de la tension osmotique (parfois élevée) (Dommergues & Mangenot, 1970). Il est fréquent aussi d'observer, selon ces derniers auteurs, une toxicité aluminique et/ou manganique dans les sols acides où la teneur en Al^{+++} et/ou Mg^{++} échangeables est élevée.

En outre les teneurs en CO_2 et O_2 dissoutes dans la solution du sol exercent une influence certaine sur l'activité des microorganismes telluriques (Dommergues & Mangenot, 1970). Il en est de même des teneurs en certains éléments minéraux tel l'azote, le phosphore, le soufre... Ainsi, L'azote minéral du sol contenu dans la zone où se trouvent les résidus organiques en décomposition peut être un facteur limitant de la décomposition. Si la quantité d'azote minéral s'annule, l'organisation s'arrête et le rapport C/N de la biomasse microbienne diminue. Il en résulte une moindre organisation et une moindre reminéralisation ultérieure (Brisson *et al.*, 1998).

II.3.2. La qualité des résidus végétaux

La décomposition des résidus végétaux dans le sol dépend de leur nature physique et de leur composition biochimique.

a) La nature des résidus végétaux

C'est un des facteurs qui influence le contact entre le sol et les résidus végétaux. Ce contact détermine la colonisation par les micro-organismes, la diffusion des composés solubles et les transferts de nutriments et d'oxygène (Fruit *et al.*, 1999 cité par Abiven, 2004). Plus le contact sol-résidus est intime, plus la décomposition est donc rapide en raison d'une colonisation par les décomposeurs plus facilitée et d'une humidité souvent plus favorable (INRA, 2001). La taille des résidus est donc un facteur déterminant avec les résidus de petites tailles qui sont plus facilement décomposés. Le degré d'intimité entre les résidus végétaux et les microorganismes du sol ne dépend cependant pas seulement de la nature physique de ceux-ci, il résulte aussi de leur composition biochimique.

b) La composition biochimique des résidus végétaux

La composition biochimique des résidus végétaux les rend plus ou moins accessibles aux organismes vivants du sol. L'évolution des résidus végétaux dans le sol est ainsi influencée par les caractéristiques suivantes (Dommergues & Mangenot, 1970):

➤ Le rapport C/N

C'est un facteur déterminant dans la décomposition de la matière organique dans le sol. Il est souvent utilisé pour évaluer la stabilité de celle-ci. La richesse des résidus en N (C/N bas, inférieur à 25) accélère, en effet, la décomposition et limite par conséquent les possibilités d'humification ; mais un C/N élevé ne favorise pas celle-ci, il freine l'évolution des débris végétaux et conduit à l'accumulation d'humus libre (Dommergues & Mangenot, 1970). Cette situation est due au fait que les microorganismes ont besoin d'azote pour décomposer la matière organique du sol. Lorsque la matière organique apportée est pauvre en azote, les microorganismes puisent dans la réserve d'azote minéral

du sol, entrant ainsi en compétition avec les plantes. Il en résulte une baisse du rapport C/N de la matière organique du sol au cours du temps car le carbone est perdu continuellement alors que l'azote est immobilisé dans les tissus des microorganismes associés à celle-ci.

Cependant, la facilité avec laquelle un substrat est décomposé ne dépend pas seulement de son rapport C/N, mais aussi de la forme sous laquelle l'azote, et surtout le carbone, y sont présents (Davet, 1996).

➤ **Rapport entre constituants labiles et récalcitrants**

La matière organique du sol est souvent divisée en composés labiles facilement biodégradables et en composés récalcitrants, accessibles à une faune spécialisée. Ces composés récalcitrants ont souvent en commun leurs teneurs élevées en lignine. Cependant la teneur en lignine n'est pas le seul critère qui détermine la biodégradabilité de la matière organique (Dommergues & Mangenot, 1970). Celle-ci dépend aussi des teneurs des autres fractions plus ou moins biodégradables. Par exemple, les débris peu lignifiés et riches en pentoses et en cellulose sont dégradés plus rapidement que les tissus fortement incrustés de lignine ou de subérine. Une teneur élevée en constituants solubles est favorable à une décomposition rapide (Dommergues & Mangenot, 1970). Il est néanmoins important de considérer dans cette fraction soluble, les composés phénoliques qui peuvent diminuer fortement le coefficient de minéralisation de la matière organique de ce compartiment (Masse, 2007).

➤ **La richesse des tissus en substances biologiquement actives**

Les substances biologiquement actives influencent la dégradation des résidus végétaux dans le sol en raison de leurs propriétés antibiotiques ou de leur action inhibitrice sur les enzymes extracellulaires des microorganismes. Elles peuvent également se combiner aux constituants pariétaux et aux protéines pour former des complexes récalcitrants (Dommergues & Mangenot, 1970). On distingue parmi ses substances, les composés phénoliques des résidus végétaux qui peuvent affecter la décomposition de la matière organique (Swift *et al.*, 1979). Ces composés phénoliques dont la plupart sont solubles à l'eau peuvent, en effet, inhiber l'action de certains

microorganismes, voire même avoir des effets toxiques, fongicides et antibiotiques (Millar, 1974).

Le rôle des composés phénoliques dans l'évolution de la matière organique dans le sol ne se limite cependant pas seulement à leur action inhibitrice par rapport à certains microorganismes. Ces composés sont reconnus comme étant des précurseurs de substances humiques. Ces précurseurs ont des aptitudes inégales à l'oxydation et à la condensation suivant leur nature et celles des autres composés présents (Dommergues & Mangenot, 1970).

Chapitre III: Problématique de la fertilité des sols au Sénégal

Le Sénégal, à l'instar de tous les pays sahéliens, subit depuis plusieurs décennies, une baisse de sa pluviométrie et des pressions de plus en plus importantes sur les ressources naturelles. En effet, les effets combinés de la croissance démographique et les perturbations climatiques ont affecté le système bioproductif et induit la dégradation des terres qui se manifeste sous différentes formes suivant le milieu physique et les systèmes de production dans les différentes zones éco-géographiques (FAO-CSE, 2003). Les sols du Sénégal se caractérisent d'une manière générale dans leur grande majorité par une grande sensibilité à l'érosion. Cette sensibilité est essentiellement liée aux caractéristiques des sols (FAO-CSE, 2003).

I. Caractéristiques des sols du Sénégal

Au Sénégal, la diversité des conditions climatiques, de la géomorphologie et du substratum géologique sont à l'origine de l'existence de plusieurs types de sols aux caractéristiques et aux aptitudes bien différentes (FAO-CSE, 2003). Ces caractéristiques varient cependant en fonction des types de sols. Les principaux types de sols sont (Khouma, 2000):

- les sols minéraux bruts sur dune littoral ;
- les sols minéraux bruts de cuirasse sur schiste ou sur grès argileux;
- les sols gravillonnaires sur cuirasse ;
- les sols bruns rouges subarides sur sable ;
- les sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés sur sable ;
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés sur grès sablo-argileux;
- les sols ferrugineux tropicaux lessivés cuirassés sur schiste ;
- les sols ferrallitiques faiblement désaturés sur grès sablo-argileux;
- les sols halomorphes sur alluvions argileuses;
- les sols hydromorphes sur argile et sur sable;
- les sols sulfatés acides sur sable et sur argile.

Malgré la diversité de ces sols, la production agricole au Sénégal provient essentiellement des sols ferrugineux tropicaux et des sols ferrallitiques faiblement désaturés. Ces sols se distinguent par un faible pourcentage d'argile et par une

prépondérance des sables. Les argiles sont de type kaolinite, peu réactifs. Leurs teneurs en phosphore et en matière organique sont faibles ainsi que leur capacité d'échange cationique (Khouma *et al.*, 2005). L'évolution de ces caractéristiques se fait, cependant, en fonction de leur mode de gestion.

II. Impact des modes de gestion sur l'évolution des caractéristiques des sol

Selon Khouma *et al.* (2005), l'évolution des caractéristiques des sols se fait suivant les systèmes de culture observés au Sénégal : les systèmes à faibles intrants et les systèmes intensifs.

II.1. Les systèmes à faibles intrants

Les systèmes à faibles intrants englobent les systèmes traditionnels et les systèmes semi-intensifs avec apport d'une fumure minérale légère sans travail du sol. La culture traditionnelle après défrichage affecte profondément les sols : baisse considérable du taux de matière organique accompagnée d'une chute de la plupart des indices chimiques des sols (pH, N, Ca, Mg, K, P). Cette évolution chimique s'accompagne d'une compaction et d'une réduction de la porosité dues notamment à la baisse de la teneur en matière organique. Les systèmes traditionnels et semi-intensifs n'assurent donc le maintien des composantes physiques de la productivité des terres qu'au prix d'une très faible intensité culturale (peu d'années de culture continue suivies de longues années de jachère). Mais les jachères ont tendance soit à disparaître, soit à voir leur durée fortement réduite (Khouma *et al.*, 2005).

II.2. Les systèmes intensifs

Les systèmes intensifs se caractérisent par des apports de doses relativement importantes d'engrais minéral, de matière organique ou de fumure organo-minérale, en présence de travail du sol. Dans ces systèmes, l'évolution des caractéristiques des sols est marquée par une baisse du pH et du taux de calcium et de magnésium échangeables ainsi que l'accumulation de magnésium échangeable dans les sols ferrugineux tropicaux. Cette acidification est d'autant plus accentuée que les sols sont plus sableux et les doses d'engrais azoté plus élevées (Khouma *et al.*, 2005).

En raison donc de leurs constituants minéralogiques dominants (quartz, kaolinite, fer et oxydes d'aluminium) et de leur texture sableuse, le rôle de la matière organique sur les propriétés de ses sols, sur leur productivité et sur la viabilité des systèmes de production agricole est fondamentale (Blanchart *et al.*, 2005).

III. Cas particulier des sols cultivés dans la zone périurbaine des Niayes

Avec 1% des terres arables du Sénégal, la zone des Niayes fournit environ 80% de la production horticole du Sénégal (FAO-CSE, 2003). Cette situation résulte de conditions physiques et socio-économiques très favorables qui entraînent un taux élevé de mise en valeur des terres (65%) dans cette zone qui concentre, par ailleurs, 52,5% de la population du Sénégal (FAO-CSE, 2003). On note ainsi une forte pression sur les ressources en sols. Cette pression est plus accentuée en zone périurbaine de Dakar où la production horticole, surtout maraîchère, est confrontée à des contraintes à la fois d'ordre foncière et écologique.

III.1. Les contraintes foncières

La ville est décrite comme moteur de développement d'activités agricoles à sa périphérie. Mais cette périphérie est également présentée comme lieu de marginalisation de l'espace agricole au profit de l'espace urbain (Moustier *et* Pagès, 1997). La compétition pour la valorisation de l'espace est ainsi une des principales données qui caractérisent l'implantation de l'agriculture en zone urbaine (Fall & Fall, 2001). Elle se déroule actuellement, selon ces auteurs, en faveur de l'urbanisation au détriment de l'agriculture. On observe, en effet, une avancée du front urbain matérialisé par l'évolution du patrimoine bâti. Autour de Dakar, les grandes Niayes (Pikine, Cambérène et Mbao) enregistrent un recul des espaces cultivés à un rythme qui inquiète quant à la viabilité du système agricole urbain (Fall *et al.*, 2001).

III.2. La dégradation des sols

La zone des Niayes est dominée par la présence de sols pauvres : sols diors, sols minéraux bruts d'apport qui constituent les formations dunaires (Cissé & Fall, 2001). Il se pose aujourd'hui dans cette zone un réel problème de dégradation des sols liée à la dégradation des conditions pluviométriques et surtout aux pratiques culturales. Les