

3. Influence des microorganismes sur les propriétés physicochimiques du sol

3.1. Action sur la structure du sol

La structure d'un sol résulte du type de disposition de ses particules élémentaires les unes par rapport aux autres. Ces particules, agglomérées par un ciment d'origine minérale (argile, oxyde de fer, silice amorphe) ou organique (polysaccharides, substances humiques), forment des unités structurales de petite taille (agrégats) réunies en unités plus importantes (macro-agrégats) dans l'édifice structural (sol).

Les microorganismes ont un rôle important dans la génèse et la dégradation de la structure.

3.1.1. Génèse de la structure du sol par les microorganismes

La formation des agrégats dans le sol résulte de l'action de composés chimiques produits ou résultant de l'activité microbienne et d'une action mécanique directe des organismes filamenteux.

3.1.1.1. Polysaccharides bactériens.

De nombreux microorganismes telluriques (bactéries, algues), et en particulier les bactéries se développant au contact des racines, sont capables de produire des polysaccharides, longues chaînes de sucres, parfois branchées. Leur influence sur l'agrégation a été montrée directement, en ajoutant ces composés isolés à partir de bactéries, ou indirectement, soit en favorisant la croissance bactérienne par des apports de matière organique fraîche, soit en ensemençant le sol par des suspensions de bactéries produisant des polysaccharides (*Agrobacterium*, *Arthrobacter*).

L'agrégation par les polysaccharides pourrait résulter de la formation de liaisons hydrogène ou ioniques avec les particules du sol.

3.1.1.2. Substances humiques

Les substances humiques produites par l'action des microorganismes, agissent soit en agrégeant les particules, comme dans le cas des polysaccharides, soit en réduisant la mouillabilité, ce qui favorise la stabilité des agrégats en formation.

3.1.1.3. Rôle des champignons, bactéries, des actinomycètes et des algues

Les champignons :

Sont efficaces dans la stabilisation des agrégats de sol, car ils ont la capacité de lier les particules du sol via plusieurs mécanismes (rétention mécanique, adhésion par les glues fongiques, ...). En effet, de

nombreux champignons secrètent des substances agrégeant à fort pouvoir collant comme les polysaccharides et les gommés. Les mycéliums des champignons consolident également directement la structure du sol par enchevêtrement mécanique des particules minérales entre les hyphes et/ou par la résistance mécanique des filaments fongiques aux contraintes physiques.

Les champignons ayant l'effet le plus marqué dans le processus d'agrégation et de stabilisation des agrégats sont des espèces saprophytes appartenant essentiellement aux genres *Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Mucor*, *Sclerotium*, diverses levures et des Basidiomycetes.

Les bactéries et des actinomycètes :

Leur rôle dans le processus d'agrégation et la stabilisation des agrégats est nettement moins importante que celle des champignons.

Les bactéries interviennent plutôt dans la stabilisation des particules de la taille des argiles et des limons. Elles synthétisent des substances gluantes telles que les polysaccharides et peuvent constituer le centre de formation de microagrégats.

Les Algues :

Certaines algues interviennent de la même façon que les champignons dans les premiers centimètres des sols sableux, à la fois par une action mécanique (algues filamenteuses) mais également par la production de polysaccharides (algues à gaine mucilagineuse) qui contribuent à la formation d'agrégats.

3.1.2. Facteurs écologiques influençant la génèse microbienne de la structure

3.1.2.1. Apport de matière organique

Les polysaccharides microbiens étant facilement dégradés dans le sol, leur renouvellement nécessite un apport de matière organique. *In vitro*, le saccharose est le précurseur le plus efficace pour l'agrégation, cependant qu'*in situ* les résidus végétaux à rapport C/N élevé favorisent davantage la génèse de la structure.

3.1.2.2. Influence de certains ions

Le calcium, qui a un effet stabilisant sur la matière organique, favorise l'agrégation d'origine microbienne. D'autres cations (NH₄, Al, Fe) qui forment des ponts entre polysaccharides et argile ont également un effet stabilisant, mais le fer et l'aluminium, qui créent aussi des liaisons entre les molécules de polysaccharides, peuvent diminuer le pouvoir d'agrégation en réduisant le nombre de sites actifs pour les particules solides.

3.1.2.3. Influence de la végétation

La croissance des bactéries qui produisent des polysaccharides semble être nettement favorisée par la présence de la racine, l'effet rhizosphère étant plus marqué que pour les autres bactéries du sol. Par exemple, 95 % des espèces isolées dans le proche voisinage de racines de graminées sont productrices de substances agrégatives, contre 65 % dans le sol nu. L'action des microorganismes permet de transformer une partie des substances excrétées par les racines en polysaccharides hydrosolubles de poids moléculaire compris entre 25 000 et 70 000 et susceptibles de jouer un rôle important dans l'agrégation des particules du sol.

3.1.3. Destruction de la structure

La destruction de la structure du sol en relation avec l'activité microbienne peut résulter de :

- la stimulation de l'activité de la microflore (à la suite de "coupe blanche" de forêt, dénudation, ou brûlis,) sans apport compensateur de matière organique;
- la production de substances hydrofuges ou colmatantes qui entraîne un colmatage des pores, un mauvais drainage et un ralentissement des activités microbiennes.

3.2. Action sur le pH

L'activité des microorganismes a généralement pour conséquence une acidification du milieu de croissance ; dans le sol cette acidification est compensée par le pouvoir tampon du complexe absorbant. L'influence de la microflore sur le pH du sol est donc fonction de ce pouvoir tampon et des processus métaboliques acidifiants.

3.2.1. Acidification

3.2.1.1. Par production de gaz carbonique

L'oxydation aérobie des composés organiques (respiration des microorganismes) produit du CO_2 très soluble qui est en équilibre avec l'acide carbonique (acide faible). Le pH d'une solution saturée en équilibre avec l'atmosphère est de 5,5, et le pouvoir tampon, par formation de carbonates, est suffisant pour que l'acidification du sol soit limitée.

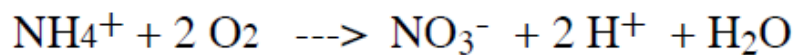
En fait, l'acidification due à la production de gaz carbonique par la microflore n'est mesurable que dans un milieu très peu tamponné.

Par exemple, dans l'eau de submersion des rizières, la respiration consomme de l'oxygène et produit du gaz carbonique à un taux pratiquement constant le jour et la nuit, mais la photosynthèse qui produit l'oxygène

et consomme le gaz carbonique ne se produit que pendant le jour. On observe alors pendant la nuit une baisse du pH liée à l'augmentation de la teneur en CO₂ et une baisse de la concentration en oxygène dissous (Fig 6.3.).

3.2.1.2. Par nitrification

La nitrification, c'est-à-dire l'oxydation de l'ammonium en nitrate, produit des ions H⁺



et l'acidification du sol sera d'autant plus importante que l'on apporte des engrais ammoniacaux et que la microflore nitrifiante est active. Par exemple, un apport de 400 ppm d'ammonium provoque après 5 mois d'incubation aérobie un abaissement du pH de 2 unités dans un sol à faible complexe absorbant.

L'activité des microorganismes nitrifiants est influencée par l'aération, elle diminue en présence d'ions Na⁺ donc dans des sols salés.

3.2.1.3. Par production d'acides organiques

Différents acides (formique, acétique, butyrique, lactique) sont produits par oxydation de la matière organique ou fermentation dans le sol. Ces acides faibles n'ont que peu d'influence sur le pH du sol, sauf dans certains sols particuliers comme les podzols. L'incorporation de grandes quantités de matière organique fraîche (engrais verts) dans certains sols agricoles peut toutefois se traduire par une baisse sensible du pH.

3.2.1.4. Par sulfo-oxydation

Dans les sols contenant beaucoup de soufre total (par exemple les sols formés à partir d'alluvions fluvio-marines dans les deltas où la teneur en soufre total peut atteindre 3,5 %) l'activité des microorganismes du cycle du soufre, et en particulier des bactéries sulfooxydantes, est très importante dans la pédogénèse (formation de sulfures à partir des sulfates du sédiment, oxydation des sulfures). Si le sol est maintenu en conditions drainantes aérobies, ce qui est parfois réalisé dans le but d'éliminer les sels avant un aménagement rizicole, l'abaissement du pH par production d'acide sulfurique peut être très important et empêcher finalement toute utilisation agronomique. On a observé dans des polders du delta de la Casamance des pH de 2,8, entraînant une destruction de la structure et la stérilisation du sol.

Dans les conditions naturelles de la mangrove (formation végétale spécialisée des vases fluviomarines), le pH peut varier d'une unité entre la saison sèche et la saison des pluies par oxydation d'une partie du stock de sulfures.

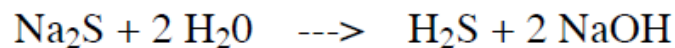
3.2.2. Alcalinisation

3.2.2.1. Par ammonification

La décomposition des composés organiques produit des ions NH_4^+ , c'est-à-dire une augmentation du pH plus ou moins importante dans le sol suivant la richesse en azote de la matière organique fraîche qui se décompose.

3.2.2.2. Par sulfato-réduction

La réduction des sulfates ou du soufre élémentaire, dans des sols riches en soufre total, peut aboutir à la formation de sulfure de sodium ou de calcium si la teneur en fer est faible. Ces sulfures hydrolysés donnent des bases :



qui se combinent avec le gaz carbonique d'origine microbienne pour former des carbonates. Cette augmentation du pH par sulfato-réduction dans des sols inondés riches en matière organique est à l'origine de la formation de sols à alcalis, où le pH peut atteindre 9,5.

3.3. Action sur le potentiel d'oxydoréduction

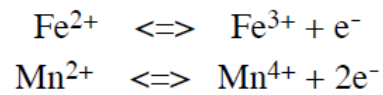
Le potentiel d'oxydo-réduction exprime le pouvoir oxydant ou réducteur du sol, il est mesuré par la différence de potentiel qui s'établit entre le sol et une électrode de référence.

Dans le sol, le potentiel d'oxydo-réduction est sous la dépendance de la teneur en oxygène de l'atmosphère et de la concentration en oxygène dissous dans l'eau.

La respiration des microorganismes aérobies a donc pour effet d'abaisser le potentiel redox, d'autant plus que le sol est engorgé. Par exemple, le potentiel d'un sol de rizière passe de + 300 mV avant la submersion à -100 mV après 15 jours d'inondation. Cet abaissement est associé avec la réduction successive d'une série de substrats incluant l' O_2 , les nitrates, le fer et le manganèse, les sulfates, pour aboutir finalement à la formation de méthane.

La réduction est plus rapide si le sol est riche en matière organique.

Le potentiel du sol est également sous l'influence de l'état d'équilibre de certains systèmes redox, en particulier des oxydes de fer et de manganèse :



Ces équilibres peuvent être modifiés par certains microorganismes, par exemple des bactéries chimiolithotrophes qui tirent leur énergie de l'oxydation de composés minéraux réduits, comme *Thiobacillus ferrooxydans*. Le développement de ces microorganismes influence alors le potentiel d'oxydo-réduction dans le sol.

Le dégagement d'oxygène dû à l'activité photosynthétique des cyanobactéries et des microalgues crée des conditions oxydantes dans les eaux de rizière pendant la journée, la concentration en O₂ pouvant atteindre une sursaturation de plus de 100% avec des valeurs supérieures à 20 ppm. La respiration nocturne en absence de photosynthèse peut abaisser la teneur en oxygène à des valeurs inférieures à 2 ppm. Ces variations se répercutent sur le potentiel d'oxydo-réduction et le pH de la couche superficielle du sol.