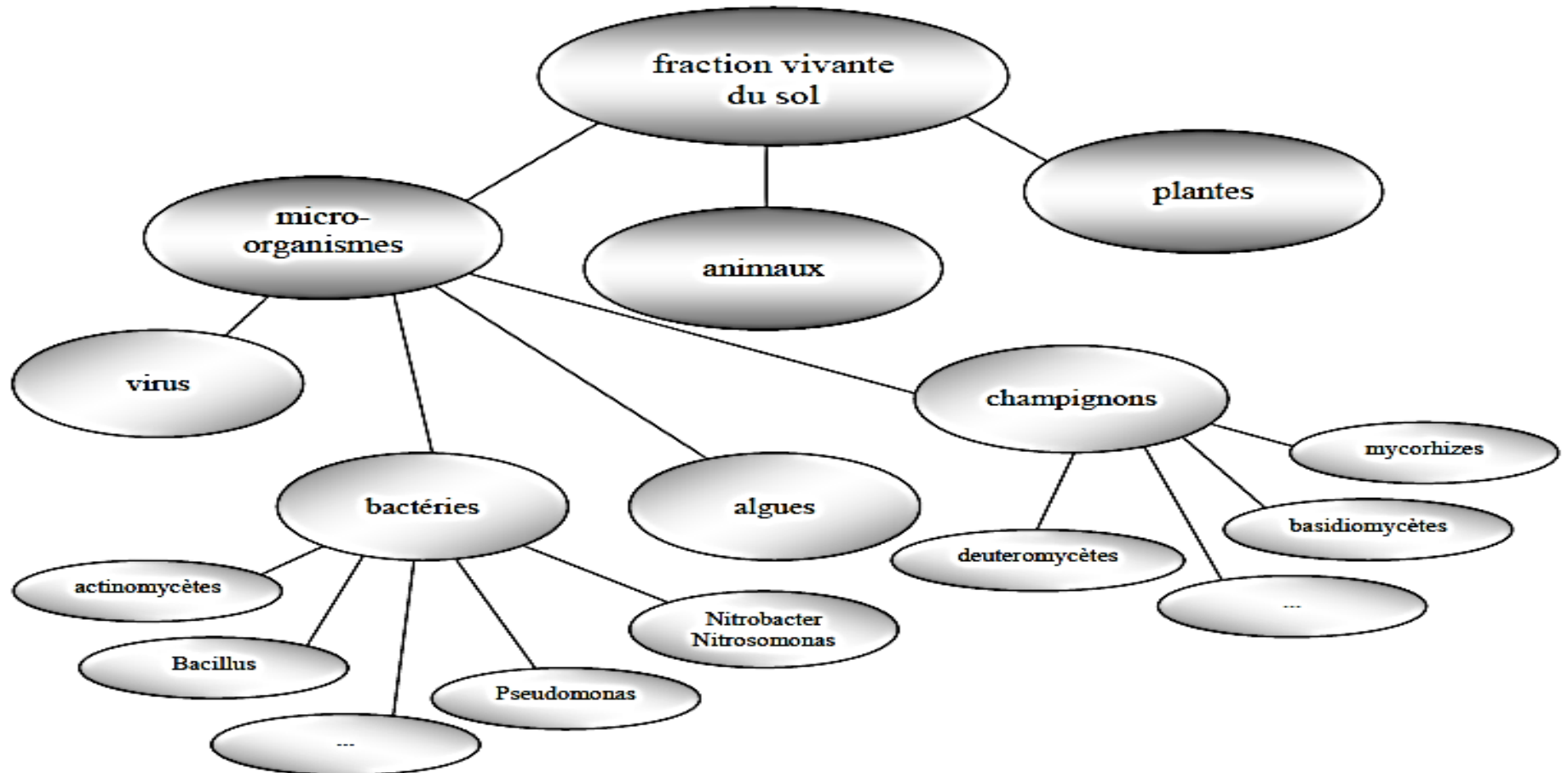


3.3. Microflore du sol



3.3.2. Principaux groupes microbiens:

La fraction vivante du sol est extrêmement variée (fig). Elle est composée aussi bien d'organismes très simples (comme les bactéries) que d'organismes évolués (comme la microfaune). Certains organismes ne vivent que partiellement dans le sol, comme les plantes dont seules les racines s'y développent. Chaque sol possède une fraction vivante différente qui évolue également avec le temps.



Les bactéries :



- Dans un sol organique, la population bactérienne diminue avec la profondeur, et elle est parfois plus grande à 160 cm qu'à la surface du sol. Dans un sol ombragé de forêt, la population la plus importante se trouve fréquemment dans le premier ou les deux premiers centimètres du sol; dans le sol des champs, au contraire, elle se situe à plusieurs centimètres sous la surface de la croûte supérieure du sol.

- La biomasse bactérienne est de l'ordre de 1000 à 2000 kg/ha dans les sols peu peuplés, et de 3000 à 7000 kg/ha dans les sols très riches. Dans la plupart des sols, la biomasse bactérienne est inférieure à la biomasse fongique, mais supérieure à la somme des biomasses des algues, protozoaires et nématodes.
- Les conditions énergétiques, physiques, chimiques et biologiques qui règnent dans le sol et qui conditionnent le comportement et les réactions de la microflore tellurique sont désignées sous le terme global d'environnement édaphique.
- Les bactéries du sol sont en majorité des chimioorganotrophes, c'est-à-dire des organismes tirant leur énergie de la dégradation de la matière organique. Le groupe des bactéries chimiolithotrophes est aussi important, parce qu'un grand nombre des processus qu'accomplissent ces bactéries sont essentiels pour la production des récoltes.



- Diverses bactéries sont capables de **fixer l'azote atmosphérique** et de le rendre ainsi disponible pour les plantes. Certaines vivent pour cela en symbiose avec des plantes: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Frankia*, etc, alors que d'autres vivent librement dans le milieu, comme *Azotobacter*, *Azospirillum* et les Cyanobactéries dans les rizières. D'autres bactéries jouent également des rôles prépondérants dans les cycles de certains éléments fertilisants, comme les **bactéries nitrifiantes** *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* ou les **bactéries acidifiantes du cycle du soufre** *Thiobacillus*.
- Certaines bactéries sont **pathogènes** et peuvent causer de gros dégâts aux cultures: *Erwinia carotovora* sur carottes, *Xanthomonas fragariae* sur fraisiers, *Pseudomonas syringae* sur cucurbitacées, etc. D'autres bactéries protègent par contre les plantes contre des agents pathogènes.

Parmi les facteurs qui influencent la nature et les activités biochimiques de la flore bactérienne du sol, on signalera en particulier l'humidité, l'aération, la température, le pH, la matière organique et les éléments inorganiques.



Humidité

L'eau est, certes, un des facteurs écologiques les plus puissants. Elle constitue la majeure partie du protoplasme des cellules.

Un excès d'eau est néfaste à la prolifération bactérienne car il empêche les échanges gazeux et diminue la quantité d'oxygène moléculaire disponible pour les bactéries, ce qui entraîne des conditions d'anaérobiose

On trouve une densité bactérienne maximale dans des sols à teneur élevée en humidité. Le niveau optimal d'activité pour les bactéries aérobies se situe souvent dans les sols dont l'humidité est d'environ 50-70% de la capacité de rétention du sol.

Aération

Dans les sols bien aérés, les bactéries et champignons dominent, tandis que dans les sols contenant peu ou pas d'oxygène moléculaire, les bactéries sont seules responsables de la quasi-totalité des changements chimiques et biologiques qui se produisent.



Température

Chaque espèce bactérienne possède une température optimale de croissance et une plage de température en dehors de laquelle cesse toute activité a fin pratique.

Le pourcentage des micro-organismes tués par le gel dépasse rarement 50%; il reste en général compris entre 10 et 20 % ,alors que la dessiccation détruit au moins 80 a 90 % des micro-organismes telluriques.

On peut citer un exemple particulièrement net de la perturbation de l'équilibre biologique par la température dans le fait qu'aux températures élevées (25 à 30°C), les processus de minéralisation de l'azote organique l'emportent sur les processus d'immobilisation (synthèse) , alors qu'aux basses températures (inferieures à 10-15°C), c'est l'inverse.



Survie

Plusieurs auteurs ont signalé des temps de survie prolongés des coliformes dans divers sols, ces temps pouvant aller de 3 mois à 7 ans. D'autres chercheurs observent des périodes de longévité allant jusqu'à 80 jours pour des bactéries provenant d'une culture virulente de *Salmonella*.

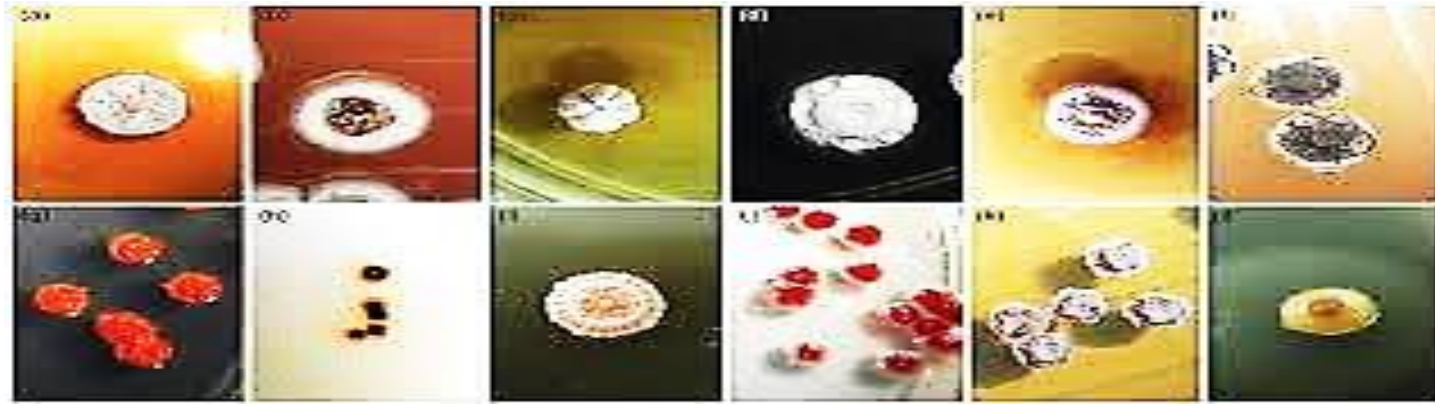
Les recherches indiquent que les coliformes fécaux persistaient dans le sol pendant de longues périodes et que les streptocoques fécaux disparaissaient plus rapidement, et les *Salmonella typhosa* plus rapidement encore que ces derniers.

Sur le même sujet d'importants travaux de recherche furent effectués remarquant qu'au cours de l'été les coliformes fécaux survivaient un peu plus longtemps que les streptocoques fécaux (3,3 jours étant nécessaires pour réduire de 90 % les premiers, contre 2,7 jours pour les seconds), et qu'au cours de l'automne le temps de survie était le même (de l'ordre de 13 jours), tandis qu'en hiver les streptocoques fécaux survivaient plus longtemps (environ 20 jours) que les coliformes fécaux.

Les actinomycètes:

Les actinomycètes sont des micro-organismes unicellulaires et filamenteux que l'on situe entre les bactéries et les champignons dont ils sont voisins.

- Les actinomycètes sont présents un peu partout dans la nature, venant après les bactéries dans l'ordre d'abondance des micro-organismes. Ils représentent la principale portion de la population microbienne normale des sols et des boues des lacs et des rivières. Dans les endroits alcalins et secs, leur population peut être spectaculaire. Les recherches signalent par exemple que les actinomycètes représentent 95 % des organismes dans certaines localités en raison probablement de l'alcalinité du sol.
- Les actinomycètes sont plus encouragés par les milieux secs qu'humides. Leur nombre est plus élevé dans les champs et pâturages que dans les sols cultivés. Ils sont défavorisés par un milieu à pH acide. Les sols des régions de climat chaud sont plus favorables à la croissance et à la reproduction des actinomycètes que ceux des régions de climat plus froid.





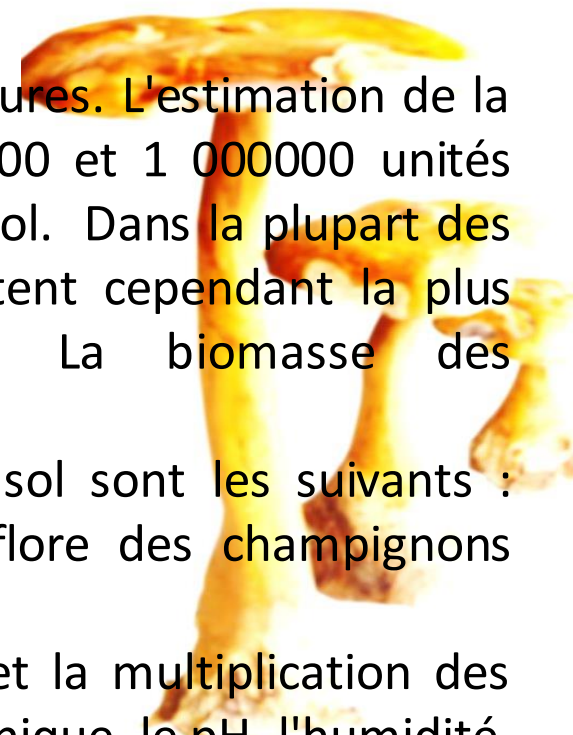
- La plupart des actinomycètes du sol sont aérobies. Ils peuvent utiliser le carbone à partir de molécules simples ou complexes telles que: acides organiques, sucres, polysaccharides, lipides, protides et hydrocarbures aliphatiques. Plusieurs espèces décomposent la cellulose, plusieurs autres dégradent l'amidon, l'inuline, la chitine et la lignine. L' NH_4^+ , les NO_3^- , les acides aminés, les peptones et un certain nombre de protéines sont utilisés comme source d'azote.
- Les actinomycètes sont habituellement représentés par les formes saprophytes qui sont essentielles dans le processus de dégradation de résidus organiques complexes. Possédant la capacité de produire des substances odoriférantes en quantité décelable par l'organisme humain, le plus souvent d'odeur terreuse, ils en imprègnent fréquemment l'eau. Le charbon actif, à une concentration d'environ 10 mg/l, est très efficace pour réduire ces odeurs terreuses. De nombreux actinomycètes produisent des antibiotiques.

Les champignons:



Les champignons comprennent les levures et les moisissures. L'estimation de la densité des champignons dans le sol varie entre 10 000 et 1 000 000 unités (spores, hyphes ou fragment d'hyphes) par gramme de sol. Dans la plupart des sols cultivés et bien aérés, les champignons représentent cependant la plus grande partie du protoplasme microbien total. La biomasse des microchampignons est comprise entre 100 et 1000 kg/ha.

- Les genres le plus fréquemment observés dans le sol sont les suivants : *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Aspergillus*. La microflore des champignons apparait comme étant beaucoup plus variée.
- Les facteurs externes qui influencent la croissance et la multiplication des champignons dans le sol sont l'état de la matière organique, le pH, l'humidité, la température, les saisons, l'aération, les fertilisants organiques et inorganiques, etc.
- Les champignons sont hétérotrophes, ce qui signifie que ni la lumière solaire ni l'oxydation des substances inorganiques ne peuvent leur fournir l'énergie nécessaire à leur croissance. Ils ont donc besoin de substrats organiques oxydables.



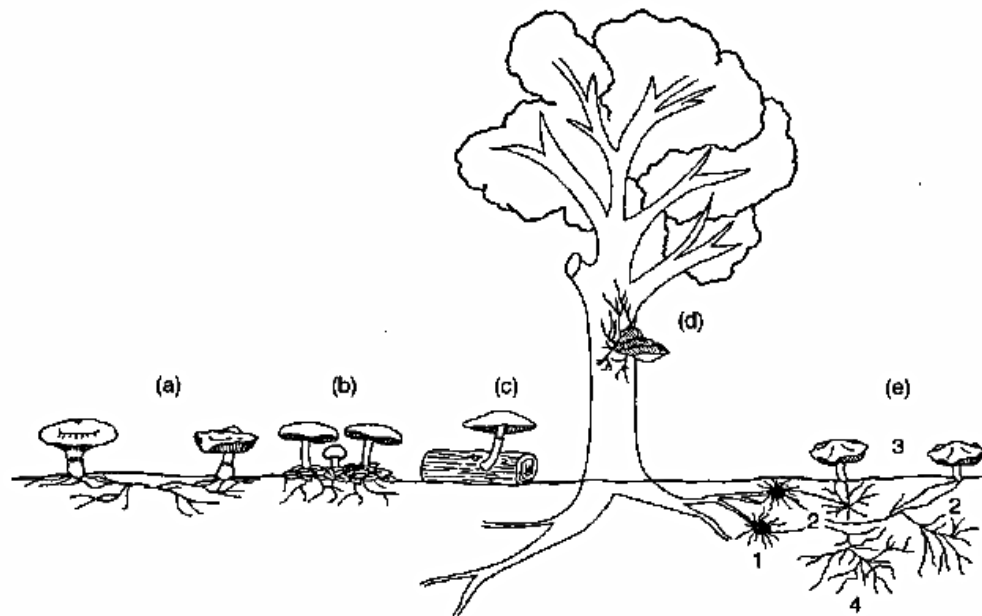


- Les phycomycètes décomposent rarement la cellulose et la lignine; alors que certains basidiomycètes décomposent cette dernière.
- Certains phycomycètes et deutéromycètes attaquent les amibes (protozoaires) et les nématodes (vers), ce qui contribue à limiter l'activité de ces organismes dans le sol.
- Il existe des espèces qui peuvent dégrader la cellulose, l'hémicellulose, l'amidon et la lignine. Les champignons filamenteux peuvent transformer une grande variété de composés organiques et inorganiques.
- Les champignons, à l'exception de quelques espèces, concourent à la dégradation de la matière végétale et animale et participent à la formation de l'humus à partir de résidus organiques bruts.

Fonctions principales des champignons dans le sol :

- (a) champignon humicole (ex. formation de ronds de sorcières)
- (b) champignons saprophytes de la litière
- (c) champignons saprophytes lignicoles (destruction du bois mort)
- (d) champignon parasite
- (e) champignon mycorhizien : 1. mycorhyze (échanges avec le végétal) ; 2. cordons d'hyphes translocatrices ; 3. fructifications (carpophores) ; 4 : mycélium diffus (absorption des ions et de l'eau dans le sol)

d'après Gobat et al., 1998



Les algues:



Les algues ne sont jamais aussi nombreuses dans le sol que les bactéries, les actinomycètes ou les champignons.

Elles sont présentes en grand nombre là où la lumière accède et/ ou l'humidité est adéquate. Les techniques de dénombrement ont permis de déceler de 100 à 10 000 cellules d'algues vivantes par gramme de sol à partir d'échantillons prélevés immédiatement sous la surface d'un sol composé de terre arable. Exceptionnellement, on a pu trouver dans certains sols jusqu'à 50 000 de ces cellules par gramme de sol.

- C'est en raison du besoin de lumière solaire que l'on trouve les algues surtout dans les 5 à 10 premiers centimètres du sol; en dessous, la population d'algues diminue rapidement avec la profondeur.
- Les principaux facteurs qui influencent la flore des algues sont l'humidité et le pH.
- Les *Chlorophyceae* (algues vertes) et les *Cyanophyceae* (algues bleues) sont moins sensibles à la sécheresse que les diatomées. Les fleurs d'eau se produisent surtout en saison fraîche, humide, durant laquelle l'intensité lumineuse n'est pas nécessairement à son maximum.





- Chaque espèce d'algues possède un pH optimal de croissance. Les *Cyanophyceae* (algues bleues) se trouvent dans les sols neutres ou alcalins; on ne les trouve pas dans les sols dont le pH est inférieur à 5, et quelques-unes seulement sont présentes dans les sols dont le pH se situe entre 5 et 6. Les diatomées fréquentent peu les sols acides, mais elles sont nombreuses dans les sols calcaires. Les *Chlorophyceae* (algues vertes) sont moins limitées par le pH, et elles dominent dans la flore d'algues des lieux acides, du fait de l'absence d'autres formes.

Tableau I : Groupes communs de micro-organismes présents dans le sol (Seagren et Aydilek, 2010)

Soil Type Based on Particle Size ^a (μm)	Microbial Group	Example Organism	Size (μm)	Number per Gram of Soil	Biomass (kg wet mass/ha of soil)
Clay <2.0	Viruses	Tobacco mosaic	0.02 × 0.3	10 ¹⁰ –10 ¹¹	
	Bacteria	<i>Pseudomonas</i>	0.5 × 1.5	10 ¹⁰ –10 ¹¹	300–3000
Silt 2.0–75	Actinomycetes	<i>Streptomyces</i>	0.5–2.0 ^b	10 ⁸ –10 ⁹	300–3000
	Fungi	<i>Mucor</i>	8.0 ^b	10 ⁷ –10 ⁸	500–5000
	Algae	<i>Chlorella</i>	5 × 13	10 ⁵ –10 ⁶	10–1500
Sand 75–2000	Protozoans	<i>Euglena</i>	15 × 50	10 ³ –10 ⁶	5–200
	Nematodes	<i>Pratylenchus</i>	1000 ^c	10 ³ –10 ⁵	1–100
Gravel 2000–150,000	Earthworms	<i>Lumbricus</i>	100,000 ^c	10 ¹ –10 ²	10–1000



Remarque: En revanche du milieu aquatique où les producteurs dans cet écosystème sont représentés principalement par les microorganismes autotrophes photosynthétiques, les producteurs principaux dans le milieu tellurique sont les plantes. Dans ce milieu les microorganismes autotrophes sont présents mais la plupart de la microflore tellurique joue le rôle des consommateurs primaires (bactéries et champignons) responsables de la dégradation de la matière organique et le recyclage de cette dernière dans l'écosystème.