

Table des matières

Objectifs	3
I - Généralité sur les sols	4
1. Granulométrie	5
1.1. Classement des particules	5
1.2. Classification des textures	5
2. Constituants du sol	6
2.1. Phase gazeuse (Constituants gazeux, air du sol)	6
2.2. Phase liquide (constituants liquides, solution du sol)	7
2.3. Phase solide (constituants minéraux et organiques)	7
3. Rôle de la matière organique du sol	10
3.1. Complexe argilo-humique	10
3.2. La capacité d'échange en cations	10
4. Importance et fonction	11
4.1. Les fonctions des matières organiques du sol	11
4.2. Importance	11
5. Effritement et érosion	13
5.1. Effritement	13
5.2. Erosion	13
II - Exercice	14
III - Exercice	15
IV - Exercice	16
V - Exercice	17
VI - Exercice	18
Glossaire	19
Abréviations	20
Bibliographie	21

Objectifs

A la fin de ce chapitre, les étudiants seront capable de :

- Définir les concepts clés liés aux différents types des sols,
- Identifier les différentes tailles des particules en utilisant les techniques de granulométrie,
- Classer les particules du sol suivant leurs textures et en fonction de leurs tailles et de leurs formes,
- Analyser les différents constituants du sols dans les différentes phases (gazeuse, liquide et solide) afin de comprendre leurs compositions et leurs interactions,
- Comparer les constituants minéraux et organiques afin d'évaluer leurs importances respectives,
- Évaluer l'importance de la matière organique dans le maintien de la qualité du sol et la régulation des processus biogéochimiques,
- Discuter des processus d'effritement et d'érosion des sols en identifiant leurs causes et conséquences sur l'environnement.

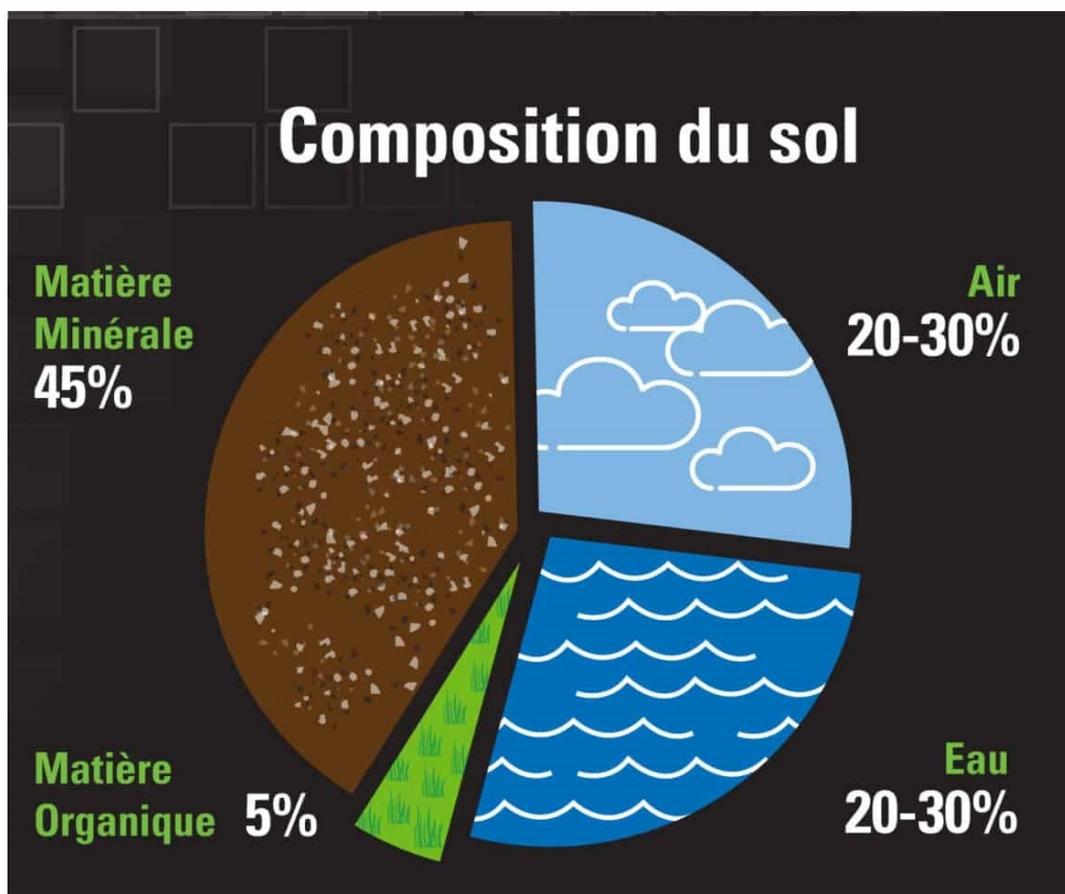
I Généralité sur les sols

Le **sol** peut être défini comme étant **la couche supérieure de la *croûte terrestre*** composée de particules minérales, de matières organiques, d'eau, d'air et d'organismes[1]*.

Le **sol** est un écosystème à part entière réunissant une quantité et une variété immense d'organismes vivants qui remplissent des fonctions écologiques essentielles. Celui-ci est caractérisé par différents facteurs microbiologiques, physiques, chimiques et mécaniques, il est donc le support d'une activité biologique intense.

Il en résulte que le **sol** est une ressource essentielle pour les sociétés humaines et les écosystèmes : une ressource économique pour la production alimentaire en étant à la base de 90% de l'alimentation humaine et animale, et comme un support de toute activité humaine [2]*.

En raison de sa position d'interface dans l'environnement, il joue un rôle déterminant dans le devenir des polluants notamment en ce qui concerne la qualité des eaux.



1. Granulométrie

Les sol sont composés d'un ensemble de particules solides, de tailles, de formes et de natures diverses, formant ce que l'on appelle la matrice. La répartition en taille de ces particules permet de déterminer la texture (ou granulométrie) du *sol*.

La granulométrie ou la texture d'un sol correspond à la distribution de la taille des particules. En effet, c'est les différentes tailles des particules d'un sol qui déterminent sa texture.

Elle correspond à la **répartition des minéraux par catégorie de grosseur**, indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux. La granulométrie fournit un renseignement précieux sur lapédogenèse* .

1.1. Classement des particules

Matériau (texture)	Diamètre minimal	Diamètre maximal
Cailloux, galets	20 mm	200 mm
Graviers, gravillons	2 mm	20 mm
Sable grossier	0,5 mm	2 mm
Sable moyen	250 µm	500 µm
Sable fin	100 µm	250 µm
Sable très fin	50 µm	100 µm
Limons (moyen, grossier)	20 µm	50 µm
Limon fin (silt)	2 µm	20µm
Argile	0	2 µm

Tableau 1. Classification texturale USDA par classes de taille de grains

1.2. Classification des textures

Le sol est aussi classé en fonction de la proportion des grains. En effet, la texture ainsi que la porosité (le volume de vides laissés par les particules), agissent sur les propriétés physiques du sol (structure, aération, rétention de l'eau).

1.2.1. Sol sableux

Les sols sableux sont des sols **bien aérés et facile à travailler**. Ils sont « perméables » et « filtrants ». En effet la grosseur des particules de sable et les grands espaces qui les séparent favorisent la pénétration de l'eau et de l'air mais retiennent peu l'eau. Il est donc pauvre en réserve d'eau et en éléments nutritifs. Il a aussi une faible capacité d'échange anionique et cationique.

1.2.2. Sol limoneux

Les sols limoneux sont « *battants* » et « *asphyxiants* » : leurs particules fines laissent peu d'espace, ce qui conduit le sol à se tasser* sous l'effet de la pluie et à retenir l'eau qui ne s'infiltré pas en profondeur provoquant la suffocation des racines. L'excès de limon et l'insuffisance d'argile peuvent provoquer la formation d'une substance massive accompagnées de mauvaises propriétés physiques.

1.2.3. Sol argileux

Les sols argileux sont ***chimiquement riches mais à mauvaises propriétés physiques***. Ce sont des sols imperméables et mal aérés: leurs fines particules agissent comme une colle qui empêche l'infiltration de l'eau formant ainsi un obstacle à la pénétration des racines.

1.2.4. Sol équilibré

Une texture équilibrée ou franche ***correspond à l'optimum***, dans la mesure où elle présente la plupart des qualités des trois types précédents, sans en avoir les défauts.

Exemple de granulométrie favorable à la culture :

20 à 25% d'argiles, 30 à 35% de limons, 40 à 45% de sables.

Exemple

Exemple de granulométrie favorable à la culture :

20 25% d'argiles, 30 à 35% de limons, 40 à 45% de sables.

2. Constituants du sol

Le sol est un ***milieu poreux*** où se déroulent de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques. C'est ***un système ouvert tri-phasique*** rempli partiellement d'eau (phase liquide) et d'air, ou de vapeur d'eau (phase gazeuse).

2.1. Phase gazeuse (Constituants gazeux, air du sol)

L'air du sol, ou la phase gazeuse du sol ***contient en général les mêmes éléments que l'air atmosphérique*** (O₂, N₂, CO₂) mais sa composition ainsi que la teneur de chaque composant peuvent être très différentes en raison, en particulier, de l'activité biologique.

A la surface, l'oxygène et le dioxyde de carbone jouent un rôle important.

- Le dioxyde de carbone influe significativement sur l'acidité du sol ainsi que sur la chimie des carbonates.
- L'oxygène assure les conditions aérobies qui agissent sur la mobilité des polluants dans le sol.

Dans les profondeurs les plus importantes où le taux d'oxygène est très faible (conditions anaérobiques), Les micro-organismes produisent du gaz comme NO, NO₂, NH₃, CH₄ et H₂S. Ces gaz existent dans les sols, soit à **l'état libre**, soit **dissous** dans la solution des sols.

La teneur en oxygène de la phase gazeuse du sol joue un rôle déterminant dans de nombreux processus biologiques. L'oxygène a une influence directe sur la croissance racinaire et elle permet des biotransformations en milieu aérobie qui conduisent à la production de substances nutritives comme le nitrate et l'ortho phosphate [3] *.

2.2. Phase liquide (constituants liquides, solution du sol)

La phase liquide du sol est principalement constituée par l'eau, dans laquelle sont présents les ions minéraux et des molécules organiques, et qui varie dans sa composition et sa mobilité. Sa composition dépend essentiellement du milieu géologique avec lequel elle est en contact, mais également de la composition de l'eau de pluie et de l'eau de surface.

L'eau s'enrichit de plusieurs cations comme Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ et anions HCO₃⁻, NO₃⁻. Si elle est en contact avec la pyrite (FeS₂), elle pourra s'oxyder chimiquement ou biochimiquement en formant des concentrations en solution importantes en fer et en sulfate.

2.3. Phase solide (constituants minéraux et organiques)

La phase solide représente entre un demi et deux tiers du volume du sol. En général, 90% du solide est formé par des composants inorganiques à l'exception des sols qui contiennent plus de 50% de matière organique.

2.3.1. Les constituants minéraux

Ils proviennent de la **désagrégation physique** et de **l'altération chimique de la roche-mère** et sont principalement constitués de :

- Terre fine du sol : Sable, limon, argile.
- Éléments grossiers : gravier, cailloux, pierre.

a) Minéraux sableux

Les minéraux de silice sont les composés inorganiques les plus abondants dans les milieux naturels. Ils sont basés sur l'anion silicate qui a une structure tétraédrique. Les principaux représentants de ces minéraux sont le **quartz** et le **feldspath**. Ils font partie de la fraction la plus grossière où la taille des particules varie de 50µm à 2mm.

b) Les minéraux argileux

Les minéraux argileux résultent de l'altération et de la dégradation des roches.

L'altération peut être **physique** sous l'effet de variation de température ou encore **chimique**, au contact de l'eau.

L'altération **chimique** conduit à une dégradation en particules de moins de 2µm de diamètre.

Les minéraux argileux se caractérisent par leurs formes leurs surfaces spécifiques, leurs capacités d'adsorption et de gonflement et la multiple possibilité d'échange ioniques.

i La kaolinite

Présente peu de site d'échange et se situe dans la zone de rupture latérale des feuillets. Sa capacité d'échange cationique est assez faible (5-10meq/100g)

ii Les illites

Ont une capacité d'échange réduite par la présence des ions K⁺ fixés sur la face interne des feuillets (20-50meq /100g). De ce fait, seules les faces externes sont disponibles pour les échanges.

iii Les vermiculites

La charge des feuillets est voisine de celle des illites, mais en plus, les cations peuvent s'échanger facilement.

iv Les smectites

Groupes de minéraux argileux en feuillets à trois couches de 10 Å à teneurs variables en Na, Al, Fe, Mg **dotés de propriétés adsorbantes et gonflantes**.

v La montmorionite

C'est un minéral composé de silicate d'aluminium et de magnésium hydraté et appartenant au groupe de la smectite, de la famille des phyllosilicates.

c) Oxydes et oxyhydroxydes

Les oxydes et les hydroxydes de fer (goethite : FeOOH) et de manganèse sont les oxydes et les hydroxydes les plus couramment rencontrés dans les sols. Selon Soulier (1995), « *ce sont des minéraux de petite taille, finement dispersés, qui ont tendance à recouvrir d'autres particules de plus grande taille, comme le quartz* ».

i Les carbonates

Les minéraux carbonatés présents dans les sols sont la calcite (CaCO₃), la magnésite (MgCO₃), la dolomite (CaCO₃.MgCO₃), le carbonate de sodium (Na₂CO₃.10H₂O) et la sidérite (FeCO₃).

- La calcite et la dolomite apparaissent comme des minéraux primaires ainsi que des minéraux secondaires.
- La calcite primaire est le produit de la désagrégation des silicates contenant du calcium, comme les pyroxènes ou amphiboles.
- La calcite, minérale secondaire, est le résultat de la précipitation de la solution du sol souvent enrichie en magnésium : on parle de magnésium calcite (Ca_{1-x}Mg_xCO₃).

2.3.2. Matière organique fraîche

La matière organique (MOF^{*}) du sol est composé d'organismes vivants, de résidus de végétaux et d'animaux, de tannins, de produits de décomposition, et de substances humiques [4]^{*}.

Elle ne représente en général que quelques pourcents (4 à 5%) de la masse du sol.

Sous l'action de l'érosion, des micro-organismes, de l'oxydation naturelle et des processus physico-chimiques, la matière organique se transforme en matière minérale.

Les tannins sont des substances naturelles phénoliques qui peuvent précipiter les protéines à partir de leurs solutions aqueuses.

l'humus est une terre brune noirâtre provenant de la décomposition des débris végétaux et/ou animaux dans le sol et qui contribue à sa fertilité.

a) Organismes vivants

Bien que très petits, les micro-organismes vivants **ont une importance dans le sol** qui est de loin supérieure à leur taille. Ils décomposent les résidus animaux, synthétisent l'humus et les aliments de cycles tels que le carbone et l'azote. Les sous-produits chimiques des réactions microbiennes lient ensemble les particules du sol sous forme d'agrégats stables résistant à l'érosion.

L'activité biologique des organismes vivants du sol contribue à construire et à maintenir la structure du sol et à le garder meuble. Les fourmis, les insectes et les vers de terre par exemple, creusent des tunnels (macropores) qui permettent à l'eau de pénétrer dans le sol et d'y circuler rapidement

b) La lignine

Les matières végétales constituent la principale source de carbone du sol. Certains composés tels que la cellulose ou les hémicelluloses sont facilement décomposables et disparaissent rapidement contrairement aux lignines très résistantes aux attaques fongiques et bactériennes. Très répandue dans certains tissus végétaux, la lignine représente une fraction souvent importante de la masse végétale (18 à 35 % dans les bois, 20 à 30 % dans les pailles)

c) Les substances humiques

L'humus est le **composé final de la dégradation de la matière organique**. C'est **un composé organique stable à noyaux aromatiques** et, comme la lignine, **riche en radicaux libres**. Il est la source naturelle d'azote la plus importante, et régularise l'agencement du sol en eau, en air et en chaleur [5]^{*}.

d) Les sulfures

Le soufre existe dans le sol sous forme organique (à plus de 95% dans les sols des régions humides et semi-humides) et inorganique.

La proportion entre le soufre organique et inorganique varie largement avec le type de sol et la profondeur.

La teneur en soufre total dans le sol varie de 0.5‰ dans les sols sableux à 3‰ dans les sols riches en matière organique. Dans les sols cultivés, la teneur oscille entre 0,5% et 0.1‰.

Le soufre peut provenir :

- De l'altération de la roche mère ;

- Des engrais chimiques sulfatés : sulfate d'ammoniaque superphosphate ;
- Des engrais organiques ;
- Des retombées atmosphériques (la majeure partie du SO₂ présent dans l'atmosphère résulte de la combustion du charbon, ou le SO₂ se transforme en acide sulfurique rapidement, ce qui explique les pluies acides : ex: Ghazaouet) ;
- Des restitutions des cultures ;
- Des produits parasites...

3. Rôle de la matière organique du sol

3.1. Complexe argilo-humique

L'humus et l'argile sont associés en un complexe : le Complexe Argilo-Humique.

- L'humus protège l'argile en retenant l'eau, il évite sa dispersion. L'argile protège l'humus de l'action des micro-organismes en ralentissant sa minéralisation.
- Le tout forme un colloïde qui permet de stabiliser un sol.
- L'argile et l'humus sont reliés entre eux par des cations comme le Ca²⁺ et le Fe²⁺ ou Fe³⁺.
- Tous les cations n'ont pas le même pouvoir flocculant : Ca²⁺ > H⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > Na⁺
- Le complexe argilo humique chargé négativement sur sa surface peut fixer les cations du sol.
- L'absorption est la rétention de composants à la surface d'autres composés sans liaison.

3.2. La capacité d'échange en cations

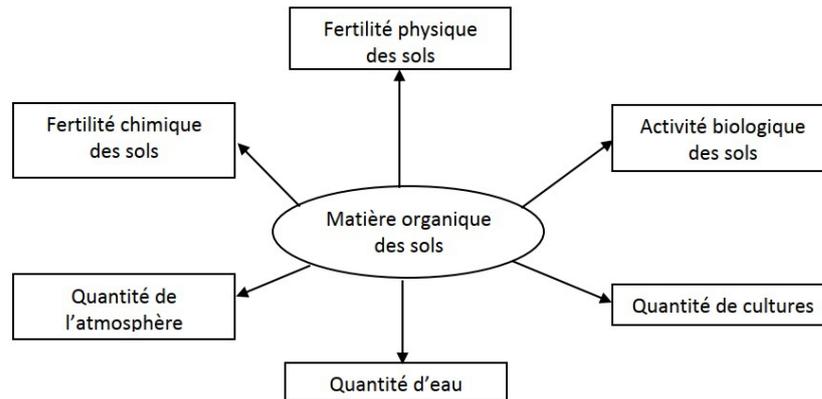
La capacité d'échange en cations (CEC^{*}) est la quantité maximale de cations qu'une masse déterminée de sol peut retenir.

- Elle joue un rôle fondamental pour l'alimentation en éléments minéraux de la plante.
- La CEC^{*} dépend essentiellement du complexe argilo-humique.
- La CEC^{*} sera élevée pour des sols argileux et/ou humifères, très basse pour des sols sableux.
- L'apport de matière organique dans un sol sableux a pour but d'augmenter cette CEC.^{*}
- L'apport de matière organique dans un sol argileux vise à stabiliser les argiles limiter le lessivage et augmenter la CEC.^{*}

4. Importance et fonction

4.1. Les fonctions des matières organiques du sol

Dans le sol, les matières organiques assument de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales synthétisées sur la figure suivante



- Elles assurent le **stockage** et **mise à disposition pour la plante**, par minéralisation, des éléments nutritifs dont elle a besoin.
- Elles **stimulent l'activité biologique**, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol.
- Elles **ont un rôle central dans la structuration du sol** et **participent à sa stabilité** vis-à-vis des agressions extérieurs (pluies, tassement...).
- Elles **favorisent le réchauffement du sol** (coloration plus sombre des matières organiques).
- Elles **contribuent à la perméabilité, l'aération** du sol et **la capacité de rétention en eau**.
- Elles **jouent un rôle fondamental pour les autres compartiments de l'environnement** en participant au maintien de la qualité de l'eau par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures...) et minéraux (éléments trace métalliques).
- Elles **peuvent être aussi source de polluants potentiels**, comme les nitrates et les phosphates.
- Elles **influencent également la qualité de l'air** par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre. Elles ont un rôle de puits ou d'émetteur de carbone (principalement sous forme de CO₂).

4.2. Importance

- Régularisation de l'écoulement de l'infiltration des eaux issues des précipitations.
- La fonction du sol en tant que filtre devient importante il enlève de l'eau des composés dissous et les lie à ses composants solides ; des substances organiques et également des polluants peuvent être retenus et décomposés biologiquement.

- Le sol n'exerce pas seulement une influence sur l'alimentation en eau de la nappe phréatique mais aussi sur l'évaporation de l'eau dans l'atmosphère à partir du sol.
- Le sol est une base nutritive pour les micro-organismes et les petits animaux qui décomposent les matériaux organiques.
- Il est un lieu de gisement des substances primaires et un lieu de culture pour les produits alimentaires.
- Le sol influence le paysage et la nature comme lieu de repos et d'habitation.
- Le sol exerce également une fonction vis-à-vis des polluants issus de l'agriculture, de l'habitat, de la circulation ou de l'industrie en tant que réservoir tampon et transformateur

5. Effritement et érosion

5.1. Effritement

Destruction des roches et des minéraux proches de la surface de la terre sous l'influence de phénomènes physiques (mécaniques), chimiques ou biologique.

5.1.1. Effritement physique

Le matériau inorganique se détruit sous l'influence des grands écarts de températures. L'eau qui gèle à l'intérieure des fissures des roches et des sels qui cristallisent peuvent à cause de l'augmentation de leur volume, conduire à une destruction par explosion de glace et de sel respectivement.

5.1.2. Effritement chimique

Il est basé sur la capacité de l'eau à dissoudre d'autres substances.

5.1.3. Effritement biologique

Il est causé par les micro-organismes, les plantes et les animaux.

5.1.4. Compléments

Attention

Le type et l'intensité de l'effritement dépendent fortement du climat.

Exemple

Sous l'influence d'un climat aride et froid, effritement physique.

Sous l'influence d'un climat humide et chaud, effritement chimique.

Remarque

L'effritement est une condition nécessaire pour que des sédiments soient enlevés puis de nouveau formés.

La sédimentation est nécessaire pour la constitution du sol.

5.2. Erosion

La conséquence est la disparition du sol sous l'effet de l'écoulement de l'eau et du vent. Ce sont surtout les composés légers du sol qui sont enlevés de manière irréversible.

II Exercice

Le diamètre des argiles se situe entre

- 20nm et 200nm
- 0 μ m et 2 μ m
- 20 μ m et 50 μ m

III Exercice

Donner la définition du sol.

IV Exercice

D'où proviennent les constituants minéraux des sols ?

V Exercice

Qu'est ce que la granulométrie ?

VI Exercice

Donner les différentes textures d'un sol.

Glossaire

Asphyxiants

Si l'eau est présente dans tous les espaces, le sol est dit "asphyxiant" ou "gorgé"

Battants

La battance est croûte superficielle compacte formée par l'action des gouttes de pluie et le fractionnement des agrégats à la surface du sol

Croûte terrestre

La partie superficielle et solide du matériau dont est faite la terre. C'est la partie supérieure de la lithosphère.

La pédogénèse

Ensemble des phénomènes et des processus qui a pour résultat la formation des sols à partir du matériau initial et de la présence des matières organiques ainsi que leur développement y compris la différenciation des horizons.

Tasser

Le tassement du sol est la perte de porosité qui conduit à une diminution de la circulation de l'air et de l'eau dans le sol

Abréviations

CEC : Capacité d'Echange Cationique

MOF : Matière Organique Fraiche

Bibliographie

NF ISO 15799 (X31-603), "Qualité du sols–Lignes directrices relatives à la caractérisation éco toxicologique des sols et des matériaux du sol" ; 2004.

L. Douafer, "Evaluation de la pollution des sols de quelques biotopes de l'Est algérien par l'utilisation d'un bioindicateur, *Helix aspersa* (Mollusca, Gasteropoda): inventaire, activité enzymatique et composition physico-chimique du sol", Mémoire de magister, université de Annaba-Algérie ; 2010.

R. Calvet, "Le sol: Propriétés et fonctions". Editions France Agricole, p 511 ; 2003.

O. Atteia, "Chimie et pollutions des eaux souterraines", Editions TEC & doc, Lavoisier, Chapitre 2 (p 18-19) ; 2005.

C. Bliefert, R. Perraud, "Chimie de l'environnement Air-Eau-Sols, déchets" Edition Paris Bruxelles : De Boeck université. Chapitre 21 (p 343-350) et chapitre 22 (p 359-360) ; 2001.

A.Laafar, "Etude de la dépollution des sols par extraction multiphasique (MPE) sur Pilote 2D", Thèse de doctorat de l'université de Lion-France, 2022.