

TP : organisation fonctionnelle des sols, biodiversité et enjeux de leur gestion

Objectifs méthodologiques :

- Savoir décrire le profil d'un sol et des ses horizons
- Quantifier la part relative des composantes minérale et organique du sol
- Déterminer la granulométrie d'un sol et le replacer dans un triangle des textures
- Mesurer le pH d'un sol et mettre en évidence la capacité d'échange cationique (CEC) avec un chromophore chargé (bleu de méthylène et éosine).
- Identifier à partir d'une clef de détermination les protégonistes de la biocénose du sol (micro, méso et macrofaune).
- Construire un réseau trophique à partir d'observations et d'autres données et une pyramide des biomasses
- Caractériser les usages des sols et quantifier leur artificialisation autour d'une région urbaine

Objectifs cognitifs :

- Connaître les différents horizons d'un sol brun et les relier aux processus les ayant mis en place
- Discuter des rôles des argiles, limons et sable : rétention de cations, rétention de l'eau, aération du sol.
- Comprendre le rôle d'absorbant ionique du complexe argilo-humique
- Faire le lien entre la biodiversité présente dans le sol et le processus de minéralisation de la matière organique
- Comparer les flux de matière d'un sol prairial et d'un sol forestier et faire le lien avec les caractéristiques physico-chimiques de ses sols

Exemples de sujets proposés à l'épreuve de travaux pratiques sur cette partie du programme :

- Analyser la photo d'un sol qui se brunifie et expliquer le phénomène
- Identifier les horizons sur une photo d'un sol.
- Réaliser 4 expériences pour tester la teneur en argile d'un sol (elles étaient données) et proposer un protocole pour quantifier les différentes proportions des composants du sol
- identifier les 3 organismes du sol à disposition et proposer une chaîne trophique d'après les informations fournies et construire une pyramide de biomasse

Le sol désigne la couche la plus externe de la croûte terrestre. Il est le produit de l'altération et du remaniement des couches superficielles rocheuses par l'action des êtres vivants, de l'atmosphère, du climat.

Il correspond à un **écosystème très complexe** soumis en permanence à des **échanges de matières et d'énergie avec l'environnement voisin**. Il constitue l'**interface entre lithosphère, biosphère, atmosphère et hydrosphère**. Le sol se forme progressivement à la surface d'une roche, appelée **roche-mère**, et évolue jusqu'à un état d'équilibre fragile : c'est la **pédogenèse**.

Cependant, si le sol est reconnaissable et caractérisé par ses horizons et sa texture en première approche, **l'évolution et le fonctionnement d'un sol dépend en grande partie de la biodiversité**. Il correspond à un **écosystème très complexe soumis en permanence à des échanges de matières et d'énergie avec l'environnement voisin**.

Les activités humaines modifient les sols. Or ce dernier est pourvoyeur de services écosystémiques indispensables aux sociétés humaines.

Problématique :

- *Comment caractériser un sol et étudier ses caractéristiques physico-chimiques*
- *Quels êtres vivants peuplent les sols et en quoi constituent ils des réseaux trophiques indispensables au recyclage de la matière organique ?*
- *Quelles est l'ampleur de l'artificialisation des sols en région toulousaine ?*

Organisation de la séance :

Les activités concernant la composition et les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon A du sol étudié (I.) et la biodiversité des sols (II.) sont réparties sur différentes paillasses, il s'agit donc d'un TP « tournant ».

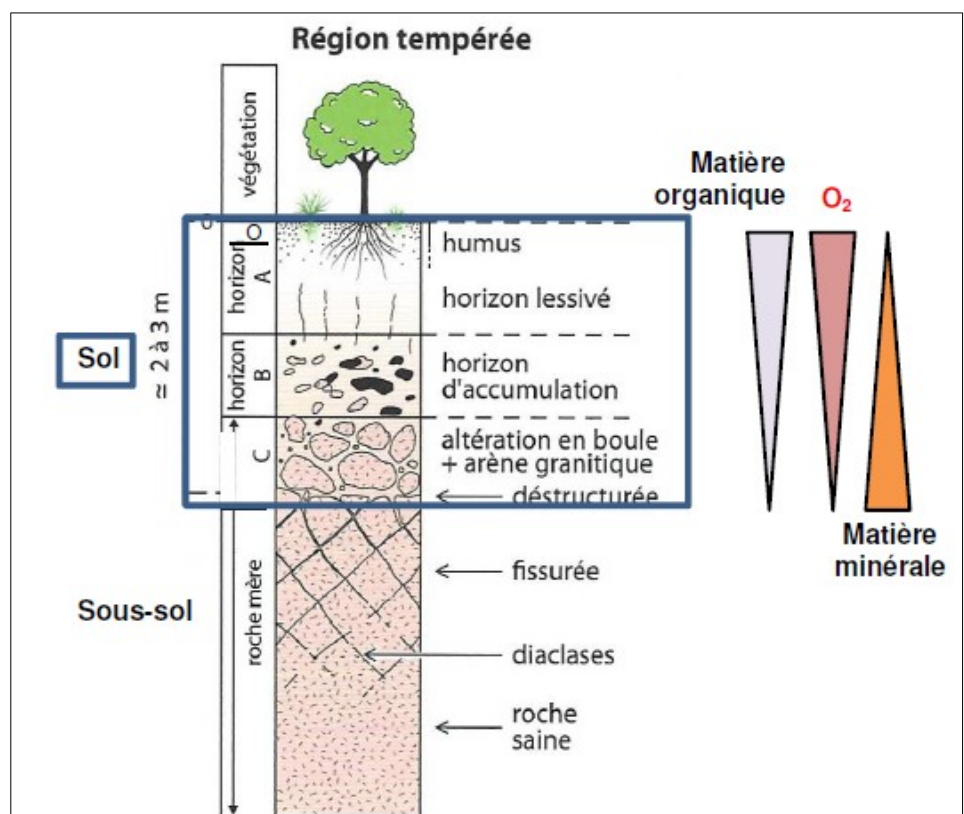
La caractérisation des surfaces artificialisées dans la commune d'Auzeville (III.) est à faire en autonomie chez vous.

Attention : les activités 2 et 10 doivent être lancées en début de séance par chaque GROUPE !!!

I. Structuration, composition et propriétés physico-chimiques d'un sol

1. Caractérisation des horizons du sol → Activité 1 Annexe 1

Le sol peut être découpé en différents niveaux superposés qu'on appelle horizons : les horizons les plus superficiels sont les plus riches en matière organique et en organismes vivants alors qu'on observe un gradient croissant de la fraction minérale en profondeur jusqu'à atteindre la roche-mère (sous-sol).



Document 1 : profil d'un sol brun typique de région tempérée (brunisol) et son découpage en horizons

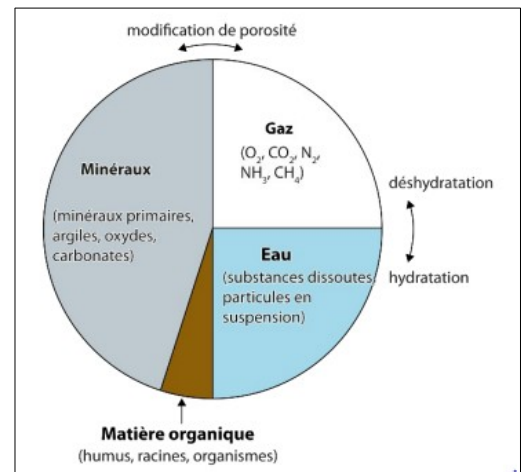
On distingue classiquement, dans un sol brun ou brunisol, quatre horizons différents dont l'épaisseur peut varier :

- **l'horizon organique (O)** (parfois incorporé à l'horizon A : AO)
cet horizon est composé de **débris végétaux et d'animaux** (excréments et cadavres...) plus ou moins fragmentés.
 - la **partie superficielle** où les débris sont encore **reconnaissables à l'œil nu** est appelée **litière** ;
 - la **partie plus profonde et très sombre** où les débris sont **non reconnaissables** peut être appelée **humus**.

- **l'horizon de lessivage ou mixte ou organo-minéral (A) :**
cet horizon est composé en proportions égales d'humus et de manière minérale. L'eau y percole de manière importante, permettant notamment le lessivage de la matière organique superficielle et de matière minérale ainsi emportées plus en profondeur.
Il constitue la **terre arable** c'est à dire cultivable, propice à la nutrition des plantes
Ce sont les caractéristiques de cet horizon que nous allons étudier dans cette séance.
- **l'horizon d'accumulation (B) :**
cet horizon accumulant des matériaux transformés (bio)chimiquement et remaniés, est pauvre humus et riche en éléments fins (argiles, hydroxydes de fer et d'aluminium, composés humiques), il est donc d'une couleur plus claire que les horizons sus-jacents. On y trouve quelques débris grossiers (« cailloux ») provenant de la roche mère.
- **l'horizon d'altération (C) :**
cet horizon est celui où se déroule la fragmentation et l'altération de la roche-mère dont les débris sont identifiables
- **La roche-mère peu ou pas altérée parfois notée horizon R** appartient au sous-sol.

2. Mise en évidence des différentes phases du sol

On distingue dans le sol plusieurs phases, en moyenne, la phase solide (constituée à de plus de 95 % par la fraction minérale) occupe 40 % à 70 % (sol très fragmenté à sol très compacté) du volume du sol, le reste correspondant à la phase liquide et la phase gazeuse, les proportions des ces phases dépendent de l'hydratation du sol.

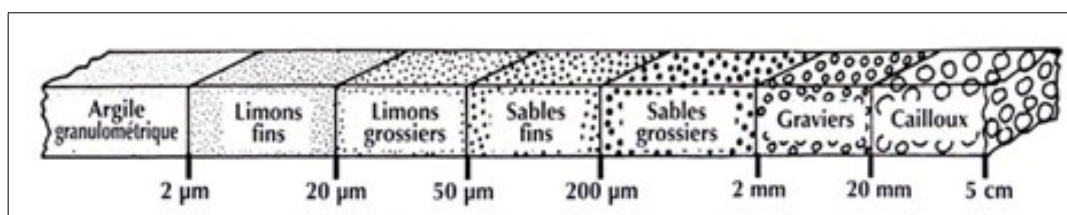


Document 2 : composition volumétrique d'un sol

2.1 caractérisation de la phase solide et estimation de la texture du sol → Annexe 2

La fraction minérale du sol provient de l'altération de la roche mère. Les éléments sont classés en fonction de leur taille. On y trouve :

- des argiles < 2 μm , retiennent les ions dont le K^+ et l'eau. Attention ici le nom « d'argiles » dépend de la taille et non de leur sens strict géologique (smectites, kaolinites ..)
- des limons, < 50 μm , s'ils sont présents en grande quantité, ils remplissent les pores et rendent le sol imperméable à l'eau et anoxique.
- des sables, < 2 mm, ce sont des minéraux résiduels, dont le quartz. Ils permettent au sol d'avoir des pores le rendant perméable à l'eau et à la circulation de l'air.
- des graviers, < 20 mm, ils correspondent à des fragments de la roche mère altérée et permettent à l'eau de s'infiltrer en profondeur sans s'accumuler, on parle de drainage.



Document 3 : les classes granulométriques des composants d'un sol

- En 1^{re} intention, il est possible d'estimer l'abondance relative des limons, argiles et sables au toucher de la terre sèche puis de réaliser le « **test du boudin** » sur la terre humide pour estimer l'abondance en argiles qui détermine la capacité à modeler l'échantillon de terre → **Activité 2a**.

- L'utilisation de tamis de différentes tailles permet de mesurer plus précisément la part relative de chaque fraction en fonction de la granulométrie → **Activité 2b**

- Enfin, par décantation d'un échantillon du sol, on peut séparer et visualiser ces différentes classes granulométriques ainsi que les débris organiques contenus dans cet échantillon → **Activité 2c**

Les proportions relatives des sables, argiles et limons permettent alors de replacer le sol étudié dans le triangle des textures.

La texture détermine la structure particulière, compacte ou grumeleuse, ce qui aura des conséquences sur les propriétés du sol :

- **une structure particulière** dérive d'une forte proportion de sables, et correspond à un sol aéré mais qui retient mal l'eau et est sensible à l'érosion.
- **une structure compacte** correspond à un sol très riche en particules argileuses très fines. Il sera peu aéré et imperméable à l'eau, très difficile à travailler.
- **une structure grumeleuse** correspond à un mélange de particules de différentes tailles, ce qui permet d'avoir un sol relativement aéré et capable de retenir de l'eau, c'est ce type de sol qu'on privilégie pour l'agriculture.

Il est également possible de quantifier les matières sèches minérales et organiques d'un sol par carbonisation.

Le protocole est indiqué ci-dessous, il ne sera pas mis en œuvre lors de cette séance.

Protocole de détermination de la fraction organique d'un sol :

→ 100g de sol (masse initiale) sont placés à l'étuve à 100° pendant 3 jours.

→ après passage à l'étuve, on pèse l'échantillon (attention à ne pas prendre en compte la masse du contenant !) et on en déduit la teneur en eau initiale du sol testé (fraction liquide), et sa teneur en éléments solides (fraction solide).

→ Afin de déterminer la masse solide organique par rapport à la masse solide minérale du sol, on carbonise 5g de sol passé à l'étuve, puis après pesée de la matière restante après carbonisation, on calcule la fraction organique manquante.

2.2 les phases gazeuses et liquides sont en lien avec la porosité du sol

Les gaz contenus dans le sol proviennent en partie des échanges qui se réalisent avec l'atmosphère mais également des émissions produites par les organismes qui y vivent.

Ces gaz sont contenus et circulent à travers les pores du sol qui sont plus ou moins interconnectés. La porosité du sol, en lien avec sa granulométrie, va influencer l'importance de cette fraction gazeuse. Un sol non tassé à une porosité d'environ 40 %.

2.3 Bilan

document 4 : les
principaux constituants
d'un sol

	Constituants solides		Constituants liquides (solution du sol)	Constituants gazeux (atmosphère du sol)
	Minéraux	Organiques		
Origine	Désaggrégation physique et altération biochimique des roches	Décomposition des êtres vivants	Précipitations, nappes, ruissellement	Air hors sol, matières en décomposition, respiration
Critères de classement	Taille (granulométrie) Qualité (minéralogie)	Etat (vivants, morts) Qualité chimique (originelle, transformée)	Origine (météorique, phréatique) Etat physique (potentiel hydrique) Qualité chimique	Origine (air, organismes) Qualité chimique
Catégories	Selon granulométrie • squelette (> 2 mm) • terre fine (< 2 mm) Selon minéralogie • quartz • minéraux silicatés • min. carbonatés	• organismes vivants • organismes morts • matières organiques héritées: cellulose, lignine, résines • matières organiques humifiées: acides fulviques et humiques, humines	• eau • substances dissoutes: glucides, alcools, acides organiques et minéraux, cations et anions	• gaz de l'air: N ₂ , O ₂ , CO ₂ • gaz issus de la respiration et de la décomposition des organismes: CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , NH ₃

3. étude des propriétés physico-chimiques du sol → Annexe 3

3.1 Détermination du pH du sol → Activité 3a Annexe 3

On évalue l'acidité réelle d'un sol ou pH du sol en déterminant le pH_{eau} de ce sol, qui estime la capacité d'un sol à libérer des protons. La majorité des sols des régions tempérées a un pH compris entre 4 et 7,5, ce pH a tendance à baisser en été et à augmenter en hiver et des pH extrêmes peuvent être observés.

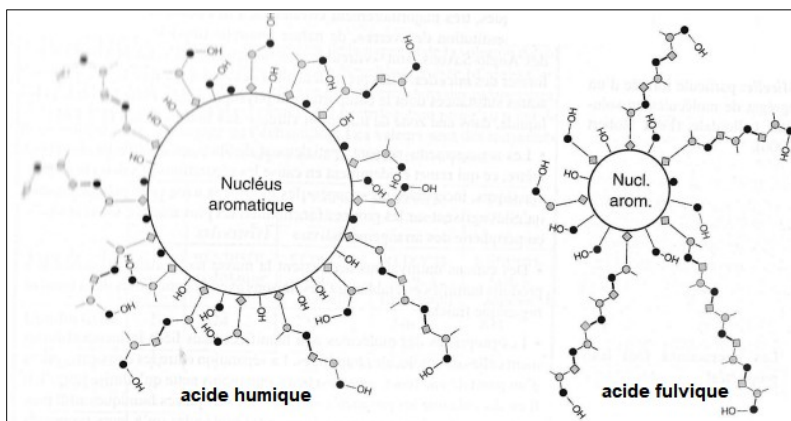
Un sol est qualifié d'acide si son $pH < 4,2$, d'hyper-acide si son $pH < 3,5$. Le pH influence à la fois le développement des organismes vivants et la fertilité du sol.

Il faut prélever normalement l'échantillon vers 15-20 cm de profondeur, le pH étant sensiblement différent si on est trop près de la surface (grande richesse en débris organiques) ou trop loin en profondeur (pH de la roche mère). Les protons détectés sont ceux qui passent dans la solution du sol, le pH mesuré est donc $pH_{eau} = pH_{solution}$ du sol

3.2. Complexe argilo-humique et estimation de la Capacité d'Echange Cationique → Activité 3b Annexe 3

L'humus est formé par la matière organique qui n'a pas été minéralisée par les décomposeurs du sol. On distingue 3 catégories de molécules constituant l'humus qui se distinguent par leur degré de solubilité:

- les acides fulviques brun-jaune clair, solubles quelque soit le pH du fait de leurs groupements alcools et acides carboxyliques
- les acides humiques de couleur marron et solubles en milieu basiques du fait des groupements COO^-
- l'humine noire, hydrophobe et insoluble, elle ne participe pas au CAH



Document 5 : structure de l'acide humique et de l'acide fulvique

Le protocole ci-dessous, permet de séparer les acides fulviques, les acides humiques et l'humine, il ne sera pas mis en œuvre lors de cette séance pour des raisons de sécurité mais les résultats sont observables sur la paillasse centrale.

Protocole de séparation des acides humiques contenus dans un sol

→ 10g de sol ont été placés dans un bécher de 150mL auquel on a ajouté 50mL de soude 0.1 mol.L^{-1} .

→ Après agitation, la solution a été laissée au repos pendant 1h.

→ Elle a ensuite été filtrée et le filtrat a été recueilli.

Cette première étape correspond à une dispersion alcaline : elle permet de solubiliser une portion de l'humus. Tout l'humus cependant n'a pas été solubilisé, une partie est restée insoluble, associée aux particules minérales : c'est l'humine.

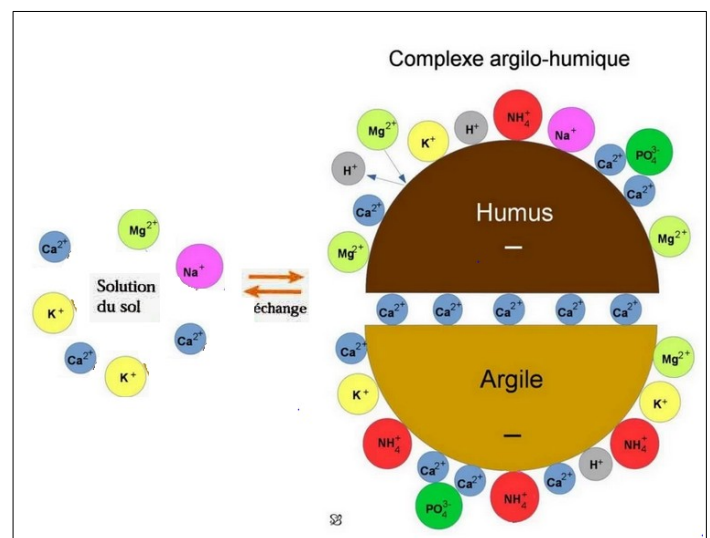
→ Au filtrat obtenu, on a ensuite ajouté quelques gouttes de HCl 6 mol.L^{-1} puis on a laissé reposer et on a filtré de nouveau.

On observe alors 2 phases : les acides fulviques de bas poids moléculaires restent en solution et donnent une coloration brun jaune (fulvus = fauve). Les acides humiques, de plus gros poids moléculaires, flocculent à pH très acide : ils s'agglomèrent et ont tendance à couler, ils sont de coloration très sombre (brun noir).

L'humus chargé négativement en s'associant grâce à des ponts Ca^{2+} Fe^{2+} , aux argiles chargées également négativement, forme le complexe argilo-humique ou CAH.

Par les nombreuses charges anioniques portées par les argiles et l'humus, le CAH retient les cations présents dans le sol (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , H^+ , Na^+ , NH_4^+ , etc.).

Ces éléments chargés positivement peuvent alors attirer eux même des anions ou groupements anioniques, notamment les phosphates PO_4^{3-} .



Document 6 : modélisation du CAH

La capacité d'échange cationique (CEC) correspond à la somme des cations que le sol peut échanger grâce au CAH.

Il est possible de mettre en évidence la capacité d'échange cationique (CEC) grâce à l'utilisation de chromophores chargés tels que le bleu de méthylène et l'éosine → Activité 3b

3.3. Porosité et perméabilité du sol → Activité 3c Annexe 3

La porosité désigne le % du VOLUME des pores occupés par de l'air ou des liquides, donc par la fraction fluide du sol.

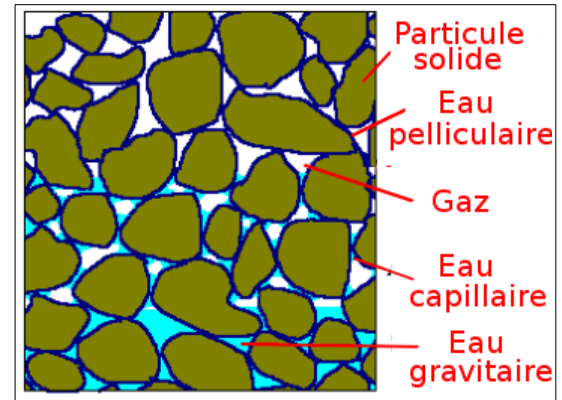
Porosité = volume des pores / volume total $\times 100$.

Lorsque qu'on sature totalement un sol en eau, on remplit tous les pores, on peut donc mesurer la **porosité totale** si on est parti d'un sol parfaitement sec.

Si on laisse ensuite l'eau s'écouler par gravité, la majorité de l'eau va sortir en dessous et être remplacé par de l'air ; l'espace qu'occupait cette eau correspond à la **macro-porosité**.

Il reste cependant une partie de l'eau qui est rest  e autour et à la surface des particules dans de mini-pores, ce qui représente la **méso et la micro-porosité**.

La **macro-porosité** correspond donc au volume que peut occuper l'eau graviphique, elle favorise l'aération des sols et l'apport en oxygène aux organismes vivants dans le sol.



Document 7 : rapport entre la porosité et la circulation de l'eau dans un sol

L'eau de gravité (appelée aussi eau libre ou eau de saturation) contenue dans les espaces lacunaires (entre les agrégats) qui s'écoule par gravité vers la nappe, emprunte la macro-porosité et s'écoule verticalement à des vitesses fonction du diamètre des pores.

Le point de ressuyage (quantités d'eau maximum que le sol peut retenir) correspond à la fin d'écoulement de l'eau par gravité et à l'eau utilisable pour les plantes rest  e dans la méso et la microporosité.

Cela constitue donc un réservoir d'eau et d'échanges de nutriments pour les organismes.

Cependant seule une partie de cette eau est réellement utilisable pour les plantes, il s'agit de l'eau capillaire pouvant être absorbée par les racines jusqu'au point de flétrissement qui est atteint lorsque la force de rétention de l'eau par les particules du sol (eau pelliculaire et eau hygroscopique retenues sous forme de films très minces autour des particules) est égale la force de succion maximale exercée par la plante.

La quantité d'eau réellement utilisable est la différence d'humidité entre le point de ressuyage et le point de flétrissement.

$$\text{Porosité totale} = \text{porosité efficace} + \text{capacité de rétention}$$

avec porosité efficace = macroporosité

capacité de rétention = méso et microporosité

Document 8 : porosité totale (pt) et porosité efficace(pe)
en fonction de la granulométrie du sol

Roches poreuses	pt (%)	pe (%)
Sable et gravier	25 �� 40	15 �� 25
Sable fin	30 �� 35	10 �� 15
Argile	40 �� 50	1 �� 2
Craie	10 �� 40	1 �� 5
Calcaire (fissuré)	1 �� 10	10 �� 50

Le protocole ci-dessous, permet de mesurer la porosité totale de la fraction de sol étudiée, il ne sera pas mis en œuvre lors de cette séance car il nécessite de ne pas déstructurer l'échantillon de terre étudié.

Protocole de mesure simple de la porosité totale :

   Prélever 200 g de sol préalablement passé à l'étuve (sans tasser ni aérer le sol !) et le placer dans un tube en PVC.

   Estimer le volume du sol prélevé en fonction du diamètre du tube et de la hauteur occupée par le sol dans ce tube.

   A l'aide d'une burette graduée laisser couler de l'eau TRES délicatement dans le b  cher, jusqu'à ce que l'eau stagne à la surface du sol, indiquant que tous les espaces sont remplis.

   Noter le volume d'eau vers  , et en déduire la porosité totale

Ce pourcentage devrait correspondre aux % occupés par les fractions gazeuse et liquide.

On peut cependant modéliser les notions de porosité, point de ressuyage et point de flétrissement à l'aide d'une éponge    Activité 3c Annexe 3

La perméabilité correspond à la VITESSE à laquelle un volume d'eau peut traverser le sol. Perméabilité = volume de liquide infiltré/ temps d'infiltration (temps mis le liquide pour traverser tout le volume de sol, jusqu'à ce qu'il ne sorte plus de liquide sous le sol).

Roches poreuses	porosité totale (%)	perméabilité (m/Jour)
Sable et gravier	25 à 40	1000 à 10
Sable fin	30 à 35	100 à 0,1
Argile	40 à 50	< 0,1
Craie	10 à 40	100 à 1
Calcaire (fissuré)	1 à 10	< 1

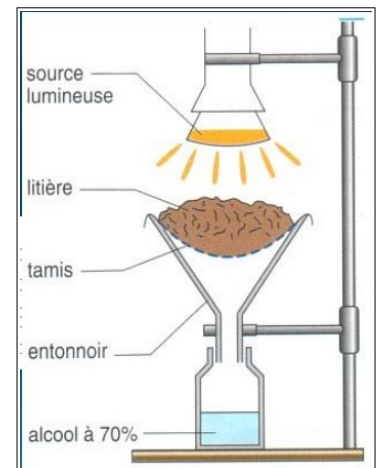
Document 9 : porosité totale et perméabilité en fonction de la granulométrie du sol

II. la biodiversité dans le sol → Annexe 4

1. Identification de la pédofaune d'un sol

Un appareil de Berlèse a été mis en place il y a quelques jours. Il s'agit d'utiliser le fait que les animaux du sol constituant la pédofaune) fuient généralement la lumière et la chaleur ; ils ont donc tendance à s'enfoncer dans le sol en fuyant la lumière, et ils vont tomber en dessous du sol, dans un béccher rempli d'éthanol.

Document 10 : principe du Berlèse



On peut alors identifier les animaux récoltés et reconstituer un réseau trophique à partir d'information sur leurs régime alimentaire → **Activités 4a,b et c Annexe 4**

2. Mise en évidence de la présence de micro-organismes cellulolytiques

En plaçant des cercles de papier-filtre (blancs) en cellulose dans des boîtes de Pétri et en les recouvrant de sol **stérilisé** à haute température **ou non**, dans différentes conditions de température et d'humidité, il est possible de mettre en évidence la présence de micro-organismes cellulolytiques du sol → **Activités 4d Annexe 4**

III. Caractérisation des surfaces artificialisées dans la commune d'Auzeville → Annexe 5

1. Usages des sols dans la commune d'Auzeville

Le site géoportail compile de nombreuses données cartographiques et des vues aériennes du territoire. Il est possible grâce à ce site de connaître entre autre, l'occupation des sols d'une région ainsi que les usages qu'il en est fait.

2. Quantification de l'artificialisation des sols depuis la 2^e moitié du XX^e siècle

Le site de IGN permet de comparer des prises de vue aériennes à différentes époques et d'estimer pour chacune la surface urbanisée en %..

Conclusion :

Par ses activités, l'Homme modifie les sols en changeant leurs usages (déforestation et mise en culture des sols, artificialisation...) et modifie donc non seulement leur biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes mais également leur contribution aux cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote (Cf BGA) ceci impactant le dérèglement climatique (Cf BGC).