

TP 1 organisation fonctionnelle des sols

horizons O (horizons organiques)

Ils sont en contact avec l'atmosphère et la lithosphère. Organo-minéraux, de couleur sombre, ils sont composés essentiellement de débris végétaux plus ou moins transformés, mais encore reconnaissable.

L'épaisseur varie avec l'intensité de l'activité biologique et le climat. Selon son épaisseur, l'horizon O se divise en trois couches superposées : **OL** ou litière composée de débris végétaux non décomposés; **Of**, couche de fermentation où les débris végétaux sont partiellement décomposés par l'activité biologique; **Oh**, couche d'humification, les végétaux ont disparu, ils sont transformés en humus.

En fonction du nombre de couches présentes, on utilise les mots: mull, moder ou mor.

horizons A (horizons organo-minéraux)

De couleur foncée, situé sous l'horizon O, il est constitué de débris des végétaux et d'animaux décomposés en humus (humification). Il contient à la fois de la matière organique et de la matière minérale.

horizons E (horizons minéraux, appelés éluviaux) :

Ils sont sous l'horizon A, essentiellement minéraux, ils sont lessivés, appauvris en minéraux argileux, en sels, en carbonates, en hydroxydes, de couleur claire.

horizons B (horizons minéraux appelés illuviaux)

Situés sous les horizons E, lieu d'accumulation d'éléments (argiles, fer, aluminium), ils sont enrichis en minéraux argileux, en sels, en carbonates, en hydroxydes,

horizons S (horizons minéraux)

horizons C

Ils correspondent à la roche mère plus ou moins altérée.

horizons R, M, et D

R roche dures,

M: roches meubles et tendres;

D: roche remaniée ayant donnée naissance ou non au matériau sus-jacent.

Horizon	Caractères
Horizons organiques	
H	Horizon histique, matériau tourbeux formé en condition anoxique
O	Horizon organique, matériau non tourbeux, formé en condition oxisque
Horizons organo-minéraux	
A	Horizon organo-minéral de surface structuré, site du complexe argilo humique
L	Horizon organo-minéral labouré, cultivé
Horizons minéraux	
B	Horizon illuvial ou d'accumulation
E	Horizon éluvial, ou d'appauvrissement
C	Horizon minéral sans structuration pédologique généralisée, mais à masse fragmentée et/ou altéré
Substrats géologiques ou anthropiques	
D	Matériau déplacé, fragmenté et dur mais non consolidé
M	Roche meuble ou tendre, continue, non ou peu fragmentée
R	Roche dure, continue et massive ou peu fragmentée
Z	Matériaux anthropiques mis en place par l'activité humaine

1- Profil et horizon d'un sol.



1- Profil et horizon d'un sol.



OL ou litière : débris de feuilles peu transformée en surface

A : brun très foncé , humide, **Matière organique** : forte, **Effervescence** : nulle, peu compact, **Adhésivité** : peu collant, **Fermeté** : peu ferme, **Racines** : très nombreuses (Principale => diamètre : fines, sanitaire : saines, orientation : verticale, pénétration : non déviées, localisation : dans la masse de l'horizon), **Fentes** : pas de fentes , **Pores** : nombreux (dimension : très fins), **Vacuité** : poreux, **Conduit de vers** : pas de conduits de vers, **Activités biologiques** : nombreuses (nature : racines décomposées), **Cristaux** : pas de cristaux, pas de ciments, **Éléments grossiers** : 5%, **Éléments grossiers principaux** : 5% (GRANITE, taille : graviers, acidité : acides, forme : irréguliers émoussés, orientation : quelconque)

S : brun jaune, très humide, Matière organique : moyenne, Effervescence : nulle, peu compact, peu plastique, **Racines** : très nombreuses (Principale => diamètre : fines, sanitaire : saines, orientation : verticale, pénétration : non déviées, localisation : dans la masse de l'horizon), **Fentes** : pas de fentes , **Pores** : nombreux (dimension : fins), **Vacuité** : poreux, **Conduit de vers** : pas de conduits de vers, **Activités biologiques** : peu nombreuses (nature : racines décomposées), **Cristaux** : pas de cristaux, **Nature des ciments** : pas de ciments, **Éléments grossiers** : 15%, **Éléments grossiers principaux** : 10% (QUARTZ, taille : cailloux, acidité : acides, forme : irréguliers émoussés, orientation : quelconque), **Éléments grossiers secondaires** : 5% (nom : QUARTZ, taille : graviers, acidité : acides, forme : irréguliers émoussés, orientation : quelconque)

C : jaune pâle, très humide, pas de matière organique, **Structure principale** : particulière, **Effervescence** : nulle, très compact, non plastique, **Racines** : nombreuses (Principale => diamètre : très fines, sanitaire : saines, orientation : quelconque, pénétration : gênées par des obstacles de nature physique, localisation : évitant les zones compactes), **Fentes** : pas de fentes , **Vacuité** : poreux, **Conduit de vers** : pas de conduits de vers, **Activités biologiques** : absentes , **Cristaux** : pas de cristaux, **Nature des ciments** : pas de ciments, **Éléments grossiers** : 90%, **Éléments grossiers principaux** : 70% (GRANITE, taille : graviers, acidité : acides, forme : de formes diverses, orientation : quelconque), **Éléments grossiers secondaires** : 20% (nom : GRANITE, taille : cailloux, acidité : acides, forme : de formes diverses, orientation : quelconque)

1- Profil et horizon d'un sol.



1- Profil et horizon d'un sol.



OH : horizon de surface, matière organique fine

A : 0 – 21 cm brun gris très foncé), humide, **Matière organique** : forte, **Effervescence** : nulle, **Compacité** : peu compact, **Adhésivité** : peu collant, **Fermeté** : ferme, **Racines** : très nombreuses (Principale => diamètre : très fines, sanitaire : saines, orientation : verticale, pénétration : non déviées, localisation : dans la masse de l'horizon), **Fentes** : pas de fentes, **Pores** : assez nombreux (dimension : très fins), **Vacuité** : moyennement poreux, **Conduit de vers** : nombreux (orientation : verticale, aspect : colmatés), **Activités biologiques** : peu nombreuses (nature : racines décomposées), **Cristaux** : pas de cristaux, **Nature des ciments** : pas de ciments, **Eléments grossiers** : 25%, **Eléments grossiers principaux** : 15% (QUARTZITE, taille : cailloux, acidité : acides, forme : irréguliers émoussés, orientation : quelconque), **Eléments grossiers secondaires** : 10% (nom : QUARTZITE, taille : graviers, acidité : acides, forme : irréguliers émoussés, orientation : quelconque)

S : 21 - 57 cm, brun franc, humide, **Matière organique** : moyenne, **Effervescence** : nulle, **Compacité** : peu compact, **Adhésivité** : peu collant, **Fermeté** : ferme, **Racines** : très nombreuses (Principale => diamètre : très fines, sanitaire : saines, orientation : verticale, pénétration : non déviées, localisation : dans la masse de l'horizon), **Fentes** : pas de fentes, **Pores** : nombreux (dimension : très fins), **Vacuité** : poreux, **Conduit de vers** : nombreux (orientation : verticale, aspect : colmatés), **Activités biologiques** : absentes, **Cristaux** : pas de cristaux, **Nature des ciments** : pas de ciments, **Eléments grossiers** : 20%, **Eléments grossiers principaux** : 15% (QUARTZITE, taille : cailloux, acidité : acides, forme : irréguliers émoussés, orientation : quelconque), **Eléments grossiers secondaires** : 5% (nom : QUARTZITE, taille : graviers, acidité : acides, forme : irréguliers émoussés, orientation : quelconque)

C/R : 57cm roche à la base altérée et fragmentée / dure et massive

1- Profil et horizon d'un sol.



1- Profil et horizon d'un sol.



A

E : horizon éluvié, appauvris en argile et/ou fer présentant donc des teintes claires propres aux luvisols (podzols et planosols)

BT : horizon d'accumulation de particules argileuses illuviées

C : roche à la base altérée et fragmentée

2- Texture et structure

2-a. Approche de la texture à la main :

- l'argile est plastique mais résistante au pétrissage, l'échantillon peu humide est difficile à écraser, très dur s'il est sec. Il ne tache pas les doigts, ne « talque » pas. S'il est gorgé d'eau, il est très collant. On peut en faire un boudin de quelques mm qui ne se rompt pas.
- Les limons au contraire talquent les doigts, ils sont doux et onctueux. Le pâton est facile à pétrir : il s'écrase sous faible pression. A l'état sec, le limon est poussiéreux, dessèche et tache les doigts. De petits agrégats éclatent et se pulvérisent à la moindre pression
- Les sables grattent sous les doigts. Si les sables sont dominants, on n'arrive pas à modeler une boulette ou un boudin : tout s'effrite. Les sables inférieurs à 0,1 mm ne sont pas sensibles au toucher mais crissent au frottement.

2-c. Décantation

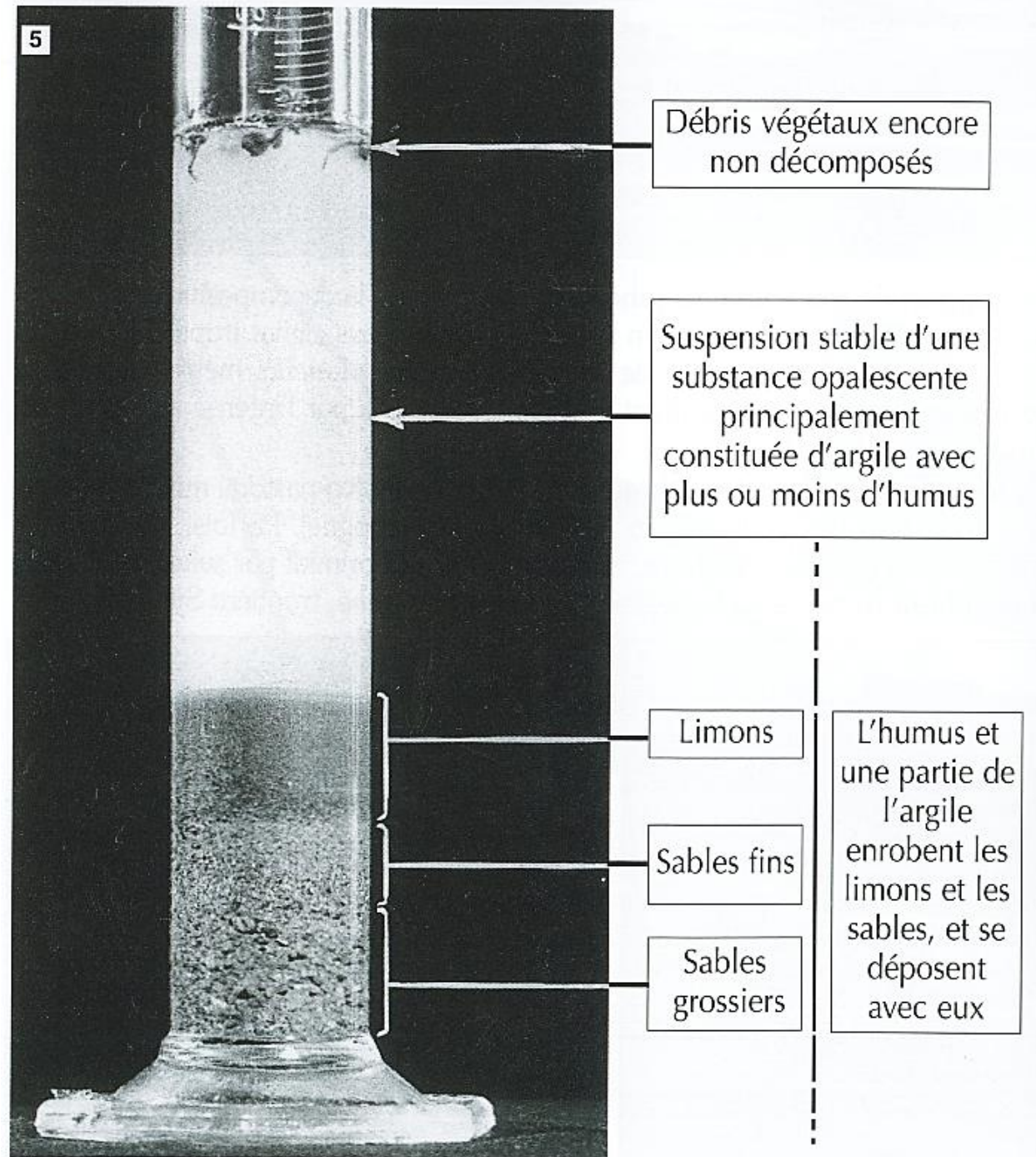
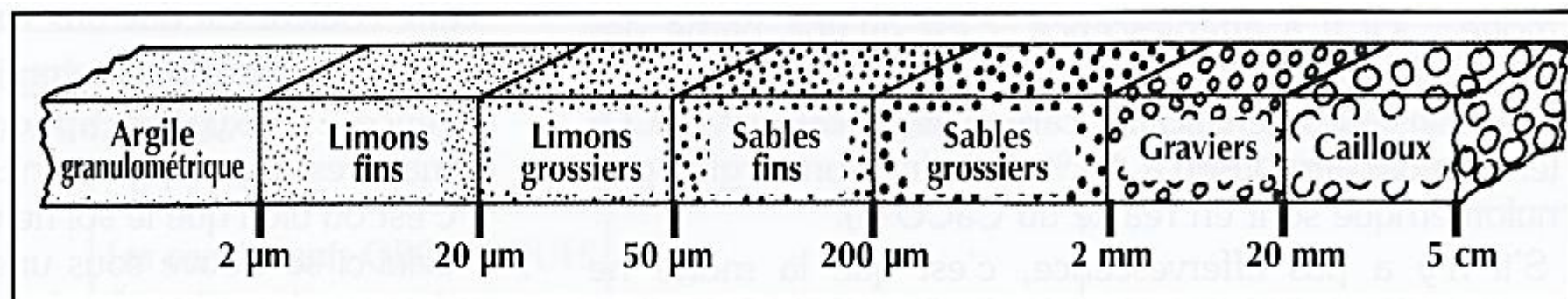


Figure 1-11

LES CLASSES GRANULOMÉTRIQUES

adoptées par la plupart des labora-
toires de sols, dérivent de l'échelle
d'Atterberg (1926)



2-e. Flocculation

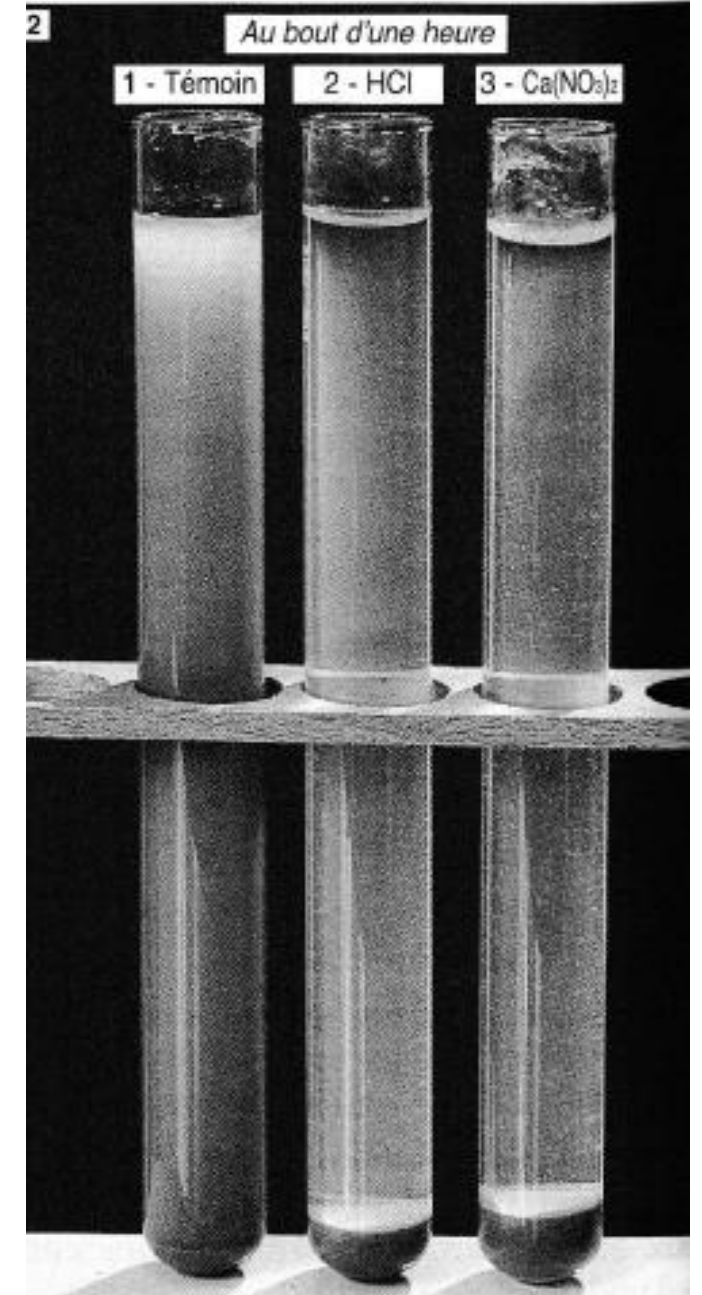
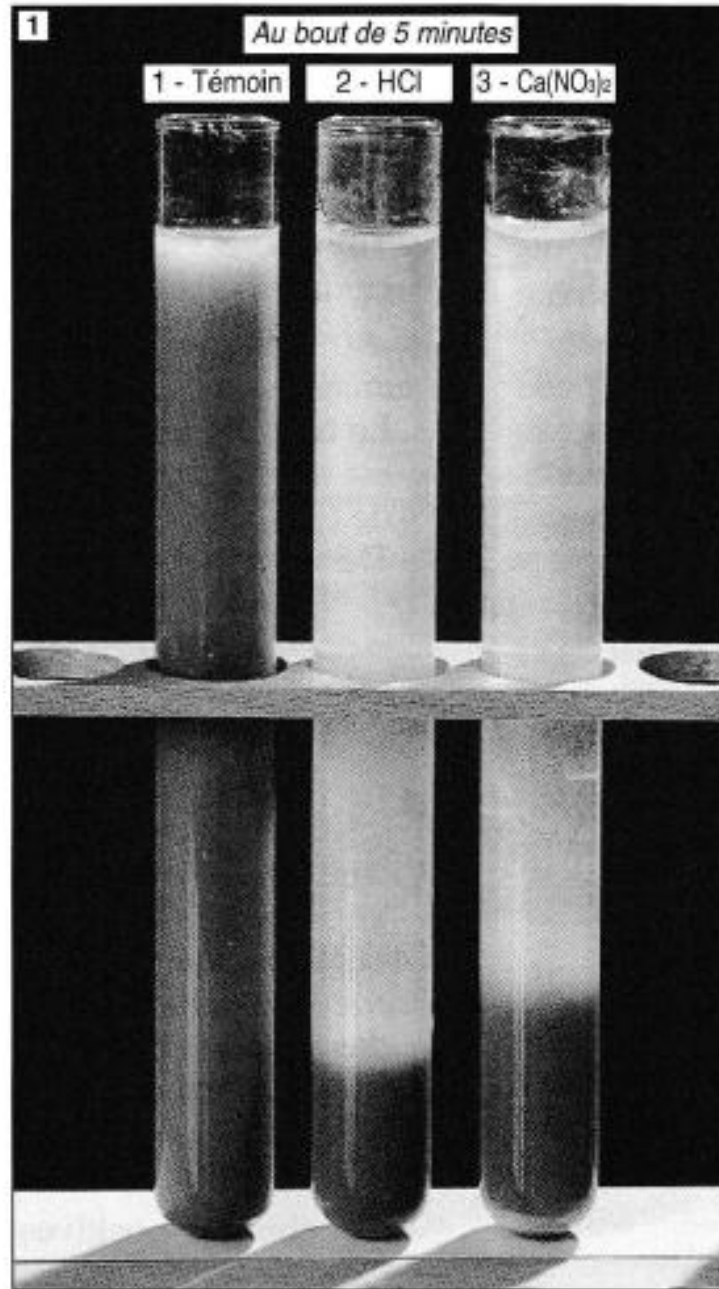
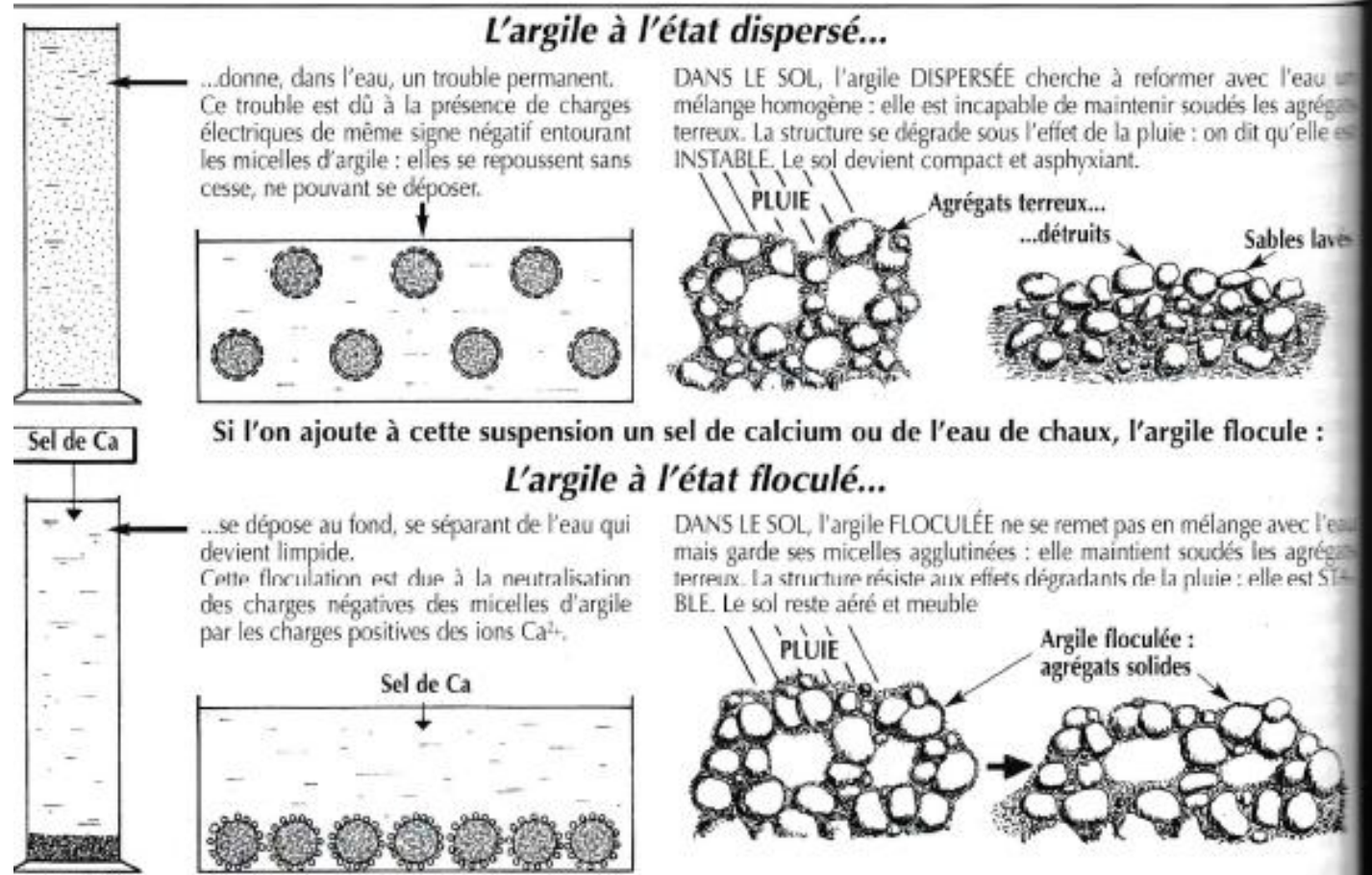


Planche 1-29 - EN RÉSUMÉ : L'ÉTAT DISPERSÉ ET L'ÉTAT FLOCULÉ DE L'ARGILE DE NOS CHAMPS

Figure 1-30 - UNE REPRÉSENTATION IMAGÉE...



Comment interpréter ces phénomènes ?

Les micelles de colloïdes sont entourées d'une couche de charges électriques de même signe (figure 1-20). Nous verrons bientôt l'origine de ces charges).

• **des charges négatives** pour certains colloïdes :

- l'argile minéralogique
- l'humus
- les limons très fins

• **des charges positives** pour d'autres :

- les oxydes de fer
- les oxydes d'aluminium

Cette couche dense de charges électriques est entourée d'un nuage de plus en plus lâche de charges de signe contraire, constituées par des ions «adsorbés» par le colloïde (adsorbé = fixé sur).

Pour l'argile et l'humus, aux charges négatives, ces ions sont positifs, il s'agit :

- **de cations métalliques** : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ ...
- **d'ions H^+** . Il s'agit pour eux de liaisons dites de covalence, beaucoup plus fortes que les simples attractions entre le colloïde et les cations métalliques. (Voir chapitre 4).

L'expérience précédente s'explique alors ainsi (figure 1-20) :

• **À l'état dispersé**, ou peptisé, le nuage de cations entourant les micelles est très lâche, car ces ions sont peu concentrés. Les micelles, toutes chargées négativement se repoussent mutuellement, occupant tout le volume du liquide. Elles ne peuvent se déposer.

• **Que se passe-t-il si l'on introduit dans le liquide un acide, qui libère des ions H^+ ou un sel de calcium qui libère des cations Ca^{2+} ?**

- **les ions H^+** introduits se lient par covalence aux sites négatifs des micelles. La charge négative de ces micelles diminue ce qui leur permet de se rapprocher, donc de floculer.

2-f. Matière organique du sol

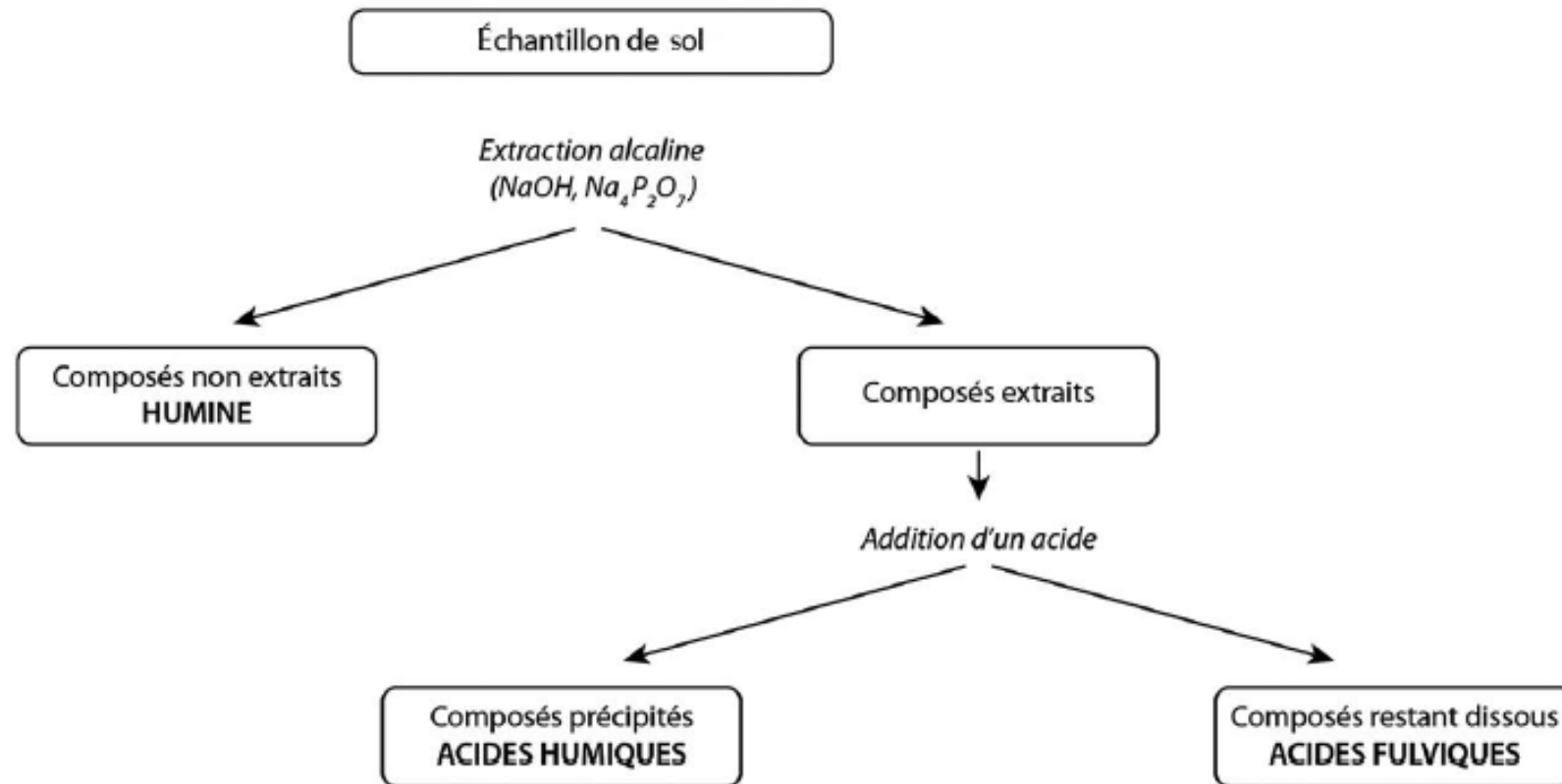


Figure 4.3. Procédure d'extraction des acides fulviques et humiques (d'après Calvet *et al.*, 2015).

2-f. Matière organique du sol

Figure 1-37 - L'EXTRACTION DES COMPOSÉS HUMIQUES
par différence de densité et par les solvants

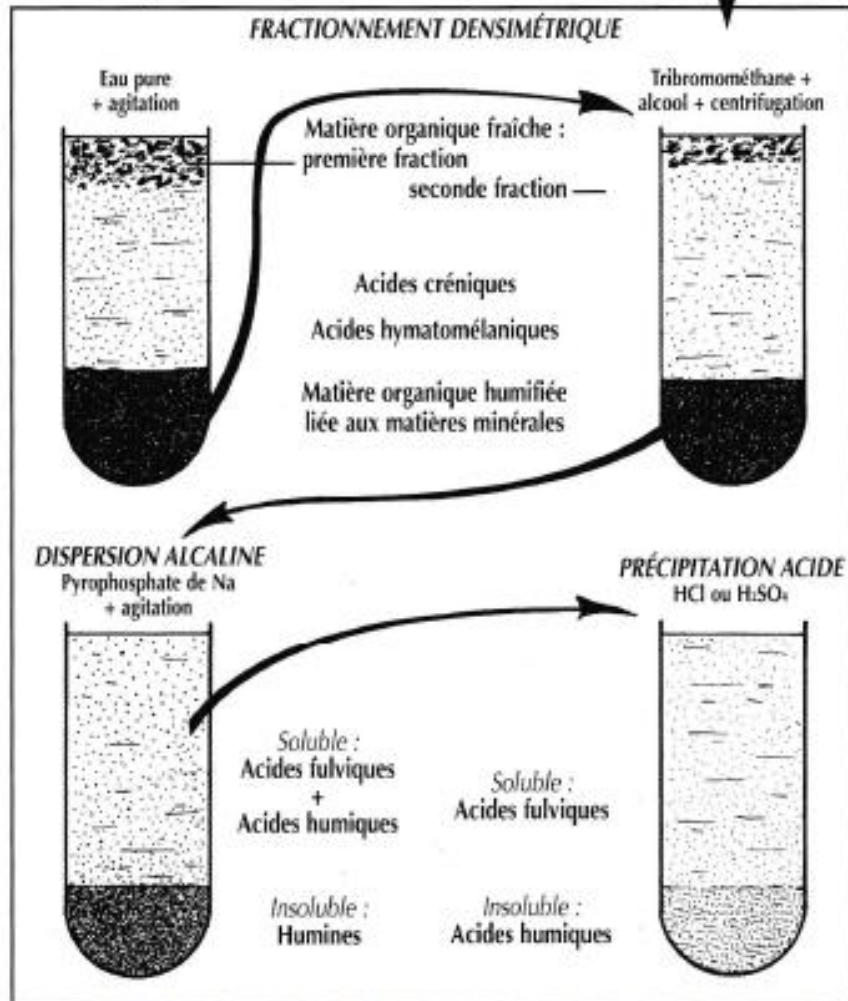
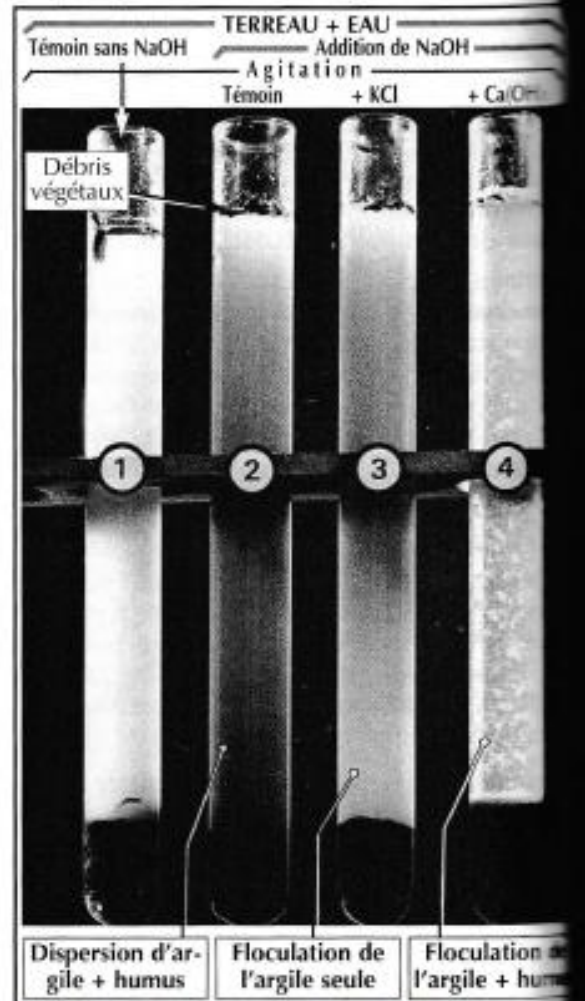


Figure 1-38 - DISPERSION ET FLOCCULATION DE L'HUMUS
et de l'argile qui lui est associée, par divers cations



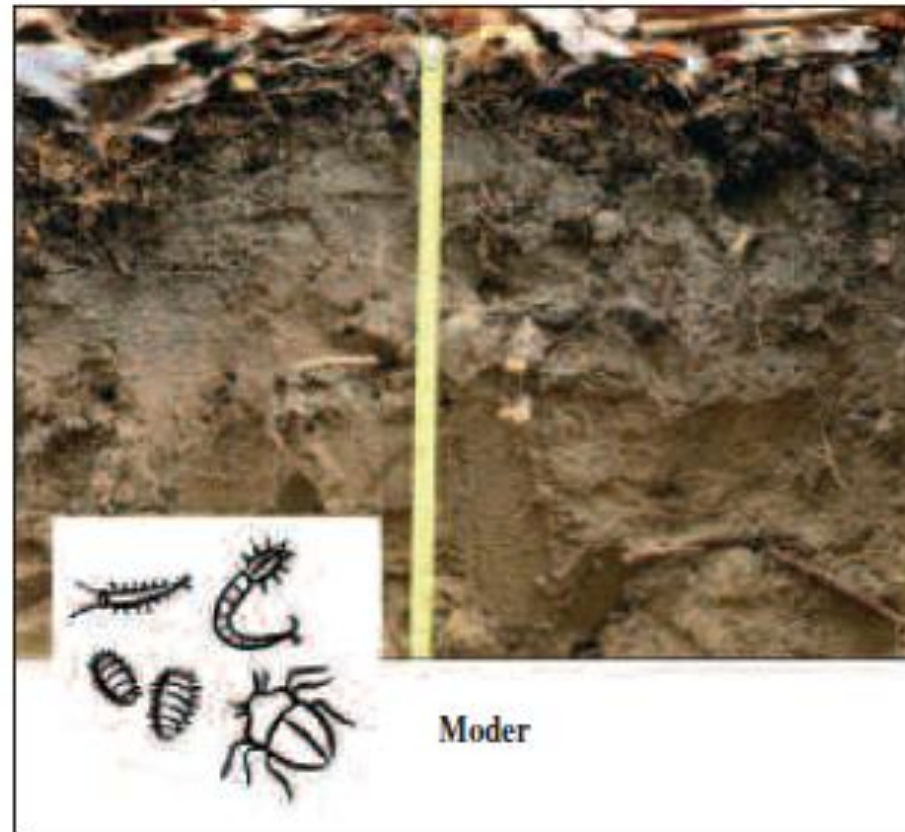
2-f. Matière organique du sol

- Par différence de densité : séparation de la matière organique libre = **matière organique fraîche** de la matière organique liée aux éléments minéraux (argiles limons etc...).
- Par une série de solvants on isole ensuite différentes fractions de l'humus : acides **créniques** (soluble dans l'eau), **hymatomélaniques** (soluble dans l'alcool), **fulviques** et **humiques** soluble dans le pyrophosphate de sodium, **l'humine** insoluble dans tous les solvants.

2-f. Matière organique du sol

Figure 1 - Forme d'humus et activité biologique

Figure 1 - Humus forms and biological activity



2-f. Matière organique du sol

Tableau 1 - Définition de 4 formes principales d'humus en fonction de la présence d'horizons diagnostiques A et OH et de l'activité biologique - TR : transition (D'après Jabiol *et al.*, 2004)

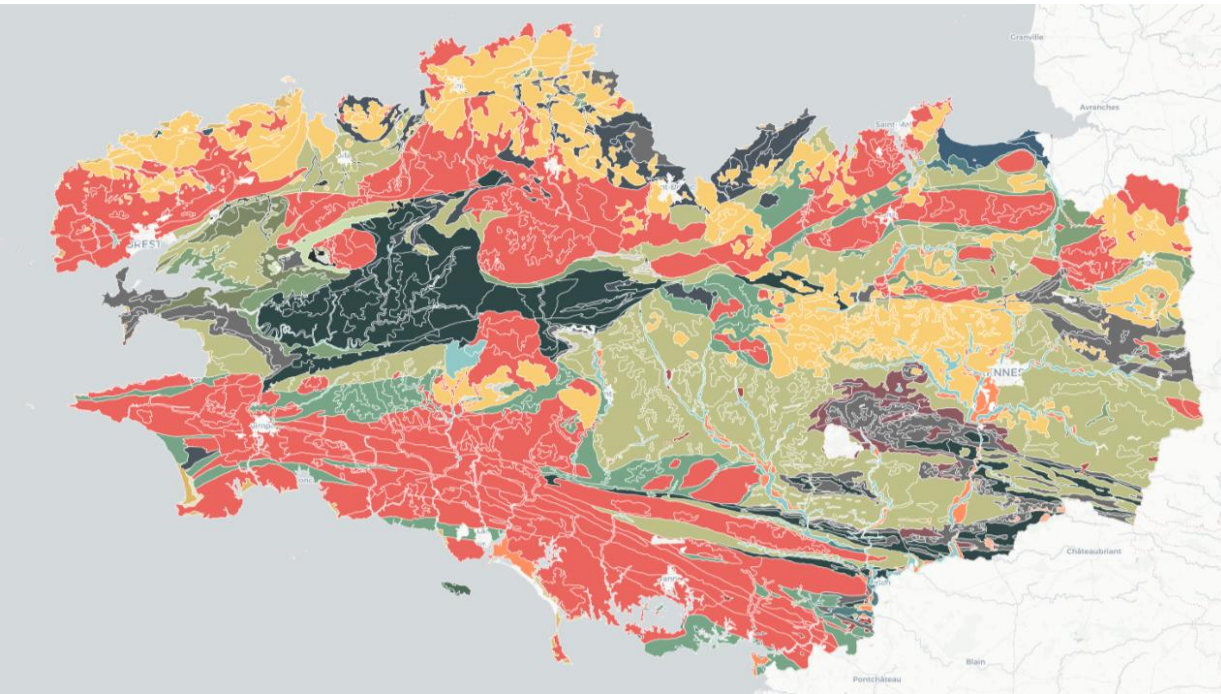
Table 1 - Humus taxonomy : actors of biodegradation and horizons

PREMIER NIVEAU		MULL	MODER	MOR	AMPHI
Second niveau		TR	TR	TR	TR
OH résultant de l'activité de	Vers épigés et/ou arthropodes et/ou enchytréides		---	-----	-----
	Absence d'activité = OHm			-----	-----
A résultant de l'activité de	Vers anéciques et endogés	-----	---		-----
	Vers épigés et/ou arthropodes et/ou enchytréides = Ajz, Aze		-----		-----
	Absence d'activité biologique = Ae			-----	

2-g. Bilan

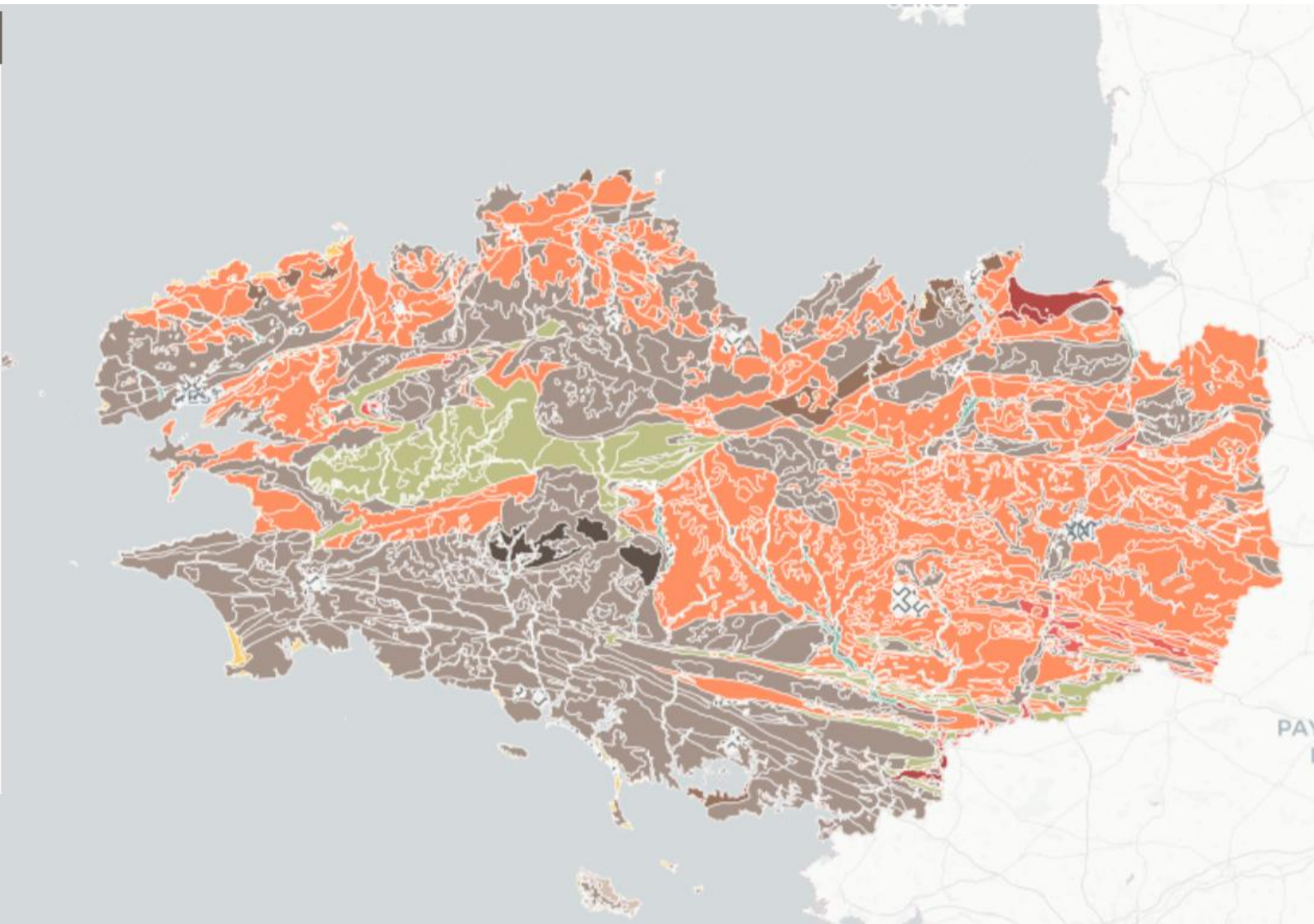
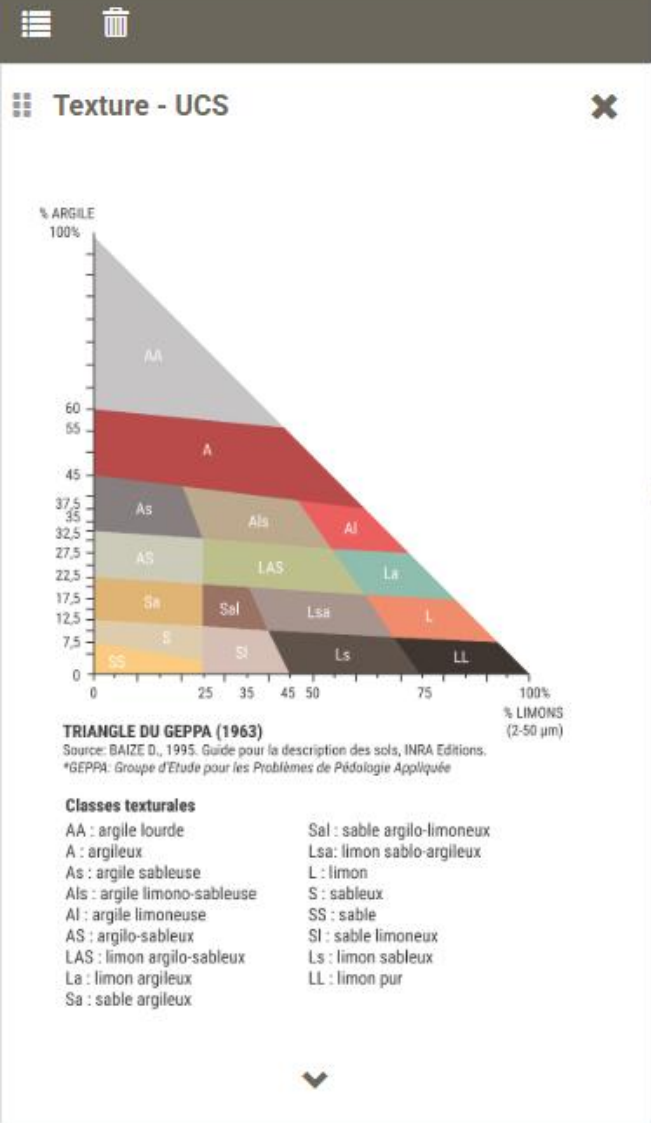
- <http://geowww.agrocampus-ouest.fr/solsdebretagne/#>
- <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/carte-des-sols>

2-g. Bilan



- Schistes, grès et granite







 **Type de sol - UCS** 



 Sols brunifiés



 Sols calcaires



 Sols de bord de côte



 Sols de talweg, de fond de vallée et sols tourbeux



 Sols des terrasses alluviales et sols des climats anciens



 Sols forestiers



 Sols peu épais non différenciés



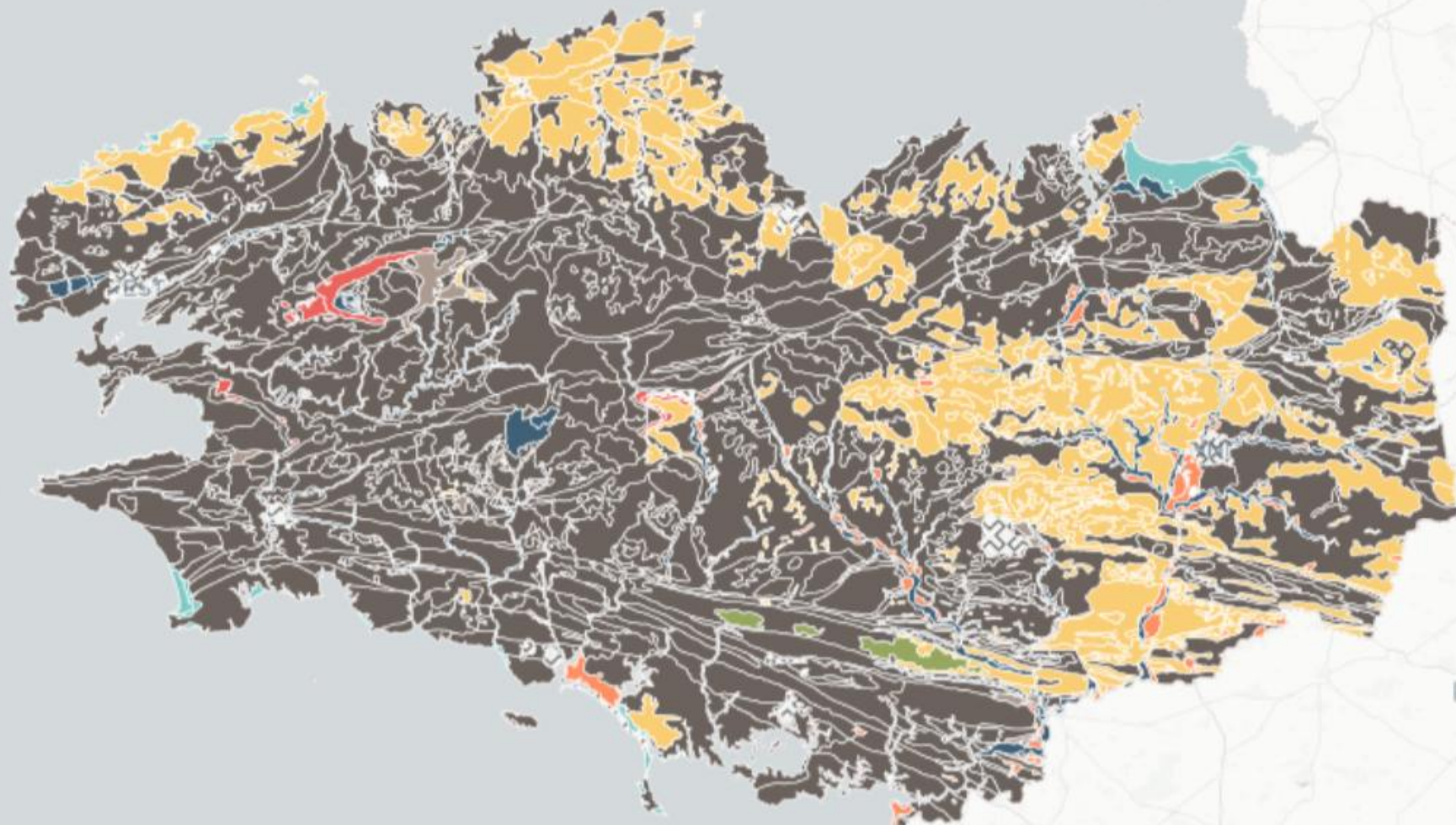
 Sols podzolisés



 Sols présentant un lessivage d'argile



 Pas de valeur (Agglomérations, surfaces en eau...)

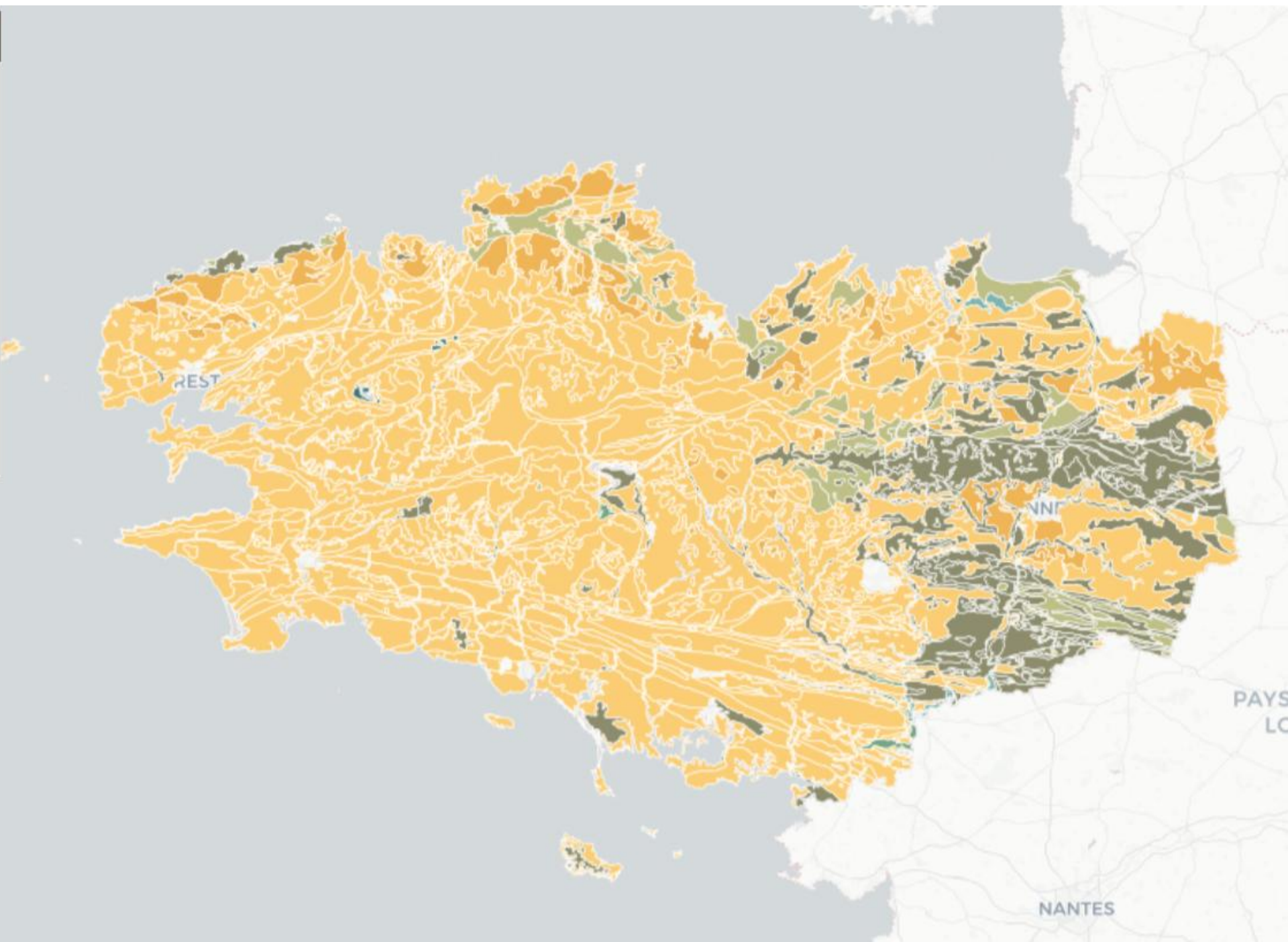


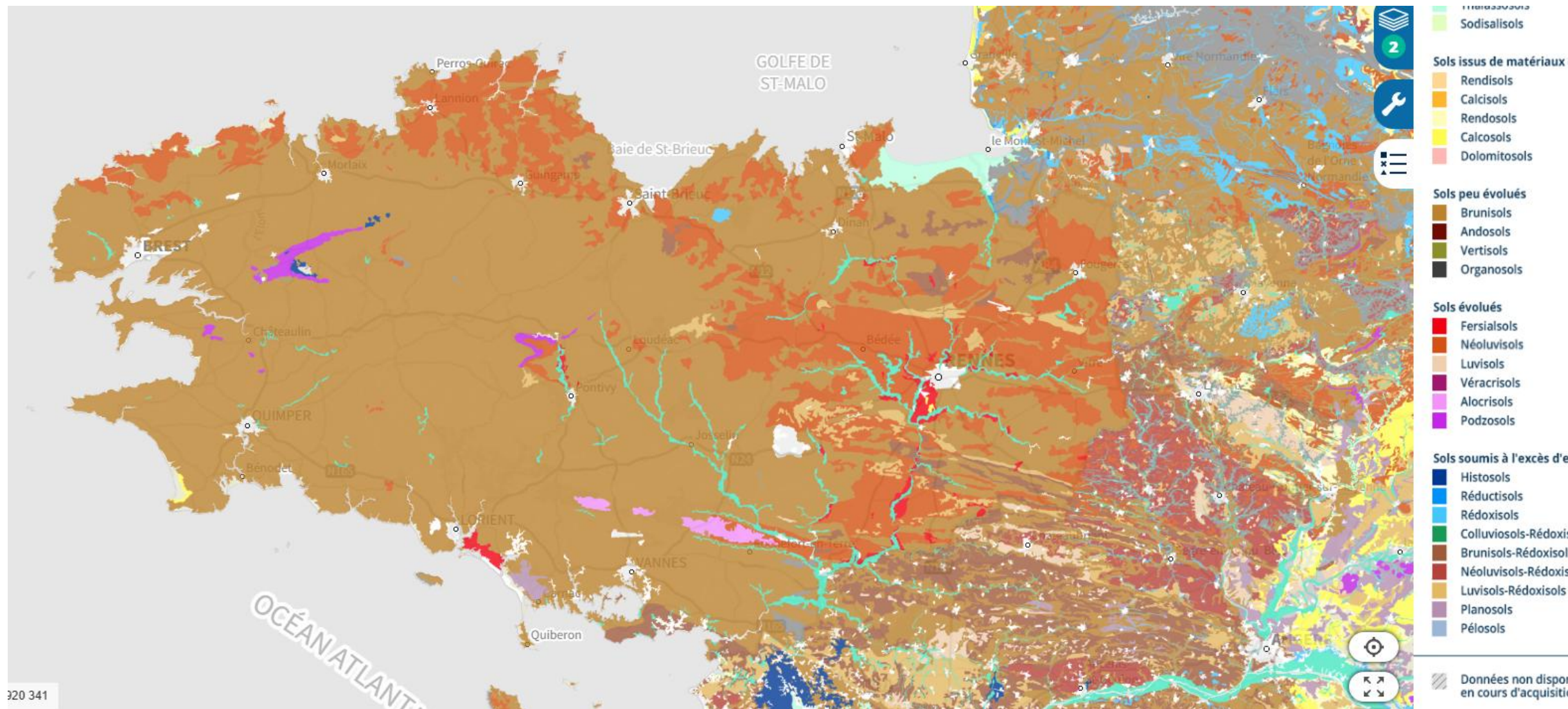


☰ Drainage - UCS ✕

🏡 Agglomérations, surfaces en eau...

- 1 - Drainage excessif
- 2 - Drainage favorable
- 3 - Drainage modéré
- 4 - Drainage imparfait
- 5 - Drainage faible
- 6 - Drainage assez pauvre
- 7 - Drainage pauvre
- 8 - Drainage très pauvre
- 9 - Submergé





- Brunisols et neoluvisol

3- L'eau dans le sol, porosité, rétention d'eau

b. Porosité totale du sol

La microporosité ou porosité capillaire correspond après ressuyage du sol aux pores qui contiennent de l'eau retenue par les forces capillaires avec un diamètre de $6\mu\text{m}$ et $0.2\mu\text{m}$ selon la texture du sol. La microporosité retient l'essentiel de la réserve en eau utilisable par les plantes. Les micropores sont accessibles aux bactéries et ceux qui ont un diamètre de 6μ permettent la pénétration des poils absorbants.

La macroporosité ou porosité non capillaire représente les pores qui sont remplis par l'air tandis que l'eau est renfermée dans ces pores et sous l'influence de la force de gravité, elle laisse la place à l'air.

Modélisation du comportement de l'eau dans le sol avec une éponge

On humidifie au maximum une éponge sous le robinet : l'eau s'en écoule alors par gravité. On se trouve alors à la capacité de saturation, et il n'est nécessaire d'exercer aucune pression pour faire sortir l'eau.

Si l'on attend assez longtemps (ou si on presse légèrement pour aller plus vite), l'éponge, toujours gorgée d'eau, ne laisse plus s'échapper d'eau : on se trouve alors au point de ressuyage (l'éponge contient alors un volume d'eau égal à la capacité de rétention). On peut alors exprimer l'eau en pressant sur l'éponge. A chaque fois, il faut presser plus fort...

On passe bientôt le point de fanaison (pour l'expérimentateur !), lorsque, bien que l'éponge paraisse encore humide, on n'arrive plus à en extraire d'eau par pression. Bien noter que le "point de fanaison" dépend de l'expérimentateur (c'est à dire, de la pression qu'il est capable d'exercer sur l'éponge) : de la même façon, des végétaux différents ont points de fanaison différents.

Ces différents points peuvent s'exprimer quantitativement soit par un contenu relatif en eau : la capacité notée Θ , soit par une pression (celle qu'on doit appliquer pour extraire l'eau) : le potentiel hydrique noté Ψ .

4-a. pH de l'eau : acidité effective

Les pH des sols varient en général entre 4 et 7,5

Tableau 11.1. Les 7 domaines de pH_{eau} distingués par le *Référentiel pédologique* (Afes, 2009) pour des horizons de sols et les qualificatifs correspondants.

pH inférieur à 3,5	hyperacide
pH entre 3,5 et 4,2	très acide
pH entre 4,2 et 5,0	acide
pH entre 5,0 et 6,5	peu acide
pH entre 6,5 et 7,5	neutre
pH entre 7,5 et 8,7	basique
pH supérieur à 8,7	très basique

Le complexe adsorbant et la solution du sol sont en fait entourés de plusieurs catégories de cations :

Diagramme circulaire illustrant la composition chimique d'un sol. Le diagramme est divisé en segments représentant différents ions et éléments. Les segments sont étiquetés avec des symboles chimiques : H, NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Fe, Al, et Al³⁺. Des flèches pointent vers certains segments, et une légende indique "mesurée sur un mélange terre + eau pure".

2 - Des ions H^+ (en réalité H_3O^+) retenus par liaison électrostatique.
Ils sont échangeables et en équilibre avec ions H^+ (H_3O^+) en solution.

C'est l'acidité «EFFECTIVE»

3 - Des ions H^+ (en réalité H_3O^+) provenant de la dissociation d'acides faibles dans la solution du sol : H_2CO_3 , acides organiques...

4 - Des ions Al^{3+} retenus par liaison électrostatique, donc échangeables. En solution, ils provoquent la formation d'ions H^+ :

$$\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$$

5 - Des Fe et Al non échangeables : soit sous forme d'hydroxydes, colloïdes électropositifs liés à l'argile, soit formant avec l'humus des complexes très résistants.

A côté de l'acidité «EFFECTIVE», deux autres expressions de l'acidité peuvent être mesurées au laboratoire :

Si l'on traite l'échantillon de terre, non à l'eau pure comme ci-dessus, mais par une solution de KCl ou de CaCl_2 ...

Si l'on traite l'échantillon de terre, non à l'eau pure comme ci-dessus, mais par une solution de KCl ou de CaCl₂...

...K⁺ ou Ca²⁺ font passer en solution les ions H⁺ et Al³⁺ échangeables. La mesure du pH sera différente, et renseignera sur l'acidité dite «D'ÉCHANGE» du sol.

Si l'on traite l'échantillon par une base, par ex. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, les ions HO^- «délagent» des H^+ et Al^{3+} liés par covalence...

Si l'on traite l'échantillon par une base, par ex. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, les ions HO^- «délagent» de H^+ et Al^{3+} liés par covalence...

...qui passent en solution et sont neutralisés par HO^- . La quantité de base apportée pour atteindre pH 7 permet le calcul de l'acidité «DE TITRATION».

4-b. pH KCl : acidité d'échange

Le pH KCl est inférieur au pH eau car l'addition de KCl ou de CaCl_2 déplace les protons adsorbés sur le complexe argilo-humique.

Plus la teneur en humus sera grande, plus la différence pH eau / pH KCl sera forte

Le complexe adsorbant et la solution du sol sont en fait entourés de plusieurs catégories de cations :

Diagramme circulaire illustrant la composition chimique d'un sol. Le diagramme est divisé en segments de différentes tailles et textures, représentant la proportion relative de différents ions et éléments. Les segments sont étiquetés avec des symboles chimiques : NH_4^+ , H^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe , Al , et Al^{3+} . Des flèches pointent vers certains segments, et une légende en bas à gauche indique "mesurée sur un mélange terre + eau pure".

2 - Des ions H^+ (en réalité H_3O^+) retenus par liaison électrostatique.
Ils sont échangeables et en équilibre avec ions H^+ (H_3O^+) en solution.

C'est l'acidité «EFFECTIVE»

3 - Des ions H^+ (en réalité H_3O^+) provenant de la dissociation d'acides faibles dans la solution du sol : H_2CO_3 , acides organiques...

4 - Des ions Al^{3+} retenus par liaison électrostatique, donc échangeables. En solution, ils provoquent la formation d'ions H^+ :

$$Al^{3+} + 3 H_2O \longrightarrow Al(OH)_3 + 3 H^+$$

5 - Des Fe et Al non échangeables : soit sous forme d'hydroxydes, colloïdes électropositifs liés à l'argile, soit formant avec l'humus des complexes très résistants.

A côté de l'acidité «EFFECTIVE», deux autres expressions de l'acidité peuvent être mesurées au laboratoire :

Si l'on traite l'échantillon de terre, non à l'eau pure comme ci-dessus, mais par une solution de KCl ou de CaCl_2 ...

ions
CHANGEABLES
 H^+ , Al^{3+} ,
et autres
cations

...K⁺ ou Ca²⁺ font passer en solution les ions H⁺ et Al³⁺ échangeables. La mesure du pH sera différente, et renseignera sur l'acidité dite «D'ÉCHANGE» du sol.

Si l'on traite l'échantillon par une base, par ex. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, les ions HO^- «délagent» des H^+ et Al^{3+} liés par covalence...

liés par
COVALENCE
 H^+ ,

...qui passent en solution et sont neutralisés par HO^- . La quantité de base apportée pour atteindre pH 7 permet le calcul de l'acidité «DE TITRATION».

5- Capacité d'échanges cationiques

Figure 4-22 - RAPPEL DE CHIMIE : ACIDES ET BASES

I - Définition des acides et des bases

Un **ACIDE** est une entité chimique (molécule ou ion) susceptible de **DONNER un ou plusieurs cations H^+** à une base, en particulier à H_2O qui a une **fonction base**, pouvant donc accepter l'ion H^+ en un cation H_3O^+ , **acide** le plus fort susceptible d'exister dans l'eau.

L'eau pure étant à la fois **acide et base**, contient une faible concentration d'ions hydronium H_3O^+ (ions H^+) et d'ions hydroxydes HO^- .

C'est une substance **AMPHOTÈRE** (du grec *ampho*, les deux, et *tera*, signe)

Une **BASE** est une entité chimique (molécule ou ion) susceptible d'**ACCEPTER un ou plusieurs cations H^+ donnés par un acide**, en particulier H_2O qui a une **fonction acide**, et cède H^+ en produisant HO^- , **base** la plus forte susceptible d'exister dans l'eau.

II - La force des acides et des bases

1 - Ne pas confondre «force» et «solubilité»

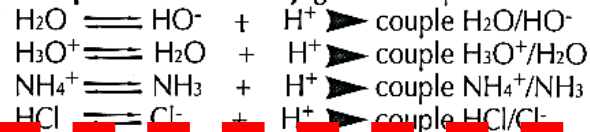
Un **acide** est «**fort**» lorsque, mis en solution dans l'eau, il se dissocie totalement en donnant naissance à des ions H_3O^+ (H^+).

Une **base** est «**forte**» lorsque, mise en solution dans l'eau, elle se dissocie totalement en donnant naissance à des ions HO^- .

Mais leur solubilité varie : une base peut être **forte et soluble**, la soude $NaOH$ par exemple. Elle peut aussi être **forte mais peu soluble**, la chaux $Ca(OH)_2$ par exemple.

2 - Qu'est-ce qu'un couple acide-base conjugués ?

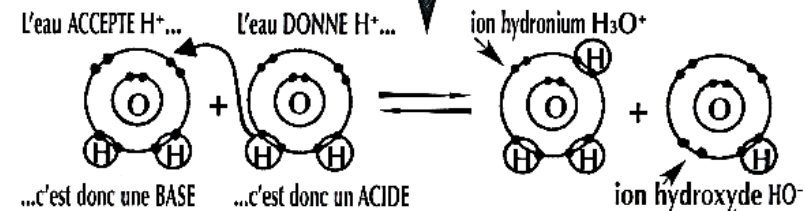
Le donneur de H^+ (l'acide) et l'accepteur de H^+ (la base) constituent un **couple acide-base conjugués**. Exemple :



• **Plus un acide est fort** (c'est-à-dire plus il a tendance à donner H^+), plus sa **base conjuguée est faible**, c'est-à-dire moins elle a tendance à accepter H^+ .

• **Plus une base est forte** (c'est-à-dire plus elle a tendance à accepter H^+), plus son **acide conjugué est faible**.

D'où la **classification ci-contre** de quelques molécules et ions (anions ou cations), selon leur «force» :



↑ ACIDES de force croissante peuvent DONNER des H^+	H_3O^+		H_2O	+ H^+	↓ BASES de force croissante ACCEPTENT des H^+
	HCl		Cl^-	+ H^+	
	HNO_3		NO_3^-	+ H^+	
	H_2SO_4		HSO_4^-	+ H^+	
	HSO_4^-		SO_4^{2-}	+ H^+	
	$(Fe H_2O)^{3+}$		$FeOH^{2+}$	+ H^+	
	H_3PO_4		$H_2PO_4^-$	+ H^+	
	CH_3CO_2H		$CH_3CO_2^-$	+ H^+	
	$(Al H_2O)^{3+}$		$AlOH^{2+}$	+ H^+	
	H_2CO_3		HCO_3^-	+ H^+	
	$H_2PO_4^-$		HPO_4^{2-}	+ H^+	
	NH_4^+		NH_3	+ H^+	
	HCO_3^-		CO_3^{2-}	+ H^+	
	HPO_4^{2-}		PO_4^{3-}	+ H^+	
	Ca^{2+}		$Ca(OH)_2$	+ H^+	
	Na^+		$NaOH$	+ H^+	
	H_2O		HO^-	+ H^+	

5- Capacité d'échanges cationiques

Figure 4-14

La capacité totale d'échange T

ou CAPACITÉ D'ÉCHANGE DE CATIONS C.E.C.

La CEC se mesure au laboratoire, et s'exprime en milliéquivalent (mék) pour 100 g de sol sec ou pour 1 kg de sol.

Les chimistes demandent qu'on l'exprime plutôt en centimole par kg (cmol/kg), mais les valeurs sont les mêmes qu'en méq.

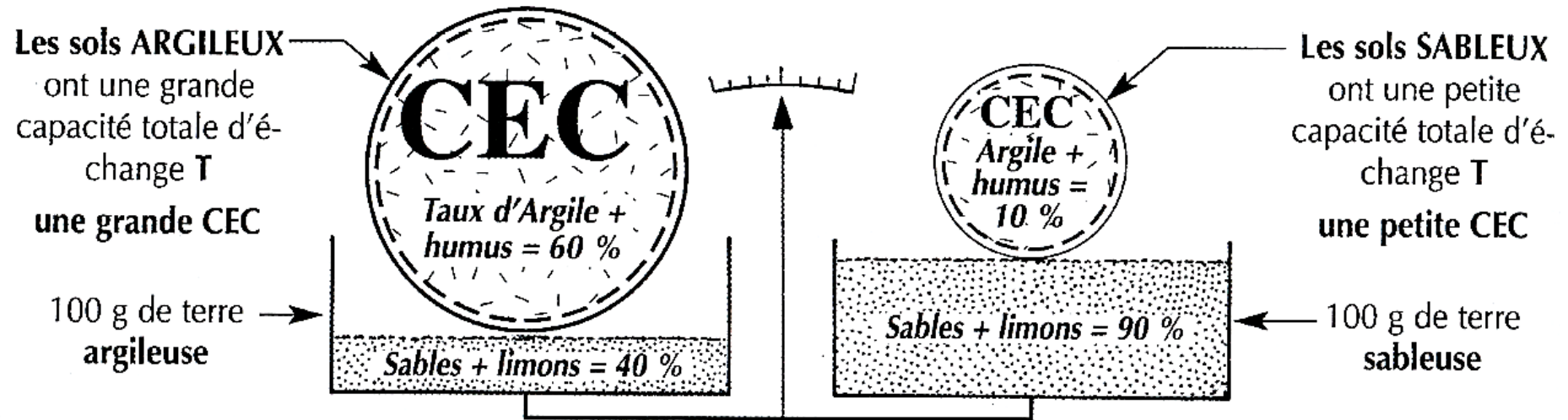
Voir planche 8-29 la mesure de la CEC et ses variantes, et le calcul en méq

La **Capacité d'Échange de Cations C.E.C.** (autrefois exprimée par T) est la quantité maximale de cations que peut fixer le sol.

C'est en somme l'ensemble des «places disponibles» sur les sites négatifs des colloïdes du sol : surtout argile et humus et un peu sur les limons fins

Certains parlent aussi du «réservoir cationique du sol» dont la capacité est fixe pour un sol, et différente d'un sol à l'autre

La Capacité d'Échanges de Cations (CEC) dépend donc de sa teneur en colloïdes argiles et humus : et aussi de leur capacité à échanger des ions (voir diapo suivante)



1 - Un AMENDEMENT BASIQUE CALCIQUE
se compose :

2 - d'un ANION
de basicité forte ou notable
 HO^- ou O^{2-} ou CO_3^{2-}

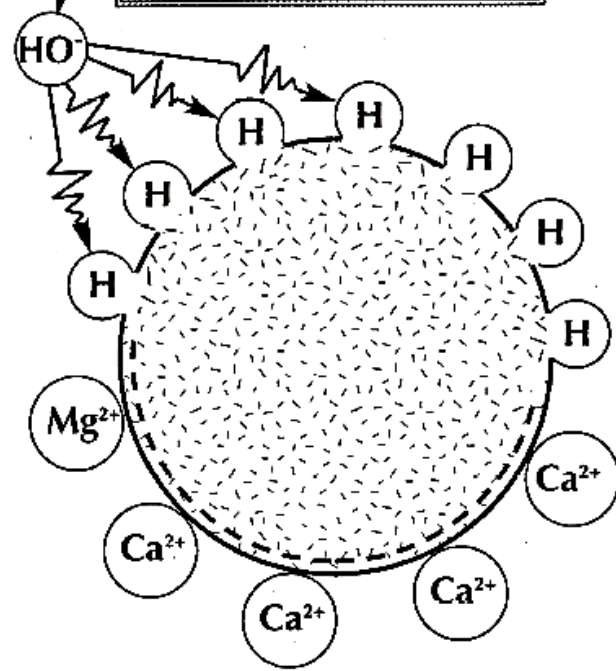
3 - d'un CATION
d'acidité négligeable
 Ca^{2+} , Mg^{2+}

Pour bien comprendre
ce schéma, lire les
explications dans l'ordre
des numéros

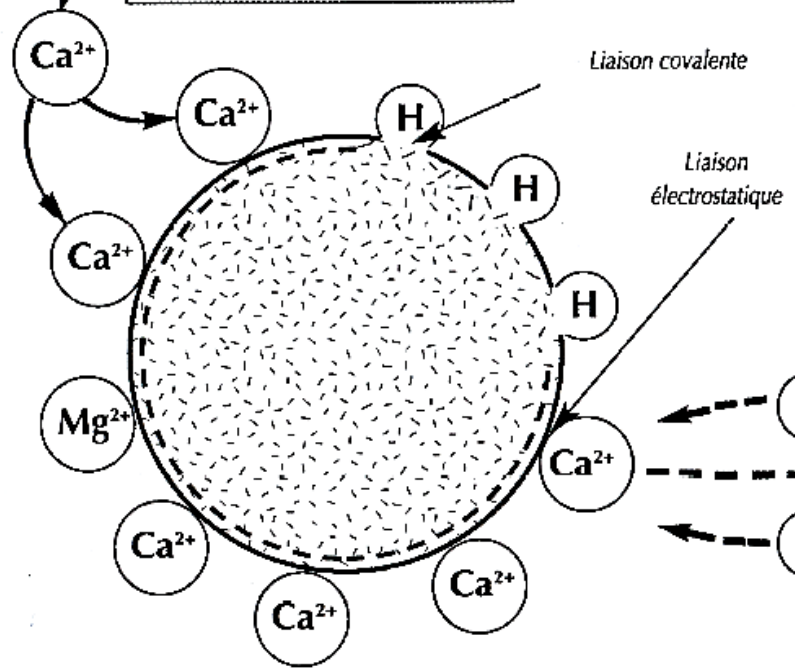
6 - Si l'on apporte un engrais potassique KCl ...

7 - ...il se dissocie complètement dans l'eau du sol en anions Cl^- et cations K^+

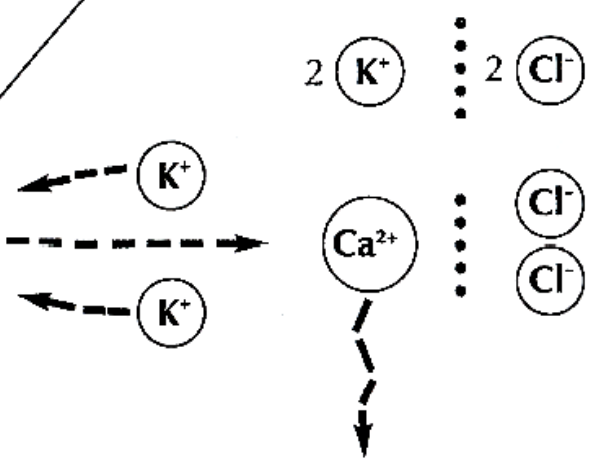
9 - Le CaCl_2 résultant de l'échange avec les cations K^+ est, lui aussi, entièrement soluble et dissocié : les ions Ca^{2+} sont alors exposés au lessivage.



4 - La base (ici HO^-) arrache, à l'état d'ions H^+ , des H acides non échangeables (car liés par covalence), puis neutralise ces H^+ avec formation d'eau H_2O .



5 - Sur les sites négatifs ainsi créés, des Ca^{2+} et/ou Mg^{2+} de l'amendement sont adsorbés. Il reste des H liés par covalence, mais l'acidité du complexe adsorbant a baissé.



8 - Il peut alors se produire un échange entre solution du sol et complexe adsorbant : deux cations K^+ peuvent prendre la place d'un cation Ca^{2+} ou Mg^{2+}

10 - Les réactions de neutralisation des ions H^+ varient selon l'anion basique de l'amendement :
 $2 \text{H}^+ + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ ou $\text{H}^+ + \text{HO}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ ou $2 \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
 En fait, les ions H^+ n'existent pas. Il s'agit des ions H_3O^+ . Cela revient au même, mais l'écriture des réactions diffère. Voir figure 4-21

Figure 4-19 - **LE COMPLEXE ADSORBANT, PLAQUE TOURNANTE DU FONCTIONNEMENT DU SOL**
 (Schéma inspiré du livre «Le Sol vivant», J.-M. Gobar, Michel Aragno et Willy Matthey, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes - 1998)

