

Tp₁: Détermination de la porosité du sol à partir de sa d_a et d_r

1-1-Introduction :

Les particules minérales et organiques du sol s'assemblent en unités structurales appelées « agrégats » dans lesquels ou entre lesquels se trouvent des vides ; ce sont des pores ou capillaires et des espaces lacunaires. Ces constituants du sol ont une densité apparente et une densité réelle, en connaissant ces deux paramètres, on arrive à déterminer la porosité (**voir cours Agro-pédologie, chapitre 1**).

La densité apparente (d_a) est déterminée souvent par la méthode du cylindre métallique et la densité réelle (d_r) souvent par la méthode pycnométrique.

1-2-Mesure de la densité apparente:

La densité apparente (d_a) correspond à la masse volumique du sol en place ; elle est variable selon la nature et l'état structural du sol. On la détermine au laboratoire soit par cylindre ou paraffine.

1-2-1-Méthode de cylindre

1-2-1-1-Principe:

Le prélèvement volumique (V) est effectué avec un cylindre métallique (volume connu = 250 cm^3) directement enfoncé dans le sol puis retiré rempli de terre.

L'échantillon est recueilli, séché et pesé (P sec)

1-2-1-2-Mode opératoire:

Aplanir la surface du sol en dégageant les débris végétaux,

Placer le cylindre,

Enfoncer le cylindre avec précaution jusqu'à ce que la surface de la couche mesurée dépasse la section supérieure du cylindre en évitant de tasser la terre à l'intérieur du cylindre,

Extraire le cylindre avec un couteau à lame résistante, en passant sous le cylindre à distance suffisante pour éviter tout arrachement de la terre de la partie inférieure du cylindre,

Raser progressivement les deux cotés du cylindre, d'abord avec le couteau puis avec une règle métallique taillée en biseau pour la finition,

Refermer hermétiquement le cylindre.

En arrivent au laboratoire, peser à l'état humide, sécher à l'étuve à 105°C pendant 24 heures, puis peser à l'état sec.

1-2-1-3-Calculs :

La densité apparente sèche : $d_a = P_s/V_t$.

P : Le poids sec de la terre, il est obtenu après séchages à l'étuve à **105°C** pendant **24 heures**.

V= Le volume de la terre à l'intérieur du cylindre = **250 cm³**

1-2-2-Méthode de la paraffine :

1-2-2-1- Principe:

La mesure est effectuée sur une motte ou tout autre élément de sol se débitant facilement. L'échantillon est enduit par trempage d'une couche de paraffine liquéfiée qui le rend imperméable à l'eau en se refroidissant. Le volume apparent de l'échantillon enrobé est obtenu par mesure dans un tube pycnométrique.

1-2-2-2-Mode opératoire :

Peser une motte de sol sec (P1) ; Enrober la motte avec la paraffine liquide (P2) ;

Plonger la motte enrobée avec la paraffine dans l'eau ; Mesurer le volume de l'eau déplacé ; c'est le volume de la motte (V).

1-2-2-3-Calculs:

$V = V_t + V_p$ avec V_p : volume de la paraffine qui enrobe l'échantillon.

$V_p = (P_2 - P_1) / d_p$ avec d_p : densité de la paraffine.

$d_a = P_1 / V_t = P_1 / (V - V_p) = P_1 / [V - (P_2 - P_1) / d_p]$

donc : **$d_a = P_1 / [V - (P_2 - P_1) / d_p]$**

P1 est le poids de l'échantillon de sol sec sans paraffine.

P2 est le poids du même échantillon enrobé avec de la paraffine et V est le volume apparent mesuré

1-3-Mesure de la densité réelle (densité de la phase solide) par la méthode du pycnomètre

La densité réelle (d_r) représente la masse volumique des éléments solides du sol (de l'ordre de 2,6)

1-3-1-Principe :

La méthode pycnométrique ou la méthode du « pycnomètre à eau » consiste à déterminer le volume d'eau déplacé par une masse connue d'un échantillon de sol dans un volume connu.

On utilise à cet effet un pycnomètre qui permet des mesures précises quelque soit la forme de l'échantillon en pesant d'abord le pycnomètre vide, puis le pycnomètre contenant une masse de sol à étudier ensuite le même pycnomètre avec la masse de sol rempli d'eau et enfin le pycnomètre rempli uniquement d'eau.

De ces différentes pesées on déduit la masse du sol étudié et le volume d'eau déplacé ou le volume de l'échantillon de sol d'où :

$d_r = \text{masse du sol} / \text{volume d'eau déplacé}$

1-3-2-Mode opératoire :

La méthode consiste à faire une série de quatre pesées **a**, **b**, **c**, **d**, dont on déduit le poids et le volume de l'échantillon ;

Peser le pycnomètre vide nettoyé et séché à l'étuve (**a**) ;

Remplir le pycnomètre d'eau distillée dégazée ;

Peser (pycnomètre + eau distillée) (**d**) ;

Introduire l'échantillon ;

Compléter au $\frac{3}{4}$ le pycnomètre avec de l'eau dégazée ;

Placer le pycnomètre sous vide pendant plusieurs heures (jusqu'à disparition des bulles d'air).

Compléter ensuite avec de l'eau dégazée jusqu'au repaire. Ajuster à l'aide d'une seringue ;

Peser (pycnomètre + l'eau + l'échantillon) (**c**) ;

Peser (pycnomètre + échantillon sec) (**b**)

1-3-3- Calculs : **a** = le poids de pycnomètre vide

b = le poids de pycnomètre contenant le sol à étudier (15g environ).

c = le poids de pycnomètre + sol + eau distillée dégazée **d** = le poids de pycnomètre rempli d'eau.

Cette méthode est rapide et simple ; elle met en jeu un matériel courant et peu coûteux

$$d_r = \frac{B}{V_s} \text{ g/cm}^3$$

$$d_r = \frac{b-a}{(b+d)-(a+c)} \text{ g/cm}^3$$

1-4-Détermination de la porosité totale :

La porosité totale correspond au volume des vides par rapport au volume total. Elle s'exprime en % et se calcule d'après la formule :

$$P \% = ((d_r - d_a)/d_r) \cdot 100$$

Porosité totale = porosité pour l'air + porosité pour l'eau

$$P = M + m$$

M : macroporosité ou porosité non capillaire m : microporosité ou porosité capillaire

Si la microporosité peut être sensiblement assimilée à la capacité de rétention en eau du sol corrigé par la densité apparente d_a , on peut écrire :

$$m = CR \cdot d_a ; \text{ donc } M = P - m$$

On définit alors les conditions d'aération ainsi que les possibilités de rétention et de circulation de l'eau du sol.

1-4-Interprétation :

Tableau 1 : Normes d'interprétation de la porosité (ENIB, 2000).

Porosité totale estimée	Porosité totale
Non poreux	< 2%
Peu poreux	2 à 5%
Moyennement poreux	5 à 15%
Poreux	15 à 40%
Très poreux	> 40%

(ENIB, 2000).

Tp2: Détermination du calcaire (total et actif) dans le sol

2-1- Introduction et notions de base sur le calcaire dans un sol:

Le calcaire ou carbonate de calcium, ou aussi dite la calcite (CaCO_3) est l'un des constituants essentiels des sols qui se classant souvent après les fractions granulométriques (argiles, limons et sables).

De point de vue pédologique, il est considéré comme l'un des minéraux secondaires avec les argiles, les oxy-hydroxydes, les sulfates et les chlorures (expliqué en détails au cours).

C'est dans les régions subarides et arides que les accumulations calcaires prennent des proportions considérables au sein du profil pédologique et résultent soit de l'altération de la roche mère, des eaux de ruissellement ou des eaux de la nappe phréatique.

Ces accumulations se présentent sous trois formes : diffuse, discontinue et continue

La présence de calcaire dans un sol peut induire une série de modifications au niveau des propriétés physiques (structure et stabilité structurale, capacité de rétention en eau, profondeur utile.....), chimiques (source importante Ca^{2+} intervenant dans la saturation et la floculation du complexe absorbant.....), biologiques (Ca^{2+} Libéré participe à la nutrition minérale des plantes, stimule la microflore.....).

Mais quand le calcaire se trouve dans le sol à la fois en quantité trop forte, les conséquences pour les plantes peuvent être fondamentales.

Le calcaire fin (actif) peut bloquer certains éléments indispensables aux plantes comme le fer, B, Cu, Mn, Zn, en solubilisation de la calcite au niveau des racines dont le fonctionnement se trouve perturbé, obstacle à la minéralisation de la matière organique par effet d'enrobage

On procède généralement aux dosages du : **calcaire total** par la **méthode volumétrique ou** gazométrique (a l'aide du calcimètre de Bernard) et **calcaire fin** (actif) **par la méthode de DROUINEAU**

2-2- Détermination du calcaire total dans le sol

2-2-1- Principe de détermination du calcaire total

Le calcaire **total** (CaCO_{3t}) contenu dans un échantillon de sol est déterminé par **gazométrie** à partir de la réaction chimique : $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \text{-----} \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

On utilisant le **calcimètre BERNARD**.

L'appareil est, constitué d'une colonne graduée contenant une solution colorée et reliée à une ampoule mobile dans laquelle la surface de la solution colorée se trouve au contact de l'air ; la colonne graduée est, d'autre part, reliée à un erlenmeyer à embout(HCl) au fond auquel on introduit l'échantillon à analyser.

Le gaz carbonique dégagé comprime le liquide coloré et selon le principe des vases communicants et par ajustage des deux niveaux (ampoule-colonne), on lit le volume déplacé correspondant au volume de CO₂ dégagé. Ainsi la quantité de CaCO₃ est proportionnelle au volume de CO₂ dégagé lu sur la colonne graduée.

2-2-2-Réactifs: HCl (1/2 C), eau distillée saturée en NaCl (300g/l), calcaire pur et sec (CaCO₃ en poudre)

2-2-3-Mode opératoire :

Avant de doser le calcaire existant dans l'échantillon du sol, on procède d'abord à l'étalonnage du calcimètre en faisant réagir une quantité connue de CaCO₃ avec HCl.

2-2-3-1-Etalonnage de l'appareil ou essai témoin:

Introduire 0,3 g de CaCO₃ pur et sec au fond de l'erlenmeyer et mouiller par quelques gouttes d'eau distillée,

Mettre 5 ml d'HCl 1/2 C à l'intérieur de l'embout,

Boucher hermétiquement l'erlenmeyer et ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré soit au niveau O dans la colonne graduée,

Vider l'acide chlorhydrique sur le calcaire pur et sec en inclinant légèrement l'erlenmeyer,

Agiter pour favoriser la réaction,

Suivre la course du liquide coloré dans la colonne graduée en abaissant l'ampoule,

Ajuster les deux niveaux (ampoule-colonne),

A la fin de l'effervescence, noter le volume de CO₂ dégagé en ml = V

2-2-3-2-Dosage du CaCO₃ dans l'échantillon de sol :

Remplacer le CaCO₃ pur et sec par 1, 2,5 ou 10 g de sol (la prise d'essai P est variable suivant la richesse de l'échantillon en CaCO₃ et on la détermine de telle sorte que le volume de CO₂ qui s'en dégage, se rapproche du volume obtenu dans l'essai témoin),

Puis opérer de la même façon que pour le témoin,

A la fin du bouillonnement, abaisser l'ampoule mobile pour ajuster deux niveaux du liquide coloré dans celle-ci et dans la colonne graduée,

Noter le volume de CO₂ dégagé en ml = **v**

2-2-4-Calculs et résultats :

La teneur en CaCO₃ d'un sol est exprimée généralement en % ;

Sachant que **V** est le volume de CO₂ dégagé par 0,3 g de CaCO₃

v est le volume de CO₂ dégagé par une prise d'essai **P**

La quantité de CaCO₃ contenue dans cette prise d'essai de sol sera donc :

0,3 .v/V ; soit **0,3 .v/V .P** dans 1 g de sol

Donc dans 100 g de sol: **% CaCO₃= 0,3 .v/V .P .100**

2-2-5-Interprétation:

Calcaire total : selon GEPPE (travaux de commission: données analytiques et interprétations agronomiques) **in Baize(1988)**

< 1 % Horizon non calcaire

1 -5% horizon peu calcaire

5-25% horizon modérément calcaire

25-50% horizon fortement calcaire

50-80% horizon très fortement calcaire

>80% horizon excessivement calcaire

Remarque: Faire le dosage du CaCO₃ actif, si % CaCO₃total est supérieurs à **5% est obligatoire.**

2-3- Détermination du calcaire actif du sol par la méthode de DROUINEAU-GGOUNY

2-3-1- Principe :

Le calcaire actif correspond au calcaire facilement solubilisé . sa détermination est basée sur la mesure de la baisse du titre d'un solution d'oxalate d'ammonium mise en contact avec le sol . il y a précipitation d'oxalate de Ca et formation de carbonate d' NH_4 :



l'oxalate restant est dosé par manganimétrie .

Cette méthode ne convient pas pour les sols humifères .

2-3-2-Réactifs:

Solution 0,2 N d'oxalate d'ammonium cristallisé ($2\text{H}_2\text{O}$) ppa obtenue en dissolvant 14,2 g de produit dans 1 litre d'eau distillée .

Acide sulfurique .

Solution de permanganete de potassium ppa (6,32 g / 1) : 0.2 N

2-3-3- Appareillage :

Agitateur convenable + flacons adaptés

Agitateur magnétique chauffant

2-3-4- Mode opératoire :

Peser ~ 2,5 g de terre tamisée (0.2 mm)

Introduire dans un flacon (ex : biberon) , ajouter 250 ml d'oxalate d' NH_4 0,2 N (N ox)

Agiter 2 heures

Filtre en rejetant les 1° ml .

Prélever 20 ml du filtrat à la pipette , y ajouter dans un bêcher de 400 ml , 100 ml E D et 5ml d' H_2SO_4 concentré

Chauffer à 60 – 70°C et titrer (agitateur magnétique chauffant) jusqu'à apparition d'une teinte rose avec KMnO_4 0,2 N (N ') : soit n ml de MnO_4

Titrer dans les mêmes conditions 20 ml de la solution d'oxalate : soit n' ml .

2-3-5- Calculs :

$(n' - n) (N' / \text{Nox})$ représentent le volume en ml d'oxalate ayant servi à l'attaque

Soit : $(n' - n) (N' / \text{Nox}) (\text{Nox} / 2 \cdot 1000)$ molécules d'oxalate qui correspondent à une quantité équivalent de molécules de CaCO_3 .

Soit pour l'échantillon entier et pour 100 g de terre:

$$\text{CaCO}_3 \text{ actif \%} = (n' - n) (N' / 2000) * (250 / 20) * (100 / p - P) = (0,625 (n' - n) N' / P)$$

Exemple ici $N' = 0,2$

$$p = 2,5\text{g} \quad \text{CaCO}_3 \quad \text{actif \%} = 0,5 (n' - n)$$

Tp₃: Détermination du phosphore assimilable dans le sol

(Méthode de JORET-HEBERT 1955)

3-1-Introduction

Le phosphore est un des éléments constitutifs majeurs des tissus végétaux comme des tissus vivants. Il joue un rôle important dans la synthèse et le métabolisme des glucides et se concentre dans les organes reproducteurs.

Les formes du phosphore dans le sol, sont multiples et variées et que celles-ci évoluent rapidement sous des influences diverses telles que les alternances humectation-dessiccation, l'acidité, la basicité et l'alcalinité ainsi que l'activité biologique.

Le phosphore assimilable; appelé aussi 'réserve assimilable' ou 'fraction labile', est celui susceptible d'être absorbé par les racines.

La proportion de phosphore assimilable dans le sol est étroitement liée au pH du sol. Selon le pH, une fraction plus ou moins importante du phosphore assimilable se combine avec d'autres éléments du sol et devient indisponible pour la plante (**voir cour agro-pédologie, chapitre 2**), tel que sa combinaison avec le fer et l'alumine dans les sols acides et même sa combinaison avec le calcium et les carbonates libres dans les sols calcaires.

3-2-Principe :

Le dosage du phosphore assimilable par la méthode (**JORET – HEBERT, 1955**) se base sur les notions suivantes :

L'acide phosphorique est extrait par l'oxalate d'ammonium. Le rapport terre/solution est égal à 1/25.

Le dosage est basé sur la formation et la réduction d'un complexe de l'acide phosphorique et de l'acide molybdique. Dans la solution d'oxalate d'ammonium contenant un phosphate, l'addition d'un réactif sulfomolybdique et d'une solution d'acide ascorbique provoque, par chauffage, le développement d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ortho-phosphates.

3-3-Réactifs :

3-3-1-Oxalate d'ammonium 0,2 N (14, 2 g /l) :

Peser 14.2g d'oxalate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Introduire dans un bécher de 1l contenant 800 ml de l'eau chaude. Agiter. Verser la solution dans une fiole jaugée de 1l et compléter à 1l avec l'eau distillée. La solution est d'une concentration de 0.2N.

3-3-2-Réactif sulfo-molybdique :

Dissoudre 37,5g de molybdate d'ammonium $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, dans un bécher de 500 ml contenant environ 150 ml d'eau distillée. Dans un bécher de 1 l, ajouter 280 ml de H_2SO_4 pur ($d = 1,84$) à environ 200 ml d'eau. Après refroidissement, y verser lentement et en agitant, la solution molybdique. Laisser refroidir et compléter à 1L avec l'eau distillée. Conserver dans un flacon brun et placer dans un réfrigérateur. Le réactif contient 30g/l de MoO_3 , et sa normalité est de 10 N.

3-3-3-Acide ascorbique 1 % :

Peser 1g d'acide ascorbique, introduire dans une fiole jaugé de 1l. Dissoudre et compléter à 1 l, avec de l'eau distillée. Conserver au réfrigérateur et renouveler chaque semaine.

3-3-4-Solution étalon d'ortho-phosphate :

Solution préparée à partir du phosphate mono-potassique (NH_2PO_4). C'est une solution aqueuse contenant 50 mg/l de P_2O_4 (50 ppm).

Peser 1.917g de NH_2PO_4 . Introduire dans une fiole jaugé de 1l. Dissoudre et compléter à 1 l, avec de l'eau distillée. Homogénéiser. La solution contenant 1g/l (1000ppm) de P_2O_4 . Dans une fiole jaugée de 200 ml, mettre 10 ml de la solution à 1g/l de P_2O_4 . Compléter à 200 ml avec de l'eau distillée. Homogénéiser. Cette deuxième solution contenant 50mg/l (50ppm) de P_2O_4 est utilisée pour l'établissement de la gamme.

3-4-Mode opératoire :

3-4-1-Extraction :

Peser 4 g de terre fine et introduire dans un bécher de 200 ml.

Ajouter 100ml d'une solution d'oxalate d'ammonium.

Agiter pendant 2h. Filtrer la solution et recueillir la solution dans une fiole de 100 ml.

3-4-2-Colorimétrie :

Dans un tube à essai, mettre : 1,5 ml de la prise d'essai, 2,0 ml réactif sulfo-molybdique, 6,5 ml de la solution d'acide ascorbique

Homogénéiser bien les solutions.

Passer les tubes au bain – marie bouillant, pendant 10-12mn

Laisse refroidir.

Passer au colorimètre et colorimètre à 650 nm.

3-4-3-Etablissement de la gamme :

Numéro du tube	0	1	2	3	4	5
KH₂PO₄ (50 ppm) (ml)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Oxalate d'ammonium (ml)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Réactif sulfomolybdique (ml)	2	2	2	2	2	2
Acide ascorbique (ml)	6.5	6.4	6.3	6.2	6.1	6
Concentration finale ppm de P₂O₅	0	0.5	1	1.5	2	2.5

Homogénéiser et placer ces tubes au bain marie bouillant, pendant 10-12mn. Laisse refroidir.

Passer au colorimètre et colorimètre à 650 nm.

3-5-Calculs :

x : concentration lue sur le graphique en mg/l de P₂O₅. U : volume colorimétrie (10 ml).

v : volume de la prise d'essai (1.5 ml) V: volume de la solution d'extraction (100 ml)

P : poids de la prise de terre (4 g).

$$P_2O_5 \text{ ppm} = x (U / v) (V / P) = x (10 / 1.5) (100 / 4) = x (1000 / 6)$$

3-6-Interprétation :

Taux de phosphore assimilable en ppm	<30 ppm	30-50 ppm	50-100ppm	100-200 ppm
	Très faible	pauvre	Moyennement pauvre	riche

TD 1: Le sol système à trois phases, relations massiques et volumiques

En se basant sur la représentation théorique du système sol à trois phase (**figure 1**) on peut tirer plusieurs relations massiques et volumiques (**voir chapitre 1; cours agro-pédologie**).

Tels que : le degrés de saturation Q_s , l'indice des vides e , la teneur relative en air λ_a , la densité réelle d_r , la densité apparente à l'état sec (d_a) et la porosité

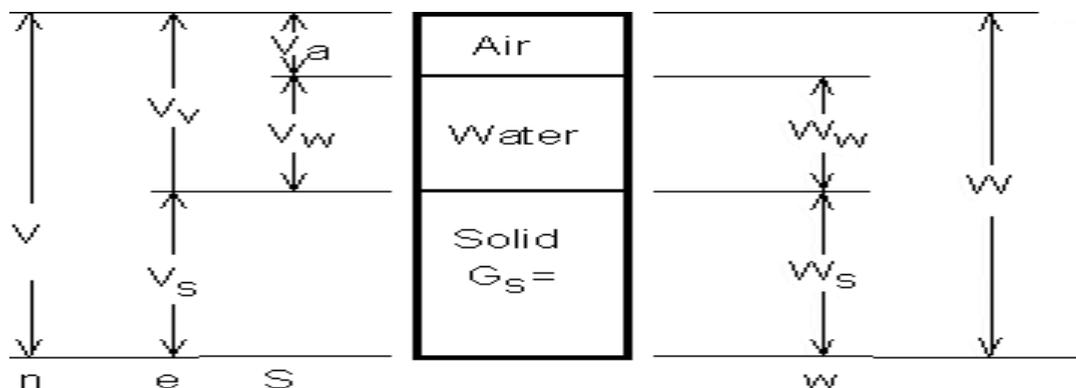


Figure 1: Phases **solide, liquide** et **gazeuse** d'un sol et **indication** des grandes lignes de désignation des relations **massiques et volumiques**.

Sachant que:

V: volume total, **Vv:** volume des vides, **Vs:** volume des solides, **Va:** volume de l'air

Vw: volume de l'eau, **W:** masse total, **Ww:** masse de l'eau, **Ws:** masse du solide

TD 2 : Relations entre les unités de mesure et leur application en Science des sols

2-1- Unités de conversions

2-1-1-Unités de masse: le système de mesure est décimal, l'unité principale étant le gramme.

Le tableau de conversion des unités de masse est:

Tonne	quintal		Kg	hg	Dag	g	Dg	cg	mg
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2-1-2-Unités de longueur: le système de mesure est décimal, l'unité principale est le mètre.

Le tableau de conversion est :

Km	Hm	Dam	M	dm	Cm	mm
1	0	0	0	0	0	0

$$1\mu\text{m} = 10^{-3} = 10^{-6}\text{m}$$

2-1-3-Unités de surface: le système de mesure est centésimal dont l'unité de base est le m². Le tableau de conversion des unités de surface est:

Km ²	hm ²	dam ²	m ²	dm ²	cm ²	mm ²
1	00	00	00	00	00	00

$$1\text{are} = 10\text{m} * 10 = 100\text{m}^2 = 1\text{dam}^2$$

$$1\text{hectar} = 100\text{m} * 100\text{m} = 10000\text{m}^2 = 100\text{ares} = 1\text{hm}^2$$

2-1-4-Unités de volume: le système de mesure des volumes est millésimal dont l'unité de base est le m³. Le tableau de conversion est le suivant:

m ³	dm ³	cm ³	mm ³
1	000	000	000

Avec un autre système aussi qui est déséal et dont l'unité de base est le litre:

Litre	Décilitre	Centilitre	Millilitre
1	0	0	0

La relation entre les deux systèmes est :

$$1\text{ dm}^3 = 1\text{ l}$$

$$1\text{ cm}^3 = 1\text{ ml}$$

2-2-Expression des résultats :

2-2-1- Les unités les plus utilisées sont:

-**Pourcentage (%)** : c'est la quantité d'un élément pour 100 unités.

-**Pour millième (‰)** : c'est la quantité d'un élément par rapport à 1000 unités.

-**Partie par million (ppm)** : c'est la quantité d'un élément pour un million d'unités.

-**Equivalent** : c'est la masse en g de l'élément sur sa valence. On utilise aussi le meq (masse en mg sur sa valence).

2-2-2-Exemples d'utilisation de ces unités :

Analyse du complexe adsorbant : meq/ 100g de terre et aussi meq/g de terre.

Solution du sol : ppm, meq/l, mol/l.

Analyse du calcaire totale et du gypse: % par rapport à la terre sèche mais pour le calcaire actif en ‰

Éléments nutritifs (généralement on cherche à déterminer leur forme totale mais aussi assimilable parfois):

P₂O₅ : % , ‰ (forme totale) et ppm (forme assimilable)

P % , ‰ (forme totale) et ppm (forme assimilable)

K₂O % , ‰ (forme totale) et ppm (forme assimilable)

N % , ‰ (forme totale) et ppm (forme assimilable)

Fractions granulométriques : argile, limon et sable en %

2-2-3- Conversions :

*meq / mmol / mg .

Pour les monovalents : 1 meq = 1 mmol = la masse atomique de l'élément en mg.

Pour un bivalent : 1 meq = 0,5 mmol = la masse atomique de l'élément / 2 en mg.

Pour les autres: $1\text{meq} = 1\text{mmol} / z = \text{la masse atomique de l'élément en mg/z}$ (z est la valence de cet élément).

* ‰ , ‰ et ppm

$$1 \text{ ‰} = 10 \text{ ‰} = 10000 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ ‰} = 0,1\text{‰} = 1000 \text{ ppm}$$

$$1\text{ppm} = 0,01 \text{ ‰} = 0,0001\text{‰}$$

Lorsque le rapport est en masse la ppm équivalent le mg/Kg

Lorsqu'il s'agit d'une solution aqueuse c'est à dire que le solvant est l'eau, $1\text{ppm} = 1\text{mg/l}$

Et voici quelques exemples de conversions :

