

N° d'ordre...

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des Sciences de l'Environnement

Polycopié

Présenté par :

Dr. MELIANI Habib

Intitulé

PROTOCOLES COURANTS DES ANALYSES DES SOLS

Polycopié validé par le conseil scientifique de la faculté SNV en date du 07 Mai 2018

Polycopié destiné aux étudiants inscrits en :

Licence :

2^{ème} année Sciences Agronomiques

3^{ème} année Biologie et physiologie végétale

3^{ème} année Ecologie & environnement

3^{ème} année Production végétale

Master I :

✓ Biologie de la conservation

✓ Biodiversité et écologie végétale

Année Universitaire 2017/2018

Avant-propos

Ce polycopie a été rédigé pour :

Permettre aux étudiants naturalistes qui se destinent, soit à l'enseignement, soit à la recherche.

Vulgariser certaines méthodes d'étude du sol pour des personnes qui n'ont jamais eu la possibilité de recherche, d'acquérir certaines connaissances qui leur seront indispensables dans l'accomplissement de leur fonction.

La plupart des méthodes exposées dans ce polycopié sont déjà utilisées dans nombreux laboratoires d'agronomie, de pétrographie, de pédologie. Certaines présentent de nombreuses variantes s'adaptant soit à de différents objectifs de recherche, soit à des différents types d'équipement en matériel.

Il ne fait pas de doute que ce premier essai de recueil de méthodes devra être par la suite amélioré et complété, car la Pédologie est une science en pleine évolution faisant appel à des techniques de plus en plus perfectionnées.

Le plan de ce polycopié a été déterminé par les différentes étapes successives de l'étude d'un sol.

Table des Matières

Avant-propos

Définition de la pédologie.....	-1-
La granulométrie.....	-5-
Analyse physique du sol.....	-7-
Dosage de calcaire total.....	-12-
Dosage de calcaire actif.....	-15-
Dosage de carbone organique.....	-18-
Mesure du pH.....	-21-
Détermination de la salure.....	-28-
Dosage des chlorures.....	-29-
Références bibliographiques	-31-
ANNEXE.....	-34-

Dans l'écologie, science qui a pour but d'étudier les conditions de milieu dans lesquelles vivent les êtres vivants, trois grands domaines de recherches complémentaires peuvent être considérés ; ce sont : les facteurs climatiques, les facteurs biotiques, et les facteurs édaphiques. L'étude de ces derniers a reçu le nom de **Pédologie**, science qui a pour tâche de connaître le sol.

Définition de la pédologie

Le terme pédologie, vient du grec : **Pédon**, qui veut dire sol et **logos** qui veut dire science.

Sciences des sols qui englobent les aspects physico-chimiques (étude des propriétés des sols et applications agricoles pratiques) et l'aspect dynamique (étude de la formation et de l'évolution des sols).

Qu'est-ce qu'un sol ?

En pédologie, le sol est la partie superficielle de l'écorce terrestre. Il se forme aux dépens de la roche mère, qui s'altère sous l'effet de facteurs climatiques et biologiques. Il a en général une structure meuble, une composition chimique variable et une épaisseur qui peut aller de quelques centimètres à plusieurs mètres.

Il est constitué d'éléments solides (minéraux, matières organiques), liquides (solution du sol) et gazeux (atmosphère du sol).

Le sol agricole remplit trois rôles ; un rôle physique (support des racines des plantes), un rôle chimique (nutrition minérale des végétaux) et un rôle biologique car il se comporte comme un milieu vivant. Ce dernier rôle est des plus utiles, car la vie du sol (verses de terre, bactéries, ...) régularise la plupart des phénomènes qui s'y produisent. Mais tous les sols ne sont pas utilisables en agriculture. Un bon sol de culture doit posséder une structure favorable et les substances minérales nécessaires à l'alimentation des plantes.

Grace à l'étude physico-chimique et à l'étude biologique du sol, l'agriculteur peut mieux connaître ses terres et déterminer ainsi avec précision le mode d'exploitation qui est le mieux adapté.

Les analyses en pédologie

Les analyses en pédologie visent à caractériser la composition et les qualités physicochimiques d'un sol. Ils sont couramment pratiquées en vue de connaître les potentialités d'exploitation

durable du sol de façon à économiser et gérer les pertes par érosion et de protéger l'environnement.

Profil pédologique

C'est une coupe verticale d'un sol montrant la succession des couches ou horizons, de couleur, de texture et de structure différentes.

L'étude détaillée des profils permet de connaître les propriétés des sols en vue de leur mise en valeur. Elle permet de classer les sols et d'établir les cartes pédologiques.

Profil cultural

Tranchée fraîchement préparée en terrain cultivé et allant de la surface du sol à la profondeur atteinte par la majorité des racines des plantes cultivés (en général), c'est donc l'ensemble constituée par la succession des couches de terres, individualisées par l'intervention des instruments de culture, les racines des végétaux, et les facteurs naturels réagissant à ces actions. (Fig.01)

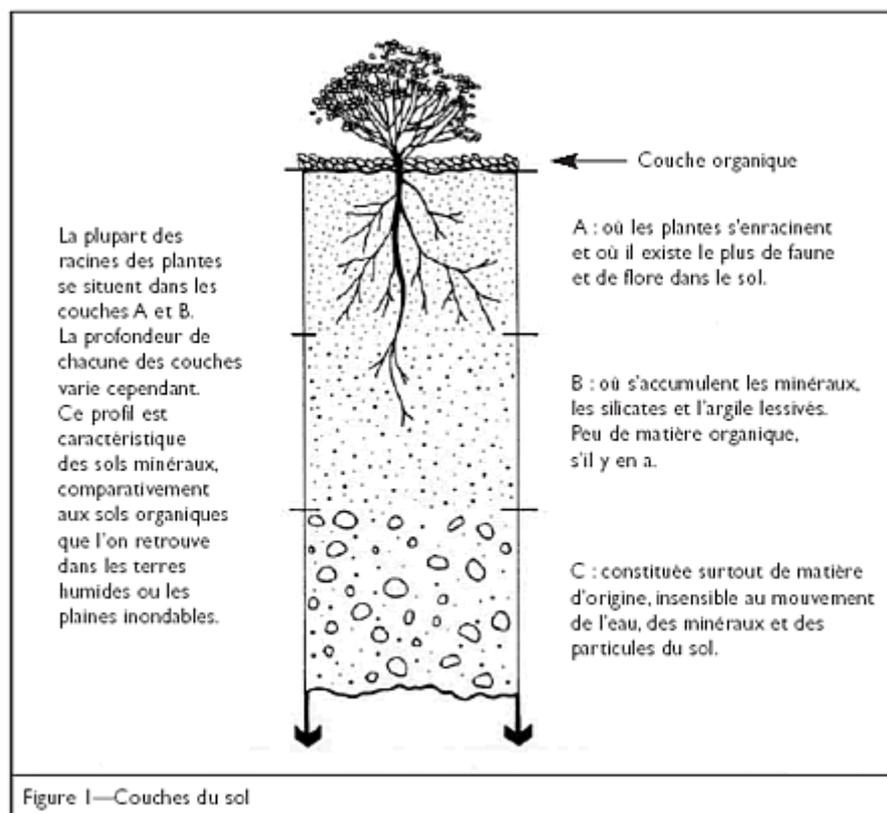


Figure n°01. Couches du sol

Prélèvement et traitement des échantillons

Prélèvement des échantillons

Moment de prélèvement

- En toute saison.

- En évitant de prendre des échantillons après un apport de fumier ou d'épandage d'engrais.

La surface de la zone d'échantillonnage et le nombre d'échantillons

- Si la surface de la zone n'excède pas 5 ha et si le terrain est très homogène un seul échantillon suffira. (Mélange d'une dizaine d'échantillons bien réparties sur la surface homogène).
- Si la surface n'excède pas 5 ha et si le terrain est hétérogène, il faut prévoir autant d'échantillons que de qualité différente de sol.
- Si la surface de la zone est très grande, on divise en petites surfaces (parcelles) de terrains homogènes (à peu près 5 ha).

La profondeur de prélèvement

En cas de profil cultural

- Si le terrain n'est pas labouré, le prélèvement d'échantillon se fait dans la couche où se trouve les racines des plantes.
- Si le terrain est labouré, le prélèvement se fait au milieu de la couche travaillée par la charrue.
- Si le terrain est à culture pérenne (permanente), le prélèvement d'échantillons se fait à une plus grande profondeur où se trouve les racines fines.

En cas de profil pédologique

On procède à l'ouverture d'une fosse, les dimensions de cette dernière doivent nous permettre d'y travailler confortablement ; un carré d'un (1) m de côté est un minimum et sa profondeur dépend de l'épaisseur du sol, l'horizon limitant est la roche mère.

Remarque : lorsque les sols sont très épais on s'arrête à 2 m.

Les moyens de prélèvement des échantillons

- ❖ Pioche
- ❖ Pelle
- ❖ Tarière (sonde) pour la prospection et le diagnostic rapide.

Le poids de l'échantillon

Un prélèvement de 1 à 2 kg suffit généralement.

Remarque : il faut respecter les limites des horizons au moment de prélever et éviter les pollutions par un autre horizon. Pour cela on prélèvera du bas de la fosse vers le haut.

Fiches descriptives

Chaque échantillon doit être accompagné d'une fiche descriptive (feuille de renseignements) concernant la parcelle, cette dernière comporte :

- **Références de la fosse**, ces références nous servent à localiser le profil, on note le numéro de la fosse, la date d'observation, les coordonnées Lambert ainsi que l'altitude en se référant directement à une carte topographique ou un GPS.
- **Environnement du profil**, climat, géologie, végétation, géomorphologie, mode d'exploitation du sol, hydrologie. Cette description fournit le contexte dans lequel l'observation est faite.
- **Position du profil dans l'environnement et aspect de surface**, une fois l'environnement défini, il est utile de préciser exactement où se trouve le profil (sur une butte, à côté d'un arbre, ...). Il faut aussi décrire la surface du terrain autour de la fosse (remarque d'érosion par exemple).
- **Reconnaissance et description des horizons**, outre les références de l'horizon (profondeur, type) les principaux caractères à observer sont relatifs aux couleurs, aux taches d'hydromorphie, aux éléments organiques, à la réaction du sol à l'acide chlorhydrique aux éléments grossiers, à la structure, à la texture, à l'enracinement et aux autres formes d'activités biologiques.

Traitement des échantillons

La préparation des échantillons à analyser se fait en deux étapes :

- Le séchage à l'air libre qui est préférable, on émiette à la main, puis on étale le prélèvement dans un lieu aéré et abrité des retombés de poussière. Sauf urgence, le séchage en étuve se fait à 40°.
- La préparation de la terre fine dont l'objectif est d'émietter considérablement les agrégats et d'obtenir aussi une poudre homogène correspondant à une sorte d'état standard et sur laquelle seront réalisées les différentes déterminations analytiques.

LA GRANULOMETRIE

Objectif

L'analyse granulométrique consiste à classer les particules élémentaires minérales selon leurs dimensions, cette séparation permet de définir la nature de la texture du sol.

Principe

Une analyse granulométrique nous donne les pourcentages des différentes fractions minérales dans les échantillons du sol.

Nous allons effectués l'analyse granulométrique en utilisant la méthode de tamisage, dont le principe consiste en un passage à travers les mailles d'une toile métallique par agitation mécanique.

Le nom donné aux particules de différents tailles trouvées dans le sol n'est pas le même dans tous les pays ; le tableau (N°1) présente un des systèmes les plus utilisés.

Tableau n°1 : Exemple d'échelle granulométrique (FAO. ISRIC)

ARGILE		←	0,002
LIMON		←	mm
SABLE	Très fin	←	0,063
	Fin	←	mm
	Moyen	←	0,125
	Grossier	←	mm
	Très grossier		0,2 mm
GRAVIER			0,63
			mm
			1,25
			mm
			2 mm

Mode opératoire

- ❖ Prise d'échantillon.
- ❖ Séchage.
- ❖ Pesée.
- ❖ Trituration à sec à la main.
- ❖ Trie manuel ou par Tamis des éléments grossiers (gravier, cailloux, ...).
- ❖ Tamisage.
- ❖ Pesée de toutes les fractions sélectionnées après tamisage.
- ❖ Calculer le pourcentage de chaque fraction et ceci par rapport au poids total initial.

- ❖ Estimer les fractions argileuses et limoneuses en pétrissant une motte de terre :
 - * une forte plasticité indique une teneur élevée en Argile
 - * une faible plasticité, plus une sorte de teinture sur les doigts indique une teneur en Limon certainement élevé.
- ❖ Calculer la somme de fractions obtenues et contrôler si on retrouve le poids initial de l'échantillon.
- ❖ Déterminer la texture du sol en se basant sur le triangle des textures (Fig n°2).

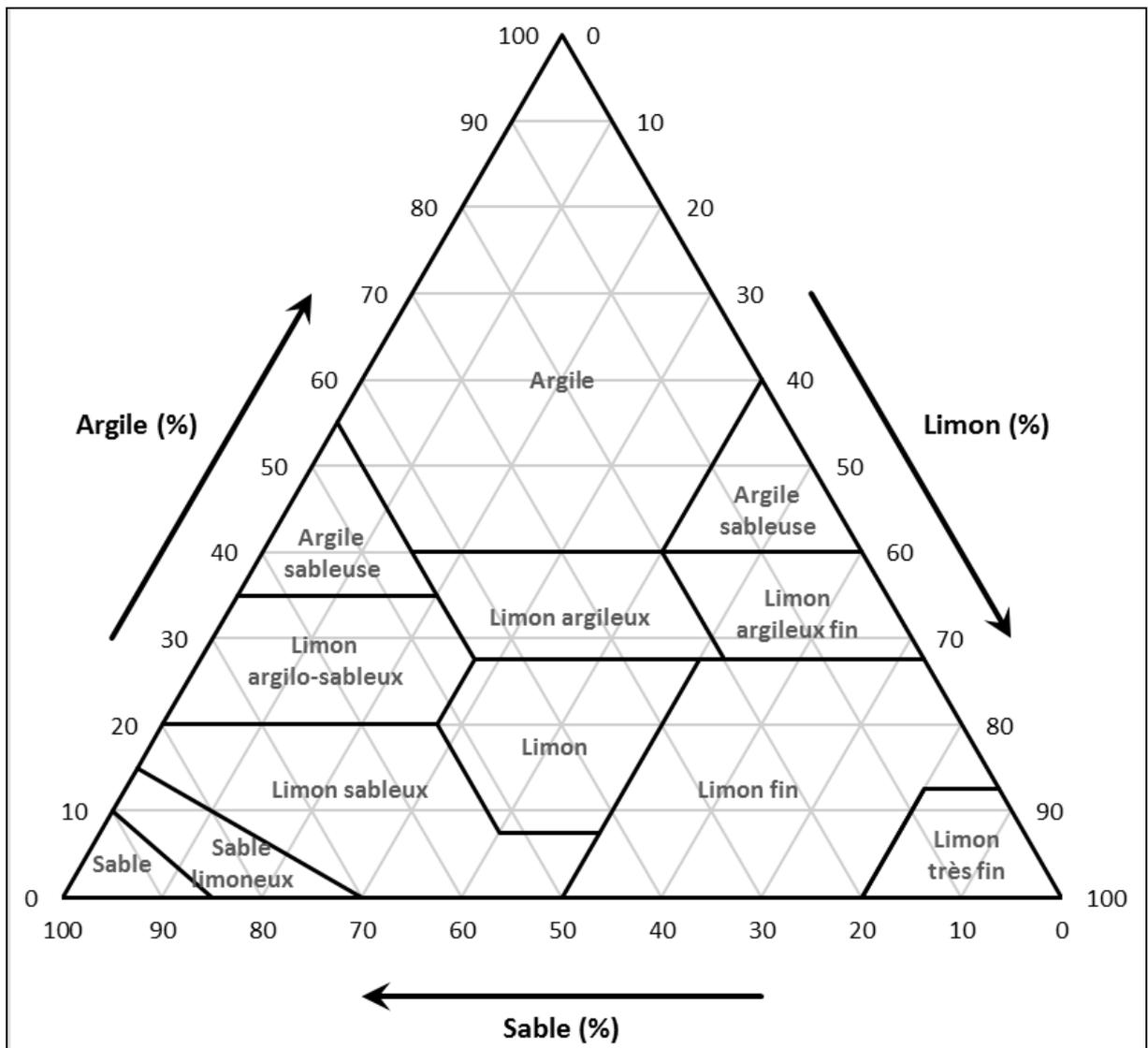


Figure n°02 : Triangle des textures du sol

MESURE DE L'HUMIDITE

Objectif

L'humidité est la quantité d'eau contenue dans un sol. Elle est mesurée par rapport à la quantité de terre sèche contenue dans un sol et elle est exprimée en pourcentage.

La détermination de l'humidité permet d'établir l'horaire de l'irrigation pour éviter la chute de production.

Principe

La méthode consiste à sécher l'échantillon de terre à l'étuve à 105°C (ou à défaut avec l'alcool) jusqu'à un poids constant : la différence de poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau.

Attention, si le séchage s'effectue à une température relativement élevée, il provoque la perte d'une fraction ou de la totalité de la matière organique et du calcaire qui sont alors comptés comme eau.

Mode opératoire

- ❖ Prendre un cylindre métallique de volume connu (diamètre = 5 cm et hauteur = 3,5 cm).
- ❖ Enfoncer avec la pression de la main seulement, au milieu de la couche qu'on veut analyser, le cylindre jusqu'à remplissage.
- ❖ Déblayer la terre d'un côté du cylindre.
- ❖ Introduire du côté déblayé une lame métallique (spatule, couteau, ets...) et soulever le cylindre plein.
- ❖ Couper la terre au ras du cylindre avec la lame.
- ❖ Prendre un creuset en porcelaine et le peser à vide.
- ❖ Soit P_1 le poids du creuset vide.
- ❖ Verser la terre du cylindre dans le creuset en porcelaine.
- ❖ Peser le creuset avec la terre.
- ❖ Soit P_2 le poids initial du creuset avec la terre fraîche (=poids avant la 1^{ère} brûlure).
- ❖ Saturer la terre du creuset avec de l'alcool (ou éthanol).
- ❖ Brûler la terre saturée d'alcool jusqu'à extinction en la remuant de temps en temps.
- ❖ Laisser le creuset se refroidir 5 à 10 mm.
- ❖ Peser de nouveau le creuset avec la terre brûlée.
- ❖ Répéter la brûlure autant de fois jusqu'à stabilisation totale du poids.
- ❖ Soit P_3 le poids final du creuset avec la terre sèche (= poids après la dernière brûlure).

Remarque

En cas d'utilisation de l'étuve, opérer de la façon suivante :

- Peser le cylindre à vide.
- Soit P_1 le poids du cylindre vide.
- Peser le cylindre plein de terre.

- Soit P_2 le poids initial du cylindre plein de terre fraîche.
- Introduire le cylindre plein de terre fraîche dans l'étuve.
- Régler l'étuve à 105°C .
- Laisser le cylindre plein de terre fraîche dans l'étuve pendant 15 heures.
- Faire sortir le cylindre plein de terre sèche de l'étuve.
- Laisser le cylindre refroidir 5 à 10 mn.
- Peser de nouveau le cylindre plein de terre sèche.
- Soit P_3 le poids final du cylindre plein de terre sèche.

Calcul

Humidité ou teneur en eau :

$$H \text{ (en g)} = P_2 - P_3$$

Taux d'humidité :

$$T_H \text{ (en \%)} = [(P_2 - P_3) \times 100] / (P_3 - P_1)$$

Interprétation

Pour une même humidité les propriétés du sol diffèrent beaucoup : en effet, un sable à 15% d'eau laisse exsuder l'eau, alors qu'une terre argileuse à la même humidité apparaît presque sèche en la pétrissant.

Il faut interpréter l'humidité d'un sol en fonction de sa texture : en effet, une plante flétrit lorsqu'elle se trouve sur une terre argileuse à 15% d'eau, alors qu'elle a une alimentation en eau normale sur un sable ayant la même humidité.

MESURE DE LA DENSITE APPARENTE

Objectif

La densité apparente est le poids des grains solides divisé par le volume de terre en place (son volume apparent, dont une partie seulement est occupée par les grains solides et le reste par les pores ou vides).

La densité apparente est utile pour les projets d'irrigation et de drainage, pour la porosité totale et pour la capacité de rétention en multipliant l'humidité équivalente par la densité apparente.

Principe

On mesure la densité apparente par enfoncement d'un cylindre métallique de volume connu (diamètre = 5 cm et hauteur = 3,5 cm) sur le terrain, et par détermination du poids sec de cet échantillon.

Calcul

- Utiliser la terre sèche de poids ($P_3 - P_1$) (Voir TP de la mesure de l'humidité).
- Le volume de terre en place = volume apparent = volume du cylindre :
 $V_A \text{ (cm}^3\text{)} = \pi R^2 h$
- La densité apparente est :
 $D_A \text{ (en g/cm}^3\text{)} = \text{poids de terre sèche} / \text{volume de terre en place}$
 $D_A \text{ (en g/cm}^3\text{)} = (P_3 - P_1) / \pi R^2 h$

Interprétation

Selon la texture du sol, il a été défini les intervalles suivant pour la densité apparente :

- Densité apparente d'un sol sableux : 1,3 à 1,7
- Densité apparente d'un sol limoneux et argileux : 1,1 à 1,6

MESURE DE LA DENSITE REELLE

Objectif

La densité réelle ou le poids spécifique d'un sol est le poids sec par unité de volume des grains solides. Les vides ne rentrent pas en ligne de compte.

La densité réelle est utile pour les projets d'irrigation et de drainage, et pour calculer la porosité totale.

Principe

On mesure la densité réelle par détermination du poids sec et du poids du volume d'eau déplacée par les particules solides correspondant au volume des particules solides.

Mode opératoire

- ❖ Prendre un cylindre à pied de 1000 ml.
- ❖ Remplir le cylindre avec l'eau distillée jusqu'à 500 ml.
- ❖ Peser le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.

- ❖ Soit **M** le poids du cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.
- ❖ Prendre la terre sèche de poids ($P_3 - P_1$) (Voir TP de la mesure de l'humidité).
- ❖ Verser cette terre dans le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.
- ❖ Peser le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml avec de la terre.
- ❖ Soit **N** le poids du cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml avec de la terre.

Calcul

Le poids de l'eau déplacée correspondant au volume de la partie solide de la terre (= volume réel) est :

$$V_R \text{ (en cm}^3\text{)} = [M + (P_3 - P_1)] - N$$

La densité réelle est :

$$D_R \text{ (en g/cm}^3\text{)} = (P_3 - P_1) / V_R$$

Interprétation

Exemple de valeurs de densité réelle selon les types de sol (g/Cm³)

Densité réelle d'un sol argileux	2,2 à 2,9
Densité d'un sol ferrugineux	2,7
Densité réelle d'un sol de constitution moyenne	2,65
Densité réelle d'un sol carbonaté	2,5
Densité d'un sol humifère	2,3

MESURE DE LA POROSITE TOTALE

La porosité est le volume des "vides" du sol, les pores. C'est par les pores que circulent l'eau et les gaz dans le sol. Ils sont donc importants par leur quantité, mais également par la qualité de leur organisation. Dans l'idéal, il y a autant de "macropores"(dans lesquels circule l'air) que de "micropores"(dans lesquels circule l'eau), l'essentiel étant que toute la porosité forme un réseau continu sans ruptures (semelles, compactations, mottes delta...). Le tassement correspond à une perte de porosité et à une dégradation de ce réseau.

Calcul de la porosité totale

A partir de la densité apparente (D_A) et de la densité réelle (D_R) déterminées précédemment, nous pouvons calculer la porosité totale :

$$D_A = (P_3 - P_1) / V_A \quad \cancel{V_A} = (P_3 - P_1) / D_A$$

$$D_R = (P_3 - P_1) / V_R \quad \cancel{V_R} = (P_3 - P_1) / D_R$$

La porosité en volume est égale au volume des vides ou des pores (V_P) :

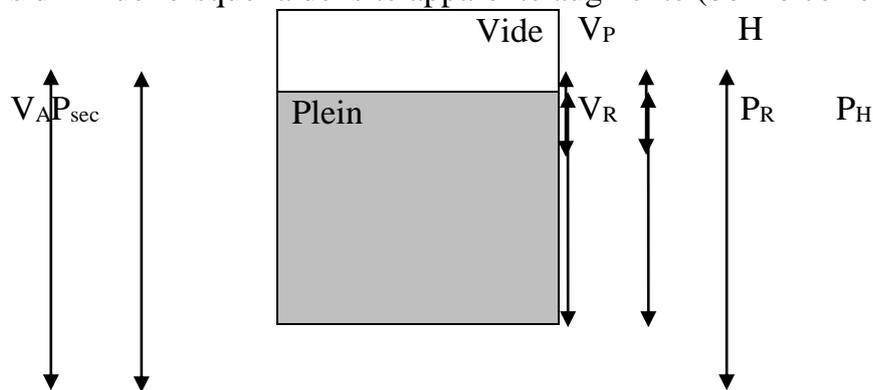
$$P_T \text{ (en cm}^3\text{)} = V_P = V_A - V_R$$

La porosité totale exprimée en pourcentage est :

$$P_T \text{ (en \%)} = (V_A - V_R) \times 100 / V_A \\ = (D_R - D_A) \times 100 / D_A$$

Interprétation

La porosité des sols diminue lorsque la densité apparente augmente (bonne corrélation).



$$D_A = P_S / V_A$$

$$D_R = P_R / V_R = P_S / (V_A - V_P)$$

$$D_H = P_S + H / (V_R + V_P) = P_H / V_A$$

$$D_i = D_H - V_R$$

$$P_T = V_A - V_R = V_P$$

$$P_T \% = (V_A - V_R) / V_A \times 100 = V_P / V_A \times 100$$

$$I_V = V_P / V_R = P_T / (P_R - P_T) \longrightarrow P_T = I_V / (V_R - I_V)$$

$$H = P_H - P_S = V_H$$

$$H\% = (P_H - P_S) / (P_S - \text{tare}) \times 100$$

$$S_R = V_H / V_A$$

$$S_R \% = 100$$

$$H_S = V_P / P_R \text{ d'où } D_H = D_A(V_R - H_S)$$

La porosité totale permet d'estimer le volume total accessible à l'atmosphère du sol (aération) ou aux transferts et stockage d'eau (réservoir et réserve hydrique), la porosité dépend de la densité, ce qui veut dire qu'une forte porosité indique une faible densité apparente.

Selon les normes NF ISO nous avons :

porosité totale du sol (%)	Porosité du sol
<2%	Non poreux
2-5%	Peu poreux
5-15%	Moyennement poreux
15-40%	Poreux
>40%	Très poreux

DOSAGE DE CALCAIRE TOTAL (Calcimètre de BERNARD)

Objectif

Lacalcimétrie consiste à mesurer le pourcentage de calcaire (CaCO_3) contenu dans un sol, afin d'apprécier l'activité du calcaire et les propriétés physico-chimiques du sol.

Principe

Le calcaire à base de carbonate de Calcium ; CaCO_3 (poids moléculaire=100) est décomposé par l'acide chlorhydrique (HCL).

On mesure le volume de CO_2 (P.M.=44) obtenue et on calcul le poids.



Remarque :

La connaissance du calcaire total est insuffisante. Son aptitude à être dissous par les acides du sol, son activité dépend de sa dureté. Dès que le taux du calcaire total atteint 5 % (de la terre fine), il devient nécessaire de mesurer son activité (voir TP Calcaire Actif).

Mode opératoire

Estimation de la teneur en calcaire (CaCO_3)

- Mettre 2 pincés de terre fine dans un verre à montre.
- Verser 2 ou 3 gouttes d'HCL à 30 % sur la terre.
- Observer la réaction et noter les effets de son intensité pour connaître le poids de la terre fine à prendre pour le dosage du calcaire total :
 - peser 5 à 10 g → Réaction ~~nulle~~ pas d'effervescence terre non calcaire
 - calcaire peser 1g → Réaction faible → l'effervescence ~~ne~~ s'entend terre peu
 - calcaire peser 0,5 g → Réaction moyenn~~ne~~ l'effervescence se voit → terre moyenne en
 - peser 0,25 g → Réaction forte effervescence int~~ense~~ terre fortement calcaire

Étalonnage de l'appareil (Calcimètre de BERNARD)

L'étalonnage de l'appareil d'effectue avant chaque série de mesures avec 0,3 g de CaCO_3 pur et sec.

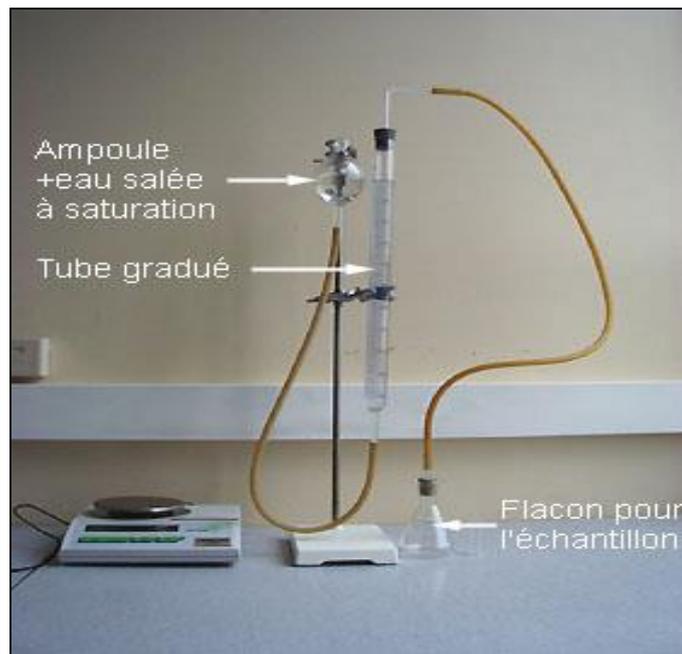


Figure n°03. Calcimètre de BERNARD

1. Régler le tube gradué et l'ampoule de l'appareil au même niveau.
2. Remplir le tube gradué avec de l'eau jusqu'à la graduation 0.
3. Peser 0,3 g de CaCO_3 pur et sec.
4. Introduire la pesée dans un flacon à doigt légèrement humidifié.
5. Remplir à l'aide d'une pissette ou d'une pipette au 2/3 le doigt du flacon avec de HCL à 30 %. Si le doigt du flacon est assez grand, il faut prendre 5 ml de HCL (au 1/2).
6. Fermer le doigt du flacon avec le bouchon en caoutchouc.
7. Fermer le flacon avec le bouchon de caoutchouc portant le tube en verre de dégagement relié par un tuyau en caoutchouc au tube gradué.
8. Amener le liquide du tube gradué au niveau 0 en abaissant ou en soulevant l'ampoule à eau.
9. Verser progressivement l'HCL sur la terre en inclinant le flacon.
10. Maintenir la pression égale à la pression atmosphérique en abaissant l'ampoule : c'est-à-dire pour que le liquide dans le tube gradué et l'ampoule soit toujours au même niveau.
11. Agiter de temps en temps le flacon à doigt pour activer la réaction.
12. Quand la réaction est terminée, lire sur le tube gradué à quelle division s'est arrêté le liquide.
13. Noter le volume dégagé *v* de CO_2 .

Essai : dosage du calcaire total du sol

- Prendre un poids P de terre fine (0,25 à 10 g) suivant la teneur en CaCO_3 du sol.

- Faire l'essai de la même façon que l'échantillonnage sans ajouter de l'eau dans l'appareil.
- Soit *V* le volume de CO₂ obtenu.

Résultat

Pour que le résultat soit correct, il est nécessaire que v et V soient du même ordre de grandeur.

$$\text{Taux de calcaire total \% } C.T. = \frac{0,3 \times V \times 100}{v \times P}$$

Interprétation

- ✓ Sol légèrement calcaire (normal) < 5 % de CaCO₃ total
 - ✓ Sol peu calcaire = 5 à 20 % de CaCO₃ total
 - ✓ Sol moyennement calcaire = 20 à 50 % de CaCO₃ total
 - ✓ Sol fortement calcaire > 50 % de CaCO₃ total
- Le calcium a un pouvoir flocculant par excellence des argiles.
 - Le calcaire a un rôle stabilisant pour les composés humiques.
 - Le calcaire contribue fortement à l'organisation de la structure du sol et à la stabilité de cette structure.
 - Une faible teneur en calcium donne une forte acidité au sol.
 - Une teneur élevée en calcium donne une forte basicité au sol.
 - L'abondance de calcium pose des problèmes agronomiques :
 - L'insolubilisation du phosphore par formation de phosphate calcique insoluble.
 - Insolubilisation du bore.
 - Chlorose ferrique des végétaux correspondant à une insolubilisation du fer en milieu basique.
 - Il existe des plantes calcifuges et des plantes calcicoles.
 - Pour les sols acides il faut effectuer des amendements calcaires, soit sous forme de chaux vive pour une correction rapide de pH soit sous forme de calcaire finement broyé dans le cas d'une action lente.

DOSAGE DE CALCAIRE ACTIF

Objectif

Le dosage du calcaire actif est réservé uniquement aux échantillons contenant plus de 5 % de calcaire total. Il s'agit de ne doser que la fraction chimiquement active du calcaire du sol.

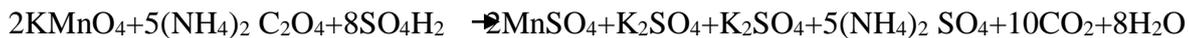
Le dosage du calcaire total se fait par une réaction violente et totale, alors que celui du calcaire actif se fait par une réaction modérée qui n'intéresse que les particules calcaire les plus fines ou la surface des particules grossières, d'où l'importance du respect des conditions conventionnelles d'agitation.

Le but du dosage de calcaire actif est de déterminer l'activité du calcaire et les conséquences que peut avoir l'excès de calcaire sur la structure du sol et la croissance des plantes.

Principe

Dans le sol, une partie plus ou moins importante du calcaire total se trouve à l'état de fines particules actives pour les végétaux et facilement solubilisées par les eaux riches en gaz carbonique.

Pour le dosage du calcaire actif on utilise la propriété du calcium de se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble. L'excès de solution d'oxalate est ensuite dosé (oxalate d'ammonium) par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.



Mode opératoire « Méthode Drouineau-Galet »

Cette méthode ne concerne que les sols peu humifères, parce que certains composés humiques sont également solubilisé par l'oxalate d'ammonium et ces composés réducteurs consomment du permanganate lors du titrage final, ce qui conduit à une sous estimation du taux de calcaire actif.

Les sols humifères donnent en effet une coloration brune à la solution d'oxalate d'ammonium qui masque le virage et rend le dosage impossible.

Cette méthode ne convient donc qu'aux sols contenant peu de fer et de matière organique (moins de 2%) car les résultats obtenus par cette méthode sont aussi enroués dans les sols riches en fer par formation d'oxalate de fer ferreux oxydé par le permanganate de potassium.

Essai

- Peser 10 g de terre fine,
- Introduire dans un flacon de 300 ou 500 ml.
- Ajouter 250 ml d'oxalate d'ammonium N/5 (à 0,2 N),
- Agiter durant 2 heures à l'agitateur mécanique (rotatif),
- Filtrer à l'aide d'un entonnoir en verre et du papier filtre la solution dans un bêcher de 300 ou 400 ml, en écartant les premiers millilitres du filtrat.
- Prélever avec une pipette 10 ml de liquide clair et les verser dans un bêcher de 250 ml.
- Ajouter 10 ml d'H₂SO₄ au 1/10 (à 0,1 N).
- Chauffer cette solution sur une résistance électrique(ou bec Bunzen) sans dépasser 60 °C (mesurer avec un thermomètre la température).
- Placer le bêcher sur un agitateur magnétique surmonté d'une burette graduée au 1/20 de ml et contenant du permanganate de potassium.
- Titrer par le permanganate de potassium jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante.
- Soit **n** le nombre de ml de KMnO₄ versé ou obtenus (n volume en cm³)

Essai témoin

- Titrer de la même façon, 10 ml de la solution d'oxalate d'ammonium utilisée.
- Soit **N** le nombre de ml de KMnO_4 versé pour le témoin (**N** volume en cm^3).

Calculs

La différence (**N-n**) correspond à la quantité d'oxalate de calcium précipité, c'est-à-dire à la quantité d'oxalate d'ammonium qui a réagi avec le calcaire actif.

1 ml de KMnO_4 à 0,1 N ~~0,005 g de CaCO_3~~

Dans 10 ml de filtrat \longrightarrow (**N-n**) x 0,005 en g de calcaire actif

(10/250 = 1/25 de la solution totale)

Dans 10 g de terre \longrightarrow (**N-n**) x 0,005 x 25 en g de calcaire actif

(10/1000) = (1/100)

Dans 1000 g de terre \longrightarrow (**N-n**) x 0,005 x 25 x 100 = (**N-n**) x 12,5 de calcaire actif

(**N-n**) x 12,5 g de calcaire actif dans 1000 g de terre

(**N-n**) x 1,25 g de calcaire actif dans 100 g de terre.

Les résultats en pourcentage (%).

$$\% \text{Ca}_A = (\text{N-n}) \times 1.25$$

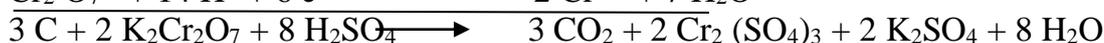
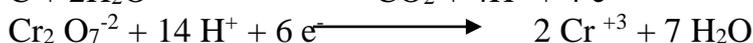
DOSAGE DU CARBONE ORGANIQUE (METHODE ANNE)

Objectif

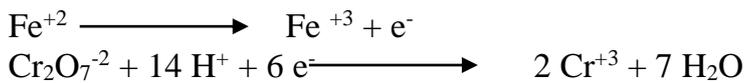
Le dosage consiste à déterminer le pourcentage du carbone organique et le pourcentage de la matière organique qui conditionne les propriétés physico-chimiques du sol et de la croissance des plantes.

Principe

On oxyde le carbone organique de notre échantillon avec le bichromate de Potassium.



L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de MOHR.



Le titrage se fait en présence d'un indicateur coloré de diphénylamine, qui vire au vert foncé lorsque l'excès de bichromate est réduit.

Mode opératoire

Essai

- Peser de 1 g à 0,250 g de terre fine, suivant sa teneur présumée en matière organique.
- Mettre cette terre dans un ballon de pyrex de 100 à 150 ml.
- Ajouter à l'aide d'une pipette avec poire 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ à 8 % et 15 ml de H_2SO_4 concentré pur (Attention réaction dangereuse, il est préférable de se munir de masques)
- Relier le ballon au réfrigérant ascendant.
- Ouvrir le robinet d'eau.
- Chauffer à l'aide du chauffe ballon.
- Dès que la solution commence à bouillir, attendre 5 minutes exactement.
- Enlever le ballon du réfrigérant et le laisser refroidir.
- Transvaser à l'aide d'un entonnoir et d'une pissette le contenu du ballon dans un matras ou fiole jaugée de 100 ml en le rinçant plusieurs fois avec un peu d'eau distillée.
- Ajuster avec l'eau distillée jusqu'à 100 ml.
- Agiter bien et laisser reposer la fiole pendant 30 minutes.
- Prélever à l'aide d'une pipette avec poire 20 ml du surnageant dans un bêcher de 400 ml.
- Compléter avec l'eau distillée jusqu'à 200 ml.
- Ajouter 1,5 g de NaF qui rend le virage plus sensible.
- Ajouter 3 à 4 gouttes de diphénylamine.
- Effectuer le titrage avec une solution de sel de MOHR à 0,2 N. la liqueur primitive, brun noirâtre ou violette vire au vert (virage très sensible, attention).
- On trouve y ml de sel de MOHR utilisé.

Calculs

1 ml de solution de MOHR correspond à 0,615 ml de C, donc C de la prise d'essai est :

$$C = (y-x) \times 0,615 \times 5 \text{ (en mg)}$$

5 : facteur de dissolution

$$\% C = \frac{(y - x) \times 0,615 \times 5 \times 100}{\text{Poids de la terre en mg}}$$

Résultat en pourcentage %

On admet que la matière organique représente deux fois la masse de Carbone.

Alors le pourcentage en matière organique du sol est :

$$\text{M.O.} = (y-x) \times 0,615 \times 5 \times 2 \text{ (en mg)}$$

$$\% \text{ M.O.} = \% \text{ C} \times 2$$

Interprétation

Taux de M.O. (%)	Terre
< 1	Terre très pauvre
1 à 2	Pauvre
2 à 4	Moyenne
> 4	Riche

La matière organique du sol comprend :

- — Une fraction non humique qui subit une minéralisation active et non directe, soit ;
Cellulose – lignine – oligoside – protéines – peptides – lipides – cires – résines – pigment.
- — Une fraction humique stabilisée et minéralisation farinee :
Amorphe brun-noir, hydrophile acidoide à caractère colloïdal et poly dispersé
- Mélange complexe de résidus végétaux et animaux et divers degrés de décomposition de produit de synthèse biologique ou de réaction chimique à partir des produits de dégradation.

La matière organique dans la terre est favorable pour la croissance des plantes à cause de :

- L'amélioration de la structure du sol.
- La matière organique augmente la capacité de rétention en eau.
- La matière organique augmente la perméabilité pour l'eau et le taux d'air dans la terre pour la respiration des racines.
- L'augmentation des taux en éléments nutritifs (N, P, K, M, oligosides, pigments)
- La diminution du pH par la respiration bactérienne (utile pour les sols légèrement alcalin) :

$$\text{CO}_2 \text{ des bactéries} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$$
 Qui décomposent de la terre acides la M.O.

Remarque

Pour les horizons riches en matière organique (horizons humifères)

➤ La même méthode que précédemment est à suivre est la même que précédemment à part les modifications suivantes :

- La prise d'essai doit être de 0,250 à 0,500 g.
- Dans le ballon d'attaque verser :
 - 20 ml d'eau déminéralisée,
 - 3,2 g de bichromate de potassium en poudre (dissoudre en chauffant légèrement),
 - 30 ml de SO_4H_2
- Opérer ensuite comme pour la méthode habituelle.
- Ne prendre que 10 ml de solution pour le dosage.
- Résultat s'exprime souvent en % : $\text{M.O. \%} = \% \text{ de C} \times 1,72$

MESURE DU pH

On distingue l'acidité actuelle et l'acidité totale (ou potentielle) des sols.

L'acidité actuelle

Exprime la concentration en ions H^+ dissociés dans les solutions du sol. Elle est caractérisée par le pH qui est le cologarithme de la concentration des ions H^+ à l'état libre

$$pH = -\log(H^+) = \log 1/[H^+]$$

Ce pH varie de 0 à 14. Les sols acides ont un pH de 4 à 6. Les sols neutres ont un pH de 7 et les sols basiques un pH supérieur à 7.

L'acidité totale

Mesurable par titrage, n'a pas de rapport direct avec le pH. Elle tient compte des ions H^+ libres et des ions H^+ retenus dans le complexe absorbant.

Le pH d'un sol se mesure soit par des méthodes colorimétriques avec des indicateurs colorés, soit par la méthode électrométrie avec un pH-mètre.

Les méthodes colorimétriques sont moins précises mais plus facile et plus rapides à réaliser sur le terrain.

Mesure du pH par des méthodes colorimétriques

Principe

Un réactif mis en contact avec un échantillon de terre prend des teintes différentes, mais constantes, en fonction du pH de cet échantillon. Un inconvénient à cette méthode provient de ce que le sol a une teinte propre qui modifie la teinte finale du réactif.

Mode opératoire

Avec un papier indicateur universel

- On réalise une suspension de terre fine dans l'eau distillée dans le rapport 1/2,5.
- On agite.
- Puis après avoir laissé déposer.
- On prélève 2 ou 3 gouttes du liquide clair que l'on laisse tomber sur un fragment de papier indicateur universel.
- Par comparaison avec l'échelle des couleurs figurant sur le rouleau.
- On obtient le pH de l'échantillon.

Avec l'indicateur Czensny

- Prélever environ 3 ml du liquide clair après décantation de la suspension précédente.
- Si le liquide n'est pas clair, centrifuger les 3 ml avant de les verser dans un tube à hémolyse.
- Ajouter 1 à 2 gouttes d'indicateur Czensny.
- Agiter et comparer avec l'échelle des couleurs données par les tubes témoins.

Mesure du pH par la méthode électrométrique

Principe

Cette méthode est basée sur la loi de NERNST : si deux électrodes plongent dans deux milieux de concentrations ioniques différentes C_1 & C_2 . Il est possible de mesurer une différence de potentiel entre ces électrodes qui est :

$$E = \frac{K(T) \log C_1}{C_2}$$

Lorsque C_1 est une solution de pH connu, on en déduit C_2 , la concentration en ions H^+ à mesurer. Au lieu d'utiliser des électrodes de platine normales, on emploie d'une part une électrode de référence (électrode au Calomel) à potentiel constant et d'autre part une électrode de mesure (électrode de verre) dont l'élément actif est une membrane mince mettant en contact deux solutions de concentration ioniques différentes, l'une de pH connu (solution de KCL saturée), l'autre dont le pH est à déterminer.

Mode opératoire

- Prendre 6 tubes à hémolyse et préparer les suspensions et les bouillis de terre fine dans de l'eau distillée et dans une solution de Sel (KCL 1 N et 0,1 N)
 - Suspensions de terre 1, 2 et 3
 - 1^{ère} tube : 10 g de terre fine séché à l'air + 25 ml d'eau distillée
 - 2^{ème} tube : 10 g de terre fine séché à l'air + 25 ml de KCL à 1 N
 - 3^{ème} tube : 10 g de terre fine séché à l'air + 25 ml de KCL à 0,1 N
 - Bouillis de terre (1 :1)
 - 4^{ème} tube : 10 g de terre fine séché à l'air + 10 ml d'eau distillée
 - 5^{ème} tube : 10 g de terre fine séché à l'air + 10 ml de KCL à 1 N
 - 6^{ème} tube : 10 g de terre fine séché à l'air + 10 ml de KCL à 0,1 N
- Agiter à l'aide d'une baguette en verre, vigoureusement plusieurs fois le contenu des six tubes.
- Laisser reposer les six tubes pendant 30 minutes.

Mode colorimétrique, indicateur universel (papier colorie)

- Prendre un fragment du papier indicateur universel.
- Prendre à l'aide d'une pipette 2 à 3 gouttes du liquide clair du 1^{ère} tube et le laisser tomber sur le fragment du papier universel.
- Comparer la couleur obtenue sur le papier avec l'échelle des couleurs figurant sur la boîte du papier universel.
- Noter le pH du sol.

Indicateur de Czerny (colorants liquides)

	Unité de pH				
	4	5	6	7	8
Bleu de Bromothymol	Jaune	Jaune	Jaune	Vert	Bleu
Rouge de Méthyle	Rose vif	Saumon	Jaune	Jaune	Jaune
Rouge de Bromophénol	Jaune	Jaune	Jaune	Saumon	Rose

Tubes témoins

- Prendre trois tubes à hémolyse et préparer les solutions suivantes :
 - 7^{ème} tube : 3 ml de KCL à 1 N + 2 gouttes de rouge de méthyle
 - 8^{ème} tube : 3 ml de KCL à 1 N + 2 gouttes de bleu de Bromotyémol
 - 9^{ème} tube : 3 ml de KCL à 1 N + 2 gouttes de rouge de Bromophénol
- Comparer la couleur obtenue de la solution des tubes témoins avec le tableau des indicateurs colorie à dessous.

Tableau n°02. La coloration

Indicateurs	Zone de virage	coloration		Observations
		De la forme Acide	De la forme basique	
Rouge de méthyle	4,4 à 6,2	Rouge	Jaune	La coloration de la <u>forme acide</u> s'observent à partir de la limite inférieure de la zone de virage et <u>celle de la forme basique</u> à partir de la
Violet de méthyle	0 à 2 0 à =1	Verte Verte	Violette Bleu	
Bleu de thymol	1,2 à 2,8 8,0 à 9,6	Rouge Jaune	Jaune Bleu	
Rouge de phénol	6,8 à 8,0	Jaune	Rouge	
Méthylorange ou	3,1 à 4,4	Rose	Jaune	

Hélianthine				limite supérieure de la zone de virage
phénolphtaléine	8,0 à 10,0	Incolore	Rouge	
Thymol phtaléine	9,3 à 10,5	Incolore	Bleu	

- Noter le pH des tubes témoins.

Tubes à essai

- Prendre trois tubes à hémolyse et préparer les solutions suivantes :
 - 10^{ème} tube : 10 ml de liquide clair de 1^{ère} tube + 2 gouttes de rouge de méthyle
 - 11^{ème} tube : 10 ml de liquide clair de 1^{ère} tube + 2 gouttes de bleu de Bromotyémol
 - 12^{ème} tube : 10 ml de liquide clair de 1^{ère} tube + 2 gouttes de rouge de Bromophénol
- Agiter et comparer la couleur de la solution des tubes à essai avec la couleur de la solution des tubes témoins.
- Noter le pH des tubes à essai.
- Noter le pH du sol qui est égale à la moyenne des pH des tubes à essai N° 10, 11 et 12.

Méthode électrométrique à l'aide du pH-mètre

pH-mètre à 2 électrodes ou à une électrode (monotube)

- Prendre un pH-mètre monotube.
- Etalonner le pH-mètre selon les indicateurs donnés dans la notice d'emploi de l'appareil.
- Prendre un support statif à pince.
- Suspendre la partie supérieure (plastique) de l'électrode à la pince.
- Agiter à l'aide d'une baguette en verre vigoureusement une dernière fois le contenu des tubes 1, 2, 3.
 - Avant chaque mesure rincer l'électrode à l'aide du milieu de suspension respectif (eau distillée, KCL 0,1 N, KCL 1N).
 - Après chaque mesure nettoyer soigneusement l'électrode en rinçant plusieurs fois à l'eau distillée puis en l'essayant délicatement avec du papier JOSEPH (KLEENEX).
- Mesurer le pH de chacune des suspensions de terre de ces trois tubes 1, 2, 3.
- Noter toutes les valeurs de mesures de pH des tubes 1, 2, 3.

- Recommencer l'expérience avec les tubes 4, 5, et 6 de la même manière qu'avec les tubes 1, 2 et 3.
- Noter toutes les valeurs de mesure de pH des tubes 1, 2 et 3 avec celles des tubes 4, 5 et 6.

Résultat

On reporte les résultats obtenus sur le tableau ci-dessous afin de comparer les valeurs du pH obtenues pour chacune des méthodes utilisées, puis calculer le pH moyen.

Nbre des tubes Moyen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	pH moyen
	Papier universel	.	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
Indicateurs colorés	///	///	///	///	///	///	///	///	///	.	.	.	5,9
pH-mètre	///	///	///	///	///	///	8,57

Autres méthode pour mesurer le pH

A/ pH dans l'eau distillée

- Peser 20 grammes de terre fine séchée à l'air (éléments ≤ 2 mm) et les introduire dans un bêcher de 100 ml.
- Ajouter 50 ml d'eau distillée bouillie puis refroidi.
- Brasser énergiquement la terre de manière à obtenir une suspension, soit avec un agitateur en verre, soit avec un agitateur magnétique durant quelques minutes.
- Abandonner durant 2 heures le contenu du bêcher.
- Avant de procéder à la mesure du pH, procéder à l'étalonnage du pH mètre (voir utilisation du pH-mètre).
- Juste avant d'introduire l'électrode dans la solution, remettre en suspension toute la terre à l'aide d'un agitateur.
- La lecture du pH se fait lorsque l'affichage de l'appareil s'est stabilisé. En général la stabilisation est acquise au bout d'une minute, parfois elle ne se fait qu'au bout de 2, 3 ou 4 minutes.
- Après chaque mesure rincer les électrodes avec de l'eau distillée et les essuyer avec du papier Joseph.

B/ pH dans la solution normales de KCL

- Peser à nouveau 20 grammes de terre fine séchée à l'air et les introduire dans un bêcher de 100 ml.
- Ajouter 50 ml de solution normale de KCL.
- Brasser énergiquement la terre de manière à obtenir une suspension, soit avec un agitateur en verre, soit avec un agitateur magnétique durant quelques minutes.

> 10,0	Très fortement alcalin
--------	------------------------

- Le pH de la terre dépend beaucoup du genre de cations présents dans le sol :

Terre avec beaucoup de sodium	pH = à peu près 11
Terre avec beaucoup de calcium	pH = à peu près 8
Terre avec beaucoup de aluminium	pH = à peu près 4
Terre avec beaucoup de hydrogène	pH = à peu près 3

DETERMINATION DE LA SALURE

La salinisation est l'accumulation des sels dans les sols. Elle a pour principales conséquences une augmentation de la pression osmotique, une toxicité pour les végétaux due à l'accumulation de certains ions, dont Na⁺, et une dégradation du sol. C'est une cause de dégradation de l'agriculture et de la biodiversité.

La Conductivité électrique de la pâte saturée (CE) est une méthode qui a servi depuis longtemps de standard pour mesurer la charge en sels solubles dans le sol. Elle est mesurée selon la méthode préconisée par le laboratoire de Riverside (US Salinity Laboratory Staff ; Richards, 1954).

Mode opératoire (pour Extrait au 1/5)

- Dans un flacon à agitation, mettre 50 g de terre passée au tamis de 2 mm, et 250 ml d'eau distillée
- Agiter durant 1 heure.
- Transvaser le contenu du flacon dans un tube à centrifuger.
- Centrifuger durant 5 à 10 minutes à 2000 tours/minute.
- Filtrer

Remarque

Avantage de cette méthode : plus commode.

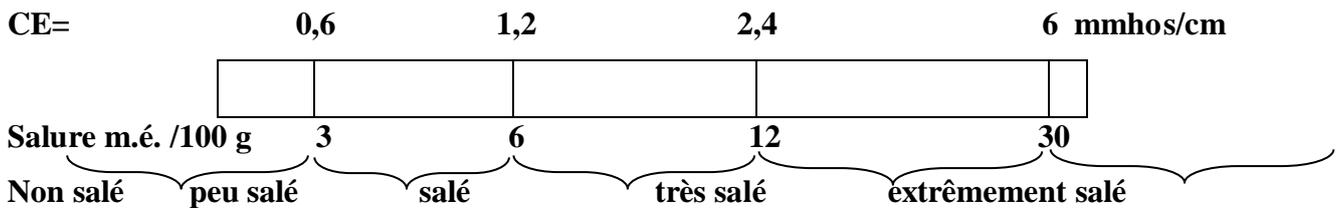
Inconvénients : hydrolyse des sels de Na^+

Non hydrolyse des sels de Ca^{++} et Mg^{++}

Gypse non extrait.

Détermination de la salure

- Déterminer la conductivité électrique « CE » à l'aide d'un conductivimètre
- Teneur en sels solubles totaux.
 - Exprimée en m.e. /1.=10 CE (millimhos/cm)
 - Exprimée en m.e. /100 g = 10. CE = 10.CE.250/1000.100/50 = 5 x CE
 - Echelle de salure déterminée à partir de l'extrait aqueux au 1/5



DOSAGE DES CHLORURES

Principe

Les chlorures étant tous solubles, sont extraits par l'eau chaude. Les ions Cl^- sont dosés ensuite suivant la méthode argentimétrique de Mohr ; ils précipitent sous forme de AgCl en présence de AgNO_3 .

Pour rendre visible la fin de la précipitation, on ajoute à la solution d'extraction du chromate de potassium. Ce dernier se transforme en chromate d'argent rouge dès que tous les ions Cl^- ont été précipités.

Mode opératoire

A- Extraction

- Peser 5 à 10 g de terre séchée à l'air.
- Mettre la prise d'essai dans un bêcher en pyrex de 600 ml.
- Verser 100 ml d'eau déminéralisée chaude.
- Placer le bêcher sur un agitateur magnétique, puis agiter.

- Si la terre est argileuse, ajouter quelques gouttes d'acide nitrique pour faire flocculer les colloïdes et favoriser la filtration.
- Verser le contenu du bêcher sur un filtre posé au-dessus d'une fiole jaugée de 250 ou 500 ml, suivant la prise d'essai et la teneur présumée en chlorures.
- Laver à 3 reprises le dépôt recueilli sur le filtre avec 50 ou 100 ml d'eau déminéralisée chaude.
- Compléter la fiole jusqu'au trait de jauge avec de l'eau déminéralisée.

B- Dosage

- Vérifier le pH de la solution d'extraction. Utiliser un papier pH.
- Prélever 50 ml et les verser soit dans une fiole jaugée de 250 ml si le pH est voisin de 7, soit dans un bêcher si le pH est acide. Si la solution est acide, neutraliser en ajoutant du carbonate de calcium. Filtrer les 50 ml et les recueillir dans une fiole jaugée de 250 ml. Laver correctement le filtre avec de l'eau déminéralisée.
- Verser dans la fiole, 5 à 10 gouttes de K_2CrO_4 en solution saturée.
- Titrer avec $AgNO_3$ (0,1 N) jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge due à la précipitation de Ag_2CrO_4 .
- Faire un témoin avec de l'eau déminéralisée.

C-Calculs

- Soient :

p = poids en grammes de la prise de terre

V = volume en ml de la solution d'extraction.

v = volume en ml de la solution dosée.

n = volume en ml de la solution $AgNO_3$ (0,1 N)

n' = volume en ml de la solution $AgNO_3$ (0,1 N) pour le témoin.

La quantité d'ions Cl^- , exprimée en mEq. (Milliéquivalent) dans le volume v est égale à :

$$(n-n') \times 0,1$$

Dans 100 g de terre, la quantité d'ions Cl^- , exprimée en mEq. est égale à :

$$(n-n') \times 0,1 \times V/v \times 100/p$$

Si on veut exprimer le poids d'ions Cl^- contenu dans 100 g de terre, il faut utiliser la formule suivante :

$$Cl^- \% = (n-n') \times 0,1 \times V/v \times 100/p \times 35,5/1000$$

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-  **AFNOR (1987).** - Qualité des Sols. Méthodes d'analyse. Recueil de normes françaises. Paris,
-  **BAUE D., (1984).** Les planosols de champagne humide. Pédogenèse et fonctionnement.
-  **BAUED., (1988).** - Guide des analyses courantes en Pédologie. Édit. INRA, 172 p.
-  **BERI Y., CROMER M., SCHARFF J.P., GUILLET B., ROUILLER J., (1984).** - Constantes de stabilité de complexes organominéraux. Interactions des ions plombés avec les composés organiques hydrosolubles des eaux gravitaires de podzol. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, vol. 48 : 227-234.
-  **BOURRIE G., (1976).** - Relations entre le pH, l'alcalinité et des équilibres de CO₂, dans les eaux naturelles. *Science du Sol*;3 : 145-159. 135 p. Thèse Doct. Etat. Université de Nancy, INRA public. 286 p.

- ✚ **BRUCKERT S., (1990).** - Séparation des principales formes de matières organiques des sols après dispersion des complexes organo-minéraux. Ann. sci. Univ. Fr.-Comté, Besangon, Bio1.-Ecol., 5 (2) : 5 1-56.
- ✚ **BRUCKERT S., ANDREUXF., CORREA A., AMBOUTA K.J.M. et SOUCHIER B., (1978).** - Fractionnement des agrégats appliqué à l'analyse des complexes organo-minéraux des sols. Note technique Centre pédologie'fiologique, no 22.
- ✚ **BRUNELOT G., ADRIAN P., ROUILLER J., GUILLET B., ANDREUX E, (1989).** - Determination of dissociable acid groups of organic compounds extracted from soils, using automated potentiometric titration. Chemosphère, Vol. 19, no 8-9 : 1 413-1 429.
- ✚ **C.R.D.P. (1966).** Pédologie, journée d'information des 17, 18 et 19 octobre, avec le concours du C.N.R.S. et du C.N.R.F, Nancy.
- ✚ **CHANG S.G. et JACKSON M.L., (1957).** - Fractionation of soil phosphorus. J. Soil Sci., 8 CHAPMAN (S.L.), SYERS (J.V.), JACKSON (M.L.), 1969. - Quantitative determination of quartz in soils sediments and rocks by pyrosulfate fusion and hydrofluosiliciacide treatment. Soil Science, 107 (5) : 348-356.
- ✚ **DEMOLON A. (1960).** Dynamique du sol, Dunod, Paris.
- ✚ **DENIS B. (2006).** Guide des analyses en pédologie, Ed. INRA, France, p 266
- ✚ **DENIS B. (2016).** Petit lexique de pédologie, Ed. INRA, France, p 288
- ✚ **DENIS B., ODILE D. & GUY R. (2013).** Les sols et leurs structures, Ed. Quae, France, pp 264
- ✚ **DROUINEAU G.(1942).** Dosage rapide du calcaire actif des sols. Ann. Agr.
- ✚ **DUCHAUFOR P. (1965).** Précis de pédologie. Masson et Cie Ed., paris .
- ✚ **DUPUIS M. (1963).** Directive pour l'étude des sols, au terrain et au laboratoire. Bull. A.F.E.S.
- ✚ **DUVAL L., (1962).** - Dosage céruléomobybdique de l'acide phosphorique dans les sols, les végétaux et les engrais. Ann. Agron., 5 : 469-482.

✚ **ESPIAU P. et PEDRO G., (1980).** - Caractérisation du complexe d'échange des sols acides. Ann. Agrono., 31 (4) : 363-383. **FELLER C., BURTIN G., GERARD B., BALESSENT J., (1991).** -Utilisation des résines sodiques et des ultrasons dans le fractionnement granulométrique de la macere organique des sols. Intérêt et limites. Sciences du sol, vol. 29,2 : 77-93

✚ **FEODOROFF A. et BETREMIEUX R., (1964).** -Une méthode de laboratoire pour la détermination de la Capacité au champ. Science du Sol, 2 : 109-118.

✚ **GAUCHER G. (1968).** Traité de pédologie agricole. Le sol et ses caractéristiques agronomiques. Dunod, Ed. paris.

✚ **GEE G.W. and BAUDER J.W., (1986).** -Particle size analysis. In :Krute (Editor), methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy no 9 (2nd) edition), American Society of Agronomy, Soil Science Society of American, Madison, pp. 383- 411.

✚ **GEPPA - Travaux de la Commission Q Données analytiques et interprétations agronomiques >), Rapport. JACKSON**

✚ **JEANROY E., (1974).** - Analyse totale par spectrométrie d'absorption atomique des roches, sals minéraux, ciments, après fusion au métaboratedes strontium. Analysis, 2 (10-11)

✚ **M.L., MAHMUT S. and CLAYTON R.N., (1976).** - Hexafluorisilicic acid magent. Modification for quartz isolation. Soil Science Soc. Am. J., T.40, (6) : 958-906.

✚ **PAGE A., MILLER R.H. et KEENEY DRJ.(1986).** - Methods of Soilanalysis. Part. 2 :chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, 1 i59 p. (Agronomy monograph no 9).

✚ **ROUILLER J., BURTIN G. and SOUCHIER B., (1972).** - La dispersion des sols dans l'analyse granulométrique. Méthode utilisant les résines échangeuses d'ions. Bulletin de l'ENSAIA, Nancy, XIV : 193-205.

✚ **ROUILLER J., BURTIN G. et SOUCHIER B., (1974).** - Note sur l'utilisation de l'hypochlorite de sodium dans l'analyse granulométrique des sols. Biilletiiz de l'ENSAIA, Nancy , XVI : SUHARTA (N.), 1992.

APPAREILS

- Balance de précision (au 1/10 de mg)&Balance (au 1/10 de g)
- Etuve à dessiccation (à 105°C)
- Pipette de Robinson et accessoires (trompe à eau, tuyaux de vidange).
- Thermomètre
- Papier Joseph
- pH-mètre
- Barreau magnétique ou aimanté
- Capsules en silice
- Dessiccateur&Minuterie
- Chauffe ballon pour ballon de 150 ou 250 ml
- Réfrigérant ascendant
- Flacons d'agitation
- Centrifugeuse
- Résistivimètre
- Calcimètre de Bernard
- Broyeur
- Bain marie à 60°
- Agitateur mécanique &magnétique et à plaque chauffante
- Rampe de filtration

VERRERIE

- Bêcher (50, 100, 250, 300, 400, 500) ml
- Bêcher de pyrex de 600 ml
- Ballon de pyrex
- Verres de montre flacons de 1000 ml à grande ouverture
- Eprouvettes (5, 25, 50, 100, 250, 1000 ml)
- Pipettes
- Capsules en pyrex ou porcelaine
- Fioles de 100 ml&Fioles à doigt pour calcimètre de Bernard
- Burette graduée
- Entonnoirs
- Papier filtre

SOLUTIONS& PRODUITS CHIMIQUES

- Eau oxygène à 20 volumes
- Alcool éthylique
- KCL en poudre&KCL en solution normale
- Solutions tampons (une basique et une acide)
- Solutions aqueuse de $K_2Cr_2O_7$ à 8%
- Acide sulfurique
- FNa en poudre
- Solution de diphénylamine
- Solution de MOHR à 0,2 N
- $CaCO_3$ (P.A.)
- HCL concentré ou au ½



Mallette d'analyse de sol pH, macroet micro-nutriments



Mesure du pH par la méthode électrométrique



Tamiseur pour analyse granulométrique

L'agitateur et les tamis grillagés en acier inox conviennent pour des tamisages secs et humides.



Conductimètre portable pour mesure de la conductivité électrique des sols



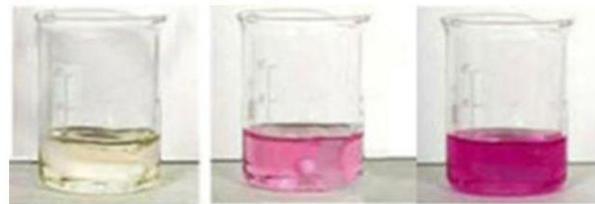
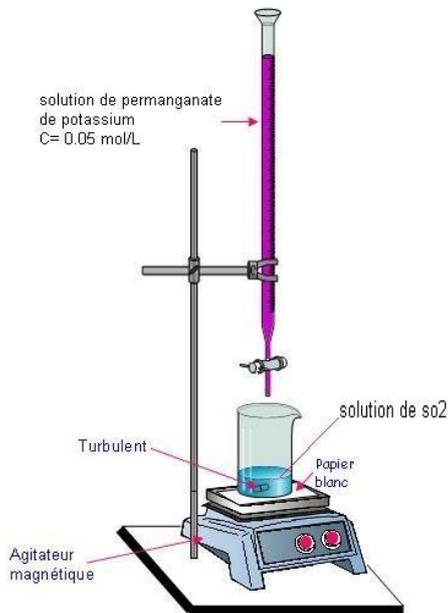
**Chauffe ballon utilisé au cours du protocole de dosage du carbone organique
(Méthode Anne)**



pH-mètre



Agitateur magnétique



Etat initial A l'équivalence A la fin

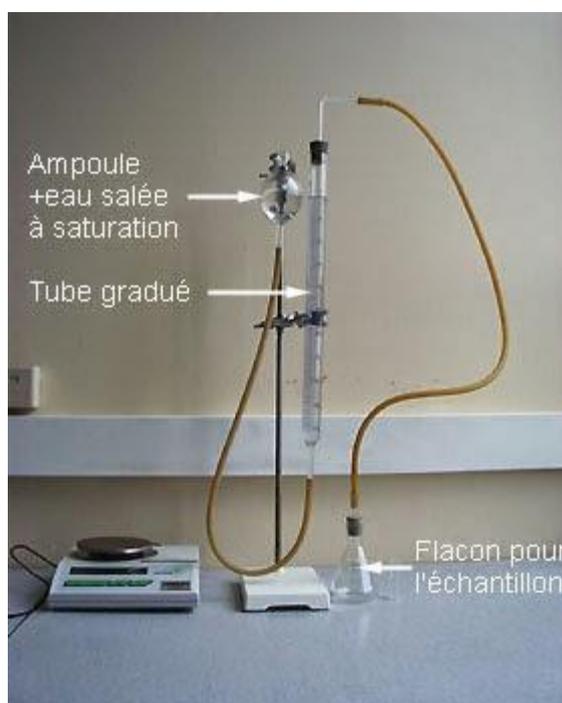
**Etapes de virage de couleur lors du titrage au permanganate de potassium
(Dosage du calcaire actif)**



Balance de précision



Prélèvement au cylindre pour mesurer la densité apparente



Calcimètre de Bernard



Tarière pour sondage du sol



Profil pédologique