



Rapport travaux pratiques : Nature et propriétés des sols

GODARD Charline & CLOT Romane

M1 Systèmes Sols Eaux 2019/2020

Table des matières

I. MATERIEL ET METHODES.....	4
I.1. pH et effet tampon des sols.....	4
I.2. Dosage du carbone, azote total et calcaire total.....	4
I.3. Le complexe d'échange des sols et les cations échangeables.....	4
I.4. Physique du sol.....	5
II. RESULTATS.....	6
II.1. Ph et effet tampon des sols.....	6
II.1.a) Mesure du Ph.....	6
II.1.b) effet tampon des sols.....	7
II.2. Dosage du C et N total et du calcaire total.....	8
II.2.a) CaCO ₃ total.....	8
II.2.b) Dosage de C et N total.....	9
II.2.c) Rapport C/N.....	10
III. Le complexe d'échange des sols et les cations échangeables.....	11
III.1. Physique du sol.....	14
III.1.a) Mesure de la densité apparente (Da) du sol.....	14
III.1.b) Mesure de la microporosité par la méthode de Bouyoucos.....	14
III.1.c) Test de perméabilité.....	16
III.1.d) Stabilité structurale.....	17
III.2. Diagnostic pédologique.....	19
III.2.a) Sol Cinf (34-51 cm).....	19
III.2.b) Sol Ainf (20 – 40 cm) :.....	20

Index des figures

Figure 1: Histogramme du pHeau et pHKCl en fonction du sol.....	6
Figure 2: Échelle du pH selon le référentiel pédologique (Baize & Girard. 1995).....	6
Figure 3: Courbe pH du sol en fonction du volume ajouté HCl (négatif) et NaOH (positif).....	7
Figure 4: Histogramme du CaCO ₃ total (en %) pour chaque échantillons de sols.....	8
Figure 5: Échelle du CaCO ₃ total (d'après LANO. n.d).....	8
Figure 6: Histogramme de COT, CIT, et MO en fonction du type de sol.....	9
Figure 7: Diagramme en secteur du rapport COT/NT en fonction du type de sol.....	10
Figure 8: Échelle du rapport COT/NT (source: Wikipédia. 2019).....	10
Figure 9: Histogramme et diagramme en secteur de S,T et V en fonction de chaque types de sol.....	12
Figure 10: Échelle du taux de saturation (source : Gis Sol RMQS. 2010).....	12
Figure 11: Diagramme en secteur des ions échangeables du sol C inf en cmol+/kg.....	13
Figure 12: Diagramme en secteur des ions échangeable du sol Ainf en cmol+/kg.....	13
Figure 13: Relation entre la densité apparente et la porosité du sol (d'après De Leenheer, 1958).....	14
Figure 14: Histogramme de la microporosité (%).....	15
Figure 15: Histogramme du coefficient de perméabilité (cm/h).....	16
Figure 16: Rapport porosité et roche poreuse (source : Bureau, 2019).....	17
Figure 17: Valeurs de K pour différents sols (d'après Duchaufour, 1970).....	17
Figure 18: Histogramme de la stabilité structurale avec et sans refus (en %).....	17

Index des annexes

Annexe 1: Valeurs mesurées du pH pour chaque sols et eau distillée.....	24
Annexe 2: Valeurs calculée de S, T et V pour chaque sols.....	24
Annexe 3: Valeurs mesurées et calculée concernant C,N total et calcaire total.....	24
Annexe 4: tableau de synthèses des valeurs calculées et mesurées de la physique de chacun des sols.....	25
Annexe 5: Tableau synthétique du sol C inf (34-54cm) utilisé pour le diagnostic.....	25
Annexe 6: Tableau synthétique du sol A inf (20-40 cm) utilisé pour le diagnostic.....	26

INTRODUCTION

D'après (AFES, 2014), « Le sol est un volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée ou peu marquée par la pédogenèse. Il constitue, localement, une partie de la couverture pédologique qui s'étend à l'ensemble de la surface de la Terre. Il comporte le plus souvent plusieurs horizons correspondant à une organisation des constituants organiques et/ou minéraux (la terre). Cette organisation est le résultat de la pédogenèse et de l'altération du matériau parental ». La pédologie ou sciences du sol sera utilisée pour étudier les constituants minéralogiques et organiques de la terre, leur propriétés physiques, chimiques et biologiques. L'objectif premier des travaux pratiques sera d'appréhender concrètement le fonctionnement de chacun des sols attribué pour chaque groupes et d'apporter des diagnostics sur la qualité chimique, physique, biologique ainsi que sa pédogenèse. La finalité sera de conclure quant à l'utilisation potentielle et précaution à prendre pour la bonne gestion du sol, comme le ferait un laboratoire d'analyse agréé. Notre groupe s'est vu attribuer le sol Cinf (35-51cm) et Ainf (20-40cm). Comme plusieurs groupes ont les même types d'échantillons de sol, le sol Ainf sera différencié par les initiales du prénom pour chacun des groupes, pour notre cas ce sera donc le sol Ainf (CR). L'analyse de la structure, la teneur en carbone totale, en calcaire total, le pH et pouvoir tampon, la CEC, le taux de saturation, la porosité et la perméabilité seront effectués au cours des deux séances du 29/01/2020 et 05/02/2020.

L'étude du pH joue un rôle majeur dans la répartition des micro-organismes, activités biologiques et des plantes, il est d'ailleurs possible de classer ces dernières selon son attirance pour un pH en particulier (plante acidiphile, calcicline ...) (Bureau. 2019). Il se définit comme étant la concentration en proton H^+ dans la solution du sol. Il sera possible de définir un sol comme étant plus ou moins basique ou acide selon son potentiel hydrogène réel (Baize & Girard. 1995). Le pouvoir tampon est l'aptitude du sol à s'opposer aux variations de pH. Celui-ci permet donc d'assurer la stabilité du pH au sol et ainsi éviter un état de stress envers l'activité biologique pouvant aller jusqu'à la mort. La CEC et le taux de saturation seront plus ou moins importants selon le pH et les constituants du sol. Selon les valeurs trouvées il sera possible de conclure sur la bonne capacité de réserve nutritionnelle essentielle aux plantes et micro-organismes. La mesure du CT, NT et CIT ont permis de calculer le rapport C/N et de déterminer la teneur en matière organique du sol. Ce TP permettra de quantifier la matière organique présente dans le sol, ainsi que sa capacité à se dégrader, de plus il sera intéressant de comparer les valeurs aux autres paramètres étudiés. Les propriétés physiques du sol conditionnent directement la porosité et le régime hydrique et donc de manière indirect la fertilisation du sol.

Les résultats obtenus seront interprétés pour nos échantillons. Il sera aussi intéressant de comparer les valeurs avec les autres groupes pour avoir une étude sur le solum.

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. pH et effet tampon des sols

La méthode utilisée pour les mesures de pH est spécifiée par la norme ISO 10390 : 2004. C'est une technique instrumentale de **mesurage** de routine du pH. Elle est réalisée dans une suspension d'eau distillée qui permet de mesurer l'acidité réelle, c'est à dire les ions H^+ libres dans le sol. Il est aussi possible de mesurer l'acidité potentielle en remplaçant l'eau par un électrolyte, ici le chlorure de potassium (KCl). Ce dernier possède la capacité de chasser les ions H^+ fixés sur le complexe argilo-humique (CAH) pour être remplacé par les ions K^+ (CAH). (Sandre, 2014). il aurait aussi été possible de remplacer la solution de chlorure de potassium par un électrolyte de chlorure de calcium ($CaCl_2$) qui reflète ce que la plante expérimente dans le sol. Le pouvoir tampon sera étudié à partir des observations faites sur le graphique représentant le pH en fonction de l'ajout du liquide. La méthode est **fastidieuse** et demande d'être minutieux sur le dosage, il est difficile de voir les plausibles sauts de pH secondaires.

I.2. Dosage du carbone, azote total et calcaire total

La détermination du **carbone organique total (COT)** est réalisée selon la méthode de Dumas. Elle nécessitera d'abord le dosage du carbone total par combustion sèche décrit par la norme ISO 10694 : 1995 (ISO. 2016). La détermination du carbone inorganique total (CIT) par le calcimètre de Bernard est décrite par la norme ISO 10693 : 1995 (ISO. 2016). La détermination du carbone (COT) et de l'azote total (NT) par combustion sèche est réalisée par l'appareil CHNS, sèche l'échantillon à $1800^{\circ}C$ pour passer à l'état gazeux. Cet appareil se réfère ensuite à des échantillons standards pour la comparaison et calculer les quantités d'azotes et de carbone totaux dans l'échantillon de départ. Cependant la préparation de cet échantillon est assez complexe, elle nécessite une très grande précision pour l'introduction de l'échantillon dans la capsule en étain qui est fragile, il faut donc être attentif à ne pas la percer.

La calcimétrie permet de transformer le carbone inorganique total constitué de carbonates et de bicarbonates par attaque acide, en CO_2 . Pour cette méthode, il est nécessaire au préalable de tester l'effervescence du sol. Cela permet d'appréhender l'intensité de l'effervescence pour déterminer la masse de la prise d'essai afin de ne pas faire déborder le calcimètre. Il existe une autre méthode ; Drouineau permet la détermination du calcaire actif des sols, elle est décrite par la norme NF X31-106 (Eau France, 2005). Elle consiste à titrer une solution d'oxalate d'ammonium par du permanganate avant et après contact avec la terre. La différence des deux titrages correspond à la part de calcium du carbonate ayant réagi avec l'agent titré.

I.3. Le complexe d'échange des sols et les cations échangeables

La méthode utilisée est celle de l'extraction au chlorure de cobaltihexamine. Elle est issue de la norme NF X31 130 (AFNOR, 1999) et a pour but de déterminer la capacité totale d'échange (T), la somme des bases échangeables (S) et le taux de saturation d'un sol (S). Cette méthode d'extraction possède l'avantage de ne pas modifier le pH de l'échantillon (Dousset, 2020). Une autre méthode existe qui est aussi décrit par

la norme NF X31-130, c'est la méthode de Metson. Le concept consiste à d'abord saturer l'échantillon en ions ammonium (NH_4^+) par une solution d'acétate d'ammonium. Il faut ensuite éliminer l'excès d'ions ammonium par de l'alcool éthylique et procéder ensuite à leur échange par une solution de chlorure de sodium. Les ions ammonium déplacés doivent être dosés par spectrophotométrie sur la solution précédente, une fois filtrée (INRAE, 2011). L'inconvénient de cette méthode est qu'elle ne se déroule pas au pH de l'échantillon mais à un pH neutre.

I.4. Physique du sol

La mesure de la densité apparente du sol sert à déterminer sa masse volumique. Il faut simplement faire la différence entre le poids d'une éprouvette vide dont le volume est connu et le poids de la même éprouvette remplie du sol sec à analyser, le tout diviser par le volume de l'éprouvette. Cette méthode est relativement simple et ne rencontre pas de problème particulier cependant elle a été réalisée sur sol tamisé à 2 mm (terre fine), ce qui n'est pas représentatif de la réalité. Il existe une autre méthode est réalisée sur le terrain. Le principe est le même, il faut prélever une carotte de terre dans un cylindre dont on connaît le volume puis mettre cet échantillon à sécher pour connaître la densité apparente. Cette méthode est représentative de la réalité car elle ne dénature pas le sol.

La microporosité est calculée à partir de la densité apparente et l'humidité équivalente, elle même mesurée par la méthode de Bouyoucos. Cette manipulation ne rencontre pas de difficultés particulière. L'inconvénient est que cette technique se fait sur un sol dénaturé, la porosité risque d'être surestimée.

La perméabilité du sol est déterminée par le test de percolation qui est très fastidieux à réaliser en laboratoire. Elle est normalement réalisée sur une durée de 1 heure, mais lors de ce TP la durée sera seulement de 30 min. Durant ce temps il faut veiller à ce que la hauteur de la colonne de percolation ne soit ni trop élevée ni trop faible, elle doit être constante. Cette méthode est aussi réalisée sur sol tamisée, c'est donc une méthode destructrice qui est approximative. Il existe d'autres techniques, dont celle du double cylindre ; La perméabilité à partir du cylindre intérieur et le cylindre extérieur a pour but d'annuler les déplacements latéraux de l'eau (Dousset, 2020). Elle est plus représentative que la colonne de percolation car elle est non destructrice.

Enfin il est possible de déterminer la stabilité structurale d'un sol par l'appareil de tamisage humide. L'échantillon de sol sera placé dans un tamis puis immergé dans différents liquides. Les agrégats instables se désagrégeront plus facilement que les agrégats stables lorsqu'ils sont immergés dans l'eau et les agrégats stables se désagrégeront par le NaOH ou l'hexametaphosphat. Cependant cette méthode ne tient pas compte du refus (c'est-à-dire de la masse qui n'a pas été désagrégée). Pour ce TP le refus a alors été pris en compte pour que ce soit le plus représentatif possible. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite un appareillage spécifique et qu'encore une fois les mesures sont réalisées sur un échantillon tamisé donc détruit. Il existe une autre méthode qui est décrite par la norme NF X31-515. Elle consiste à préparer trois échantillons tamisés à 3-5 mm puis les désagréger par humectation rapide, humectation lente et agitation mécanique et enfin de mesurer la taille des fragments (AFNOR, 2005).

II. RESULTATS

II.1. Ph et effet tampon des sols

II.1.a) Mesure du Ph

pH < 3,5	=	sol hyper acide
3,5 < pH < 4,2	=	très acide
4,2 < pH < 5	=	acide
5 < pH < 6,5	=	peu acide
pH = 7	=	neutre
7,5 < pH < 8,7	=	basique
8,7 < pH	=	très basique

Figure 2: Échelle du pH selon le référentiel pédologique (Baize & Girard, 1995)

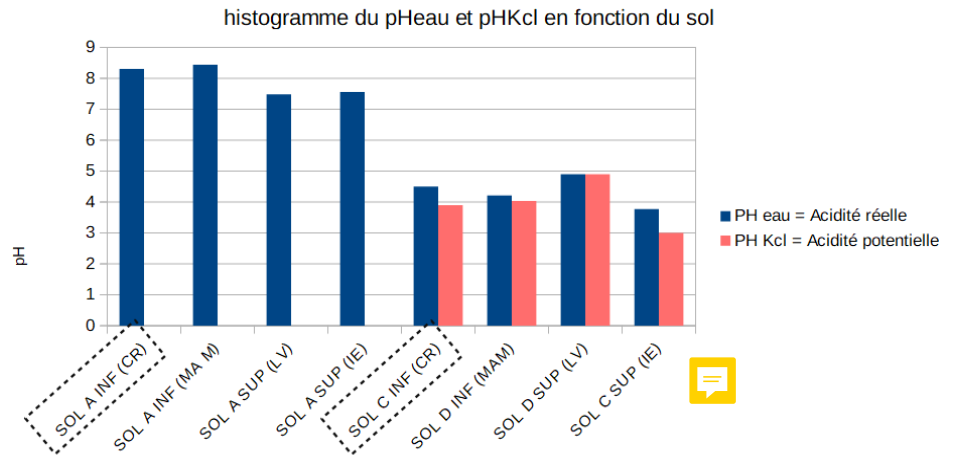


Figure 1: Histogramme du pHeau et pHKCl en fonction du sol

Toutes les mesures de pH sont quantifiées dans un tableau de synthèse (Annexe 1). Les deux mesures pour le sol Ainf sont similaires avec une différence de pH de 0,14, idem pour les deux mesures de sols Asup avec une différence de pH de 0,08. Il est remarqué que le sol A est plus acide en profondeur. Les sols C et D semblent avoir un pH réel similaire, en revanche il apparaît des légères différences dans la mesure du PhKCl. Il apparaît que les solums C et D sont beaucoup plus acides que le solum A. Les deux échantillons sur lesquels nous avons réalisé nos mesures sont entourés sur la Figure 1.

Concernant nos résultats, selon le Référentiel Pédologique (Figure 2) :

- Le pH de l'horizon Cinf (CR) = 4,5 il est considéré comme très acide ;
- Le pH de l'horizon Ainf (CR) = 8,3 il est considéré comme basique.

Le pH potentiel est intéressant à mesurer car il prend aussi en compte les H^+ fixés sur le complexe adsorbant. Les K^+ remplacent les H^+ sur le complexe par ajout de KCl. Il se mesure sur sol acide :

- le pHKCl du sol Cinf (CR) = 3,9 ; il est évidemment inférieur au pHeau puisque il prend en compte en plus des H^+ libres et les H^+ fixés ;
- $\Delta pH = 0,6$; la faible différence entre pHeau et pHKCl se traduit par une capacité de réserve faible

Le ΔpH du sol Cinf (RC), bien que faible est tout de même plus important que le sol D qui est de 0,18 pour Dinf et nul pour Dsup, il aura un meilleur potentiel de fixation.

Limite : la plausible imprécision des différentes électrodes utilisées ainsi que leur réglage peut impacter les valeurs de chacun des groupes. Cela peut aussi expliquer les légères différences trouvées entre un même échantillon de sol.

II.1.b) effet tampon des sols

Les manipulations concernant le dosage pH-métrique ont été réalisées pour l'ensemble des sols avec la base NaOH et l'acide HCl visible dans le graphique (Figure 3). L'allure des courbes permet de voir si les sols ont un pouvoir tampon. Nos courbes concernent le pHeau (bleu), le pH sol Ainf (vert) et le pH sol Cinf (jaune).

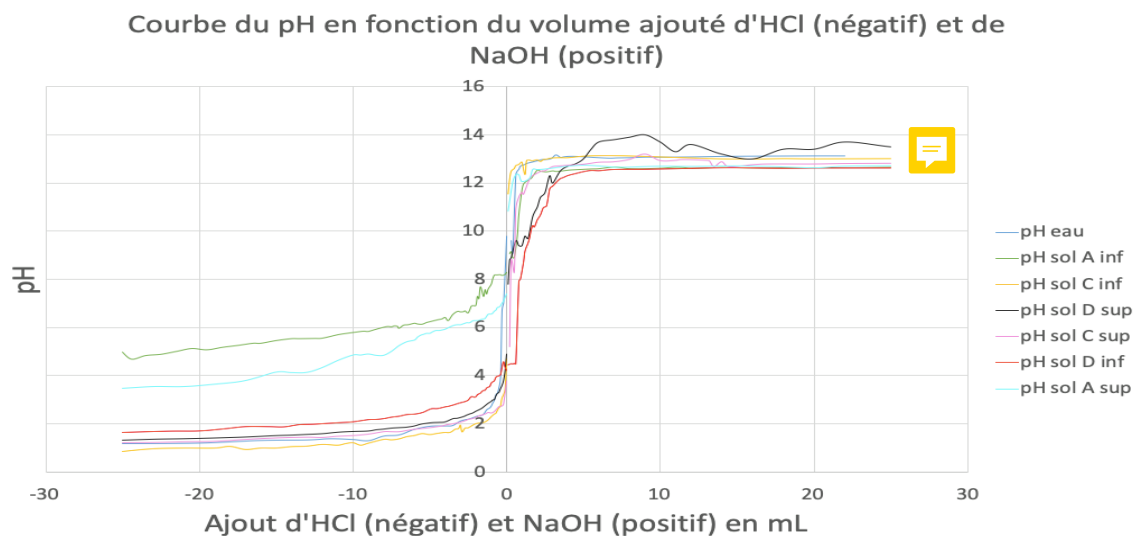


Figure 3: Courbe pH du sol en fonction du volume ajouté HCl (négatif) et NaOH (positif)

Ce qui est confirmé :

- Le pHeau est la courbe de référence (bleu), elle n'a pas de pouvoir tampon. L'eau baisse brusquement de 4,4 unités après ajout de 1mL de HCl et augmente aussi brusquement de 4,6 après ajout de NaOH ;
 - Le pH Cinf (CR) à une allure de courbe semblable à celle pHeau, elle n'a pas de pouvoir tampon ;
 - Le pH Ainf (CR) à une allure différente des deux autres explicitées précédemment. Son pH diminue progressivement en fonction de l'ajout de HCl avec une baisse de 0,41 après ajout de 1mL et 1,55 après ajout de 3mL. En revanche la courbe avec ajout de NaOH se caractérise par un saut brusque de 3,28 après ajout de 1mL, elle suit la même allure que la courbe « pH eau avec ajout de Naoh ». La courbe à un bon pouvoir tampon aux acides car elle résiste aux changement brutaux de pH. Elle est tamponnée par la base.
- Notons que le sol Ainf apparaît comme ayant le meilleur pouvoir tampon face à l'ajout d'acide. Le sol Dsup semble avoir le meilleur pouvoir tampon face à l'ajout de bases. Le sol Csup et Cinf ont le plus faible (voir quasi inexistant) pouvoir tampon.

Limite : Les sauts de pH sont visibles après ajout de seulement quelques gouttes, voir une seule goutte de liquide. Il faut par conséquent doser de manière très minutieuse et il se peut que certains sauts de pH secondaire ne soient pas apparus sur le graphique par manque de minutie.

II.2. Dosage du C et N total et du calcaire total

II.2.a) CaCO_3 total

Ces dosages permettent de donner des informations sur le type de sol, s'il est calcaire ou non, ainsi qu'une indication sur le taux de matières organiques (MO), sur la dégradation de cette dernière. Les valeurs quantitatives sont résumées dans un tableau synthétique (Annexe 3). Ci-dessous un histogramme permettant de comparer les valeurs de CaCO_3 de chaque échantillons entre eux (Figure 4).

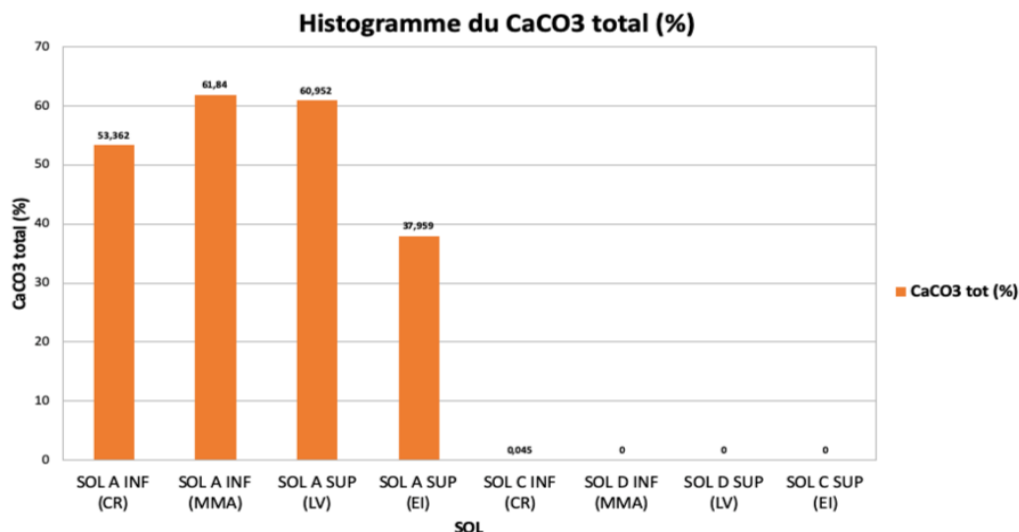


Figure 4: Histogramme du CaCO_3 total (en %) pour chaque échantillons de sols

TAUX DE CaCO_3 TOTAL A L'ANALYSE	QUALIFICATION DU SOL
$\text{CaCO}_3\text{T} \leq 5\%$	SOL NON CALCAIRE
$5 < \text{CaCO}_3\text{T} \leq 12,5\%$	SOL FAIBLEMENT CALCAIRE
$12,5 < \text{CaCO}_3\text{T} \leq 25\%$	SOL MODEREMENT CALCAIRE
$25 < \text{CaCO}_3\text{T} \leq 50\%$	SOL FORTEMENT CALCAIRE
$\text{CaCO}_3\text{T} > 50\%$	SOL TRES FORTEMENT CALCAIRE

Figure 5: Échelle du CaCO_3 total (d'après LANO. n.d)

Concernant nos deux échantillons, l'analyse se fera selon l'échelle de CaCO_3 total ci dessus (Figure 5).

- CaCO_3 total du sol Ainf (CR) = 53,363 ; c'est un horizon calcaire (très fortement).
 - Il est remarqué que le sol Ainf (CR) à un taux de CaCO_3 total qui augmente en fonction de la profondeur, passant d'une moyenne de 57,6 % pour le sol Ainf à 49,5 % pour le sol Asup.
- CaCO_3 total du sol Cinf = 0,045 % c'est un sol non calcaire, une infime quantité a été retrouvée.

Le taux de CaCO_3 nous indique sur le pH de ces sols et permettent de confirmer les résultats de la partie pH et pouvoir tampons, puisque le sol Ainf calcaire a été mesuré basique et le sol Cinf non calcaire a été mesuré acide.

II.2.b) Dosage de C et N total

Le dosage de C et N total sont quantifiés dans le tableau des valeurs (Annexe 3), ci-dessous un histogramme représentatif du Carbone Organique Total (COT), du Carbone Inorganique Total (CIT) et du taux de matière organique présent dans le sol (Figure 6).

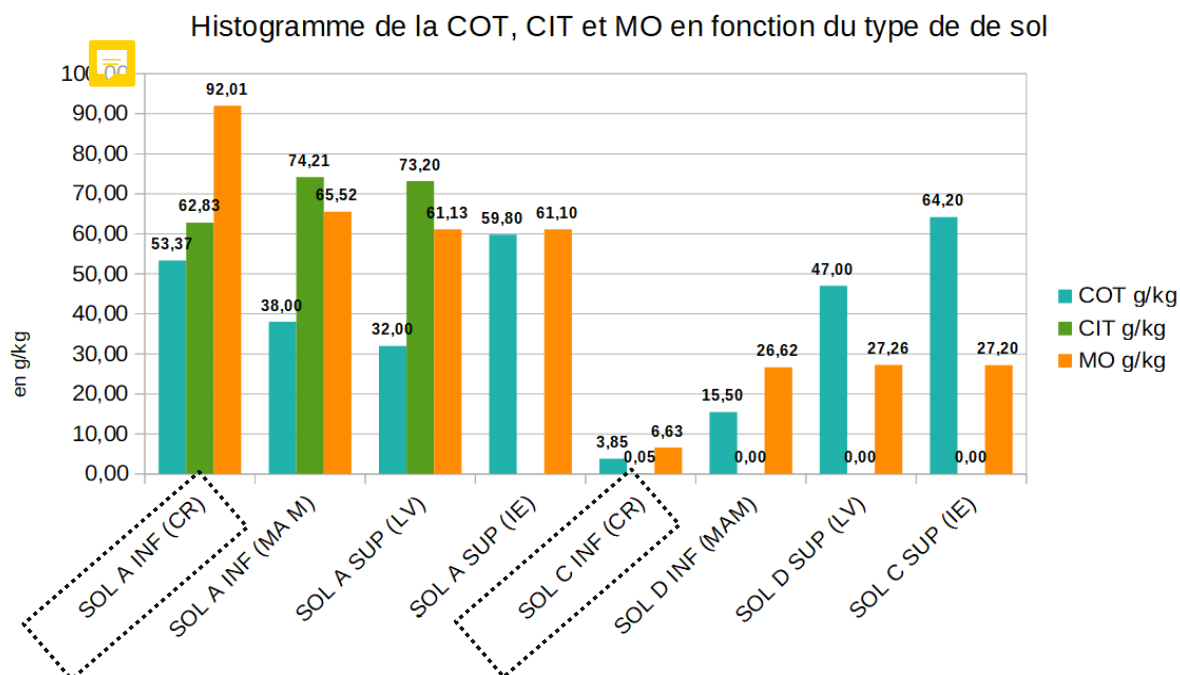


Figure 6: Histogramme de COT, CIT, et MO en fonction du type de sol

Concernant les solums

Il est observé que le solum A est composé essentiellement de carbone inorganique. Il se présente le cas inverse pour les solums des sols C et D puisqu'ils sont composés majoritairement de carbone organique. Il est aussi remarqué au sein d'un même sol D ou C que le taux de carbone organique diminue en fonction de la profondeur avec un passage de 47 % à 15,50 % concernant le sol D, et de 64,20 % à 3,85 % concernant le sol C. Cette remarque n'est pas valable pour le sol A

Pour ce qui concerne la matière organique il est aussi remarqué une diminution progressive à mesure que la profondeur augmente pour le solum C et D. Cette observation paraît évidente puisqu'il y a plus de matière fraîche à la surface du sol, la dégradation de la MO se fera plus rapidement selon l'activité biologique présente dans le sol. Cette observation n'est pas valable pour le solum A car la matière organique moyenne en surface est de 61,115 %, elle est nettement supérieure en profondeur avec une moyenne de 78,765 %. Ces résultats ne sont pas en adéquation avec le cycle de minéralisation de la MO

Concernant les deux sols étudiés (entourés sur la Figure 6) :

- MO du sol Ainf (CR) = 92,03 % correspond à un sol fertile ;
- MO du sol Cinf = 6,63 % correspond à un sol non fertile.

Les résultats semblent concorder avec ceux trouvés pour le calcaire total, puisque les plantes se développent plus facilement sur un sol calcaire, augmentant par la même occasion le taux de matière organique (le sol Ainf). Il se produit le cas inverse pour le sol Cinf, en effet il existe moins de plantes dites acidiphiles qui apprécient les sols non calcaires et généralement acides, comme c'est le cas pour ce sol.

II.2.c) Rapport C/N

Les microfaunes et microflores qui agissent dans la décomposition et la minéralisation de la matière organique, nécessite du carbone comme source d'énergie, et de l'azote en tant qu'intermédiaire dans la synthèse de leurs protéines (Wikipédia. 2019). Si un de ces éléments manquent, la minéralisation ralentit voire s'arrête et, par conséquent, les végétaux n'ont pas suffisamment d'éléments nutritifs pour leur développement. Ci-dessous un diagramme en secteur représentatif du rapport C/N pour chaque sols :

C/N < 15	bonne décomposition de la MO
15 < C/N < 20	décomposition moyenne de la MO
C/N > 20	mauvaise décomposition de la MO, manque d'azote important

Figure 8: Échelle du rapport COT/NT (source: Wikipédia. 2019)

Diagramme en secteur du rapport COT/NT en fonction du type de sol

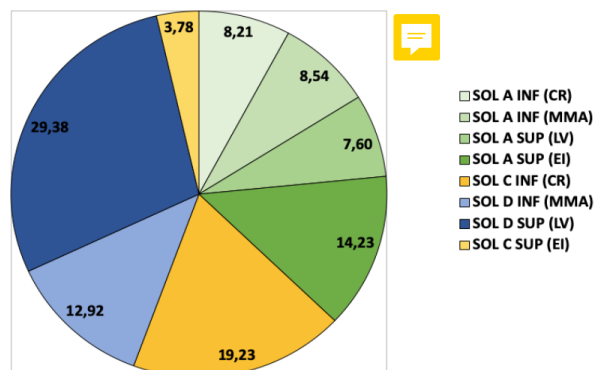



Figure 7: Diagramme en secteur du rapport COT/NT en fonction du type de sol

Remarque : les résultats concernant le groupe IE du sol Asup et Csup ne seront pas pris en compte, puisqu'il a été remarqué des erreurs de calculs (Annexe 3) dans les différents paramètres.

En nuance de vert apparaissent les différents horizons du sol A, en nuance de bleu les horizons du sol C et en jaune le sol Cinf (Figure 7). Il est remarqué que le sol A semble avoir un rapport C/N plus faible que le sol C ou D. Les valeurs confirment cette observation avec un rapport moyen de 8,37 pour le sol Ainf et respectivement de 19,23 et 29,38 pour les sols Cinf et Dsup. Le sol D apparaît comme le sol avec le plus gros rapport C/N. Il est possible de connaître l'aptitude d'un sol à dégrader la MO selon ce rapport, ci-dessus une échelle permettant d'interpréter les résultats (Figure 8).

Concernant nos résultats :

- Rapport COT/N de Ainf = 8,21 → prédiction d'une bonne décomposition de la matière organique ;
- Rapport COT/N de Cinf = 19,23 → prédiction d'une décomposition moyenne voir mauvaise de la matière organique.

Les résultats coïncident avec le taux de MO trouvé pour chaque sol. En effet le sol A ayant assez d'azote et de carbone, va permettre une bonne dégradation de la MO par les micro-organismes. La bonne minéralisation permettra aux plantes d'avoir les éléments nutritifs nécessaires pour vivre. La dégradation de la MO aura pour effet d'accroître la vie des plantes, se traduisant par un taux de matière organique élevé. Le cas contraire est observé pour le sol C : un manque d'azote et de carbone dans le sol entraînera une minéralisation lente de la MO, par conséquent peu d'éléments nutritifs essentiels à la plante seront disponibles dans le sol, cette dernière rencontrera des difficultés pour survivre sur ce genre de sol. 

Limites : des erreurs de calculs venant des différents binômes sont détectées, et peuvent fausser l'interprétation, ici le choix de ne pas traiter certains échantillons de sol est nécessaire pour obtenir l'interprétation la plus concrète possible. Les résultats sont difficilement représentatifs car les masses en carbone total et azote totale des sols sont effectuées sur plusieurs années et diffèrent d'une année à l'autre. Il est possible que des groupes aient pris les mesures de 2018 tandis que d'autres aient pris les mesures de 2019 ce qui faussera l'interprétation lors de la comparaison des résultats.

III. Le complexe d'échange des sols et les cations échangeables

Les résultats de chacun des groupes sont quantifiés dans un tableau (Annexe 2). Ci-dessous, un histogramme où est visible la base échangeable (S) et la capacité d'échange cationique totale (T) pour chacun des sols (Figure 9). Un diagramme en secteur permet de visualiser facilement la saturation de chaque sol et ainsi les comparer entre eux grâce à la proportion des parts du secteur.

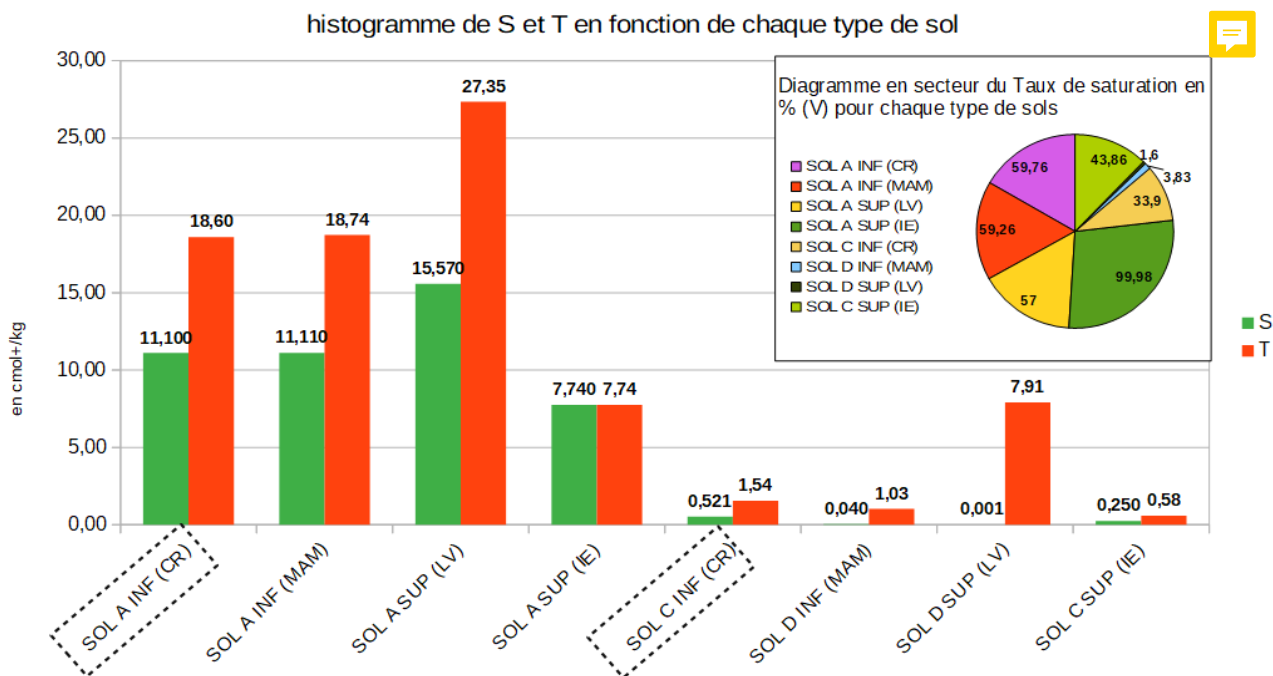


Figure 9: Histogramme et diagramme en secteur de S, T et V en fonction de chaque types de sol

Il est clairement visible que le sol A se différencie des sols C et D. En effet, il y a quasiment un facteur 20 de la CEC totale comparé aux sol C et Dsup. De même pour la saturation, le A semble se différencier des deux autres avec une saturation en base échangeable nettement plus élevée. Pour ce qui concerne la saturation du sol Csup et Dsup, ce sont les saturations les plus faibles. En profondeur la saturation du sol C et D augmente mais reste tout de même faible (Figure 9). Il est lu sur le graphique que les valeurs de T et S au sein d'une même analyse d'échantillon peuvent beaucoup varier, par exemple entre les deux sols Asup, certaines valeurs semblent incohérentes. Idem pour ce qui concerne la saturation, les sols Asup (Ludovic et Victor), Ainf (Manon, Amandine et Maëlle) et Ainf (Charline et Romane), ont une saturation similaire, en revanche le sol Asup (Innocent et Eloi) se différencie beaucoup des autres valeurs avec une saturation maximale de 100 %. Il est remarquable qu'un écart de 43 % de saturation soit trouvé alors que l'échantillon utilisé est le même (pour ce qui concerne le sol Asup). Les multiples anomalies détectées se traduisent sûrement par une erreur de manipulation ou de calcul de la part d'un binôme. Pour ce qui concerne nos deux échantillons, il n'y a pas d'anomalie visible, mais, de part la facilité à se tromper dans les calculs ou dans les manipulations, l'interprétation de nos résultats sera seulement hypothésée et non confirmée.

V > 95 %	saturé
80 % < V < 95 %	subsaturé
50 % < V < 80 %	mésosaturé
20 % < V < 50 %	oligosaturé
V < 20 %	désaturé

Figure 10: Échelle du taux de saturation (source : Gis Sol RMQS. 2010)

Ce que confirme l'échelle du taux de saturation (Figure 10), dans la mesure où les résultats sont justes :

- Sol Cinf :
 - $T = 1,54 \text{ cmol+}/\text{kg} \rightarrow$ la CEC est considérée comme faible ;
 - $V = 33,9 \% \rightarrow$ le taux de saturation est entre 20 et 50 %, il est oligo-saturé ;
- Sol Ainf (CR) :
 - $T = 18,60 \text{ cmol+}/\text{kg} \rightarrow$ la CEC est considérée comme moyenne ;
 - $V = 59,76 \% \rightarrow$ le taux de saturation est entre 50 et 80 %, il est méso-saturé.

En terme de solubilité, il apparaît que le sol Cinf possède une CEC plus importante que le sol Csup. Cela traduit par une descente des ions en profondeur (phénomène de lixiviation).

Diagramme en secteur des ions échangeable du sol A inf (CR) en $\text{cmol+}/\text{KG}$ de sol sec

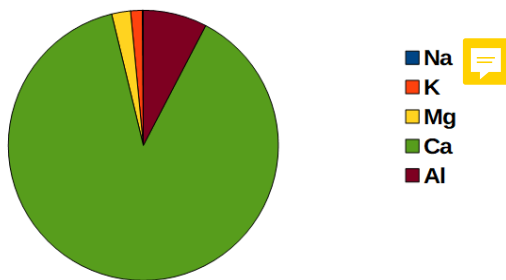


Figure 12: Diagramme en secteur des ions échangeable du sol Ainf en $\text{cmol+}/\text{kg}$

Diagramme en secteur des ions échangeable du sol C inf en $\text{cmol+}/\text{KG}$ de sol sec

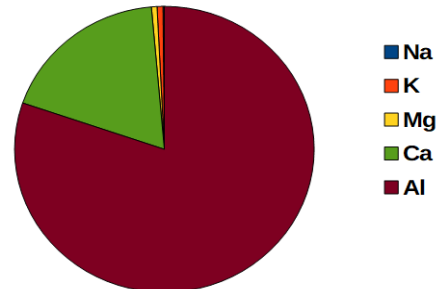


Figure 11: Diagramme en secteur des ions échangeables du sol C inf en $\text{cmol+}/\text{kg}$

Ci-dessus, 2 diagrammes en secteur représentant chacun l'horizon Ainf (CR) et Cinf (Figure 11, Figure 12). Pour une meilleure compréhension des proportions des ions échangeables en $\text{cmol+}/\text{kg}$, nous avons décidé, de calculer, en plus des bases échangeables, l'acidité d'échange (avec Al^{3+}).

- Le sol Cinf est clairement dominé par une quantité d'ions échangeable Al^{3+} . Ce résultat se traduit par un pH acide ;
- Le sol Ainf est clairement dominé par une quantité d'ions échangeable Ca^{2+} . Ce résultat se traduit par un pH basique.
 - Remarque : l'attraction préférentiel des ions se fait selon le rayon hydraté ainsi que la valence.

Limite : Les multiples incohérences de valeurs détectées sur les graphiques n'auront pas permis une comparaison claire entre les sols. Pour ce qui concerne les Figure 11 et Figure 12, les secteurs ne sont pas parfaitement représentatifs de la proportion en ions échangeables dans les sols, puisque les ions H^+ n'ont pas été mesurés par la méthode ICP.

III.1. Physique du sol

III.1.a) Mesure de la densité apparente (D_a) du sol

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structures des horizons. Elle donne une indication sur la porosité et permet d'avoir une idée de la perméabilité du sol (Yoro et GODO, 1989-1990).

Les calculs de densité apparente sont fait pour A_{inf} (CR) et C_{inf} ; ils sont tamisés à 2 mm. Les résultats obtenus sont (Annexe 4) :

- Concernant l'échantillon A inf : $1,04 \text{ g/cm}^3$.
- Concernant l'échantillon C inf : $1,42 \text{ g/cm}^3$.

La densité apparente de A_{inf} est inférieure à celle de C_{inf} .

À partir de cette densité apparente, d'après De Leenheer (Figure 13) il est possible de connaître la porosité de l'échantillon qui est inversement proportionnelle :

- Concernant A inf : 55 à 62%;
- Concernant C inf : 40 à 46%.

La porosité de A_{inf} (RC) est supérieure à celle de C_{inf} ; le sol A est plus aéré que le sol C.

À noter que les échantillons sont déstructurés, l'espace porale lié à l'activité biologique a disparu lors du tamisage, la densité et par conséquent la porosité sont surestimées. Ici les deux structure serait sableuses (Figure 13).

DENSITÉ APPARENTE (G/CM3)	POROSITÉ (%)
1,0 à 1,2	55 à 62
1,2 à 1,4	46 à 54
1,4 à 1,6	40 à 46
1,6 à 1,8	Moins de 40

Figure 13: Relation entre la densité apparente et la porosité du sol (d'après De Leenheer, 1958)

III.1.b) Mesure de la microporosité par la méthode de Bouyoucos

La microporosité ou porosité capillaire correspond au volume des pores capillaires dont leur taille est inférieure à $8 \mu\text{m}$. Ce type de porosité implique une eau capillaire qui peut être adsorbable par la plante ou non. Elle permet une réserve en eau.

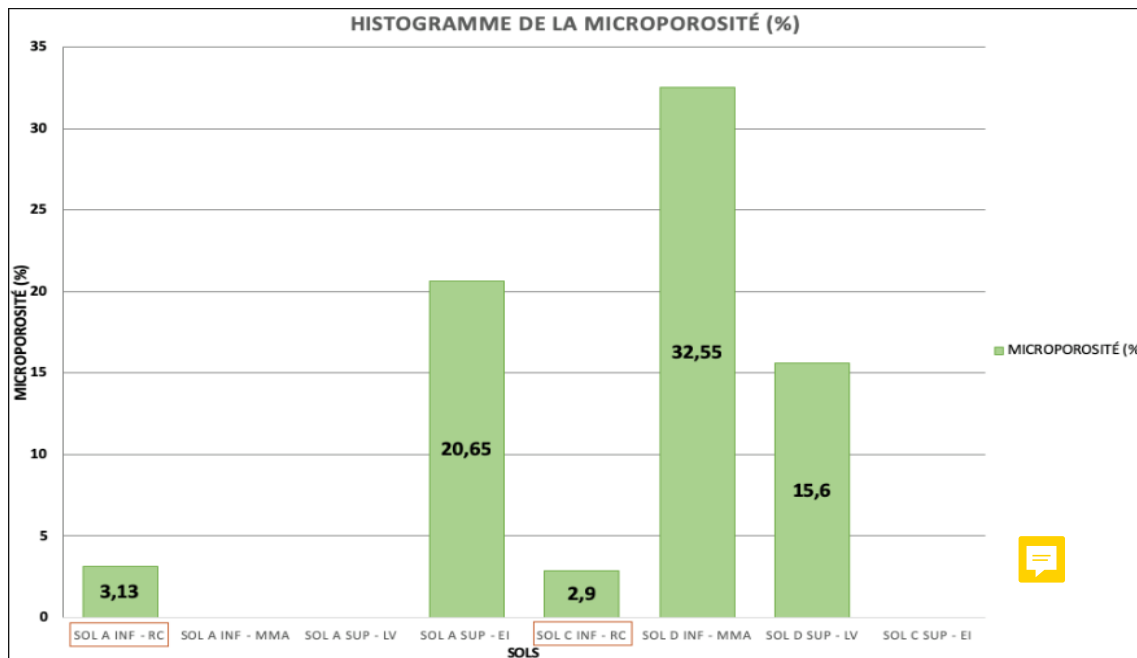


Figure 14: Histogramme de la microporosité (%)

Les résultats (les échantillons concernés sont encadrés en oranges (Figure 14)) sont :

- Concernant le sol Ainf : 3,13% ;
- Concernant le sol Cinf : 2,9%

À partir de cette microporosité, il est déduit la macroporosité par la formule :

$$\text{Macroporosité (\%)} = 100 - \text{microporosité}$$

Les résultats de macroporosité obtenus sont :

- Concernant le sol Ainf : macroporosité = $100 - 3,13 = 96,87\%$;
- Concernant le sol Cinf : macroporosité = $100 - 2,9 = 97,1\%$.

Le sol Ainf possède légèrement moins de macroporosité que le sol C inf.

La porosité est directement liée au type d'eau présent dans le sol ; la présence majoritaire de macropores dans ces deux échantillons implique essentiellement de l'eau de gravité. C'est l'eau qui, après les pluies, remplit les macropores occupés par l'air, puis s'infiltre en profondeur. À noter qu'il y a aussi de l'eau capillaire dans le sol qu'il ne faut pas négliger.

La vitesse d'infiltration de l'eau (perméabilité) dépend de la macroporosité ; plus il y aura de macroporosité plus le sol sera perméable. Le sol Cinf possédant plus de macroporosité que le sol Ainf. Il aura une plus forte perméabilité. La différence entre les deux reste infime. D'après cette Figure 14, en prenant en compte seulement la microporosité l'hypothèse est que ce sont les sols les plus perméables comparé au sol D.

Limites : la méthode ne permet pas de connaître la taille précise des micropores, il est donc impossible de différencier l'eau capillaire adsorbable de celle non adsorbable par la plante. La seconde limite est que l'échantillon utilisé est déstructuré, les valeurs sont surestimées.

III.1.c) Test de perméabilité

La perméabilité est la capacité que possède un sol à laisser l'eau s'infiltrer (Dousset, 2020). Toutes les valeurs sont quantifiées dans un tableau synthétique (Annexe 4) Ci dessous un histogramme comparatif de l'essai (Figure 15) :

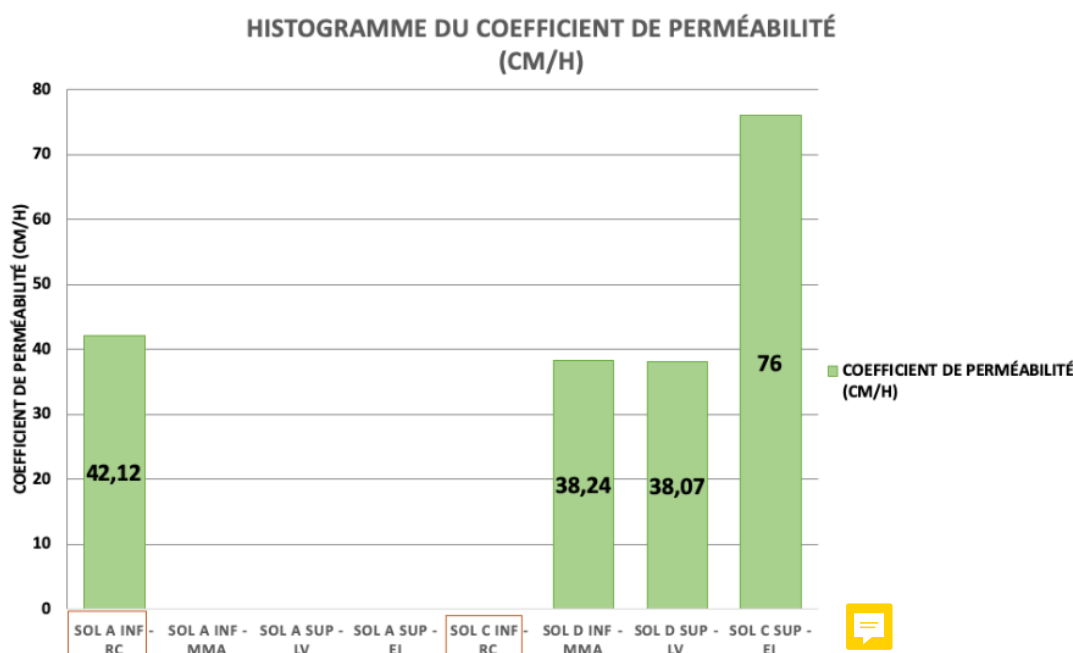


Figure 15: Histogramme du coefficient de perméabilité (cm/h)

Lors de ce test, notre groupe a réalisé l'expérience seulement sur l'échantillon Ainf 3 fois consécutives. Les deux premiers essais semblaient très différents et incohérents, il a semblé plus prudent de faire ce test une troisième fois. En effet, le premier essai était totalement différent du deuxième et du troisième essai. La supposition est que lors du premier essai, la poubelle a été laissée en dessous de la colonne de percolation et donc le volume d'eau percolé a été fossé. Le résultat moyen de ce test est calculé sur l'essai 2 et l'essai 3.

- Perméabilité de l'échantillon Ainf (RC) = 42,12 cm/heure ; soit un horizon très perméable.

Ce résultat concorde avec le pourcentage de macroporosité trouvé précédemment (Figure 14) :

- Une macroporosité importante implique que le sol sera aéré et donc l'eau devra s'infiltrer plus facilement. Il semble que les sols soient de type sable à gravier (Figure 16).

Roches poreuses	pt (%)
Sable et gravier	25 à 40
Sable fin	30 à 35
Argile	40 à 50
Craie	10 à 40
Calcaire (fissuré)	1 à 10

Figure

16: Rapport porosité et roche poreuse

(source : Bureau, 2019)

SOLS IMPÉRMÉABLES	Moins de 0,4 cm/heure
SOLS PEU PERMÉABLES	de 0,4 à 0,2 cm/heure
SOLS PERMÉABLES	de 2 à 20 cm/heure
SOLS TRÈS PERMÉABLES	plus de 20 cm/heure

Figure 17: Valeurs de K pour différents sols (d'après Duchaufour, 1970)

En comparaison avec les autres sols et l'échelle de K , d'après Duchaufour (Figure 17), tous les échantillons de sols (Ainf, Dinf, Dsup et Csup) sont considérés comme très perméables.

Limite: Ces résultats sont une nouvelle fois surestimés de par la déstructuration des échantillons liée au tamisage à 2 mm.

III.1.d) Stabilité structurale

La stabilité structurale, est un indicateur de la cohésion des agrégats d'un sol. Elle est modifiable à l'échelle humaine et même à l'échelle des saisons via la dissection et l'humectation par exemple (Dousset, 2020). C'est un paramètre qui exprime la capacité des agrégats d'un sol à résister à une dégradation due en général à l'impact de la pluie ou d'un excès d'eau (Interreg, nd).

L'expérience a été réalisée par l'appareil de tamisage humide sur l'échantillon Ainf et Cinf. Le protocole donné ne demandait pas de prendre en compte le refus. Sauf que si le refus est important la stabilité structurale sera représentative que d'une faible partie de l'échantillon. Dans la suite du rapport, la stabilité structurale sera donc déterminée sans prendre en compte le refus et avec le refus (Figure 18).

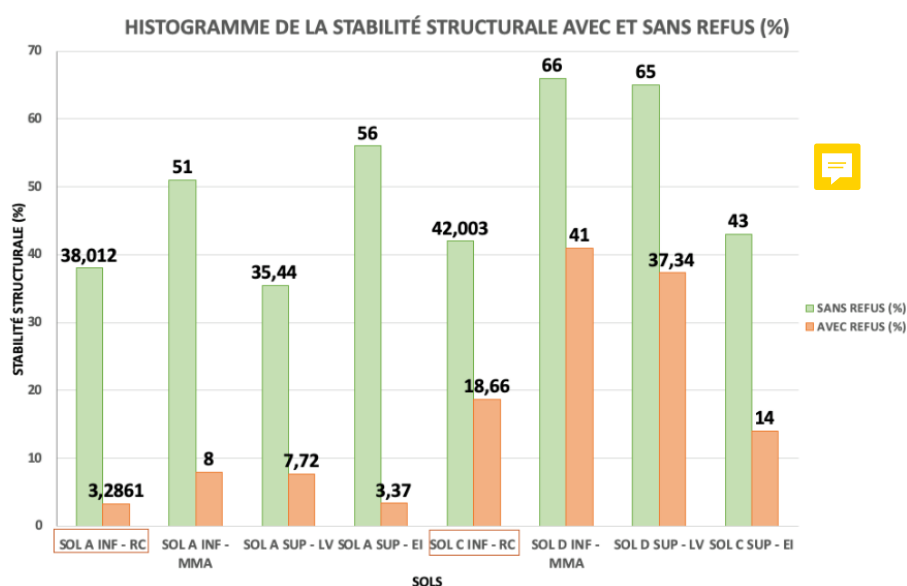



Figure 18: Histogramme de la stabilité structurale avec et sans refus (en %)

Pour tous les échantillons la stabilité structurale avec refus est inférieure à la stabilité structurale sans refus. Effectivement cela paraît normal car il est impossible que tout l'échantillon ait été dégradé lors de cet expérience, en conséquence il y avait obligatoirement un refus qu'il fallait prendre en considération dans les calculs pour que ce soit le plus réaliste possible. Cette figure semble indiquer que le sol A en général est moins stable que le sol C, qui est lui-même moins stable que le D. Le sol D sera le plus apte à résister à la dégradation de la pluie. Concernant l'échantillon Ainf (MAM) il semble y avoir une cohérence avec nos résultats, même si leurs valeurs sont légèrement au-dessus des nôtres. Cela peut facilement être expliqué par un manque de précision, en effet lors de cette expérience, il fallait être le plus minutieux possible pour éviter toute perte qui pourrait être visible au niveau des résultats.

Concernant l'échantillon Ainf (CR) les résultats de stabilité structurale sont :

- Sans refus : 38,012% 
- Avec refus : 3,2861%.

Concernant l'échantillon Cinf les résultats de stabilité structurales sont :


- Sans refus : 42,003% ;
- Avec refus : 18,66%.

Dans les interprétations, seuls les résultats prenant en compte le refus seront interprétés car ce sont les plus représentatifs. Les deux échantillons possèdent des stabilités structurales faibles, mais l'échantillon Ainf encore plus. Lorsque ce dernier sera en contact avec l'eau il sera plus facilement dégradé contrairement au sol Cinf qui possède une meilleure cohésion des agrégats. Les agrégats de Cinf sont par conséquent moins facilement entraînés par le ruissellement.


III.2. Diagnostic pédologique

III.2.a) Sol Cinf (34-51 cm)

Pour ce diagnostic pédologique, les propriétés physiques, chimiques et biologiques sont prises en compte. Un tableau synthétique utilisé pour le diagnostic final est réalisé (Annexe 4).

Le sol Cinf possède très peu de microporosité et par conséquent beaucoup de macroporosité. Cela implique qu'il y a principalement de l'eau gravitaire qui est difficilement accessible pour les plantes (Dousset, 2020). La faible microporosité se traduit par une faible réserve en eau (eau capillaire) ; en période de stress hydrique le sol ne sera pas apte à donner l'eau nécessaire à la survie de la plante. C'est un sol très perméable. La conséquence est qu'il possède une petite capacité au charbon . En termes d'agriculture ce n'est pas un avantage, ce sont des sols qui ont le besoin d'être irrigués en permanence. En contrepartie la bonne perméabilité de l'eau dans le sol limite les risques d'inondation ainsi que les risques d'hydromorphie. De plus la porosité de ce sol est assez élevée ce qui implique une bonne aération et donc la facilité des racines à s'ancrer dans les horizons. À propos de la stabilité structurale elle est dite moyennement faible cela signifie que ses agrégats ne sont pas tout à fait stables (Interreg, nd). Le sol Cinf est moyennement résistant à l'érosion.

Il est possible d'affirmer que le sol Cinf est oligo-saturé (Gis sols RMQS, 2010) avec un taux de saturation faible en Ca^{2+} et majoritairement dominé par l'acidité d'échange en Al^{3+} et H^+ . Le fait que le sol soit oligo-saturé reste à discuter, en effet un sol avec un pH aussi acide (4,5) devrait normalement être désaturé en Al^{3+} et avoir un taux de saturation inférieur à 20 (Dousset, 2020), cette incohérence dans les résultats s'explique peut être par des erreurs lors des calculs ou encore une défaillance de la machine lors de nos mesures d'absorbance liée à son usure. C'est un sol qui répond mal aux besoins de la plante. De plus la CEC de l'échantillon Cinf est moindre, sa faible capacité d'échange additionnée à son taux de saturation entraîne une insuffisance de nutriments impliquant la mauvaise fertilisation du sol.

De plus, le pH acide permet le déplacement verticale des ions échangeables du complexe (nécessaire aux plantes) qui seront lixviés et non retenus par le site adsorbant (Bureau, 2019). Seul le bon développement d'une faune spécifique (par exemple, les nématodes et les collemboles) ainsi que des plantes acidiphiles est envisageable (comme le châtaigne  par exemple). Elles ne représentent qu'une faible quantité parmi les espèces existantes qui limite une nouvelle fois la bonne fertilisation. Ce type de sol est probablement issu d'une roche mère siliceuse, pouvant correspondre à une roche magmatique plutonique tel un granite. L'étude du pH a démontré que le sol Cinf n'avait pas de pouvoir tampon, **il aura un pH instable**. L'avantage en milieu agricole est qu'il permet la modification du pH comme le souhaite l'agriculteur avec l'apport d'amendements acides ou basiques (UNIFA, nd). En revanche, il sera sensible aux variations météorologiques (phénomènes de pluies acides) et anthropiques qui pourront avoir comme conséquence un impact grave sur la faune et la flore.

Le CaCO_3 total mesuré est quasiment nul, se traduisant par un sol non calcaire (LANO, nd) qu'il est nécessaire de compenser par des apports réguliers d'amendements basiques. Pour compenser cela, en agriculture il faudra ajouter de la chaux. L'absence de CaCO_3 confirme un sol acide.

Le rapport COT est élevé, il se traduit par un manque d'azote, il y aura une compétition entre l'absorption par la plante et la réorganisation de la matière organique par les microorganismes du sol (Wikipédia, 2019). La minéralisation sera lente et les éléments nutritifs seront amoindris. Le sol sera faible en matière organique mais en contrepartie l'humus aura tendance à être stable, de type MO avec une diversification des horizons (Duchaufour, 1997). Il est remarqué que le sol Cinf a un taux de MO très faible, ce dernier s'explique par un rapport C/N élevé. L'observation du sol net en lumière une diminution de la MO à mesure que les horizons étudiés soient en profondeur et que la MO se minéralise : la diminution est visible entre l'échantillon Csup et Cinf.

III.2.b) Sol Ainf (20 – 40 cm) :

Le tableau synthétique utilisé pour le diagnostic est visible en Annexe 6.

Le sol Ainf (RC) possède des caractéristiques de porosité et perméabilité semblables au sol Cinf. Les propriétés physiques laissent supposer que le sol est sableux (Bureau 2019). Cependant si les mesures de la porosité et de la perméabilité avaient été réalisées sur le terrain et non sur sol déstructuré, les résultats devraient être inférieurs à ceux trouvés en laboratoire. Dans ce cas l'hypothèse serait que le sol possède des caractéristiques limoneuses. Sa stabilité structurale faible pourrait entraîner la déstructuration de ses agrégats lors d'un épisode pluvieux qui seront entraînés lors du ruissellement ; le sol Ainf (RC) serait sensible à l'érosion (Interreg, nd). Dans ce cas la stabilité structurale serait néfaste de par la création d'une croûte de battance. Cette hypothèse reste à discuter car les résultats actuels ne nous permettent pas de confirmer cela.

Il est possible d'affirmer que le sol Ainf (RC) est saturé (Gis sols RMQS, 2010), se traduisant par un taux de saturation élevé. Il est dominé par les bases échangeables (essentiellement Ca^{2+} qui a une valence deux fois plus élevée que les autres et un rayon hydraté plus petit que Mg^{2+}). C'est un sol qui répond bien aux besoins de la plante. La CEC de l'échantillon Ainf (RC) est élevée, sa forte capacité d'échange additionnée à son taux de saturation entraîne une bonne fertilisation du sol. En terme de sol, la faible capacité du sol à retenir les ions pourra se traduire par une descente des ions en profondeur (lixiviation). La CEC du sol C est plus élevée pour l'échantillon Cinf (RC) que pour l'échantillon Csup.

Le taux de CaCO_3 est très élevé correspondant à un sol calcaire. Le calcaire total est une des composantes héritées du sol. La présence de calcaire procure au sol des caractéristiques spécifiques en termes de comportement physique et chimique et influe sur son activité biologique (Bureau, 2019).

L'étude du pH a démontré que le sol Ainf (RC) avait un pouvoir tampon, il aura un pH stable qui limitera un stress lié aux pollutions et aux variations climatiques. Avec un taux de CaCO_3 aussi élevé, il est évident que le pH mesuré soit considéré comme basique. Concernant le solum, le taux de CaCO_3 devrait augmenter à mesure que les horizons soient en profondeur, ce phénomène se traduit par l'altération plus ou moins importante de la roche mère donnant des minéraux primaires, eux même possiblement altérés en

minéraux secondaires : cette observation est visible entre notre échantillon Cinf (RC) et l'échantillon Csup (IE). En revanche elle n'est pas validée entre notre échantillon Cinf (RC) et l'échantillon Csup (LV), des erreurs de manipulations ont surement erroné certaines valeurs. Les propriétés chimiques de ce sol sont propices à une bonne fertilisation de part une excellente capacité de réserve ainsi qu'une bonne disponibilité en nutriments. De plus la majorité des plantes existantes sont neutrophiles ou calcicoles, elles se développent plus facilement sur un sol basique voir neutre comme le sol Cinf (RC) (Duchaufour, 1997). Ce type de sol est issu d'une roche mère carbonatée, pouvant correspondre à une roche sédimentaire tel que le calcaire ou le grès par exemple.

Le faible rapport COT/NT se traduit par un surplus d'azote qui prédit une bonne dégradation de la matière organique, permettant de relarguer des nutriments en quantités considérables, indispensable pour la plante. Ce résultat concorde avec le taux de matière organique élevé. On peut supposer que le type d'humus sera de type MULL à MODIFIÉ. Un grand nombre d'organismes vivants animaux apprécient ce type d'environnement (tel que les vers de terres anésiques, épigés ect), ils permettent une bonne aération du sol.

CONCLUSION

Durant les 16 heures de travaux pratiques, plusieurs expériences ont été réalisées. Ces expériences sont basées sur les constituants du sol et les propriétés physiques et chimiques de ce dernier. Certaines sont longues et fastidieuses mais amènent à une analyse détaillée et complète permettant d'identifier les échantillons de sol. Après avoir analysé et interprété les résultats obtenus, tout laisse à supposer que l'échantillon de sol Cinf (34 - 51 cm) serait issu d'un podzol et que l'horizon de sol Ainf (20 - 40 cm), lui serait issu d'un rendosol. Ces deux sols sont opposés, leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques sont pour la plupart aux antipodes. Cependant cela reste à discuter. En effet, toutes les manipulations ont été effectuées sur des échantillons de sol tamisés à 2 mm. En conséquence ils sont totalement déstructurés et certains résultats obtenus ont alors été sur-estimés. Il serait intéressant de réaliser diverses analyses directement sur le terrain via des méthodes non destructrices pour permettre un diagnostic complet et plus précis.

A

AFNOR. (2004). Évaluation de la qualité des sols. Volume 1 : Méthodes d'analyses chimiques. AFNOR Éditions, Saint-Denis, 461 p.

AFNOR. (1999). « NF X31-130 – Décembre 1999 ». <https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-x31-130/qualite-de-s-sols-methodes-chimiques-determination-de-la-capacite-d-echange-cationique-cec-et-des-cations-extractibles/article/757208/fa049698>

. Consulté le 16 février 2020.

B

Baize, D. (2018). Guide des analyses en pédologie : 3^e édition revue et augmentée. Éditions Quae.

Baize, D. (2000). Guide des analyses en pédologie. 2^{ème} édition revue et augmentée, INRA Éditions, Paris, 257p.

Bureau, F. (2019). Cours de pédologie.

D

Dabin, B. (1972). « Analyse des matières organiques dans les sols ».

https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_04-05/05490.pdf?fbclid=IwAR2uSRBnBZQUmru9ROṚp0T7-XF3zY6Jjr7LVCuYOia5m_84s6x1-SLcztd0

. Consulté le 28 février.

Dousset, S. (2020). Cours de pédologie.

Duchaufour, P. (1997). Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. 5^{ème} édition.

E

Eau France. (2005). « Potentiel Hydrogène KCL – Paramètre physique quantitatif ».

<http://mdm.sandre.eaufrance.fr/id/parametre/5933/html>.

Consulté le 16 février.

G

Giroux, M., & Audesse, P. (2004). Comparaison des deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme. Agrosol, 15(2), 107-110.

Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010). Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols (Vol.14). PPUR Presses polytechniques.

Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2003). Le sol vivant. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 592p.

I

Interreg. (nd). « Caractériser la stabilité structurale et la battance ».

http://data.over-blog-kiwi.com/0/57/02/32/20140326/ob_c7bcf8_stabilite-structurale.pdf

. Consulté le 28 février 2020.

ISO. (2016). « ISO 10694 : 1995 ». <https://www.iso.org/fr/standard/18782.html>. Consulté le 16 février.

ISO. (2016). « ISO 10693 : 1995 ». <https://www.iso.org/fr/standard/18781.html>. Consulté le 16 février.

L

Laboratoire d'Analyse des Sols d'Arras. (nd). « SOL-0701 : Capacité d'échange cationique (CEC), méthode de Metson ». <https://www6.lille.inrae.fr/las/Methodes-d-analyse/Sols/07.-C-EC-Cations-echangeables/SOL-0701-Capacite-d-echange-cationique-CEC-methode-de-Metson>

. Consulté le 16 février 2020.

L

LANO – Laboratoire Agronomique Normand. (nd).
« Calcaire total et calcaire actif / CaCO_3T et CaCO_3
actif ».
http://www.lano.asso.fr/web/calcaire_actif.html.
. Consulté le 18 février 2020.

LANO – Laboratoire Agronomique Normand. (nd).
« Sodium / Na_2O » échangeable ».
[http://www.lano.asso.fr/web/oxyde_de_sodium.html?
fbclid=IwAR0j9PgTcJBjBDNd5KALaR-yC_eXHdk
D71GAB9NE5yVbZFaz2orv7u8w1_k.%20Consulté
%20le%2018%20février%202020](http://www.lano.asso.fr/web/oxyde_de_sodium.html?fbclid=IwAR0j9PgTcJBjBDNd5KALaR-yC_eXHdkD71GAB9NE5yVbZFaz2orv7u8w1_k.%20Consulté%20le%2018%20février%202020)
. Consulté le 18 février 2020.

S

Soltner, D. (2003). Les bases de la production
végétale. Tome I : Le sol et son amélioration, 23^{ème}
édition. Collection Sciences et Techniques agricoles,
472p.

U

UNIFA. (nd). « La fertilité chimique ».
[https://fertilisation-edu.fr/le-sol/les-etats-de-la-fertilite/l
a-fertilite-chimique.html](https://fertilisation-edu.fr/le-sol/les-etats-de-la-fertilite/la-fertilite-chimique.html)
. Consulté le 29 février 2020.

W

Wikipédia. (27 février 2020). « Matière organique ».
[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Matière_orga
nique&oldid=167864951](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Matière_organique&oldid=167864951)
. Consulté le 28 février 2020.

Wikipédia. (5 octobre 2019). « Rapport C/N ».
[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Rapport_C/N
&oldid=163270499](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Rapport_C/N&oldid=163270499)
. Consulté le 28 février 2020.

Y

Yoro G., & Godo, G. (1989-1990). « Les méthodes de
mesure de la densité apparente ».
[https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_text
es/cahiers/PTP/34142.PDF](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/34142.PDF)
. Consulté le 20 février 2020.

ANNEXES



		SOL A INF (CR)	SOL A INF (MA M)	SOL A SUP (LV)	SOL A SUP (IE)	SOL C INF (CR)	SOL D INF (MAM)	SOL D SUP (LV)	SOL C SUP (IE)	pH eau
		Charline et Romane	Manon, Amandine et Maëlle	Ludovic et Victor	Innocent et Eloi	Charline et Romane	Manon, Amandine et Maëlle	Ludovic et Victor	Innocent et Eloi	Charline et Romane
TP PH ET POUVOIR TAMPON	PH eau = Acidité réelle	8,3	8,44	7,48	7,56	4,5	4,21	4,9	3,77	7,1
	PH KCl = Acidité potentielle					3,9	4,03	4,9	3	
	Delta pH					0,6	0,18	0	0,77	

Annexe 1: Valeurs mesurées du pH pour chaque sols et eau distillée

		SOL A INF (CR)	SOL A INF (MAM)	SOL A SUP (LV)	SOL A SUP (IE)	SOL C INF (CR)	SOL D INF (MAM)	SOL D SUP (LV)	SOL C SUP (IE)
		Charline et Romane	Manon, Amandine et Maëlle	Ludovic et Victor	Innocent et Eloi	Charline et Romane	Manon, Amandine et Maëlle	Ludovic et Victor	Innocent et Eloi
TP CEC	S	11,10	11,11	15,57	7,74	0,52	0,04	0,001	0,250
	T	18,60	18,74	27,35	7,74	1,54	1,03	7,91	0,58
	V (%)	59,76	59,26	57	99,98	33,9	3,83	1,6	43,86

Annexe 2: Valeurs calculée de S, T et V pour chaque sols

		SOL A INF (CR)	SOL A INF (MMA)	SOL A SUP (LV)	SOL A SUP (EI)	SOL C INF (CR)	SOL D INF (MMA)	SOL D SUP (LV)	SOL C SUP (EI)
		Charline et Romane	Manon, Amandine et Maëlle	Ludovic et Victor	Innocent et Eloi	Charline et Romane	Manon, Amandine et Maëlle	Ludovic et Victor	Innocent et Eloi
DOSAGE C, N ET CA TOTAL	CT g/kg	116,20	112,21	105,40	105,40	3,90	15,50	47,00	64,20
	CT (%)	11,62	11,22	10,54	5,90	0,39	1,55	4,70	0,17
	NT g/kg	6,50	4,45	4,20	4,20	0,20	1,20	1,60	17,00
	NT (%)	0,65	0,45	0,42	0,42	0,02	0,12	0,16	0,17
	CIT g/kg	62,83	74,21	73,20	45,6	0,05	0,00	0,00	0,00
	COT g/kg	53,37	38,00	32,00	59,80	3,85	15,50	47,00	64,20
	COT/NT	8,21	8,54	7,60	14,23	19,23	12,92	29,38	3,78
	MO g/kg	92,01	65,52	61,13	61,10	6,63	26,62	27,26	27,20
aCO3 tot (%)		53,362	61,84	60,952	37,959	0,045	0	0	0

Annexe 3: Valeurs mesurées et calculée concernant C,N total et calcaire total

		SOL A INF (CR)	SOL A INF (MMA)	SOL A SUP (LV)	SOL A SUP (EI)	SOL C INF (CR)	SOL D INF (MMA)	SOL D SUP (LV)	SOL C SUP (EI)
		Charline et Romane	Manon, Amandine et Maëlle	Ludovic et Victor	Innocent et Eloi	Charline et Romane	Manon, Amandine et Maëlle	Ludovic et Victor	Eloi et Innocent
PHYSIQUE DU SOL	Densité apparente moyenne (g/cm3)	1,040	/	/	/	1,420	0,920	0,920	1,100
	Humidité équivalente (%)	3,000	/	/	18,780	2,040	35,380	17,000	/
	Microporosité (%)	3,130	/	/	20,650	2,900	32,550	15,600	/
	Coefficient de perméabilité (cm/h)	42,120	/	/	/	/	38,240	38,070	76,000
	Stabilité structurale sans refus (%)	38,012	51,000	35,440	56,000	42,003	66,000	65,000	43,000
	Stabilité structurale avec refus (%)	3,286	8,000	7,720	3,370	18,660	41,000	37,340	14,000

Annexe 4: tableau de synthèses des valeurs calculées et mesurées de la physique de chacun des sols

SOL C INF (34 - 51 cm)	FONCTIONNEMENT		QUALITÉ	
PHYSIQUE	POROSITÉ	Microporosité faible Macroporosité élevée	ANCRAGE RACINAIRE	Bon
	PERMÉABILITÉ	Sol très perméable	ACCÉSSIBILITÉ DES RACINES À L'EAU	Faible
			STABILITÉ STRUCTURALE	Moyenne à faible
CHIMIQUE	POTENTIEL DE FIXATION	Faible	ALIMENTATION DES PLANTES EN NUTRIMENTS	Faible
	DISPONIBILITÉ DES NUTRIMENTS	S/T faible	ACIDITÉ DU SOL	Élevée
			POUVOIR TAMPON	Mauvais
BIOLOGIQUE	ACTIVITÉ DES ORGANISMES	Restreinte	DÉGRADATION ET MINÉRALISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES	Moyenne
			TRANSFERT DES NUTRIMENTS DU SOL À LA PLANTE	Mauvaise
			AÉRATION DU SOL	Élevée

Annexe 5: Tableau synthétique du sol C inf (34-54cm) utilisé pour le diagnostic

SOL A INF (20 – 40 cm)	FONCTIONNEMENT		QUALITÉ	
PHYSIQUE	POROSITÉ	<u>Microporosité</u> faible <u>Macroporosité</u> élevée	ANCRAGE RACINAIRE	Bon
	PERMÉABILITÉ	Sol très perméable	ACCÉSSIBILITÉ DES RACINES À L'EAU	Faible
			STABILITÉ STRUCTURALE	Faible
CHIMIQUE	POTENTIEL DE FIXATION	élevé	ALIMENTATION DES PLANTES EN NUTRIMENTS	Élevée
	DISPONIBILITÉ DES NUTRIMENTS	S/T élevé	ACIDITÉ DU SOL	Faible
			POUVOIR TAMPON	Bon
BIOLOGIQUE	ACTIVITÉ DES ORGANISMES	Abondance	DÉGRADATION ET MINÉRALISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES	Élevée
			TRANSFERT DES NUTRIMENTS DU SOL À LA PLANTE	Bon
			AÉRATION DU SOL	Élevée

Annexe 6: Tableau synthétique du sol A inf (20-40 cm) utilisé pour le diagnostic

1 Valeurs de pH

- $\text{pH}_{\text{eaudistillée}} = 9,78 \rightarrow$ l'eau distillée est considérée comme basique
- $\text{pH}_{\text{SolC(inf)+KCl}} = 3,9 \rightarrow$ Le sol C est considéré comme très acide
- $\text{pH}_{\text{solA(inf)} + \text{eaudistillée}} = 8,3 \rightarrow$ Le Sol A est considéré comme basique
- $\text{pH}_{\text{solC(inf)+eaudistillée}} = 4,55 \rightarrow$ Le Sol C est considéré comme très acide

2 L'acidité potentielle effective

	pH
Sol C + eau distillée	4,55
Sol C + KCl	3,9
ΔpH	0,650

Figure 1: tableau des mesures de pH et acidité potentielle effective

Concernant le pH C avec eau distillée, deux mesures ont été réalisées

-pH = 4,4 \rightarrow mesure avec électrode acide

-pH = 4,7 \rightarrow mesure avec électrode basique

Seule la mesure avec l'électrode acide sera ici prise en compte puisque nous sommes à des pH inférieurs à 7. L'électrode basique n'est pas adaptée pour ce cas.

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{eau}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$$

3 Mesures du pH en fonction du volume ajouté de HCl et NaOH

- Les valeurs qui semblaient aberrantes ont été supprimées du tableur excel pour la réalisation du graphique
- Un changement de pHmètre a été effectué lors des mesures pour l'eau avec ajout de HCl (courbe rouge) suite à un doute sur le bon fonctionnement du premier pHmètre utilisé.
- Pour la réalisation du graphique sous excel il fallait noter les valeurs de HCl en valeurs négatives, pour avoir une symétrie correcte avec les valeurs de NaOH. En réalité les valeurs de HCl sont bien positives puisque c'est tout comme NaOH, un ajout en mL.

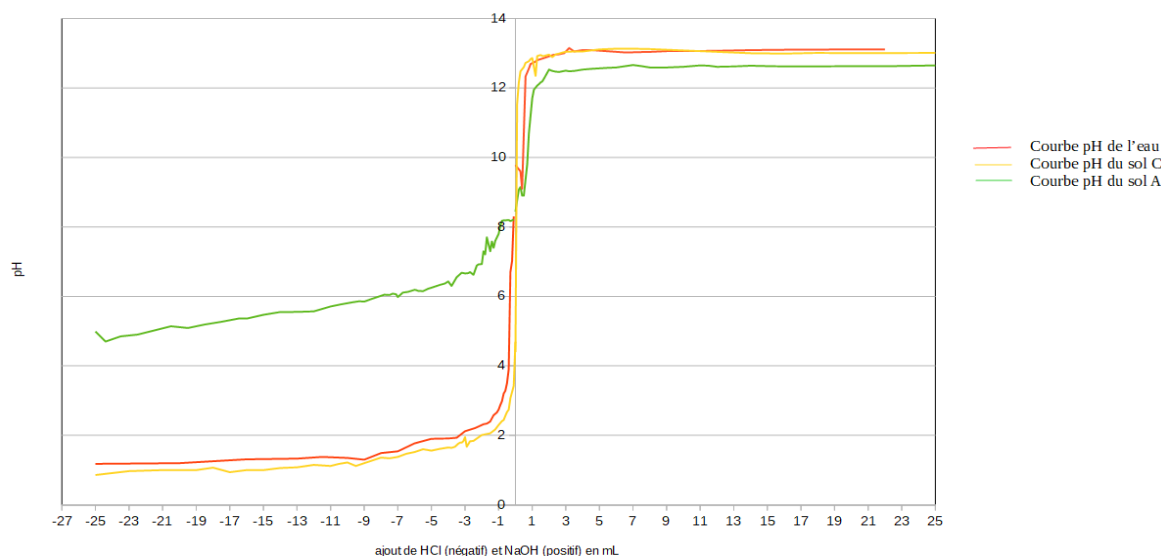


Figure 2: courbe du pH en fonction du volume ajouté de HCl (en négatif) et NaOH (en positif)



4 Tableau de valeurs

pH eau avec ajout acide		
pH	Ajout HCl (en mL)	
8,3	-0,1	
7,02	-0,2	
6,7	-0,3	
3,9	-0,4	
3,5	-0,5	
3,28	-0,6	
3,2	-0,7	chgmt phmètre
2,98	-0,8	
2,87	-0,9	
2,74	-1	
2,66	-1,1	
2,58	-1,3	
2,4	-1,5	
2,34	-1,7	
2,32	-1,9	
2,21	-2,4	
2,12	-3	
1,93	-3,5	
1,91	-4	
1,9	-5	
1,77	-6	
1,54	-7	
1,49	-8	
1,3	-9	
1,35	-10	
1,38	-11,5	
1,33	-13	
1,31	-16	
1,2	-20	
1,18	-25	

Figure 5: pH eau avec ajout acide

pH sol C+eau basique	
pH	Ajout NaOH (en mL)
4,4	0
11,54	0,1
12,15	0,2
12,48	0,3
12,6	0,5
12,72	0,6
12,77	0,8
12,83	0,9
12,86	1
12,35	1,2
12,92	1,3
12,95	1,5
12,92	1,6
12,92	1,7
12,96	2
12,89	2,2
12,97	2,4
12,99	2,6
13,02	2,8
13,04	3
13,05	3,5
13,05	4
13,11	5
13,13	6
13,13	7
13,12	8
13,08	10
13,04	12
13	14
12,99	16
13,01	18
13	20
13,01	25

Figure 6: pH sol C+eau avec ajout basique

pH sol A+eau avec ajout acide	
pH	Ajout HCl (en mL)
8,3	0
8,21	-0,1
8,17	-0,3
8,2	-0,4
8,19	-0,6
8,19	-0,7
8,18	-0,8
8,03	-0,9
7,8	-1
7,6	-1,2
7,4	-1,3
7,58	-1,4
7,3	-1,5
7,7	-1,7
7,21	-1,8
7,3	-1,9
6,93	-2
6,92	-2,2
6,89	-2,3
6,62	-2,5
6,7	-2,7
6,67	-2,8
6,66	-3
6,68	-3,2
6,55	-3,5
6,3	-3,8
6,43	-4
6,37	-4,2
6,33	-4,5
6,25	-5
6,22	-5,2
6,15	-5,5
6,16	-5,8
6,18	-5,9
6,19	-6
6,13	-6,4
6,11	-6,7
5,98	-7
6,06	-7,1
6,08	-7,3
6,04	-7,5
6,05	-7,8
5,92	-8,6
5,85	-9
5,86	-9,3
5,83	-9,7
5,77	-10,4
5,71	-11
5,57	-12
5,56	-12,5
5,55	-13,5
5,55	-14
5,47	-15
5,36	-16
5,36	-16,5
5,27	-17,5
5,19	-18,5
5,09	-19,5
5,14	-20,5
5,02	-21,5
4,9	-22,5
4,85	-23,5
4,7	-24,4
4,99	-25

Figure 4: pH Sol A+eau avec ajout acide

pH sol C+eau ajout acide	
pH	Ajout HCl (en mL)
4,7	0
3,43	-0,1
3,07	-0,3
2,74	-0,4
2,67	-0,5
2,56	-0,6
2,44	-0,7
2,41	-0,8
2,3	-1
2,17	-1,2
2,06	-1,5
2,01	-2
1,84	-2,5
1,83	-2,7
1,67	-2,9
1,95	-3
1,83	-3,1
1,79	-3,2
1,79	-3,3
1,76	-3,4
1,67	-3,6
1,64	-3,8
1,65	-4
1,61	-4,5
1,56	-5
1,6	-5,5
1,52	-6
1,47	-6,5
1,38	-7
1,34	-7,5
1,36	-8
1,2	-9
1,12	-9,5
1,22	-10
1,18	-10,5
1,12	-11
1,15	-12
1,08	-13
1,06	-14
1	-15
1	-16
0,94	-17
1,07	-18
1	-19
1	-21
0,97	-23
0,86	-25

Figure 3: pH Sol C+eau avec ajout acide

Figure 5 : changement de pHmètre du à un doute sur l'exactitude du dernier utilisé

pH eau avec ajout base	
Ajout NaOH (en mL)	pH
0	9,78
0,3	9,6
0,4	9,1
0,6	12,33
0,8	12,56
0,9	12,69
1,2	12,76
1,3	12,8
1,7	12,86
2	12,91
2,3	12,96
2,5	12,96
2,9	13
3,2	13,15
3,5	13,05
3,7	13,07
4	13,09
4,5	13,09
6,6	13,02
7,2	13,03
8,1	13,04
9	13,06
10,1	13,06
12	13,07
14	13,09
16	13,1
20	13,11
22	13,11

Figure 8: pH eau avec ajout base

pH sol A(inf)+eau avec ajout base	
Ajout NaOH (en mL)	pH
0	8,44
0,2	9,07
0,3	9,15
0,4	8,9
0,5	8,9
0,7	9,8
0,8	10,69
1	11,7
1,1	11,95
1,3	12,07
1,4	12,11
1,5	12,16
1,6	12,19
1,7	12,27
2	12,53
2,2	12,49
2,4	12,47
2,6	12,46
3	12,5
3,2	12,48
3,5	12,49
4	12,53
4,5	12,55
5,5	12,58
6	12,59
7	12,66
7,5	12,63
8	12,59
9	12,59
10	12,61
10,5	12,63
11	12,65
11,5	12,64
12	12,61
13	12,62
14	12,64
15	12,63
16	12,62
18	12,62
20	12,63
22,5	12,63
25	12,65

Figure 7: pH Sol A(inf) avec ajout base

Compte rendu TP n°2 : Dosage du C et N total et du calcaire total

Échantillons :

- Sol A inférieur (20 – 40 cm) tamisé à 2 mm ;
- Sol C inférieur (34 – 51 cm) tamisé à 2 mm.

Mesure du carbone et de l'azote total par combustion sèche

Échantillon	CT (%)	CT (‰)	CT g/kg	NT (%)	NT (‰)	NT g/kg	C/N
Sol A inférieur (20 - 40 cm)	11,62	116,2	116,2	0,65	6,5	6,5	17,9
Sol C inférieur (34 - 51 cm)	0,39	3,9	3,9	0,02	0,2	0,2	19,5

Figure 1 : Mesure du carbone et azote total (données 2018)

Sachant que 1 ‰ = 1 g/kg.

Mesure du calcaire total par calcimétrie (Méthode Calcimètre de Bernard)

La teneur en CaCO_3 est déterminée par la formule suivante :

$$\text{CaCO}_3 \text{ total} \text{‰} = 1000 \times \frac{m_{\text{et}} \times V_{\text{ech}}}{V_{\text{et}} \times p}$$

Avec :

- m_{et} : masse de l'étalon (g) ;
- V_{ech} : Volume de l'échantillon (ml) ;
- V_{et} : Volume de l'étalon en ml ;
- p : poids de terre (g).

Échantillon	Masse d'échantillon introduite (g)	Volume initial $\text{Ni}(\text{ml})$	Volume final $\text{Ni}(\text{ml})$	Volume CO_2 dégagé ($\text{Ni}-\text{Nf}$)	CaCO_3 total (‰)	CIT g/kg = $\text{CaCO}_3 \times 0,12$
Étalon	0,107	1,5	25	23,5	1000,00	120,00
Sol A inférieur (20 - 40 cm)	0,2	2	25	23	523,62	62,83
Sol C inférieur (34 - 51 cm)	5,06	1,5	2	0,5	0,45	0,05

Figure 2 : Tableau des résultats pour la mesure du calcaire total

Application numérique, exemple pour le sol A :

$$\text{CaCO}_3 \text{ total} \% = 1000 \times \frac{0,107 \times (-23)}{(-23,5) \times 0,2} = 523,62 \text{ } \%$$

Calcul de la teneur en carbone organique du sol (COT), en matière organique (MO) et le rapport C/N

Dans cette partie nous utiliserons les données de 2018.

Calcul de CIT (Avec 0,12 = masse molaire CaCO_3 / masse molaire carbone) :

- CIT Sol A = 0,12 * $\text{CaCO}_3 \text{ total}$ = 62,83 g/kg ;
- CIT Sol C = 0,12 * $\text{CaCO}_3 \text{ total}$ = 0,05 g/kg.

Calcul de la teneur en carbone organique du sol (COT) selon la méthode de Dumas, on obtient l'équation suivante : $\text{COT} = \text{CT} - \text{CIT}$.

- COT Sol A = 116,2 – 62,83 = 53,37 g/kg ;
- COT Sol C = 3,9 – 3,85 = 3,85 g/kg.

Calcul du rapport C/N :

- Sol A = 116,20 / 6,50 = 17,88 soit une faible dégradation de la matière organique.
- Sol C = 3,9 / 0,20 = 19,50 soit une faible dégradation de la matière organique.

Calcul de la MO, sachant que la matière organique du sol contient 58% de carbone (MO = COT / 0,58) :

- Sol A = 53,37 / 0,58 = 92,01 ;
- Sol C = 3,85 / 0,58 = 6,63.

Calcul du rapport COT/NT :

- Sol A = 53,37 / 6,50 = 8,21 ;
- Sol C = 3,85 / 0,20 = 19,23.

Échantillon	CT (%)	CT g/kg	NT (%)	NT g/kg	CIT g/kg	COT g/kg = CT - CIT	COT/NT	MO	C/N
Sol A inférieur (20 - 40 cm)	11,62	116,20	0,65	6,50	62,83	53,37	8,21	92,01	17,88
Sol C inférieur (34 - 51 cm)	0,39	3,90	0,02	0,20	0,05	3,85	19,23	6,63	19,50

Figure 3 : Tableau récapitulatif

1 Les Données

- Masse pesée Sol A inf (20-40cm) = 2,525g
- Masse pesée Sol C inf (34-51 cm) = 10,098
- Volume essai = 25mL
- concentration de $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ = 0,0167 mol/L
- Masse molaire de $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ = 267,48 g/mol

2 Calculs utilisés pour les conversions

- **Conversion de mol/L en g/L** : $C * M \rightarrow (\text{mole}^1 * \text{L}^{-1}) * (\text{g}^1 * \text{mol}^{-1}) = \text{g}^1 * \text{L}^{-1}$
- **Conversion de g/L en cmol+/L** : $[(C * M/M) * 100 * 3 = \text{cmol+}/\text{L}$
 - $= (\text{g/L}) / (\text{g/mole}) * 100 * 3 = \text{g}^1 * \text{L}^{-1} * \text{g}^{-1} * \text{mole}^1 = \text{mole} * \text{L}^{-1}$
 - 3 = nombre de valence → 3 pour le cation $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ trivalent
 - 100 = passage de mol en cmol
- **Conversion de cmol+/L en cmol+/kg** : $[(C * M)/M] * 100 * 3 * (V_{\text{essai}} (\text{en L}) / \text{masse}_{\text{essaisol}} (\text{en kg}))$

3 Capacité totale d'échange (T)

3.i. Détermination de la gamme étalon

GAMME ETALON					
Pourcentage de cobalthexamine (en%)	absorbance		Concentration de $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ (en mol/L)	Concentration de $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ (en g/L)	Concentration en $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ (cmol+/L)
	475 nm	380nm			
0	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
20	0,185	nd	3,34E-03	8,93E-01	1,00E+00
40	0,365	nd	6,68E-03	1,79E+00	2,00E+00
60	0,564	nd	1,00E-02	2,68E+00	3,01E+00
80	0,741	nd	1,34E-02	3,57E+00	4,01E+00
100	0,929	0,125	1,67E-02	4,47E+00	5,01E+00

Figure 1: Mesure gamme étalon

CALCUL DO CORRIGE			
échantillon	moyenne abs		DO corrigé à 475nm
	475nm	380nm	
sol A inf (20-40 cm)	0,599	0,17	0,581
sol C inf (34-51 cm)	0,826	0,17	0,814
		R1	7,432

$$R1 = 0,929/0,125 = 7,432$$

$$DO = (X1-R2*X2)*R1/(R1-R2)$$

Figure 2: Calcul du DO Corrigé

3.ii. Détermination de T

CONCENTRATION AVANT MISE EN CONTACT		
Concentration $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$	5,01	
CONCENTRATION APRES MISE EN CONTACT		
type échantillon	Concentration $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$	
	(en cmol/L)	(en cmol/Kg)
sol A inf (20-40 cm)	3,13E+00	3,10E+01
sol C inf (34-51 cm)	4,39E+00	1,09E+01
DETERMINATION DE T (différence entre avant et après mise en contact)		
échantillon	(en cmol/L)	(en cmol/Kg)
sol A inf (20-40 cm)	1,88E+00	1,86E+01
sol C inf (34-51 cm)	6,21E-01	1,54E+00

1 : calcul concentration $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ en cmol+/l
à partir de a courbe étalon :

$$C = (\text{Do}_{\text{corrigé}} - 0,01142857142857) / 0,185685771314514$$

2 : conversion de cmol+/L en cmol+/Kg :

$$[(C * M) / M] * 100 * 3 * (V_{\text{essai}} / \text{masse}_{\text{essaisol}})$$

Figure 3: détermination de la concentration après mise en contact à partir de la courbe de tendances

4 Base échangeable (S) et taux de saturation (V)

Données M.DEJUNET ICP	Al (µg/L)	Ca (µg/L)	Fe (µg/L)	K (µg/L)	Mg (µg/L)	Na (µg/L)
A20-40-a	12,19852056	102716,7261	< 5µg/L	3002,581468	1594,909126	160,8238092
A20-40-b	11,70694658	110758,8913	< 5µg/L	3540,455817	1698,016346	185,1688087
MOYENNE	11,95273357	106737,8087	5	3271,518642	1646,462736	172,9963089
C34-51-a	3247,447947	18569,66291	81,70341106	1308,323378	392,5185454	188,743715
C34-51-b	2257,367692	20643,02046	39,8568678	1325,047468	378,7151118	177,0264228
MOYENNE	2752,407819	19606,34168	60,78013943	1316,685423	385,6168286	182,8850689

Figure 4: Tableau de données ICP

	NA	K	MG	CA
Masse molaire (en mg/L)	2,30E+04	3,91E+04	2,43E+04	4,01E+04

Figure 5: Tabeau de données masses molaire

ions dans l'extrait du sol	Concentration en ions (mg/L)	
	Sol A inf (20-40 cm)	Sol C inf (34-51 cm)
Na	0,17	0,18
K	3,27	1,32
Mg	1,65	0,39
Ca	106,73	19,606
Al	0,0120	2,7524
ions dans l'extrait du sol	Quantités d'ions échangeables (cmol+/Kg sol sec)	
	Sol A inf (20-40 cm)	Sol C inf (34-51 cm)
Na	1,48E-02	3,88E-03
K	1,67E-01	1,67E-02
Mg	2,72E-01	1,59E-02
Ca	1,07E+01	4,84E-01
Al	9,19E-01	2,12E+00
ions dans l'extrait du sol	Quantités d'éléments échangeable (‰)	
	Sol A inf (20-40 cm)	Sol C inf (34-51 cm)
Na ₂ O	0,011	0,003
K ₂ O	0,139	0,014
MgO	0,163	0,010
CaO	0,116	0,007
S (cmol+/Kg)	1,11E+01	5,21E-01
T (cmol+/kg)	1,86E+01	1,54E+00
S/T (%)	59,76	33,902894530299

Figure 6: Tableau de synthèse avec détermination de S, T et V

- Conversion de mg/L en cmol⁺/kg : $[(C * M)/M] * 100 * n * (V_{\text{essai}} \text{ (en L)} / \text{masse}_{\text{essaisol}} \text{ (en g)})$
 - le volume d'essai est de 50mL = 0,05L → les valeurs sont prises sur les expériences réalisées par les anciens M1 de l'année dernière
 - n = dépend de la valence de l'élément choisi
- Quantité d'éléments échangeables = (ppm x quantité d'ions échangeable) /1000

Compte rendu TP n°4 : Physique du sol

Échantillons :

- Sol A inférieur (20 – 40 cm) tamisé à 2 mm ;
- Sol C inférieur (34 – 51 cm) tamisé à 2 mm.

Mesure de la densité apparente

La densité apparente a été réalisée à partir d'une éprouvette graduée de 50 mL soit un volume de 50 cm³.

$$D_a = P / V = P / 50.$$

	MASSE (P) (g)	DENSITÉ APPARENTE (Da)
SOL A ESSAI 1	52,06	1,04
SOL A ESSAI 2	53,62	1,07
SOL A ESSAI 3	50,65	1,01
MOYENNE SOL A	52,11	1,04

Figure 1 : Tableau des calculs D_a pour le sol A

	MASSE (P) (g)	DENSITÉ APPARENTE (Da)
SOL C ESSAI 1	70,95	1,42
SOL C ESSAI 2	71,47	1,43
SOL C ESSAI 3	70,77	1,42
MOYENNE SOL C	71,06	1,42

Figure 2 : Tableau des calculs D_a pour le sol C

Mesure de la microporosité par la méthode de Bouyoucos

	SOL A	SOL C
POIDS HUMIDE (SOL + COUPELLE) (g) = P1	74,66	65,98
POIDS SEC (SOL + COUPELLE) (g) = P2	72,49	64,66
Humidité équivalente (He) en % = $100 * ((P1 - P2)/P2)$	3,00	2,04
Densité apparente	1,04	1,42
Microporosité (m) en % = $He * D_a$	3,13	2,90

Figure 3 : Tableau de calculs d'humidité équivalente et de microporosité pour les sols A et C

Test de perméabilité

Le test de perméabilité a été réalisé uniquement sur le sol A.

	Volume percolé (V) en mL - 30 min
SOL A ESSAI 1	900
SOL A ESSAI 2	500
SOL A ESSAI 3	350

Figure 4 : Tableau des résultats de volume percolé en 30 min

Les résultats de l'essai 1 et de l'essai 2 étant très différents, nous avons décidé de recommencer l'expérience une troisième fois et effectivement nous pensons que le bécher mis sous la colonne de percolation pour l'essai 1 contenait déjà l'eau de la poubelle. Nous ne tiendrons donc pas en compte ce premier essai qui est erroné.

Calcul du coefficient de perméabilité (Kp) :

	SOL A ESSAI 2	SOL A ESSAI 3
Volume percolé (V) en cm ³ en 30 min	500	350
Volume percolé (V) en cm ³ en 1 heure = Volume percolé en 30 min * 2	1000	700
Hauteur de la colonne de terre (C) en cm	5,9	5,6
Hauteur de la colonne de percolation (H) en cm	14,5	14,5
Section de la colonne (S) en cm ²	8,04	8,04
Coefficient de perméabilité (Kp) en cm/h = (C*V)/(H*S)	50,61	33,62

Figure 5 : Tableau de calculs de perméabilité pour l'essai 2 et l'essai 3

D'après Duchaufour un sol est considéré comme perméable à partir du moment où il possède un coefficient de perméabilité supérieur à 20 cm/h, ce qui est le cas du sol A inférieur (20 – 40 cm).

Nous supposons que la différence de perméabilité entre l'essai 2 et l'essai 3 est dû au fait que le sol se soit tassé durant les 3 manipulations.

Stabilité structurale

Fraction stable = (poids dispersion) / (poids dispersion + poids H₂O)

Le sol C ayant un pH < 7 il faut utiliser la solution de dispersion de NaOH (2 g/L).

Le sol A ayant un pH > 7 il faut utiliser la solution de dispersion d'Hexamétaphosphate (2 g/L).

	SOL A	SOL C
MASSE INITIALE (g)	4,080	4,020
STABILITÉ STRUCTURALE INSTABLE		
H₂O		
MASSE COUPELLE VIDE (g)	4,300	4,260
MASSE COUPELLE + SOL (g)	4,512	5,007
SOL (g) = masse sol instable	0,212	0,747
% DE SOL	5,359	18,656
STABILITÉ STRUCTURALE STABLE		
ACIDE/BASE		
MASSE COUPELLE VIDE (g)	4,250	4,340
MASSE COUPELLE + SOL (g)	4,580	5,081
MASSE COUPELLE + SOL (g) - SOLUTÉ DE DISPERSION (0,2 g)	4,380	4,881
SOL (g) = masse sol stable	0,130	0,541
% DE SOL	3,286	13,511
Somme %	5,615	32,168
FRACTION STABLE = masse sol stable / (masse sol stable + masse sol instable)	0,380	0,420
FRACTION STABLE en %	38,012	42,003
SURPLUS DE SOL NON FILTRÉ		
MASSE COUPELLE VIDE (g)	2,660	2,760
MASSE COUPELLE + SOL (g)	6,274	5,476
SOL (g)	3,614	2,716
% DE SOL	91,355	67,832
SOMME MASSE (g)	3,956	4,004
PERTE (g)	0,124	0,016
FRACTION STABLE AVEC REFUS = masse sol stable / (masse sol stable + masse sol instable + sol)	0,0329	0,1866
FRACTION STABLE AVEC REFUS en %	3,2861	18,6563

Figure 6 : Tableau des calculs de la stabilité structurale pour le sol A et C

À noter que pour le sol A la fraction stable n'est représentative que de 5,6% du poids total du sol et idem pour le sol C où la fraction stable est représentative de 32,2%.