

Projet de fin d'études

Étude des services éco-systémiques
rendus par les espaces verts urbains



Luisa Tavares-Sangiorgi & Chloé Thivolle – 5A GC GEN
Tuteur : Mikael Motelica-Heino
Année 2013 – 2014

Table des matières

Introduction	4
1. Étude bibliographique	5
1.1. Description du projet	5
1.2. Le parc Pasteur	6
1.2.1. Historique.....	6
1.2.2. Plan de gestion	6
1.3. Choix des paramètres à analyser.....	7
1.3.1. Paramètres physiques	7
1.3.2. Paramètres chimiques	7
2. Matériel et méthodes.....	8
2.1. Étude paysagère	8
2.2. Étude pédologique.....	9
2.2.1. Échantillonnage	9
2.2.2. Tests au pénétromètre	9
2.2.3. Préparation des échantillons de sol	11
2.2.4. Détermination de la porosité	11
2.2.5. Détermination du pourcentage d'éléments grossiers	11
2.2.6. Analyse granulométrique.....	12
2.3. Étude agronomique	13
2.3.1. Carbone organique, azote total, rapport C/N	13
2.3.2. Analyse des pH-eau et pH-KCl	13
2.3.3. Analyse du potentiel d'oxydoréduction	14
2.3.4. Analyse de la salinité par conductivité	15
2.3.5. Analyse des éléments chimiques.....	15
3. Résultats et discussions	16
3.1. Étude paysagère	16
3.1.1. Occupation des sols.....	16
3.2. Étude pédologique.....	17
3.2.1. Tests au pénétromètre	17
3.2.2. Porosité	19
3.2.3. Pourcentage d'éléments grossiers.....	20
3.2.4. Analyse granulométrique.....	21
3.2.5. Description des horizons.....	22
3.3. Étude agronomique	25
3.3.1. Carbone organique, azote total, rapport C/N	25
3.3.2. Analyse avec des électrodes	25
3.3.3. Analyse des éléments chimiques.....	28
Conclusion.....	30
Annexes	31

Table des illustrations

Figure 1 : Photographie du parc Pasteur	6
Figure 2 : Photo d'une grelinette	7
Figure 3 : Points de prélèvement des échantillons	9
Figure 4 : Pénétrromètre dynamique léger	10
Figure 5 : Passoire à mailles de 2 mm	11
Figure 6 : Classes granulométriques des éléments fins	12
Figure 7 : Tests de LaMotte pour la texture	12
Figure 8 : Réduction des échantillons de sols à un diamètre inférieur à 160 µm	13
Figure 9 : Agitateur magnétique	14
Figure 10 : Solution pH 4, 7 et 10	14
Figure 11 : Electrode pH	14
Figure 12 : SMART 3	15
Figure 13 : Occupation des sols du parc Pasteur	16
Figure 14 : Répartition de l'occupation des sols	17
Figure 15 : Résultat des essais au pénétromètre dynamique léger à pénétration constante	18
Figure 16 : Résistance de pointe du sol	18
Figure 17 : Porosité du sol en fonction de la profondeur	19
Figure 18 : Catégories d'éléments grossiers	20
Figure 19 : Pourcentage d'éléments grossiers en fonction de la profondeur	21
Figure 20 : Triangle textural	21
Figure 21 : Type de sol	22
Figure 22 : Échantillon point A, couche 0-25 cm	22
Figure 23 : Échantillon point A, couche 25-50 cm	22
Figure 24 : Échantillon point A, couche 50-75 cm	23
Figure 25 : Échantillon point B, couche 0-25 cm	23
Figure 26 : Échantillon point B, couche 25-50 cm	23
Figure 27 : Échantillon point B, couche 50-75 cm	23
Figure 28 : Échantillon point C, couche 0-25 cm	24
Figure 29 : Échantillon point C, couche 25-50 cm	24
Figure 30 : Échantillon point C, couche 50-75 cm	24
Figure 31 : Échantillon point D, couche 0-25 cm	24
Figure 32 : Échantillon point D, couche 25-50 cm	24
Figure 34 : Tableau des résultats des analyses avec des électrodes	25
Figure 33 : Échantillon point D, couche 50-75 cm	25
Figure 35 : Facteur de correction	27
Figure 36 : Valeurs de la conductimétrie	27
Figure 37 : Influence du pH sur la disponibilité des nutriments	28
Figure 38 : Résultats des tests faits avec le SMART 3 en ppm	28

Introduction

Notre projet de fin d'études est une étude des sols en trois parties du parc Pasteur situé à Orléans. Sous la tutelle de M. Mikael Motelica-Heino, nous avons pris part au projet SERVEUR de l'université de Tours.

Ce projet vise à mettre en évidence les services éco-systémiques des espaces verts urbains et à adapter les modes de gestion de ces espaces verts en fonction des résultats obtenus. Le projet SERVEUR repose sur l'étude d'une sélection de critères de services éco-systémiques répartis en trois grands groupes :

- les services d'approvisionnement (production de biens)
- les services de régulation (production de services)
- les services sociaux (production de services)

Le projet SERVEUR est pluridisciplinaire et rassemble plusieurs villes de la région centre. En effet, différentes branches des services éco-systémiques peuvent être étudiées par des cartographes, des sociologues, des urbanistes ainsi que des agronomes et des pédologues.

Notre projet ne concerne pas l'intégralité du programme. Nous nous sommes concentrées sur l'aspect environnemental du projet et notamment les indicateurs locaux de la qualité du sol. L'étude que nous avons menée s'est divisée en trois parties. Une partie paysagère avec la réalisation d'une cartographie du site, une partie pédologique avec l'étude des horizons et une partie agronomique avec l'étude de la composition chimique du sol. Le but de notre étude est de connaître un maximum de paramètres du sol, sa composition en particulier, pour mettre en évidence les apports possibles faits par ce sol mais aussi les manques.

Pour ce faire, nous allons dans un premier temps étudier l'historique du projet et du site ainsi que le plan de gestion du parc. Dans un deuxième temps, nous mettrons au point un plan de recherche et nous expliquerons les méthodes utilisées pour analyser les échantillons prélevés. Puis, nous discuterons des résultats obtenus. Enfin, nous conclurons sur les services éco-systémiques, adaptés aux sols et rendus par ce parc.

1. Étude bibliographique

1.1. Description du projet

Cette étude, inscrite dans le cadre du Projet SERVEUR (Services éco-systémiques des espaces verts urbains), est un projet de recherche financé par la Région Centre qui a comme responsable scientifique Jean-Louis Yengué. Le projet dispose d'un budget global de 435 000€ et d'une subvention de la Région Centre de 137 000€.

Le but du projet SERVEUR est d'identifier les retombées des espaces verts urbains aussi bien pour la population que pour les collectivités. Le travail se focalise sur trois types d'espaces verts : les bois urbains, les jardins ouvriers et les parcs d'agrément ; et sur deux catégories des services éco-systémiques : les services d'approvisionnement et les services culturels.

Au niveau des partenaires, le projet a le soutien des 6 villes où se déroule l'étude : Blois, Bourges, Châteauroux, Tours, Orléans et Chartres; et des partenaires scientifiques : CEDETE (Orléans), CESI - IRISE (Orléans), CITERES (Tours), GERCIE (Tours), INNOPHYT (Tours), IRBI (Tours), ISTO (Orléans) et MSH (Tours).

Les terrains d'expérimentation de ce projet sont les 6 chefs lieux de département de la région et deux autres villes de références associées, soit Hanovre (Allemagne) et Cáceres (Espagne).

Pour le choix des sites d'études, les données des 6 villes ont été harmonisées. D'abord, ont été pris en compte les espaces verts de plus d'un hectare et gérés directement ou indirectement par les services municipaux. Par conséquent, 52 espaces verts répondant à ces critères ont été sélectionnés.

Ensuite, à partir de certains critères, à savoir la surface, la densité de population sur une zone tampon de 250m, l'occupation des sols (% d'ornementation florale et % de bois) et l'Indice de Shannon (montre la diversité de l'occupation du sol), 5 catégories d'espaces verts ont été définies. Ces 5 catégories sont les suivantes : Grand espace vert (type 1), Espace vert de quartier (type 2), Parc Historique (type 3), Espace semi-naturel et bois (type 4) et Jardins familiaux (type 5). Enfin, 6 espaces verts ont été sélectionnés, soit 1 espace vert par type et par ville, comme montré ci-après :

- Type 1 : Parc de l'Arrou à Blois
- Type 2 : Parc Central à Chartres
- Type 3 : Parc Pasteur à Orléans
- Type 4 : Jardin de Lazenay à Bourges / Prairie de St Gildas à Châteauroux
- Type 5 : Jardins familiaux de la Bergeonnerie à Tours

Par rapport aux résultats attendus du projet, des outils peuvent être mis en évidence pour évaluer les retombées des espaces verts, des préconisations pour l'amélioration de leur gestion ressortent, la base de données (SIG) sur les espaces verts est améliorée et une production scientifique de haut niveau est faite.

1.2. Le parc Pasteur

1.2.1. Historique



Figure 1 : Photographie du parc Pasteur

Parmi les 6 EV sélectionnés, nous nous focaliserons sur le parc Pasteur. C'est un parc public situé dans le centre-ville d'Orléans, à proximité immédiate des lycées Pothier, Jean Zay et Benjamin Franklin, ce que lui fournit une fréquentation forte.

Le Parc Pasteur s'étend sur 4 hectares et a été créé en 1927. Le site occupé par le parc était destiné à la culture de la vigne jusqu'à la moitié du XVIIIe siècle

et était appelée Saint-Vincent. En 1786, il a été transformé en un cimetière et en est demeuré un jusqu'en 1903.

En 1913, il est décidé de créer un parc public sur l'ancien cimetière désaffecté, mais, à l'approche de la Première Guerre mondiale, les projets de reclassement du site sont ajournés et des jardins ouvriers et militaires sont aménagés sur le site jusqu'à la fin de la guerre.

C'est en 1927, après les discussions entre les partisans de la construction d'un complexe sportif et les défenseurs du parc public, que le parc Louis Pasteur a été créé sur les plans d'Edouard Gitton, paysagiste orléanais.

Le parc a une topographie plane, il se situe à 110 mètres d'altitude environ, et est organisé en deux parties différentes, une avec des allées et des massifs traditionnels autour du bassin, et autre partie plus paysagère, avec de grands arbres et de grandes pelouses. Il comporte aussi des espaces de jeux, un théâtre de poche et des terrains de sport.

1.2.2. Plan de gestion

Pour mieux comprendre la gestion du parc Pasteur, nous avons créé un questionnaire destiné aux jardiniers. Ce questionnaire permet de savoir le type de pesticides et d'engrais utilisés, ainsi que les méthodes de désherbage et la gestion des déchets verts.

Le parc Pasteur est géré de façon raisonnée. La mise en application d'une gestion raisonnée est une rupture avec les pratiques traditionnelles d'entretien des espaces verts, fortes consommatrices d'engrais, de produits polluants et d'eau. Sa mise en place se traduit par des techniques respectueuses de l'environnement et de la santé. En effet, le parc Pasteur est soumis à la charte 0 pesticides développée par la Mairie d'Orléans. Cette charte, mise en place en janvier

2009, vise à réduire, puis à terme à supprimer, l'usage des produits phytosanitaires dans l'entretien de l'espace public. Pour remplacer ces produits, les 4 jardiniers du parc désherbent à la main. Le sol des massifs floraux est travaillé à la grelinette et à la griffe à fleur. La grelinette permet d'ameubler la terre sans la retourner préservant ainsi l'écosystème du sol tandis que la griffe à fleur permet de briser les mottes pour affiner la surface du sol. Cependant, des engrais organiques, tels qu'EVER7 et ORGAVIE sont tout de même utilisés pour les massifs floraux et les pelouses. La tonte de la pelouse se fait de façon hebdomadaire à la tondeuse. Les feuilles mortes sont réutilisées comme engrais dans certains massifs arbustifs et les déchets verts sont compostés pour devenir à terme de l'engrais. Enfin, aucune espèce exotique n'est présente sur le site.



Figure 2 : Photo d'une grelinette

1.3. Choix des paramètres à analyser

Le but de ce projet est de déterminer les indicateurs locaux de la qualité du sol pour la biodiversité. Pour cela, il est nécessaire d'étudier à la fois les paramètres physiques du sol et les paramètres chimiques.

1.3.1. Paramètres physiques

Les propriétés physiques des sols influencent d'une part la circulation de l'air : sans air dans le sol, les racines ne respirent plus et la plante meurt d'asphyxie. Et d'autre part la circulation et la rétention d'eau : l'eau apporte les éléments nutritifs à la plante et la rétention de l'eau influence le lessivage, le taux d'infiltration et le taux de ruissellement.

Nous avons donc décidé de séparer les éléments fins des éléments grossiers et de réaliser une analyse granulométrique des échantillons pour mieux connaître la répartition granulométrique du sol étudié. La granulométrie est un paramètre important car un fort taux d'argile facilite l'enracinement. De plus, un taux important de limon augmente le risque d'instabilité structurale : l'eau crée des zones de tassement qui défavorisent l'enracinement.

Nous avons aussi mesuré la porosité en déterminant la masse volumique apparente et la masse volumique réelle pour chaque échantillon. Il est crucial de connaître ce paramètre car il permet la régulation de l'eau. La microporosité permet de constituer des réserves d'eau tandis que la macroporosité permet d'évacuer l'excès d'eau.

1.3.2. Paramètres chimiques

Les propriétés chimiques jouent aussi un rôle important pour l'évaluation de la qualité d'un sol. En effet, l'altération de la roche mère et la décomposition de la matière organique produisent une réserve de nutriments. La colorimétrie permet de quantifier cette réserve. Grâce à cette méthode,

la quantité dans le sol de nombreux bioéléments peut être mesurée. Leur concentration doit être ni trop faible pour éviter les carences, ni trop élevée pour ne pas être toxique. Notre choix s'est porté sur 3 macronutriments et 6 oligoéléments :

- Nitrate : élément nutritif mais aussi polluant ;
- Ammonium : élément nutritif ;
- Phosphore : favorise la croissance des racines et renforce les cellules ;
- Fer : catalyseur dans la formation de chlorophylle et nécessaire pour certaines réactions d'oxydoréduction ;
- Manganèse : joue un rôle dans les cycles biogéochimiques d'autres éléments ;
- Cuivre : métal nécessaire à la formation de molécule de chlorophylle ;
- Bore : indispensable à la germination des graines, utile pour la formation des membranes des cellules, impliqué dans le transport du sucre et essentiel pour la synthèse des protéines ;
- Zinc : essentiel dans la transformation de certaines enzymes et nécessaire pour la production de chlorophylle et la formation d'hydrate de carbone ;
- Molybdène : nécessaire pour la fixation de l'azote dans les légumes.

Les oligo-éléments sont une série d'éléments minéraux indispensables, à de faibles concentrations, pour le développement des plantes. La photosynthèse exige la disponibilité de manganèse, de fer, de chlore et de vanadium.

Il est également particulièrement intéressant d'avoir le taux de carbone organique disponible dans le sol : C'est en effet le premier facteur de fertilité chimique du sol. Le taux d'azote est également un facteur important pour la fertilité et la croissance des plantes. De plus, le rapport C/N renseigne sur l'activité biologique de la parcelle.

Enfin, le pH est également un paramètre important car il a une influence sur la disponibilité des éléments. De plus, la plupart des plantes s'accommodent d'un pH autour de la neutralité, il est donc important de savoir si le sol étudié est basique ou alcalin.

2. Matériel et méthodes

2.1. Étude paysagère

Les espaces verts urbains sont agencés différemment en fonction de la catégorie à laquelle ils appartiennent. Un parc historique n'aura pas la même occupation de l'espace qu'une prairie urbaine.

Nous avons réalisé une cartographie de l'occupation des sols du parc Pasteur pour nous rendre compte de la proportion de végétation comparée à la proportion de bâti, d'allée et d'aire de jeux. Une fois cette cartographie réalisée, nous avons déterminé la répartition de chaque composant du parc.

2.2. Étude pédologique

Les études pédologiques, ou études du sol, permettent de connaître les propriétés mécaniques des sols étudiés. Elles déterminent donc la structure des sols ainsi que leur résistance mécanique ce qui permet de connaître la qualité du sol.

2.2.1. Échantillonnage

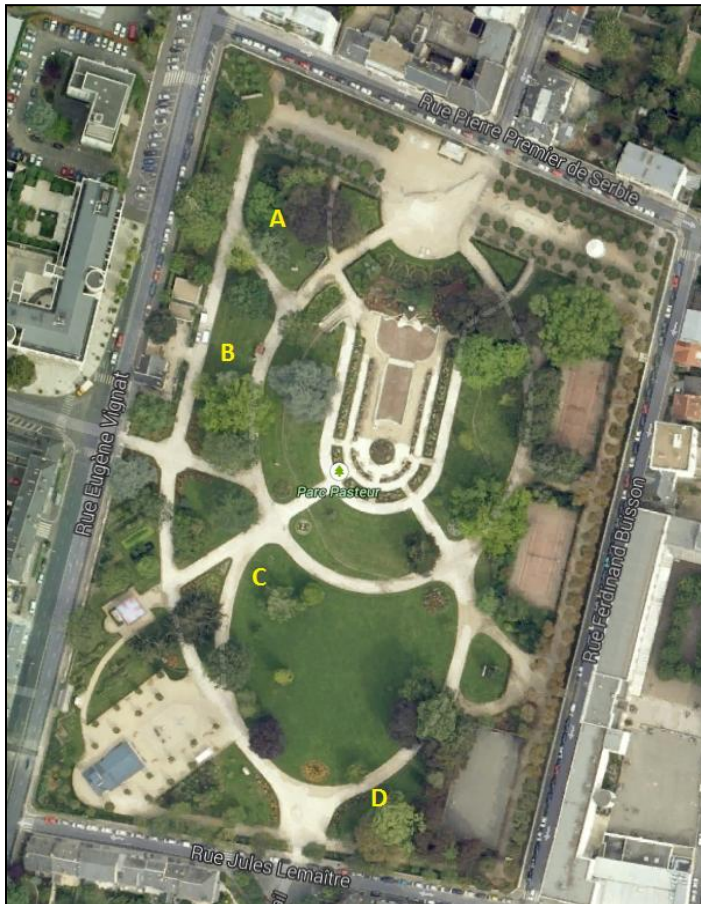


Figure 3 : Points de prélèvement des échantillons

L'objectif de cette étude est donc d'étudier les paramètres liés à la fertilité physique et chimique des sols prélevés.

Pour cela, un échantillonnage du sol a été réalisé en 4 points sur 3 profondeurs différentes : 0-25cm, 25-50cm, 50-75cm. Les échantillons ont été prélevés avec une tarière à main et placés dans des sacs de congélation. Certaines propriétés ont été altérées, comme la porosité, mais la plupart des données qui nous intéressent sont encore bonnes à exploiter.

Nous avons effectué des prélèvements à 4 endroits différents. Les prélèvements ont été faits à distance des arbres et sur différentes pelouses. Nous avons dû faire attention au réseau d'arrosage du site.

2.2.2. Tests au pénétromètre

Nous avons aussi effectué des tests au pénétromètre in-situ. Cet instrument de mesure est utilisé en géotechnique pour établir la résistance d'un sol à la pénétration d'une tige métallique. Il permet de se rendre compte de l'homogénéité du sol et d'avoir une idée de la résistance des couches de sol traversées.

Pour ce faire, nous avons utilisé un pénétromètre dynamique léger. L'essai consiste à faire pénétrer dans le sol par battage des tiges métalliques, à l'aide d'une masse tombant en chute libre sur une enclume. Il existe deux types de procédés : pénétration constante ou battage



Figure 4 : Pénétrromètre dynamique léger

constant. Nous avons utilisé le premier procédé. Il s'agit d'enregistrer le nombre de coups nécessaires pour un enfoncement de 10 cm.

L'appareillage se compose :

- D'une tige de guide servant à guider la masse lors de sa tombée sur l'enclume ;
- De 6 tiges de sondage de longueur 1m, terminées par un filetage et sur lesquelles sont marquées des repères tous les 10cm ;
- De 6 raccords filetés M16, pouvant servir à remplacer les filetages défectueux des tiges de sondages ;
- D'une masse de 10kg, munie de 2 poignées permettant sa remontée manuelle ;
- D'une enclume servant à enfoncer les tiges de sondage ;
- D'une pointe conique de 5cm² de section, favorisant la pénétration des tiges dans le sol ;
- D'une plaque de base pour guider les tiges lors de leur pénétration dans le sol et pour faciliter ensuite leur extraction ;
- D'une pièce pour relier le matériel d'extraction à la plaque de base et aux tiges ;
- D'un dispositif d'extraction composé d'un extracteur et d'un bras de levier.

Pour déduire la résistance dynamique du sol après un essai à pénétration constante, il faut utiliser la formule dite des Hollandais :

$$Rd = \frac{M^2 * H}{A} * \frac{1}{M + Pz} * \frac{1}{E}$$

Avec

M : poids de la masse en daN (M = 10 daN)

H : hauteur de chute du mouton en cm (H = 50cm)

Pz : poids des tiges en daN à la profondeur z (Pz = 2,93*z en m)

A : section de la pointe en cm² (A = 5cm²)

E : refus (enfoncement par coup en cm)

Rd : résistance dynamique de pointe du sol en daN/cm² (multiplier par 0,1 pour l'obtenir en MPa)

Soit avec les valeurs précédentes :

$$Rd = 1000 * \frac{1}{(10 + 2,93 * z)} * \frac{1}{E}$$

Grâce à cette formule, on peut tracer l'évolution de la résistance de pointe en fonction de la profondeur.

2.2.3. Préparation des échantillons de sol

L'étude granulométrique d'un horizon de sol nécessite une préparation. Après avoir prélevé les échantillons, ils ont été placés dans une étuve à 100°C pendant 24h. Une fois ce temps écoulé, nous avons broyé les échantillons à l'aide d'un pilon pour séparer les mottes qui se sont formées lors du séchage.

2.2.4. Détermination de la porosité

La porosité est l'ensemble des interstices d'une roche pouvant contenir des fluides. C'est une valeur numérique qui caractérise ces interstices. Elle est comprise entre 0 et 1. La porosité permet de connaître le potentiel d'absorption d'eau du sol et donc la régulation de l'eau.

Pour déterminer la porosité, deux étapes sont nécessaires : premièrement, déterminer la masse volumique apparente et deuxièmement déterminer la masse volumique réelle.

La masse volumique apparente (MVA) est obtenue en remplissant un contenant de volume connu par notre échantillon de sol. La masse de sol (M_{sol}) contenue dans ce récipient divisée par son volume ($V_{apparent}$) nous donne la masse volumique apparente.

$$MVA = \frac{M_{sol}}{V_{apparent}}$$

La masse volumique réelle (MVR) est obtenue en remplissant d'eau le récipient précédent préalablement rempli avec un échantillon de sol. La variation de masse permet de connaître le volume d'eau introduit et donc le volume de vide

$$MVR = \frac{M_{sol}}{V_{réel} - V_{eau}}$$

La porosité est déduite des deux mesures précédentes.

$$\text{Porosité} = \frac{MVR - MVA}{MVA}$$

2.2.5. Détermination du pourcentage d'éléments grossiers



Figure 5 : Passoire à mailles de 2 mm

Les échantillons de sol collectés sur place vont devoir être séparés en deux pour obtenir les informations recherchées. Ainsi, nous aurons d'un côté la « terre fine » (< 2 mm) et de l'autre les éléments grossiers.

Pour y parvenir, nous allons utiliser une passoire cylindrique avec maille de diamètre 2 mm. L'échantillon de terre collecté sera pesé, émiétté brièvement et placé sur la partie supérieure de la passoire. Le dispositif sera ensuite

laissé en mouvement un certain temps. A la fin de cette manipulation, les éléments grossiers seront restés sur la partie supérieure de la passoire (voir photo ci-contre) tandis que la terre fine qui aura réussie à traverser les mailles de 2 mm sera récupérée dans un sac puis sera pesée pour déterminer le pourcentage d'éléments grossiers, % EG.

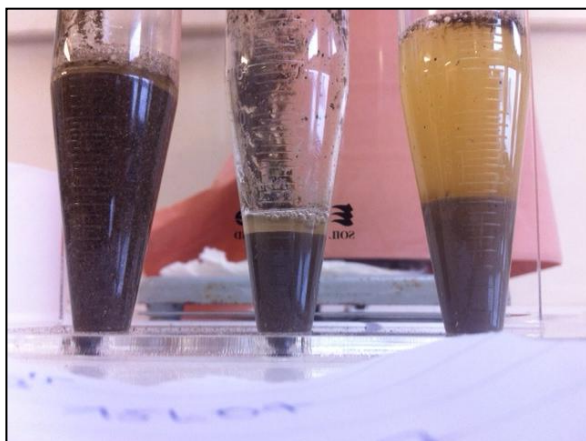
$$\% \text{ EG en pondéral} = \frac{\text{Poids du refus sur passoire de 2 mm de } \varnothing}{\text{Poids de la terre totale séchée à l'air}} \times 100$$

2.2.6. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrie permet de connaître la répartition des différentes particules fines présentes dans l'échantillon. Ces particules fines sont au nombre de 3 : le sable le limon et l'argile. Il est possible de détailler la classe granulométrique mais nous nous contenterons de garder les limites suivantes : 2mm, 0,2mm, 0,05mm et 0,002mm.

Particules	Diamètre (mm)
Sable très grossier	2.0 – 1.0
Sable grossier	1.0 – 0.5
Sable moyen	0.5 – 0.25
Sable fin	0.25 – 0.10
Sable très fin	0.10 – 0.05
Limon	0.05 – 0.002
Argile	< 0.002

Figure 6 : Classes granulométriques des éléments fins



Pour notre analyse granulométrique, nous utiliserons le kit expérimental code 1067 (protocole voir annexe 1) mis au point par l'entreprise LaMotte. Ce test est conçu pour séparer la terre en trois fractions minérales de base: sable, limon et argile. Le temps nécessaire pour que les particules du sol de tailles différentes se décantent dans les tubes de séparation du sol constitue la base de ce test. À partir de la quantité de matières recueillies dans chaque tube (voir photo ci-dessous), il est possible de déterminer le pourcentage approximatif de chaque fraction présent dans l'échantillon de sol d'origine. Différents traitements préalables servent à obtenir une bonne dispersion des particules qui préexistent dans l'échantillon. La destruction de la matière organique est assurée par l'eau oxygénée. Ensuite, une longue agitation dans l'eau avec un dispersant suffit. Aucune floculation ne doit se produire.

2.3. Étude agronomique

2.3.1. Carbone organique, azote total, rapport C/N

Le rapport C/N ou rapport carbone organique sur azote total est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol. Ce rapport caractérise donc la fertilité chimique des sols.

Pour notre étude nous allons utiliser un pyrolyseur flash C/N. L'échantillon solide, doit d'abord être broyé pour que le diamètre des particules n'excède pas 160 μm (voir photo ci-dessous), puis placé dans une capsule d'étain et introduit dans un four à 900 °C traversé par un courant d'hélium, un apport d'oxygène provoque une combustion totale. Les teneurs respectives en C et N sont quantifiées par chromatographie gazeuse après une calibration appropriée avec des substances de composition connue en C et N (EDTA, atropine,...). Notre échantillon ne contient pas de carbone minéral (carbonates), sinon le carbone organique aurait été calculé en déduisant du carbone total donné par la mesure, la fraction provenant des carbonates.



Figure 8 : Réduction des échantillons de sols à un diamètre inférieur à 160 μm

Les composés azotés mesurés par cette méthode proviennent principalement de la dégradation bactérienne des composés organiques provenant de l'azote. L'épandage d'engrais est aussi une source importante d'azote dans l'environnement.

2.3.2. Analyse des pH-eau et pH-KCl

pH eau

La mesure du potentiel Hydrogène (ou pH) d'une suspension d'un échantillon de sol dans l'eau rend compte de la concentration en ions H_3O^+ à l'état dissocié dans le liquide surnageant. Ces ions sont en équilibre avec ceux présents à l'état non dissocié, fixés sur certains composants solides du sol tels que les minéraux argileux, les matières organiques et certains composés dans lesquels l'aluminium est associé à des molécules d'eau et à des ions OH^- . Ces composés solides, par leur aptitude à fixer des ions H^+ ou OH^- , tempèrent les variations de pH du sol. Le pH s'exprime selon une échelle de 0 à 14 et détermine la basicité ou l'acidité du sol. Il se calcule selon la formule $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$ où $[\text{H}^+]$ est la concentration en ions H^+ exprimée en moles par litre.

Pour notre expérimentation, nous utiliserons la méthode électrométrique. La mesure est obtenue en mesurant une différence de potentiel en volts à l'aide d'une électrode. L'appareil que nous utilisons (voir photo ci-dessous) est à lecture directe, il convertit directement la différence de potentiel en valeur de pH. Pour calibrer l'appareil, nous utiliserons trois solutions au pH connues (voir photo ci-dessous).



Figure 11 : Electrode pH



Figure 10 : Solution pH 4, 7 et 10



Figure 9 : Agitateur magnétique

En ce qui concerne le protocole, nous utiliserons un rapport pondéral terre fine/eau = 1/2.5. Nous avons donc mélangé 10g d'échantillon dans 25mL d'eau distillée. Ensuite, nous avons agité ce mélange avec un agitateur magnétique pendant 1h, puis, nous avons laissé reposer ce mélange pendant 30min avant de mesurer le pH dans le liquide surnageant à l'aide d'une électrode pH.

Pour les horizons des sols, le référentiel pédologique propose 7 « domaines » de pH dans l'eau : hyper-acide, très acide, acide, peu acide, neutre, basique, très basique.

pH KCl

Le pH KCl, quant à lui, correspond à la concentration en hydrogène $[H^+]$ du sol obtenu après ajout de KCl. En effet, dans une suspension de terre dans l'eau, tous les ions H^+ ne sont pas dissociés. Une partie d'entre eux est retenue énergiquement par des molécules organiques ou par des minéraux argileux. Cette partie constitue une acidité potentielle. Les ions K^+ s'échangent avec les ions H^+ qui n'étaient pas dissociés en solution aqueuse. La solution de chlorure de potassium a pour effet de chasser les ions H^+ fixés sur le Complexe Argilo-Humique, ce qui permet de déterminer l'acidité totale ou acidité de réserve du sol.

En ce qui concerne le protocole, nous utiliserons le même que pour le pH eau sauf que nous utiliserons une solution de chlorure de potassium dosée à 1mol de KCl/L.

2.3.3. Analyse du potentiel d'oxydoréduction

Le potentiel d'oxydoréduction, ou potentiel redox, est une grandeur empirique exprimée en volt et notée E. Cette mesure est appliquée aux couples d'oxydoréduction pour prévoir la réactivité des espèces chimiques entre elles. Par convention, le potentiel standard E° est mesurée par rapport au couple proton/hydrogène (H^+/H_2) de potentiel nul. Le potentiel redox permet de

qualifier une solution aqueuse et de la classer en solution plutôt oxydante (présence d'oxygène) ou plutôt réductrice (manque d'oxygène). Une oxydation signifie qu'un ion ou une molécule perd des électrons et s'accompagne automatiquement d'une réduction ou gain d'électrons.

Pour effectuer cette mesure, nous avons utilisé le même protocole que pour la mesure du pH eau. Nous avons utilisé une électrode métallique que nous avons étalonnée avec une solution de référence à 220 mV.

2.3.4. Analyse de la salinité par conductivité

La salinité est une mesure de la concentration des minéraux dissous dans le sol. Si la valeur est trop basse, les plantes seront sous alimentées, mais si elle est trop haute, les plantes dépériront. Cette mesure se prend en mesurant la conductivité électrique du sol entre 2 électrodes. Plus le courant passe, plus la mesure est élevée et le sol riche ; l'inverse est vrai aussi. Toutefois, cette mesure ne donne aucune idée de ce qui est en excès ou en carence, une analyse détaillée s'impose dans ce cas.

Pour effectuer cette mesure, nous avons utilisé le même protocole que pour la mesure du pH eau. Nous avons étalonné l'électrode avec une solution de référence à 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.3.5. Analyse des éléments chimiques

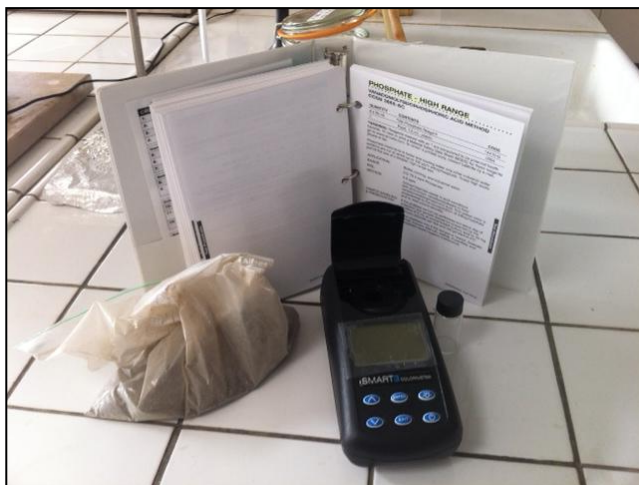


Figure 12 : SMART 3

Connaître la composition en éléments chimiques d'un sol permet de connaître ses besoins, ses excès et ses points forts. Grâce à cette analyse on peut donc ajuster la gestion de ce sol.

Afin d'effectuer cette analyse, nous avons utilisé le SMART 3 pour déterminer la concentration des différents éléments chimiques dans nos échantillons de sol.

Pour ce faire, nous avons prélevé 1g de sol que nous avons dilué dans 10mL de solution d'extraction de sol. Puis nous avons filtré ce

mélange que nous avons ensuite dilué avec de l'eau distillée afin d'en obtenir 100mL. Nous avons réalisé ceci pour tous nos échantillons.

Une fois les solutions obtenues, nous avons suivi les protocoles donnés dans le guide SMART 3 (voir annexes).

3. Résultats et discussions

3.1. Étude paysagère

3.1.1. Occupation des sols

Occupation des sols du parc Pasteur

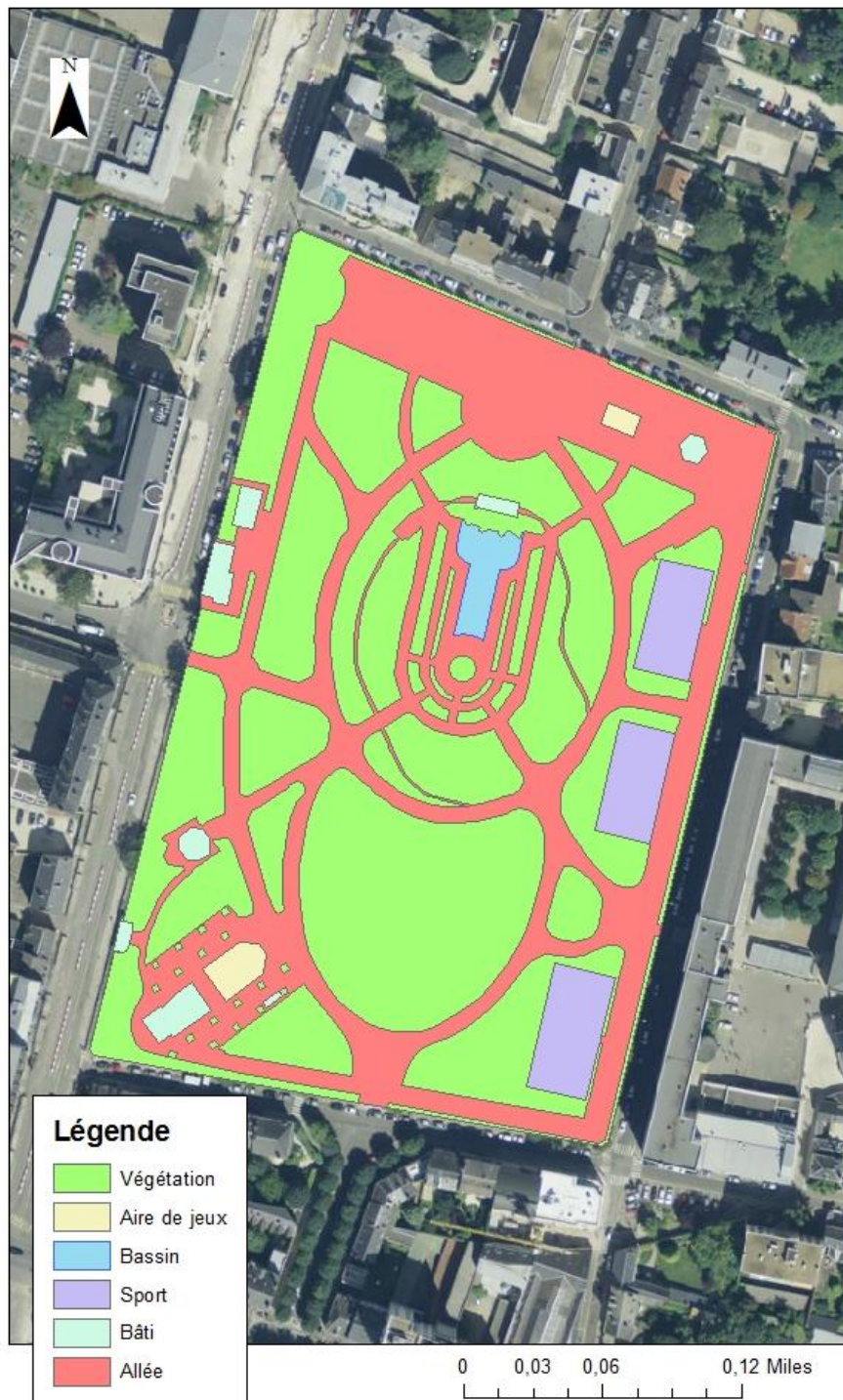


Figure 13 : Occupation des sols du parc Pasteur

La carte ci-dessus montre l'occupation des sols du parc Pasteur en fonction des divers éléments le composant. On observe nettement que les éléments prédominants sont la végétation et les allées. Comme nous l'avons vu précédemment, le parc est géré de façon raisonnée, aucun pesticide n'est donc utilisé. Cependant, pour permettre le passage des véhicules de chantier, éviter l'érosion et la formation de trous, les fondations des allées ont été bétonnées.

Composant	Bassin	Bâti	Aire de jeux	Végétation	Sport	Allée	Total
Pourcentage	1,024%	1,621%	0,712%	53,722%	4,666%	38,255%	100,000%

Figure 14 : Répartition de l'occupation des sols

Le tableau ci-dessus montre la répartition de l'occupation des sols. La végétation représente plus de la moitié du sol alors que les allées en représente environ 40%. Ces chiffres montrent la prédominance de la végétation dans ce parc mais ils montrent aussi qu'il est composé de nombreux supports différents. En effet, les allées représentent un pourcentage non négligeable et elles n'apportent pas de plus-value à la biodiversité du parc.

Pour obtenir ces chiffres, nous avons imprimé puis découpé la carte d'occupation. Nous avons ensuite pesé chaque composant. Les résultats ne sont donc pas précis mais ils donnent un ordre de grandeur.

3.2. Étude pédologique

3.2.1. Tests au pénétromètre

Le graphique suivant (figure 15) montre le nombre de coup nécessaires pour enfoncer le pieu de 10 cm dans le sol en fonction de la profondeur et de l'emplacement.

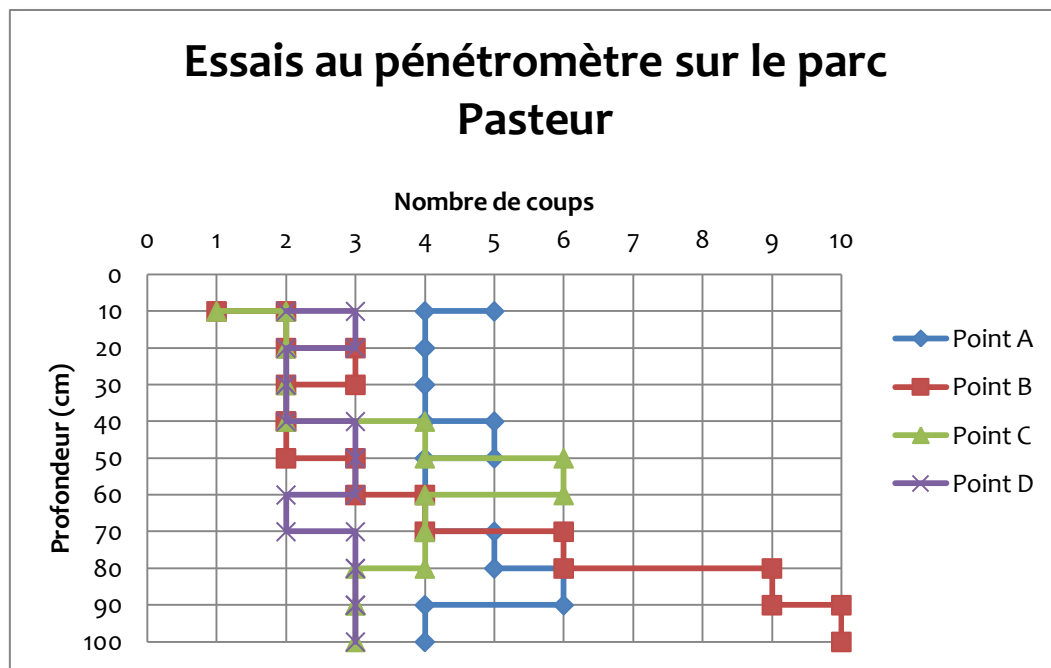


Figure 15 : Résultat des essais au pénétromètre dynamique léger à pénétration constante

On observe sur la figure 16 la résistance de pointe de chaque emplacement en fonction de la profondeur. Cette résistance est exprimée en MPa.

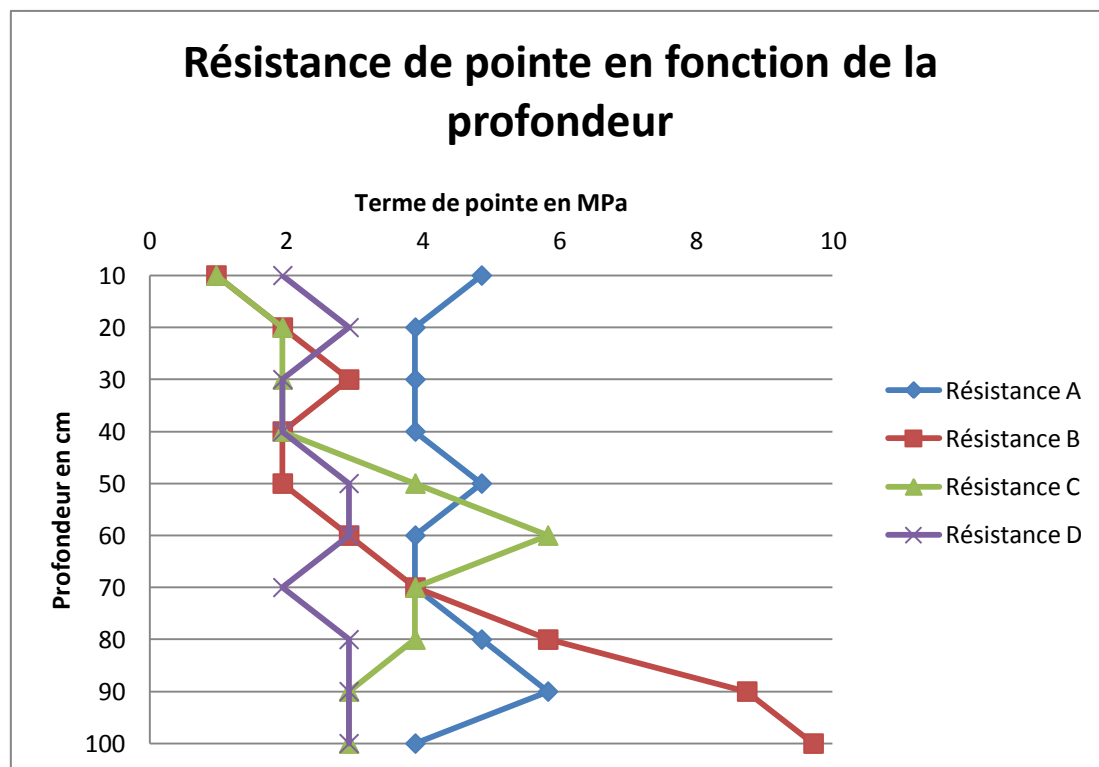


Figure 16 : Résistance de pointe du sol

On voit sur la figure 15 que les sols sont homogènes dans l'ensemble. En effet, seule une variation de plus de 5 coups met en évidence un changement d'horizon. Cependant, nous pouvons voir que pour le point B, à partir de 70 cm, il y a une variation notable du nombre de coups. Cela montre donc que le point B a 2 horizons : 0 – 70 cm et 70 – 100 cm.

Au vu du nombre de coup pour un enfoncement de 10 cm, nous pouvons conclure que, d'une manière générale, le sol a une résistance moyenne. Nous pouvons aussi déduire qu'il s'agit d'un sol à texture plutôt sableuse, peuvent présenter des traces d'argile ou de limon.

Les résultats obtenus en MPa avec la formule des Hollandais semblent élevés. Il y a probablement une erreur de facteur 10. Cependant, nous n'arrivons pas à la trouver. En exploitant ces résultats, nous pouvons en conclure que le sol étudié a une résistance moyenne.

Un test de seulement 100 cm ne permet de conclure entièrement sur les horizons d'un sol. En effet, les premiers 20 cm ne peuvent pas être pris en compte dans l'étude de la résistance d'un sol car cette couche est souvent remaniée, modifiée par le passage humain ainsi que par l'entretien de la végétation. Notre test n'est donc pas exact mais il permet d'avoir une idée de la composition des couches et de la résistance du sol.

3.2.2. Porosité

Le tableau ci-dessous montre la porosité du sol en fonction de la profondeur et de l'emplacement de l'échantillon. La porosité est un paramètre important pour déterminer la qualité du sol. Cependant, nous sommes confrontés à un problème technique, la masse volumique apparente est obtenue à partir d'un échantillon remanié plusieurs fois. Pour avoir une porosité représentative du milieu naturel, il aurait fallu un échantillon intact.

	Point	MVA	MVR	Porosité
A	0-25	1,13	1,87	0,66
	25-50	1,13	2,00	0,77
	50-75	1,29	1,66	0,28
B	0-25	1,19	1,64	0,38
	25-50	1,21	2,02	0,67
	50-75	1,29	1,65	0,27
C	0-25	1,14	2,00	0,75
	25-50	1,28	1,68	0,31
	50-75	1,22	1,69	0,39
D	0-25	1,27	1,93	0,52
	25-50	1,21	1,72	0,42
	50-75	1,22	1,73	0,42

Figure 17 : Porosité du sol en fonction de la profondeur

Le tableau ci-dessus montre que l'ensemble des échantillons étudiés à une porosité comprise entre 0,4 et 0,7, c'est-à-dire une porosité moyenne. La porosité servant à réguler l'eau et à circulation de l'air dans le sol, nous pouvons en conclure que le sol étudié est bien drainé.

Cependant, on observe que les couches profondes des échantillons A et B ont une porosité bien inférieure à celle des couches supérieures. Cela peut s'expliquer par un tassement du sol ou la présence d'argile dans le sol.

Il faut tout de même prendre en compte le fait que les échantillons ont été remaniés et que ces résultats ne sont pas représentatifs.

3.2.3. Pourcentage d'éléments grossiers

Les éléments grossiers (EG) sont tous les constituants minéraux individualisés (fragments de roches poly- ou mono-minéraux) de dimensions supérieures à 2 mm. Même s'ils ont perdu, partiellement ou totalement, leur structure lithique originelle par altération, ils n'ont pas acquis de structure pédologique.

Le «refus à 2 mm» correspond à tout ce qui ne passe pas à travers la passoire lors de la préparation de la terre fine. Dans ce refus, il y a les éléments grossiers lithiques, les nodules pédologiques et parfois des agrégats ayant résisté à l'écrasement.

Selon leur plus grande dimension, on distinguera quatre ou cinq catégories d'éléments grossiers :

STIPA 1982		AFNOR X 31-003 1998	
0,2 à 2 cm	graviers	0,2 à 2 cm	graviers
2 à 7,5 cm	cailloux	2 à 7,5 cm	cailloux
7,5 à 20 cm	pierres	7,5 à 12 cm	pierres
		12 à 25 cm	grosses pierres
> 25 cm	blocs	> 25 cm	blocs

Figure 18 : Catégories d'éléments grossiers

Notre méthode présente certaines limites. Tout d'abord, la limite à 2 mm est artificielle. Des gravillons quartzeux de 2,5 mm sont, à l'évidence, peu différents de sables très grossiers de 1,5 mm. Par ailleurs, les résultats de tamisage pour déterminer les proportions relatives de graviers/cailloux/pierres/blocs sont approximatifs, d'autant plus que ces éléments grossiers sont éloignés de la forme sphérique.

Au plan agronomique, la quantité d'éléments grossiers est utile à connaître dès que ceux-ci sont abondants et qu'ils risquent de jouer un certain rôle :

- diminution de la réserve en eau
- gêne pour les semis ou les récoltes
- protection contre l'évaporation
- obstacle à la mécanisation
- interdiction de certaines cultures telles celles de la pomme de terre, du pois...

Le graphique ci-dessous montre le pourcentage d'éléments grossiers en fonction de la profondeur et de l'emplacement.

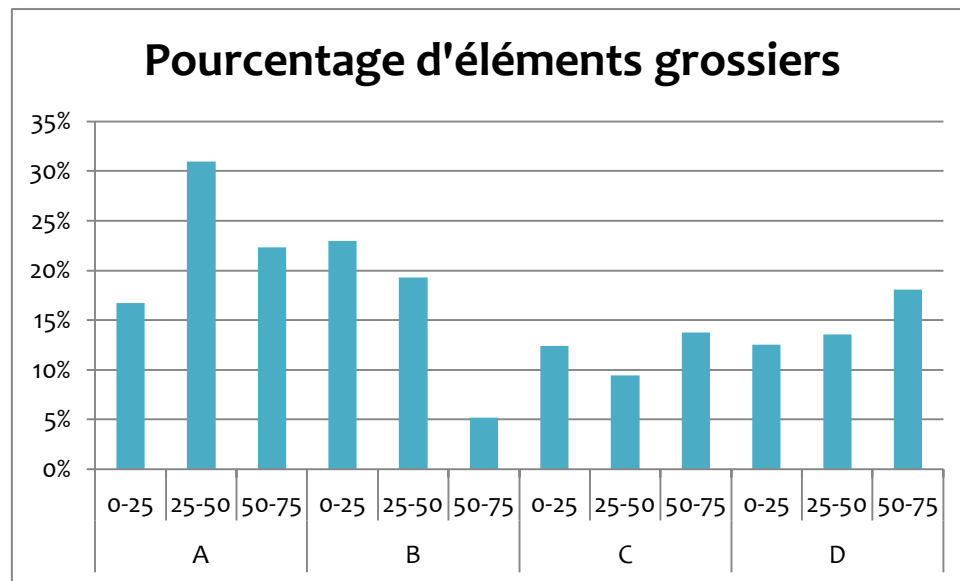


Figure 19 : Pourcentage d'éléments grossiers en fonction de la profondeur

Dans notre cas, le pourcentage d'éléments grossiers est compris majoritairement entre 10 et 25 %. Ces éléments sont à 90% des agrégats ayant résisté à l'écrasement. Cependant, cette fraction est strictement inférieure à 2 cm, il n'y a ni cailloux, ni pierres, ni blocs.

Les points C et D ont un pourcentage d'éléments grossiers plus homogène sur l'ensemble alors que le point A a un pic à 30% pour la profondeur 25 – 50 et le point B a un trou à 5% pour la profondeur 50 – 75. Les observations des points C et D peuvent s'expliquer par un remaniement important des sols qui mène à une homogénéité. Pour le point B, on peut penser à un sol argileux ne contenant donc aucun élément grossier.

3.2.4. Analyse granulométrique

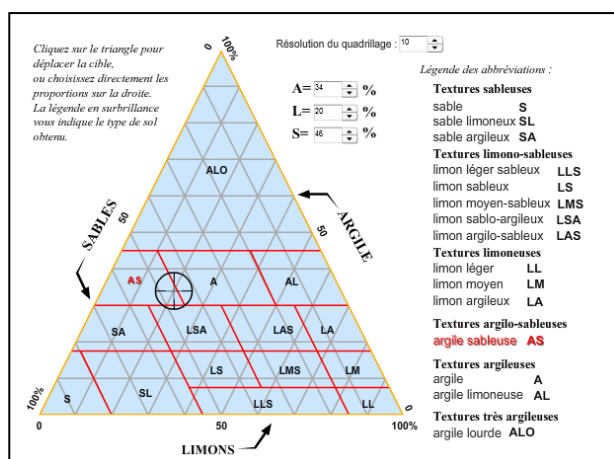


Figure 20 : Triangle textural

Nous avons vu dans la partie une, les différents aspects de la fertilité physique et l'importance d'un équilibre dans les proportions d'argile, de limon et de sable.

La figure ci-dessus représente le triangle textural permettant la classification des sols.

	Point	% Sable	% Limon	% Argile	Type de sol
A	0 - 25	70%	14%	16%	Sable limoneux
	25 - 50	43%	20%	37%	Argile
	50 - 75	38%	10%	52%	Argile lourde
B	0 - 25	53%	13%	34%	Argile sableuse
	25 - 50	42%	16%	42%	Argile
	50 - 75	36%	29%	36%	Argile
C	0 - 25	54%	12%	34%	Argile sableuse
	25 - 50	40%	14%	47%	Argile lourde
	50 - 75	51%	14%	35%	Argile sableuse
D	0 - 25	70%	10%	20%	Sable argileux
	25 - 50	52%	17%	31%	Argile sableuse
	50 - 75	46%	20%	34%	Argile sableuse

Figure 21 : Type de sol

Les échantillons étudiés, ils ont majoritairement une texture sableuse. Les points B et C sont argileux alors que les couches supérieures des points A et D sont respectivement des sables limoneux et des sables argileux.

Les textures des sols étudiés présentent peu de limons mais beaucoup de sables. Les limons ont une faible cohésion et sont des particules très fines. Ils sont donc facilement détachés de la matrice du sol et transportés par le ruissellement. Les sables ont une cohésion encore plus faible. Cependant, les sols étudiés ont une teneur en argile comprise entre 15 et 40% environ. Cette teneur est idéale pour garantir la stabilité structurale et éviter l'érosion du sol. En effet, un fort taux d'argile permet un bon enracinement.

3.2.5. Description des horizons



Figure 22 : Échantillon point A, couche 0-25 cm

La photo ci-contre représente la carotte prise au point A dans l'épaisseur entre 0 et 25 cm. On observe une différence de couleur entre le haut et le bas de l'échantillon. Cette différence peut s'expliquer par la présence d'humus dans la partie supérieure. La texture semble aussi plus compacte en surface

qu'en profondeur, ce qui peut s'expliquer par le passage des visiteurs du parc.



Figure 23 : Échantillon point A, couche 25-50 cm

La photo ci-contre représente la carotte prise au point A pour la couche 25-50 cm. Cet échantillon est homogène. Il présente une couleur blanche qui peut être expliquée par la présence de calcaire.



Figure 24 : Échantillon point A, couche 50-75 cm

La photo ci-contre représente la carotte pris au point A pour la couche 50-75 cm. Cet échantillon est semblable au précédent.

Nous pouvons donc en conclure que pour le point A, il y a deux horizons distincts. En effet, on observe un mince horizon O dans lequel les débris végétaux s'accumulent, puis un horizon homogène, qui présente une texture granulaire et une couleur blanche.



Figure 25 : Échantillon point B, couche 0-25 cm

La photo ci-contre représente la carotte prise au point B pour la couche 0-25 cm. Cet échantillon présente une couleur marron et une texture compacte ce qui peut s'expliquer par la présence d'humus.



Figure 26 : Échantillon point B, couche 25-50 cm

La photo ci-contre représente la carotte prise au point B pour la couche 25-50 cm. Cet échantillon est semblable au précédent excepté autour de 50 cm de profondeur où on peut observer une terre de couleur ocre. Cette couleur peut être expliquée par la présence d'argile.



Figure 27 : Échantillon point B, couche 50-75 cm

La photo ci-contre représente la carotte prise au point B pour la couche 50-75 cm. Cet échantillon est très différent des deux précédents. En effet, sa couleur est différente et sa texture semble moins granuleuse et plus compacte. On peut en déduire que cet

échantillon est fait d'argile.

Nous pouvons donc en conclure que pour le point B, il y a aussi deux horizons. Cependant, l'horizon O est plus développé que pour le point A et l'autre horizon a une texture très fine et une couleur ocre qui en fait un horizon argileux.



Figure 28 : Échantillon point C, couche 0-25 cm

centimètres, il y a un changement de couleur et le sol devient plus grisâtre. Cette couleur gris-noire est généralement associée à la présence de matières organiques dans le sol.

Le premier horizon du point C, de 0 à 25 cm de profondeur, montré sur la figure 28, contient des traces de végétation dans les premiers centimètres, et a une couleur plus noire. Cependant, nous pouvons voir que, dans les derniers



Figure 29 : Échantillon point C, couche 25-50 cm

Dans la profondeur de 25 à 50 cm, illustré à la figure 29, le sol est encore plus noir, avec seulement une faible quantité de matériaux plus pale à la fin. Par rapport à l'humidité, nous observons que le sol est assez humide dans les deux horizons: 0 - 25 cm et 25 - 50 cm.



Figure 30 : Échantillon point C, couche 50-75 cm

Le dernier horizon, 50 - 75 cm, représenté sur la figure 30, a une couleur moins noir par rapport aux horizons précédents, ça veut dire que il y a moins de matières organiques dans cette partie du sol. Nous pouvons observer aussi que le sol est plus sec.

Au niveau de la texture, les trois horizons du point C ont une prédominance de matériau argileux.



Figure 31 : Échantillon point D, couche 0-25 cm

Le point D présente une couleur très noir et contient des traces de racines de plantes dans son premier horizon, 0-25 cm, représenté sur la figure 31. Il a aussi un aspect plus humide.



Figure 32 : Échantillon point D, couche 25-50 cm

Le prochain horizon, de 25 à 50 cm de profondeur, a un aspect moins humide et le sol est encore noir, comme le montre la figure 32. Par contre, nous pouvons observer certaines parties de couleur grise au début et à la fin de l'horizon.



Figure 33 : Échantillon point D, couche 50-75 cm

Le dernier horizon du point D, 50 - 75 cm, est illustré à la figure 33 et présente une couleur noir avec certaines parties grises et une faible quantité de matériau marron à la fin. Par rapport à la texture, nous pouvons observer une prédominance de matériau argileux - sableux, aussi bien dans ce dernier horizon, que dans les

horizons antérieurs.

3.3. Étude agronomique

3.3.1. Carbone organique, azote total, rapport C/N

A l'heure actuelle, nous n'avons pas reçu les résultats de ce test.

3.3.2. Analyse avec des électrodes

	Sols	pH	pH KCl	Potentiel d'acidification	Conductimétrie (μS/cm)	Redox (mV)
A	0 - 25	7,47	6,92	0,55	470	160
	25 - 50	7,87	7,11	0,76	256,8	165
	50 - 75	7,97	7,4	0,57	255,2	148
B	0 - 25	7,6	6,99	0,61	409	157
	25 - 50	7,77	7,33	0,44	338	175
	50 - 75	7,45	6,96	0,49	201,5	169
C	0 - 25	7,01	7,14	-0,13	383	165
	25 - 50	7,5	6,87	0,63	331	184
	50 - 75	7,89	6,88	1,01	198,5	170
D	0 - 25	7,31	7,1	0,21	623	175
	25 - 50	7,72	6,48	1,24	374	181
	50 - 75	7,29	7,38	-0,09	322	172

Figure 34 : Tableau des résultats des analyses avec des électrodes

pH-eau et pH-KCl

Le pH des sols de jardin se situe presque toujours entre 4 et 8. Un sol ayant un pH inférieur à 7 est acide, un sol ayant un pH supérieur à 7 est basique.

Le niveau d'acidité ou de basicité du sol est très important pour l'assimilation des éléments nutritifs par la plante. Pour un sol, le pH optimal est compris entre 6,5 et 8,0, car la plupart des éléments nutritifs sont assimilables dans cette zone de pH.

Sur le tableau de résultats ci-dessus, on voit que tous les pH obtenus sont admis dans la limite optimale, donc les échanges d'éléments nutritifs sont possibles sans aucun risque de pollution et la croissance des plantes est assurée.

Selon les agronomes, l'écart entre le pH eau et le pH KCl caractérise le potentiel d'acidification du sol. Il renseigne sur les risques d'acidification d'une parcelle. Les conclusions sont différentes en fonction de l'écart entre les deux pH.

- Écart $< 0,1$: pas de potentiel d'acidification ;
- Écart compris entre 0,2 et 0,5 : faible potentiel d'acidification ;
- Écart compris entre 0,6 et 1 : acidité échangeable moyenne ;
- Écart > 1 : fort potentiel d'acidification.

On observe que pour la majorité de nos résultats, l'écart est compris entre 0,2 et 0,5 ce qui montre un faible potentiel d'acidification. Les couches des points C et D ont chacune un potentiel d'acidification différent ce qui peut s'expliquer par la présence de différents minéraux à chaque couche.

Potentiel d'oxydoréduction

Des redox hauts se rencontrent par forte teneur en oxygène alors que des redox bas sont le fait d'un manque d'oxygène entraînant le plus souvent un phénomène de réduction (situation anaérobie). La réduction (manque d'oxygène) peut avoir pour cause un excès de nourriture et conduire à la transformation en ammonium et en nitrites.

Comme le sol est un milieu très hétérogène, même localement, le potentiel d'oxydoréduction peut changer complètement sur quelques millimètres de distance. Ses variations dépendent de plusieurs facteurs, comme par exemple, l'humidité et le pH. Donc, l'interprétation de leur résultat est délicate.

On peut dire que, de manière générale, le potentiel d'oxydoréduction du sol peut se répartir en quatre domaines :

- de 800 à 450 mV : l'oxygène est fortement présent et la matière organique est décomposée plus ou moins rapidement ;
- de 450 à 0 mV : le milieu est pauvre en oxygène, ce qui retarde la décomposition de la matière organique ;
- de 0 à -200 mV : le milieu est anoxique et la matière organique se décompose par fermentation anaérobie ;
- de -200 à -400 mV : la réduction du sulfate en sulfure d'hydrogène par la sulfatoréduction est totale et la détérioration de la matière organique atteint le stade de la méthanogenèse.

Sur le tableau de résultats ci-dessus, on voit que les potentiels redox de tous échantillons s'insèrent dans le domaine de 450 à 0 mV. Cela signifie que le milieu devient pauvre en oxygène, ce qui ralentit la décomposition de la matière organique.

Salinité par conductivité

L'électrode mesurant la conductivité est sensible aux variations de température. Il est donc nécessaire de corriger les résultats obtenus en fonction de la température des solutions étudiées et de la solution étalon.

A 25°C, le conductimètre devrait afficher 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mais comme la solution est à 18,2°C, il affiche 1444 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En corrigeant les valeurs mesurées, on obtient le tableau suivant :

Solution étalon ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
18°2	1444
25°	1413

Figure 35 : Facteur de correction

	Sols	Conductimétrie ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductimétrie corrigée ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
A	0 - 25	470	459,91
	25 - 50	256,8	251,29
	50 - 75	255,2	249,72
B	0 - 25	409	400,22
	25 - 50	338	330,74
	50 - 75	201,5	197,17
C	0 - 25	383	374,78
	25 - 50	331	323,89
	50 - 75	198,5	194,24
D	0 - 25	623	609,63
	25 - 50	374	365,97
	50 - 75	322	315,09

Figure 36 : Valeurs de la conductimétrie

La salinité peut varier beaucoup selon un point donné dans le profil de sol. Souvent le dessus du sol est très riche ; plus on descend, plus c'est pauvre. On observe que pour le sol étudié, cette hypothèse se confirme. Les échantillons entre 50 et 75 cm sont plus pauvres que ceux entre 0 et 25 cm.

3.3.3. Analyse des éléments chimiques

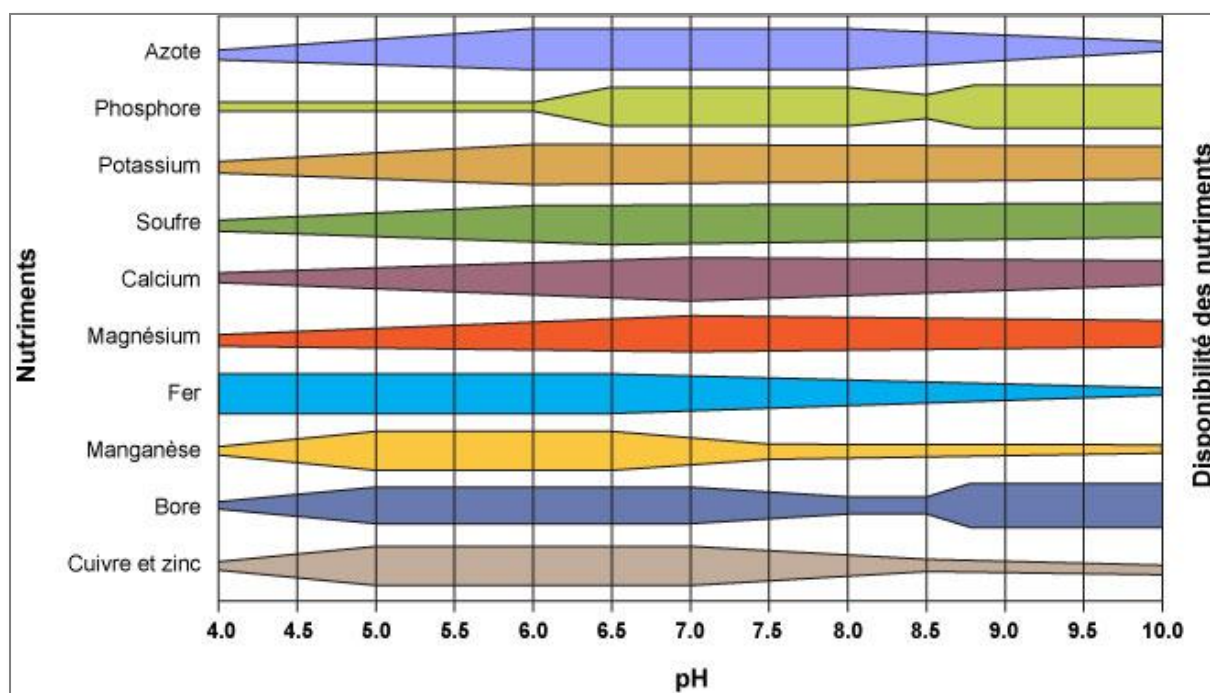


Figure 37 : Influence du pH sur la disponibilité des nutriments

Sur le graphique ci-dessus, on voit que le pH permettant le plus d'échange d'éléments nutritifs est un pH basique. Cependant il n'est pas souhaitable d'avoir un pH trop élevé car il détruirait la matière organique. Ainsi, le pH doit toujours être compris entre 6,5 et 8, avec une préférence pour des pH légèrement supérieurs à 7. Pour des valeurs inférieures à 4,5 il y a un risque de pollution des végétaux par l'aluminium. Notre sol ayant un pH compris entre 6 et 8, tous les nutriments devraient avoir une disponibilité optimum.

	Point	Ammonium	Nitrate	Fer	Manganèse
A	0 - 25	0,57	0	0,28	1,1
	25 - 50	0,32	0	0,17	0,7
	50 - 75	0,19	0	0,19	0,6
B	0 - 25	0,39	0	0,16	0,6
	25 - 50	0,35	0	0,14	0,7
	50 - 75	0,3	0	0,13	0,8
C	0 - 25	0,83	0	0,1	0,2
	25 - 50	0,45	0	0,11	1,3
	50 - 75	0,36	0	0,13	0,8
D	0 - 25	0,53	0	0,12	0,6
	25 - 50	0,62	0	0,13	1,2
	50 - 75	0,54	0	0,16	0,9
Blanc		0,31	0	0,05	0,6

Figure 38: Résultats des tests faits avec le SMART 3 en ppm

L'ammonium (NH_4^+) se lie à la surface de particules de sol chargées négativement (surtout des particules d'argile). La concentration d'ammonium dans le sol est généralement assez faible ($< 1 \text{ mg/kg}$), car l'ammonium est rapidement converti en nitrates sous des conditions propices à la minéralisation. Nous savons que 1 ppm (partie par million) est équivalent à 1 mg/kg . Les résultats que nous avons obtenus pour l'ammonium sont donc dans les normes. De plus, l'ammonium étant un élément nutritif, sa disponibilité à un niveau raisonnable est un avantage pour la croissance des plantes.

Les nitrates ne se lient pas à la surface des minéraux argileux, c'est pourquoi il n'y en a pas dans les sols étudiés. La présence de nitrates dans le sol est essentielle à la production culturale mais une quantité excessive accroît le risque de contamination des eaux souterraines ou de surface. Cependant, notre sol n'est pas voué à la production culturale, donc l'absence de nitrates n'est pas un problème. De plus, cette absence montre bien qu'aucun pesticide n'est utilisé dans ce parc.

Nous n'avons pas trouvé de valeur moyenne pour les taux d'oligo-éléments dans les sols. Nous ne pouvons donc pas conclure pour le fer et le manganèse. Cependant, nous pouvons observer une certaine homogénéité dans l'ensemble des sols étudiés.

Conclusion

Le chapitre précédent montre que les résultats obtenus durant les différents tests. Les tests de porosité et de pourcentage d'éléments grossiers montrent une capacité de circulation de l'air et de l'eau optimale pour la croissance des plantes. De plus, les tests au pénétromètre et l'analyse granulométrique montrent une homogénéité dans les sols ainsi qu'une texture argileuse prédominante qui peut être observée aussi grâce aux deux tests nommés précédemment. Cette homogénéité est en accord avec l'historique du parc, le remaniement des sols pour le changement de fonctions. Puis, le test de pH montre que ce dernier est optimal pour la croissance des plantes et la disponibilité des nutriments comme nous pouvons le voir avec les analyses du SMART 3 et les résultats de l'ammonium. Ensuite, l'absence de nitrates dans les sols montre que les jardiniers ont respectés la charte zéro pesticide et l'étude paysagère met en évidence la prédominance de la végétation dans ce parc.

Les tests effectués nous montrent donc que le sol du parc Pasteur situé à Orléans est viable de façon agronomique. De par sa texture et sa composition, ce sol permet le développement de la biodiversité au cœur de la ville d'Orléans.

Lors de ce projet, nous avons pu développer nos connaissances sur les différentes analyses de sol qui sont en lien avec notre spécialité. Enfin, nous avons pu découvrir les bases de l'agronomie, discipline totalement nouvelle pour nous.

Annexes

Annexe 1 : Protocole LaMotte Code 1067



QUANTITY	CONTENTS	CODE
60 mL	Soil Flocculating Reagent	5643PS-H
60 mL	*Texture Dispensing Reagent	*5644PS-H
1	Soil Texture Stand	1053
3	Test Tubes, Soil Texture, 50 mL, w/caps	0760
2	Pipets, 1 mL, plastic, w/caps	0372
1	A Study of Soil Science	1530

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

To order individual reagents or test kit components, use the specified code number.

This test is designed to separate soil into its three basic mineral fractions: sand, silt, and clay. The amount of time required for the soil particles of various sizes to settle in the soil separation tubes forms the basis for this test. From the amount of material collected in each tube it is possible to determine the approximate percentage of each fraction as represented in the original soil sample.

The procedure for preparation of the soil sample for testing is described in the accompanying handbook, A Study Of Soil Science.

The separation tubes should be marked for identification in the following manner: Mark the first sedimentation tube "A", the second "B", and the third "C".

WARNING! This set contains chemicals that may be harmful if misused. Read cautions on individual containers carefully. Not to be used by children except under adult supervision.

10. Read Soil Separation Tube "A" at top of soil level. To calculate percentage sand in the soil, divide reading by 15. Multiply by 100. Record as % sand.

11. Read Soil Separation Tube "B" at top of soil level. To calculate percentage silt in the soil, divide reading by 15. Multiply by 100. Record as % silt.

12. Calculate volume of clay as shown above. To calculate percent clay in the soil, divide value by 15. Multiply by 100. Record as % clay.

CALCULATION

EXAMPLE:

Soil Separation Tube "A" reads 2.

Soil Separation Tube "B" reads 8.

Percent Sand	=	$\frac{\text{Reading A} \times 100}{\text{Total Volume}}$	=	$\frac{2 \times 100}{15}$	=	13%
Percent Silt	=	$\frac{\text{Reading B} \times 100}{\text{Total Volume}}$	=	$\frac{8 \times 100}{15}$	=	53%
Percent Clay	=	$\frac{\text{Calculated Volume} \times 100}{\text{Total Volume}}$	=	$\frac{5 \times 100}{15}$	=	33%

Since the scientific basis of the test is the particle size and its mass, as related to its settling time when dispersed in solution, the following table is included for reference.

SOIL PARTICLE	DIAMETER (mm)
Very Coarse Sand	2.0 - 1.0
Coarse Sand	1.0 - 0.5
Medium Sand	0.5 - 0.25
Fine Sand	0.25 - 0.10
Very Fine Sand	0.10 - 0.05
Silt	0.05 - 0.002
Clay	Less than 0.002

INTERPRETATION

Sandy soil is described as soil material that contains 85% or more sand. The percentage of silt plus 1.5 times the percentage of clay shall not exceed 15.

Silt soil is described as soil material that contains 80% or more silt and less than 12% clay.

PROCEDURE

- Place the three Soil Separation Tubes in the rack.
- Add the soil sample to Soil Separation Tube "A" until it is even with line 15.

NOTE: Gently tap the bottom of the tube on a firm surface to pack the soil and eliminate air spaces.

- Use the pipet (0372) to add 1 mL of *Texture Dispensing Reagent (5644PS) to the sample in Soil Separation Tube "A". Dilute to line 45 with tap water.
- Cap and gently shake for two minutes, making sure the soil sample and water are thoroughly mixed.

The sample is now ready for separation. The separation is accomplished by allowing a predetermined time for each fraction to settle out of the solution. Be sure that you continue to gently shake the separation tube up to the time of the first separation (Step 5).

- Place Soil Separation Tube "A" in the rack. Allow to stand undisturbed for exactly 30 seconds.
- Carefully pour off all the solution into Soil Separation Tube "B". Return Tube "A" to the rack. Allow Tube "B" to stand undisturbed for 30 minutes.
- Carefully pour off the solution from Soil Separation Tube "B" into Soil Separation Tube "C". Return Tube "B" to the rack.
- Add 1 mL of Soil Flocculation Reagent (5643PS) to Soil Separation Tube "C". Cap and gently shake for one minute.
- Place the Soil Separation Tube "C" in the rack and allow to stand until all the clay in suspension settles. This may require up to 24 hours.

NOTE: Unless there is further use of the clay sample for air drying and study as described later, it is not necessary to wait for the suspension to settle.

Due to the colloidal nature of clay in solution and its tendency to swell and form a gel, the portion of clay remaining in Tube "C" is not used to determine the clay fraction present in the soil. The clay fraction is calculated by adding the sand and silt fractions and subtracting this total from the initial volume of soil used for the separation.

EXAMPLE:

Tube "A" Sand	2	Initial Volume	15
+ Tube "B" Silt	+8	= Total "A" & "B"	=10
Total "A" & "B"	10	Clay	5

Clay soil is described as soil material that contains 40% or more clay, less than 45% sand and less than 40% silt.

To further describe the various gradations possible under each general soil texture classification mentioned above, additional terms have been applied. Some examples of these are loamy sand, sandy loam, silty clay loam, sandy clay or a silty clay.

Once the three textural classes for a soil have been determined it may be of further interest to place the material from each Soil Separation Tube in individual piles on a piece of paper. Allow sufficient time for air drying. Now it is possible to determine the feel of the various textural classes. This experience will be helpful when the student is in the field.

The following statements give the more obvious characteristics of a textural class based on its feel when rubbed between the fingers.

Sand is loose and single grained and will fall apart after being squeezed when dry. When sand is wet it will form a cast that falls apart after being squeezed.

Sandy loam contains mostly sand, but also some silt and clay. Individual sand grains can be felt and seen.

Silt loam has a moderate amount of the very fine grains of sand, is fine-textured and contains only a small amount of clay. A dry sample feels smooth and silky like flour or talcum powder.

Clay loam is a fine-textured soil that after working breaks up into clods or lumps that are hard to break when dry. A wet cast forms a smooth smear and is sticky when squeezed.

WATER SEDIMENTATION TEST

These tubes may also be used as sedimentation tubes for the study of turbid waters.

Fill tubes to the 50 mL line with sample water. Cap and place in the plastic rack. Leave undisturbed until all the solid material has settled.

CALCULATION

Each 0.5 mL of solid material collected is equivalent to 1% of the total volume.

LaMOTTE COMPANY
 Helping People Solve Analytical Challenges™
 PO Box 329 • Chestertown • Maryland • 21620 • USA
 800-344-3100 • 410-778-3100 (Outside U.S.A.) • Fax 410-778-6394
 Visit us on the web at www.lamotte.com

4.10

Annexe 2 : Protocole LaMotte pour le Nitrate

NITRATE

ZINC REDUCTION • CODE 3689-SC

QUANTITY	CONTENTS	CODE
50	*Nitrate Spectrophotometric Grade Tablets	*3881A-H
1	Tablet Crusher	0175

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

Nitrogen is essential for plant growth, but excessive amounts in water supplies can result in nutrient pollution. Nitrates, in conjunction with phosphate, stimulate the growth of algae creating water quality problems. Nitrogen compounds may enter water as nitrates or be converted to nitrates from agricultural fertilizers, sewage, industrial and packing house wastes, drainage from livestock feeding areas and manure. Nitrates in large amounts in drinking water can cause "blue baby syndrome" (methemoglobinemia) in infants in less than 6 months of age and other health problems. US Public Health Service Drinking Water Standards state that 44 ppm nitrate should not be exceeded. To the sanitary and industrial engineer, concentrations of less than 4 ppm are acceptable.

APPLICATION: Drinking, surface, and saline waters; domestic and industrial waters.

RANGE: 0-60 ppm Nitrate

MDL: 5 ppm

METHOD: Zinc is used to reduce nitrate to nitrite. The nitrite that was originally present, plus the reduced nitrate, reacts with chromotropic acid to form a red color in proportion to the amount of nitrite in the sample.

SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: Analysis should be made as soon as possible. If analysis cannot be made within 24 hours, the sample should be refrigerated at 4°C. When samples must be stored for more than 24 hours, add 2 mL of concentrated sulfuric acid per liter of sample. For best results, the analysis for nitrate should be determined at temperatures between 20°C and 25°C.

INTERFERENCES: Nitrite interferes at all concentrations. Strong oxidizing and reducing substances interfere. Low results might be obtained for samples that contain high concentrations of copper and iron.

PROCEDURE

- Press and hold until colorimeter turns on.
- Press to select TESTING MENU.
- Select **ALL TESTS** (or another sequence containing **065 Nitrate-TT**) from TESTING MENU.
- Scroll to and select **065 Nitrate-TT** from menu.
- Rinse a tube (0290) with sample water. Fill to 10 mL line with sample.
- Insert the tube into chamber, close lid and select **SCAN BLANK**.
- Remove the tube from colorimeter.
- Add one *Nitrate Spectrophotometric Grade Tablet (3881A-H).
- Use Tablet Crusher (0175) to crush tablet.
- Cap tube.
- Invert tube 60 times per minute for 2 minutes (one inversion equals 180°).
- Wait 5 minutes. Do not mix.
- Insert tube into chamber, close lid and select **SCAN SAMPLE**. Record result in ppm nitrate.
- Press to turn the colorimeter off or press button to exit to a previous menu or make another menu selection.

NOTE: For best possible results, a reagent blank should be determined to account for any contribution to the test result by the reagent system. To determine the reagent blank, follow the above test procedure to scan a distilled or deionized water blank. Then follow the above procedure to perform the test on a distilled or deionized water sample. This test result is the reagent blank. Subtract the reagent blank from all subsequent test results of unknown samples.

To convert nitrate (NO₃) results to nitrate-nitrogen (NO₃-N), divide by 4.4.

SMART3 Test Procedures 2.11
NITRATE, Tablet
NITRATE, Tablet
SMART3 Test Procedures 2.11

Annexe 3 : Protocole LaMotte pour l'Ammonium

AMMONIA NITROGEN - HIGH RANGE

NESSLERIZATION METHOD • CODE 3642-SC

QUANTITY	CONTENTS	CODE
30 mL	Ammonia Nitrogen Reagent #1	V-4797-G
2 x 30 mL	*Ammonia Nitrogen Reagent #2	*V-4798-G
1	Pipet, 1 mL, plastic	0354

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

Ammonia nitrogen is present in various concentrations in many surface and ground water supplies. Any sudden change in the concentration of ammonia nitrogen in a water supply is cause for suspicion. A product of microbiological activity, ammonia nitrogen is sometimes accepted as chemical evidence of pollution when encountered in natural waters.

Ammonia is rapidly oxidized in natural water systems by special bacterial groups that produce nitrite and nitrate. This oxidation requires that dissolved oxygen be available in the water. Ammonia is an additional source of nitrogen as a nutrient which may contribute to the expanded growth of undesirable algae and other forms of plant growth that overload the natural system and cause pollution.

APPLICATION: Drinking, surface, and saline waters; domestic and industrial wastes.

RANGE: 0.00-4.00 ppm Ammonia Nitrogen

MDL: 0.05 ppm

METHOD: Ammonia forms a colored complex with Nessler's Reagent in proportion to the amount of ammonia present in the sample. Rochelle salt is added to prevent precipitation of calcium or magnesium in undistilled samples.

SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: Ammonia solutions tend to be unstable and should be analyzed immediately. Sample may be stored for 24 hours at 4°C or 28 days at -20°C.

INTERFERENCES: Sample turbidity and color may interfere. Turbidity may be removed by a filtration procedure. Color interference may be eliminated by blanking the instrument with a sample blank.

PROCEDURE

- Press and hold until colorimeter turns on.
- Press to select TESTING MENU.
- Scroll to and select **ALL TESTS** (or another sequence containing **005 Ammonia-N HR**) from TESTING MENU.
- Scroll to and select **005 Ammonia-N HR** from menu.
- Rinse a clean tube (0290) with sample water. Fill to the 10 mL line with sample.
- Insert tube into chamber, close lid and select **SCAN BLANK** (See Note)
- Remove tube from colorimeter. Add 8 drops of Ammonia Nitrogen Reagent #1 (V-4797). Cap and mix. Wait 1 minute.
- Use the 1.0 mL pipet (0354) to add 1.0 mL of *Ammonia Nitrogen Reagent #2 (V-4798). Cap and mix. Allow 5 minutes for maximum color development.
- At end of the 5 minute waiting period, immediately mix, insert tube into chamber, close lid and select **SCAN SAMPLE**. Record result.
- Press to turn the colorimeter off or press the exit to a previous menu or make another menu selection.

CALCULATIONS:

To express results as Unionized Ammonia (NH₃):

$$\text{ppm Unionized Ammonia (NH}_3\text{)} = \text{ppm Ammonia-Nitrogen (NH}_3\text{-N)} \times 1.2$$

To express results as Ionized Ammonia (NH₄⁺):

$$\text{ppm Ionized Ammonia (NH}_4^+\text{)} = \text{ppm Ammonia-Nitrogen (NH}_3\text{-N)} \times 1.3$$

To determine the percentages of Unionized and Ionized Ammonia-Nitrogen, consult the Appendix.

NOTE: It is strongly suggested that a reagent blank be determined to account for any contribution to the test result by the reagent system. To determine the reagent blank, follow the above test procedure to scan a distilled or deionized water blank. Then follow the above procedure to perform the test on a distilled or deionized water sample. This test result is the reagent blank. Subtract the reagent blank from all subsequent test results of unknown samples. It is necessary to determine the reagent blank only when a new lot number of reagents is obtained.

AMMONIA NITROGEN, Low Range
SMART3 Test Procedures 11.10
AMMONIA NITROGEN, High Range

Annexe 4 : Protocole LaMotte pour le Bore

BORON AZOMETHINE-H METHOD • CODE 4868-01		
QUANTITY	CONTENTS	CODE
120 mL	*Boron Buffer	*4868-J
10 g	*Boron Indicator Powder	*4870-D
1	Pipet, plastic, 1.0 mL	0354
1	Spoon, 0.15 g	0727
1	Dark storage chamber, brown	0108

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

Small amounts of boron are necessary for plant growth but large amounts can be toxic. In humans, boron aids in the uptake of calcium and the production of strong bones. An excess of boron can affect the central nervous system resulting in a syndrome known as borism. Some natural waters may contain small amounts of boron. Large concentrations may be due to industrial effluent entering waterways. Boron compounds are used in cleaning compounds, paper and paints, fertilizers, glass and ceramics, fire retardants and the production of alloys. In the atomic energy field, boron is a component of neutron shields and nuclear reactors. Some swimming pools use boron buffering systems.

APPLICATION: Surface and saline waters, hydroponic solutions, industrial waste, swimming pools.

RANGE: 0.00–0.80 ppm Boron

MDL: 0.05

METHOD: Azomethine-H and borate form a yellow complex at pH 6 in proportion to the concentration of boron present.

SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: Store samples in polyethylene bottles. Do not use borate detergents or glassware.

INTERFERENCES: Interferences in drinking water are unlikely. Manganese, zirconium, chromium, titanium, copper, vanadium, aluminum, beryllium and iron may cause high results.

SMART3 Test Procedures 2.11 **BORON**

PROCEDURE

- This test requires a Reagent Blank. Rinse a tube (0290) with clear, colorless, boron free water. Fill to 10 mL line with clear, colorless, boron free water.
- Use the 1.0 mL pipet (0354) to add 2 mL of *Boron Buffer (4868). Cap and mix.
- Use the 0.15 g spoon (0727) to add one level measure of *Boron Indicator Powder (4870). Press full spoon against side of jar to compress powder. Scrape off excess powder on inside neck of bottle. Tap excess off spoon handle.
- Cap and shake vigorously for 30 seconds.
- Insert the tube into meter chamber. Close lid.
- Start a timer set for 30 minutes. Do not open the lid during the waiting time. The reaction is photosensitive.
- Rinse a clean tube (0290) with Sample Water. Fill to the 10 mL line with sample water. Repeat steps 2–4.
- Insert the tube into the Dark Storage Chamber (0108). Close top.
- Start a second timer set for 30 minutes. Do not open the chamber during the waiting time. The reaction is photosensitive.
- When 2 minutes remain on the first timer (Reagent Blank), press and hold ON button until colorimeter turns on.
- Press and hold  until colorimeter turns on.
- Press  to select TESTING MENU.
- Select ALL TESTS (or another sequence containing 008 Boron) from TESTING MENU.
- Scroll to and select 008 Boron from menu. At the end of the Reagent Blank 30 minute waiting period, remove Reagent Blank tube from meter chamber. Invert several times to mix.
- Insert the tube into meter chamber, close lid and select SCAN BLANK.
- Remove the tube from colorimeter.
- At the end of the Sample Water 30 minute waiting period, remove Sample Water tube from Dark Storage Chamber. Invert several times to mix.
- Insert tube into meter chamber, close lid and select SCAN SAMPLE. Record result in ppm boron.
- Press  to turn colorimeter off or press the  to exit to a previous menu or make another menu selection.

BORON

SMART3 Test Procedures 2.11

Annexe 5 : Protocole LaMotte pour le Cuivre

COPPER DIETHYLDITHIOCARBAMATE METHOD • CODE 3646-SC		
QUANTITY	CONTENTS	CODE
15 mL	*Copper 1	*6446-E

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

The copper content of drinking water generally falls below 0.03 parts per million, but copper levels as high as 1.0 part per million will give water a bitter taste. Waters testing as high as 1.0 part per million copper have probably been treated with a copper compound, like those used in the control of algae, or have become contaminated from untreated industrial wastes. The addition of copper sulfate to lakes causes an increase in the copper content of the sediments. Acid waters and those high in free carbon dioxide may cause the corrosion or "eating away" of copper, brass and bronze pipes and fittings. This corrosion results in the addition of copper into the water supply.

APPLICATION: Drinking, surface, and saline waters; domestic and industrial wastes.

RANGE: 0.00–7.00 ppm Copper

MDL: 0.10 ppm

METHOD: Copper ions form a yellow colored chelate with diethyldithiocarbamate around pH 9–10 in proportion to the concentration of copper in the sample.

SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: Copper has a tendency to be adsorbed to the surface of the sample container. Samples should be analyzed as soon as possible after collection. If storage is necessary, 0.5 mL of 20% hydrochloric acid per 100 mL of sample will prevent "plating out." However, a correction must be made to bring the reaction into the optimum pH range.

INTERFERENCES: Bismuth, cobalt, mercurous, nickel and silver ions and chlorine (6 ppm or greater) interfere and must be absent.

SMART3 Test Procedures 11.10 **COPPER, Thiocarbamate**

PROCEDURE

- Press and hold  until colorimeter turns on.
- Press  to select TESTING MENU.
- Select ALL TESTS (or another sequence containing 031 Cu Thiocarbamate) from TESTING MENU.
- Scroll to and select 031 Cu Thiocarbamate from menu.
- Rinse a clean tube (0290) with sample water. Fill to the 10 mL line with sample.
- Insert tube into chamber, close lid and select SCAN BLANK.
- Remove tube from colorimeter and add 5 drops of *Copper 1 (6446). Cap and mix. Solution will turn yellow if copper is present.
- Insert tube into chamber, close lid and select SCAN SAMPLE. Record result.
- Press  to turn colorimeter off or press  to exit to a previous menu or make another menu selection.

NOTE: The reaction may stain the tubes. Scrub the tubes thoroughly after each use.

COPPER, Thiocarbamate

SMART3 Test Procedures 11.10

Annexe 6 : Protocole LaMotte pour le Fer

IRON.....		
BIPYRIDYL METHOD • CODE 3648-SC		
QUANTITY	CONTENTS	CODE
30 mL	*Iron Reagent #1	*V-4450-G
5 g	*Iron Reagent #2 Powder	*V-4451-C
1	Pipet, 0.5 mL, plastic	0353
1	Spoon, 0.1 g, plastic	0699
*WARNING: Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax. Most natural waters contain some iron. Its presence may vary from small traces to very large amounts in water which is contaminated by acid mine wastes. For domestic use, the concentration should not exceed 0.2 ppm and for some industrial applications not even a trace of iron can be tolerated. There are many means available for removing or reducing the iron content. Water softening resins are effective for removing small amounts of iron and special ion exchange materials are selective for iron removal. High concentrations of iron can be removed by such chemical processes as oxidation and lime or lime-soda softening. Because of the many means of removing or reducing the amount of iron in water, the particular method employed will depend largely on the form of iron which is present and the end use of the treated water. APPLICATION: Drinking, surface and saline waters; domestic and industrial wastes. RANGE: 0.00–6.00 ppm Iron MDL: 0.10 ppm METHOD: Ferric iron is reduced to ferrous iron and subsequently forms a colored complex with bipyridyl for a quantitative measure of total iron. SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: The sample container should be cleaned with acid and rinsed with deionized water. Addition of acid to adjust the sample to pH 2–3 will prevent deposition of iron on the container walls. Samples should be analyzed as soon as possible. INTERFERENCES: Strong oxidizing agents interfere, as well as copper and cobalt in excess of 5.0 mg/L.		
SMART3 Test Procedures 11.10		

PROCEDURE		
- Press and hold until colorimeter turns on. - Press ENTER to select TESTING MENU. - Select ALL TESTS (or another sequence containing 051 Iron Bipyridyl) from TESTING MENU. - Scroll to and select 051 Iron Bipyridyl from menu. - Rinse a clean tube (0290) with sample water. Fill to the 10 mL line with sample. - Insert tube into chamber, close lid and select SCAN BLANK. - Remove tube from colorimeter. Use the 0.5 mL pipet (0353) to add one measure of *Iron Reagent #1 (V-4450). Cap and mix. - Use the 0.1 g spoon (0699) to add 0.1 g of *Iron Reagent #2 Powder (V-4451). Cap and shake vigorously for 30 seconds. Wait three minutes for maximum color development. - At the end of 3 minute waiting period, DO NOT MIX. Insert tube into chamber, close lid and select SCAN SAMPLE. Record result. - Press to turn colorimeter off or press EXIT to exit to a previous menu or make another menu selection.		
NOTE: For best possible results, a reagent blank should be determined to account for any contribution to the test result by the reagent system. To determine the reagent blank, follow the above test procedure to scan a distilled or deionized water blank. Then follow the above procedure to perform the test on a distilled or deionized water sample. This test result is the reagent blank. Subtract the reagent blank from all subsequent test results of unknown samples. It is necessary to determine the reagent blank only when a new lot number of reagents is obtained.		
IRON, Bipyridyl		
SMART3 Test Procedures 11.10		

Annexe 7 : Protocole LaMotte pour le Manganèse

MANGANESE - HIGH RANGE.....		
PERIODATE METHOD • CODE 3669-SC		
QUANTITY	CONTENTS	CODE
10 g	Manganese Buffer Reagent	6310-D
15 g	*Manganese Periodate Reagent	*6311-E
1	Spoon, 0.1 g, plastic	0699
1	Spoon, 0.15 g, plastic	0727
*WARNING: Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax. Manganese is present in ground water in the divalent state due to the lack of oxygen. In surface waters, manganese may be in various oxidation states as soluble complexes or as suspended compounds. Manganese is rarely present in excess of 1 mg/L. It may impart an objectionable taste or cause staining problems in laundry, but manganese levels normally encountered in water seldom produce any health hazards. Manganese is removed from water by various means, including chemical precipitation, pH adjustment, aeration, superchlorination and the use of ion exchange resins. APPLICATION: Drinking and surface waters, domestic and industrial wastewaters. RANGE: 0.0–15.0 Manganese MDL: 0.3 ppm METHOD: Periodate oxidizes soluble manganous compounds into permanganate. SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: Manganese may oxidize readily in a neutral water and precipitate from solution. It may adhere to or be absorbed by container walls, especially glass. Acidified samples can be stored in plastic. INTERFERENCES: Reducing substances capable of reacting with periodate or permanganate must be removed or destroyed before the periodate oxidation is attempted.		
SMART3 Test Procedures 11.10		

PROCEDURE		
- Press and hold until colorimeter turns on. - Press ENTER to select TESTING MENU. - Select ALL TESTS (or another sequence containing 056 Manganese HR) from TESTING MENU. - Scroll to and select 056 Manganese HR from menu. - Rinse a tube (0290) with sample water. Fill to the 10 mL line with sample. - Insert tube into chamber, close lid and select SCAN BLANK. - Remove tube from colorimeter. Use the 0.1 g spoon (0699) to add two measures of Manganese Buffer Reagent (6310). Cap and mix until powder dissolves. - Use the 0.15 g spoon (0727) to add one measure of *Manganese Periodate Reagent (6311). Cap and shake for one minute. An undissolved portion of the reagent may remain in the bottom of the tube without adversely affecting the test results. Wait two minutes for maximum color development. Solution will turn pink if manganese is present. - At the end of the two minute waiting period, mix, insert tube into chamber, close lid and select SCAN SAMPLE. Record result. - Press to turn colorimeter off or press EXIT to exit to a previous menu or make another menu selection.		
MANGANESE, High Range		
SMART3 Test Procedures 11.10		

Annexe 8 : Protocole LaMotte pour le Molybdène

MOLYBDENUM – HIGH RANGE THIOGLYCOLATE METHOD • CODE 3699-03-SC		
QUANTITY	CONTENTS	CODE
2 x 30 mL	*Mo Buffer	*3997-G
2 x 30 mL	*Molybdenum Oxidizing Reagent	*6485-G
2.5g	*Molybdenum Indicator Powder	*6486-S
1	Spoon, 0.05g, plastic	0696
2	Pipets, 1.0 mL, plastic w/cap	0354
*WARNING: Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax. Molybdenum occurs naturally in the earth's crust as molybdenite and wolfeinite, and is an important element in many biochemical reactions, including nitrogen fixation. In industrial processes, such as the operation of boilers and cooling towers, molybdenum, in the form of sodium molybdate, is used as a corrosion inhibitor. APPLICATIONS: Boiler and cooling water. RANGE: 0.0–50.0 ppm Molybdenum MDL: 0.6 ppm METHOD: Calcium thioglycolate reacts with molybdenum to give a yellow color with an intensity proportional to the amount of molybdenum present. SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: Molybdenum samples may be stored in either plastic or glass containers. INTERFERENCES: Nickel levels less than 50 ppm do not interfere; aluminum levels less than 10 ppm do not interfere; chromate at higher concentrations interferes due to the intense yellow color. Ferrous iron levels below 50 ppm do not interfere, but low levels of ferric iron will cause a large blank. Highly buffered samples may exceed the capacity of the system possibly producing inaccurate results. Samples with high levels of nitrite will eventually develop a pale orange color. Scan the sample immediately to avoid this interference.		

Test Procedures

SMART3 Test Procedures 11.10

MOLYBDENUM, High Range

PROCEDURE

1. Press and hold until colorimeter turns on.
2. Press **ENTER** to select TESTING MENU.
3. Select **ALL TESTS** (or another sequence containing **061 Molybdenum HR**) from TESTING MENU.
4. Scroll to and select **061 Molybdenum HR** from menu.
5. Fill clean tube (0290) to 10 mL line with sample water.
6. Insert tube into chamber, close lid and select **SCAN BLANK**.
7. Remove tube from colorimeter. Use a 1.0 mL pipet (0354) to add 1.0 mL of *Mo Buffer (3997). Cap and mix.
8. Use a second 1.0 mL pipet (0372) to add 1.0 mL of *Molybdenum Oxidizing Reagent (6485). Cap and mix.
9. Use 0.05 g spoon (0696) to add one measure of Molybdenum Indicator Powder (6486). Cap and mix until powder dissolves. Solution will turn yellow if molybdenum is present. Mix the tube to remove bubbles.
10. Insert tube into chamber, close lid and select **SCAN SAMPLE**. Record result.
11. Press to turn colorimeter off or press **EXIT** to exit to a previous menu or make another menu selection.

MOLYBDENUM, High Range

SMART3 Test Procedures 11.10

Annexe 9 : Protocole LaMotte pour le Phosphore

PHOSPHATE – HIGH RANGE VANADOMOLYBDOPHOSPHORIC ACID METHOD CODE 3655-SC		
QUANTITY	CONTENTS	CODE
4 x 30 mL	*VM Phosphate Reagent	*4410-G
1	Pipet, 1.0 mL, plastic	0354
*WARNING: Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax. Phosphate treatments in boiler and cooling water and other industrial water systems are run at levels up to 100 ppm orthophosphate. These high levels permit the use of a simpler, high range test. APPLICATION: Boiler, cooling, and industrial water. RANGE: 0.0–70.0 ppm Phosphate MDL: 0.5 ppm METHOD: Orthophosphate reacts in acid conditions with ammonium vanadomolybdate to form vanadomolybdophosphoric acid. This yellow color is proportional to the concentration of orthophosphate and is read colorimetrically. SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: If the analysis cannot be performed the same day of collection, the sample should be preserved by the addition of 2 mL of concentrated sulfuric acid or 40 mg mercuric chloride per liter and refrigerated at 4°C. INTERFERENCES: Silica interferes only if the sample is heated. Arsenate, fluoride, thorium, bismuth, sulfide, thiosulfate, and thiocyanate cause negative interference.		

Test Procedures

SMART3 Test Procedures 11.10

PHOSPHATE, High Range

PROCEDURE

1. Press and hold until colorimeter turns on.
2. Press **ENTER** to select TESTING MENU.
3. Select **ALL TESTS** (or another sequence containing **079 Phosphate HR**) from TESTING MENU.
4. Scroll to and select **079 Phosphate HR** from menu.
5. Rinse a clean tube (0290) with sample water. Fill to the 10 mL line with sample.
6. Insert tube into chamber, close lid and select **SCAN BLANK**.
7. Remove tube from colorimeter. Use the 1.0 mL pipet (0354) to add 2.0 mL of *VM Phosphate Reagent (4410). Cap and mix. Wait 5 minutes for full color development.
8. After 5 minute waiting period, mix, insert tube into chamber, close lid and select **SCAN SAMPLE**. Record result.
9. Press to turn colorimeter off or press **EXIT** to exit to a previous menu or make another menu selection.

PHOSPHATE, High Range

SMART3 Test Procedures 11.10

Annexe 10 : Protocole LaMotte pour le Zinc

ZINC - LOW RANGE ZINCON METHOD • CODE 3667-SC		
QUANTITY	CONTENTS	CODE
30 mL	*Zinc Indicator Solution	*6314-G
120 mL	*Methyl Alcohol	*6319-J
10 g	Sodium Ascorbate Powder	6316-D
25 g	*Zinc Buffer Powder	*6315-G
15 mL	*Sodium Cyanide, 10%	*6565-E
30 mL	*Formaldehyde Solution, 37%	*5128-G
1	"Dilute Zinc Indicator Solution" Bottle, w/1 pipet assembly	6314-MT
1	Graduated Cylinder, 10 mL, glass	0416
1	Spoon, 0.5 g, plastic	0698
2	Pipets, plain, plastic	0352
1	Spoon, 0.1 g, plastic	0699

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

Zinc enters the domestic water supply from the deterioration of galvanized iron and brass pipes, and from industrial wastes. Zinc is an essential element for body growth and development and is an important plant nutrient. Concentrations of zinc above 5.0 mg/L in drinking water can cause a bitter astringent taste. In the U.S., zinc concentrations may vary between 0.06 to 7.0 mg/L, with an average value of 1.33 mg/L.

APPLICATION: Drinking and surface waters, domestic and industrial waste water.

RANGE: 0.00–3.00 ppm Zinc

MDL: 0.05 ppm

METHOD: Zinc forms a blue colored complex with Zincon in a solution buffered at pH 9.0. Other heavy metals are complexed by cyanide and the zinc cyanide complex is released by the addition of formaldehyde before the other metal cyanide complexes are destroyed. Sodium ascorbate is added to reduce the interference of manganese.

SAMPLE HANDLING & PRESERVATION: Sample should be analyzed within 6 hours after collection. The addition of hydrochloric acid will help preserve the metal ion content, however the acid should be neutralized before analysis.

INTERFERENCES: The following ions interfere in concentrations greater than those listed.

Ion	mg/L	Ion	mg/L
Cd(II)	1	Cr(III)	10
Al (III)	5	Ni(II)	20
Mn (II)	5	Co (II)	30
Fe (III)	7	CrO ₄ (II)	50
Fe (II)	9		

SMART3 Test Procedures 11.11 ZINC, Low Range

PROCEDURE

A. PREPARATION OF DILUTE ZINC INDICATOR SOLUTION

- Use a pipet (0352) to add exactly 5.0 mL of *Zinc Indicator Solution (6314) to a 10 mL graduated cylinder (0416). The bottom of the curved surface (the meniscus) of liquid should be at 5.0 mL mark. Pour this into the bottle labeled "Dilute Zinc Indicator Solution" (6314-MT).
- Use unrinsed graduated cylinder to add 10.0 mL and then 7.8 mL (total of 17.8 mL) of *Methyl Alcohol (6319) to bottle labeled "Dilute Zinc Indicator Solution" (6314-MT). Cap and mix ingredients in this bottle. Do not leave this bottle uncapped.

B. DETERMINATION OF ZINC

- Press and hold **ON** until colorimeter turns on.
- Press **ENTER** to select **TESTING MENU**.
- Select **ALL TESTS** (or another sequence containing **099 Zinc LR**) from **TESTING MENU**.
- Scroll to and select **099 Zinc LR** from menu.
- Rinse a clean tube (0290) with sample water. Fill to the 10 mL line with sample.
- Insert tube into chamber, close lid and select **SCAN BLANK**. (See Note)
- Remove tube from colorimeter. Use 0.1 g spoon (0699) to add one measure of Sodium Ascorbate Powder (6316). Use 0.5 g spoon (0698) to add one measure of *Zinc Buffer Powder (6315). Cap and shake vigorously for 1 minute. Some undissolved buffer may remain in the bottom of the tube.
- Add 3 drops of *Sodium Cyanide, 10% (6565). Cap and mix.
- Use the 1 mL pipet assembly to add 1 mL of "Dilute Zinc Indicator Solution". Cap and mix.
- Use a second plain pipet (0352) to add 4 drops of *Formaldehyde Solution, 37% (5128). Cap and mix by inverting 15 times.
- Insert tube into chamber, close lid and select **SCAN SAMPLE**. Record result.
- Press **ON** to turn colorimeter off or press **EXIT** to exit to a previous menu or make another menu selection.

NOTE: For best possible results, a reagent blank should be determined to account for any contribution to the test result by the reagent system. To determine the reagent blank, follow the above test procedure to scan a distilled or deionized water blank. Then follow the above procedure to perform the test on a distilled or deionized water sample. This test result is the reagent blank. Subtract the reagent blank from all subsequent test results of unknown samples. It is necessary to determine the reagent blank only when a new lot number of reagents is obtained.

SMART3 Test Procedures 11.11 ZINC, Low Range