



HAL
open science

Mise au point de la méthode de mesure de trois paramètres du sol : pH, potentiel d'oxydoréduction et résistivité.

Simon Rousselot

► To cite this version:

Simon Rousselot. Mise au point de la méthode de mesure de trois paramètres du sol: pH, potentiel d'oxydoréduction et résistivité.. 2012, 37 p. ⟨hal-01210089⟩

HAL Id: hal-01210089

<https://hal.science/hal-01210089v1>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE DE CAEN
DEPARTEMENT GENIE BIOLOGIQUE

2ème année Option Génie de l'Environnement

**MISE AU POINT DE LA METHODE DE MESURE DE
TROIS PARAMETRES DU SOL : pH, POTENTIEL
D'OXYDOREDUCTION ET RESISTIVITE**

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
SAD PAYSAGE

Maîtres de stage : Estelle Serpolay et Véronique Chable

Etudiant Stagiaire :
SIMON ROUSSELOT

ANNEE SCOLAIRE 2011-2012

Table des matières

1.Introduction.....	4
2.Le contexte du stage.....	6
2.1.Le SAD-paysage.....	6
2.2.L'équipe biodiversité cultivée.....	6
2.3.La recherche participative accompagnant la sélection paysanne.....	6
2.4.L'évaluation de la qualité en agriculture biologique.....	7
2.5.La bioélectronique, mesurer le pH, le potentiel Redox et la résistivité pour approcher la qualité.....	8
a)Principes.....	8
Le pH.....	8
Le potentiel d'oxydoréduction (Eh).....	8
La résistivité (Rhô).....	9
L'élasticité rH2.....	10
Intérêt de combiner les mesures de ces paramètres.....	11
b)Equipes travaillant sur le sujet.....	11
3.Présentation de la thématique du stage.....	12
3.1.Objectifs.....	12
3.2.Hypothèses.....	12
4.Méthodologie de l'étude.....	13
Protocole n° 1 : Méthode de mélange.....	15
Protocole n°2 : Méthode de mélange (affinage).....	15
Protocole n°3 : Choix du solvant (mesure de l'eau seule).....	16
Protocole n°4 : Choix du solvant (mesure de l'eau et de la terre mélangées).....	16
Protocole n°5 : Conservation de l'échantillon de sol.....	16
Protocole n°6 : Influence de la lune.....	17
Protocole n°7 : Recherche du rapport d'extraction préférable.....	18
Protocole n°8 : Recherche d'un rapport d'extraction préférable (version approfondie).....	18
Critères de choix et méthode d'interprétation des résultats.....	19
5.Résultats des analyses.....	20
Résultats du protocole n°1 : Méthode de mélange.....	20
Résultats du protocole n°2 : Méthode de mélange (affinage).....	20
Résultats du protocole n°3 : Choix du solvant (mesure de l'eau seule).....	22
Résultats du protocole n°4 : Choix du solvant (mesure de l'eau et de la terre mélangées).....	23
Résultats du protocole n°5 : Conservation de l'échantillon de sol.....	25
Résultats du protocole n°6 : Influence de la lune.....	26
Résultats du protocole n°7 : Recherche du rapport d'extraction préférable.....	26
Résultats du protocole n°8 : Recherche du rapport d'extraction préférable (version approfondie).....	26
Synthèse des résultats : Méthode de mesure mise au point à la fin du stage :.....	28
6.Discussion des résultats et analyse critique.....	29
6.1.Critique de nos expériences et nouvelles problématiques.....	30
6.2.Avantages et inconvénients de la Bioélectronique de Vincent.....	31
a)Avantages.....	31
b)Inconvénients.....	32
7.Conclusion.....	32
Bibliographie.....	34
Annexe I : Méthode de mélange.....	35
Annexe I (suite).....	36
Annexe II : Test de conservation.....	37
Annexe III : Influence de la lune.....	38
Annexe III (suite).....	39

Remerciements

Avant d'entrer dans le sujet de cette expérience professionnelle, il me semble indispensable de remercier celles et ceux qui m'ont beaucoup appris et aidé au cours de ce stage, et qui ont su apporter chaleur et gaieté pour en faire un moment agréable et inoubliable.

Je tiens à remercier tout particulièrement Estelle Serpolay et Véronique Chable, mes maîtres de stage, pour le temps qu'elles ont su me consacrer, pour leur pédagogie, pour les connaissances qu'elles ont su partager, et surtout, pour les bons conseils qu'elles ont su me donner dans les moments de perdition face à des résultats incompréhensibles.

De même, je remercie Mohamed Maache, tuteur du stage, qui a su répondre à mes questions.

Je n'oublie pas de remercier Joseph Jahier et Jean-Luc Roger pour le prêt de matériel, indispensable au fonctionnement de l'étude.

Je remercie Olivier Husson et Michel Barbaud pour leur intérêt sur le sujet et les informations qu'ils m'ont transmises.

Je remercie aussi Isabelle Rousselot pour sa lecture du rapport de stage et les corrections qu'elle a apportées pour la clarté du texte.

Plus personnellement,

Je souhaite également remercier toute l'équipe du SAD-paysage pour leur accueil, et particulièrement tous ceux qui sont venus travailler dans notre laboratoire, pour la convivialité des repas et des pauses café.

Je tiens à remercier chaleureusement mes chers camarades stagiaires, que sont Andoni, Lucie, Anabelle, Dewi et Hugo, pour tous les moments de détente, les blagues, les parties de billard, de tennis... Tout ce qui fait du bien et qui fait penser à autre chose que le travail, pendant ces journées, quelques fois longues et fastidieuses.

1.Introduction

L'institut national de la recherche agronomique (INRA) est un établissement public français. Il a été fondé en 1946 avec l'objectif de répondre à une demande urgente au sortir de la seconde guerre mondiale : "nourrir les français". En 2006, il fête ses 60 ans, et est considéré alors comme le premier institut de recherche agronomique en Europe par le nombre de ses publications dans le domaines des sciences concernant l'agriculture (site internet de l'INRA).

L'institut est composé de plusieurs départements de recherche, eux-mêmes composés de plusieurs unités réparties sur le territoire français, elles-mêmes regroupées en centre régionaux. L'unité SAD-paysage, du département Science pour l'action et le développement (SAD) appartient au Centre de Rennes-Le Rheu. Les recherches du SAD-paysage se concentrent sur les interactions entre les activités agricoles, la biodiversité et le paysage, de manière à concevoir des pratiques agricoles durables impliquées dans la gestion des ressources paysagères et de la biodiversité. Le stage s'est déroulé au sein d'une équipe du SAD-Paysage, installée au Rheu (à 8 kilomètres de Rennes). Cette équipe conduit des projets de recherche participative sur la biodiversité cultivée avec des acteurs, et en particulier les agriculteurs, pour développer les agricultures biologiques et paysannes.

L'un des projets de recherche est un programme régional, appelé PaysBlé, qui vise à promouvoir les blés de terroir bretons en combinant une sélection participative de variétés anciennes et des études agronomiques dans les champs des agriculteurs. Il a un double objectif : mieux connaître les processus d'adaptation de différents types de variétés « du grain au pain », dans les champs des paysans et que ceux-ci produisent un pain de qualité. La plupart des agriculteurs investis dans cette étude sont des paysans-boulangers qui valorisent leur produit en circuit-court. Ils sont aussi majoritairement en agriculture biologique (AB).

Depuis les pionniers, les acteurs de l'AB portent un grand intérêt à la façon dont la qualité du sol influence globalement l'ensemble de l'agro-écosystème et ce que cela induit sur la qualité des produits.

« The connexion which exists between a fertile soil and healthy crops, healthy animals and, last but not least, healthy human beings must be made known far and wide » écrivait Howards dans son Testament agricole, au même moment que

l'INRA était créé. (Traduction : "Le lien qui existe entre un sol fertile et une récolte saine, des animaux sains, et en bout de chaîne des personnes en bonne santé, doit se faire connaître largement.")

En 2011, les acteurs de l'AB en France étaient réunis par l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB) à Paris pour un colloque afin d'évaluer et discuter les avantages et inconvénients des différentes approches globales de la qualité. Des chercheurs et acteurs de l'AB (agriculteurs, transformateurs, distributeurs) ont conclu qu'il fallait initier des travaux pour « évaluer » les méthodes et en déterminer l'intérêt.

L'objectif était de trouver une méthode de mesure globale qui permette de représenter physiquement un état biologique. Elle doit être fiable, de technique simple et rapide, pour répondre à la demande de tous. Des mesures tels que le pH, le potentiel d'oxydoréduction Eh, la résistivité ρ du sol (et ainsi le calcul de l'élasticité rH_2) sont les premières expérimentées.

Afin de préparer les protocoles de mesure, il a été nécessaire de prendre connaissance du sujet avec plus de précision. Une recherche bibliographique sur la façon d'effectuer les mesures et sur leur interprétation était indispensable. Le pH est un paramètre clé classiquement utilisé en agronomie. Cependant, le Eh, qui est plutôt appliqué aux organismes vivants, est peu étudié en agronomie. Je me suis appuyé sur de nombreux rapports et informations prises directement auprès de personnes travaillant déjà sur les méthodes.

Le document présente 7 parties. Après l'explication du contexte du stage et la définition des paramètres mesurés, la thématique sera présentée pour apporter les problématiques. Ensuite, nous verrons le déroulement des études qui ont amené à nos résultats. Une discussion de ces résultats ainsi que de la méthode en général permettra de se faire une idée de l'état d'avancement des recherches. Enfin, la conclusion donnera une impression d'ensemble sur le déroulement du stage.

2. Le contexte du stage

2.1. Le SAD-paysage

L'unité a été fondée en 1993 pour le développement de recherches systémiques sur les relations agriculture-environnement. Les années 1997 à 2004 ont marqué une période de consolidation de l'unité et de son rôle scientifique.

Depuis 2005, elle évolue vers de nouvelles compétences. Premièrement, elle s'ouvre à la zootechnie, la génétique et la modélisation. Deuxièmement, elle renforce ses compétences en agronomie, en écologie, en informatique, dans les techniques d'observation écologique et de documentation. Actuellement, l'unité comprend 16 titulaires et 3 non titulaires en longue durée.

2.2.L'équipe biodiversité cultivée

Véronique Chable (Ingénieure de recherche) et Estelle Serpolay (Ingénieure d'études) travaillent en recherche participative sur la biodiversité variétale cultivée avec l'aide d'agriculteurs de la région, en agriculture biologique ou à faibles intrants. Pendant la durée de mon stage, quatre stagiaires ainsi qu'une apprentie ingénieure ont également travaillé dans le laboratoire. Andoni Gabirondo, étudiant en licence professionnelle "Biologie Analytique et Expérimentale des Micro Organismes du Végétal et de l'Animal" est arrivé la cinquième semaine de mon stage pour travailler sur le même sujet. Nous étions donc deux pour manipuler et interpréter. C'était moins fastidieux et cela a permis d'avoir un bon nombre de résultats.

2.3.La recherche participative accompagnant la sélection paysanne

Des centaines de programmes de sélection participative existent désormais de par le monde. Ils visent à mobiliser les savoirs et les préférences des agriculteurs dans la valorisation des interactions génotype-environnement pour la création variétale. Chacun de ces programmes associe des centaines d'agriculteurs, accueillant sur leurs terres des essais de dizaines de génotypes, participant à la définition des critères de sélection pertinents et la notation des types en essais. [...] En rupture avec le modèle délégitif, une nouvelle posture de recherche s'affirme, qui reconnaît les agriculteurs comme spécialistes de leur milieu et leurs cultures et les érige en partenaires de recherche, et qui considère la mobilisation des savoirs des usagers comme une condition clé du succès. (Bonneuil, Thomas, 2009).

Les acteurs de la sélection participative ne se limitent pas aux agriculteurs, ils comprennent aussi les intermédiaires, les transformateurs et parfois les consommateurs. En France, l'ITAB fait le lien avec les différents acteurs pour l'AB, et est partenaire avec l'INRA dans les projets de recherche. Depuis des années, et à l'écoute des besoins de la filière, une approche de la qualité en AB prend en compte des critères diversifiés de la qualité déjà mis en œuvre par les

praticiens. Un premier dossier est sorti en 2007, un second en 2009 et un colloque a été organisé en 2011 afin de rapprocher les chercheurs des professionnels pour discuter des méthodes (N. Sinoir, A. Coulombel, 2011), et solliciter de nouvelles recherches.

2.4.L'évaluation de la qualité en agriculture biologique

L'agriculture biologique et biodynamique a été créée en réaction à l'évolution ou au développement de l'agriculture dite « industrielle ».

Les précurseurs de l'agriculture biologique, et notamment Rudolph Steiner, fondateur de la biodynamie, ont estimé que l'utilisation des engrais chimiques, en remplacement du fumier, entraînerait une perte de vitalité des plantes, donc des aliments, et par conséquent, n'aurait pas une influence positive sur les hommes. [...]

C'est pourquoi, pour évaluer l'influence et l'efficacité de la méthode biodynamique sur cette vitalité, R. Steiner a initié certaines de ces méthodes globales, essentiellement les méthodes morphogénétiques. [...] L'objectif était clairement d'étudier la vitalité des aliments, en fonction des pratiques culturelles employées, afin de garantir cette vitalité auprès des consommateurs. [...] La problématique [est donc très] complexe. En effet, si on postule la notion de vitalité, les produits issus de culture biologique comme les produits issus de culture conventionnelle peuvent présenter une vitalité plus ou moins « forte ». Or actuellement, ces méthodes ne permettent pas une discrimination fiable à 100% des produits issus de ces deux modes de culture.

La Bioélectronique de Vincent (BEV) se situe aussi dans cette logique de choisir les « bons »

aliments pour l'homme. (Taupier-Létage, 2009). Elle présente l'avantage d'utiliser des données physico-chimiques facilement accessibles : le pH, le potentiel Redox et la conductivité, tous trois révélateurs d'états physiologiques des organismes vivants.

2.5.La bioélectronique, mesurer le pH, le potentiel Redox et la résistivité pour approcher la qualité

a)Principes

Le pH

Il s'agit d'une abréviation utilisée en chimie pour parler du potentiel d'hydrogène (ou puissance hydrogène), soit la concentration en ions hydrogène H⁺ d'une

solution aqueuse. Le pH se calcule par la formule suivante :

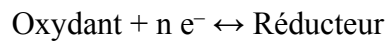
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

où $[\text{H}^+]$ est la concentration en ions hydrogène en mol/L de la solution.

Le pH varie selon une échelle de 0 à 14, représentant la variation de la concentration en ions H^+ de 10^0 à 10^{-14} . Un milieu à pH 7 est neutre. Les solutions dont le pH est compris entre 0 et 7 sont dites acides, et celles dont il se situe entre 7 et 14 sont dites alcalines ou basiques. Il est mesuré grâce à un électrode.

Le potentiel d'oxydoréduction (Eh)

Les réactions d'oxydoréduction sont des phénomènes d'échanges d'électrons. Les corps susceptibles de fixer des électrons sont les oxydants et les réducteurs sont ceux capables d'en céder. L'équation de réaction est la suivante :



L'ensemble d'un oxydant et de son produit de réduction forme un système oxydoréducteur ou couple redox. Les phénomènes d'oxydation et de réduction doivent être considérés simultanément, car les électrons n'existent pas à l'état libre. La perte d'un électron par un élément (oxydation) se traduit automatiquement par le gain d'un électron (réduction) auprès d'un autre élément. C'est pourquoi nous parlons d'oxydoréduction.

Un oxydant est d'autant plus fort qu'il fixe plus facilement les électrons. Et un réducteur est d'autant plus fort qu'il cède difficilement les électrons. La force du système oxydoréducteur est définie par son potentiel d'oxydoréduction Eh (mesuré en Volt).

De manière générale, le potentiel d'oxydoréduction se calcule par la formule :

$$E_h = E^\circ + (RT/nF) \cdot \ln([\text{Ox}]^a/[\text{Red}]^b)$$

pour le couple redox : $a \text{ Oxydant} + n e^- \leftrightarrow b \text{ Réducteur}$

E° : potentiel normal de l'électrode de référence (V)

R : constante des gaz parfaits = 8,31 SI

T : température absolue (K)

n : nombre d'électrons mis en jeu

F : nombre de Faraday

Il est mesuré grâce à une électrode, constituée d'un fil conducteur inattaquable.

Le potentiel d'oxydoréduction d'une solution peut être négatif ou positif. Plus le potentiel est élevé, plus le corps mesuré est oxydé, et inversement, plus le potentiel est faible, plus le corps mesuré est réduit. Par exemple, un sol présentant

un $E_h > 400$ mV est un sol oxydé et un sol dont $E_h < -100$ mV est très réduit. La valeur de E_h est difficile à mesurer car elle semble varier, sous l'effet des ondes électromagnétiques par exemple (Husson, 2012). Puisque le pH peut agir sur l'ionisation des formes oxydées ou réduites, une relation linéaire entre le pH et E_h a été démontrée (Bubenicek, 1964). Les autres paramètres qui influencent E_h sont peu connus.

La résistivité (Rhô)

La résistivité ou résistance spécifique d'une solution est le coefficient reliant R à l/s dans la formule $R = \rho \cdot l/s$. La valeur de ρ est proportionnelle à la résistance R de l'électrolyte, à la section s et inversement proportionnelle à la longueur l . La résistance R est mesurée à partir d'une colonne d'électrolytes comprise entre 2 électrodes métalliques ayant une surface égale à la section s de la colonne et distantes d'une longueur l . Elle s'exprime en ohm.cm ($\Omega \cdot \text{cm}$). L'inverse de la résistivité est la conductivité ou conductance spécifique. Elle s'exprime le plus souvent en $\mu\text{Siemens/cm}$.

La résistivité traduit la concentration en ions de la solution, et donc de sa charge minérale. Plus le milieu est chargé en ions et plus la résistivité diminue. Elle est dépendante de la mobilité des ions, résultat des forces électriques et de frottement appliquées sur les ions. Elle diminue généralement quand la température augmente. Finalement, elle dépend de la nature du solvant puisque la vitesse de déplacement des ions constitutifs de l'électrolyte est liée à celle-ci. L'eau, au pouvoir dissolvant et dissociant élevé de par la grande facilité qu'ont les molécules à se ioniser dans ce milieu, représente le solvant qui donne la conductivité la plus élevée, donc la résistivité la plus faible.

Pour avoir une idée de l'ordre de grandeur de la résistivité du sol, voici quelques valeurs indicatrices. Un sol équilibré présente une résistivité comprise entre 1100 et 2600 Ω . Une surcharge minérale entraîne une baisse de sa valeur ($0 < \rho < 1000 \Omega$) et une carence en minéraux la fait augmenter ($\rho > 2600 \Omega$). Enfin, une eau "vivante" a une résistivité proche de 50 000 ohms (Barbaud, 2012).

L'élasticité rH_2

Le rH_2 indique, pour un pH donné, les facultés réductrices ou oxydantes de la solution. Il résulte d'un calcul liant le pH et le E_h :

$$rH_2 = 2 \text{ pH} + (2F / 2,3RT) * E_h$$

soit $rH_2 = 2 \text{ pH} + 33,8 \text{ Eh}$

avec $T = 25^\circ\text{C}$

Ses valeurs sont comprises entre 0 et 42 sans unité. Un système réducteur a un rH_2 de 0 à 28 et un système oxydant présente un rH_2 de 28 à 42. Dans le système d'interprétation de la bioélectronique, le rH_2 idéal chez l'homme se trouve entre 21 et 23. Un sol convenable présente des valeurs de 24 à 29 (Barbaud,2012).

Intérêt de combiner les mesures de ces paramètres

Illustration 1: Bioélectronigramme de L.C. Vincent

La bioélectronique rassemble ces paramètres pour donner un état de santé globale du corps mesuré. Les données obtenues par les mesures (pH, rH_2 et ρH) peuvent être reportées sur un graphique à deux dimensions (pH en abscisse et rH_2 en ordonnée) appelé bioélectronigramme. Ce graphique a été établi par L.C. Vincent après de nombreuses observations. Des zones correspondant à des milieux favorables pour certains types d'entités biologiques ont été définies. Le point central, le plus neutre, serait la zone de parfaite santé. L'illustration 1 représente le graphique dans une version simplifiée. Cela permet de comparer plusieurs milieux entre eux ou de suivre leur évolution en fonction de divers facteurs. La valeur de ρH est reportée dans une troisième dimension, représentée graphiquement par une flèche de longueur variable.

b)Equipes travaillant sur le sujet

Historiquement, les trois paramètres étudiés ici ont été utilisés dans le domaine médical : la bioélectronique est une méthode inventée par l'ingénieur hydrologue Louis Claude Vincent en 1948, qui permet de caractériser l'état de vitalité des êtres vivants. Elle fut ensuite appliquée par Jeanne Rousseau, docteur

en pharmacie, sur des aspects liés à l'agriculture comme la fertilité ou la stérilité des sols, les attaques parasitaires etc. J'ai pu contacter Michel Barbaud, agronome spécialisé en bioélectronique agronomique et Olivier Husson, chercheur au Cirad qui travaillait avec deux stagiaires sur les mêmes mesures que moi. La majorité des informations qui m'ont servi à établir les problématiques proviennent de ces deux personnes. En effet, très peu de personnes se penchent sur cette manière d'analyser les choses. Sauf dans le monde de l'AB, où la mise au point de cette approche est attendue. Puisque les paramètres varient selon plusieurs critères, il est important d'avoir une méthode fiable pour les mesurer. Ainsi, la méthode de mesure est à mettre au point.

3.Présentation de la thématique du stage

3.1.Objectifs

Mon stage avait pour objectif d'introduire cette méthodologie dans le dispositif PaysBlé, programme régional de recherche participative. Dans le temps qui m'était imparti, l'installation du matériel au laboratoire et la mise au point de la méthode de mesure ont constitué les étapes du stage. Pour cela, le premier travail a été de faire la liste du matériel nécessaire pour le commander. Dans un second temps, les protocoles de mesure ont été établis pour tenter de répondre aux hypothèses émises. Finalement, la mise en pratique des protocoles sur la terre a fait l'objet d'interprétations et a permis de conduire la recherche vers de nouvelles problématiques.

L'objectif final est d'observer si les caractéristiques mesurées par la B.E.V. dans le sol sont les mêmes à différentes échelles : de la plante cultivée sur ce sol (blé par exemple) et du produit fini (pain par exemple).

3.2.Hypothèses

Les agriculteurs s'intéressent à la "vitalité" du sol, et donc aux différents moyens d'influer sur les paramètres du sol et d'effectuer les mesures sans trop de difficulté. C'est pourquoi il est important de pouvoir mesurer correctement les sols. La notion de "vitalité" vise à donner un caractère quantitatif aux processus vitaux. Elle désigne pour un sol un caractère quantifiable et dynamique à l'ensemble de ses organismes et processus physico-chimiques assurant la vie des plantes qu'il supporte.

Cette méthode d'analyse (bioélectronique) n'étant pas du tout répandue, il n'existe pas de protocole officiel. Il existe des protocoles officiels pour chacun des paramètres mesurés mais séparément. Or, ces différents protocoles ne sont pas compatibles lorsque l'on veut prendre les 3 mesures en même temps. Ainsi, une méthode de mesure doit être mise au point pour ce besoin spécifique.

Différentes questions se posent alors :

- Quelle eau transmet correctement l'information de la terre?
- Quelle est la manière de mélanger la terre à l'eau? Avec quelles quantités, volumes?
- A quel moment de la journée peut-on effectuer les mesures?
- Quel peut être l'intervalle de temps entre le prélèvement de sol et la mesure?
- Quels facteurs influent sur les paramètres et leur influence fait-elle varier les résultats de façon significative? Exemples : température, ondes électromagnétiques, lune...

4.Méthodologie de l'étude

Le matériel de laboratoire qui a servi aux mesures, et que j'ai commandé en partie, est listé ci-dessous.

- balance de précision 0,01 g
- multimètre Consort 3050 avec électrodes de pH + T°, potentiel redox et conductivité + T°
- 2 agitateurs magnétiques + barreaux aimantés
- bêchers 250 mL
- cuillères porcelaine
- eaux diverses (osmosée, déminéralisée, de source, du robinet, filtrée)
- solutions tampon pH 4,01 ; 7,01 et 10,01

L'illustration ci-dessus montre la simplicité du matériel de mesure. Nous l'avons placé juste à côté de l'évier pour pouvoir rincer les électrodes entre chaque mesure.

Pour mettre en place un protocole général, il a fallu tester différents critères, qui sont : la manière de mélanger l'eau et la terre, le choix de l'eau, le rapport d'extraction sol/eau, l'influence de la lune, la conservation de la terre. Je recherchais de manière globale à stabiliser les mesures, qu'elles soient pratique à mettre en œuvre et compatibles avec ce qui est mesuré. Par exemple, le fait de sécher la terre avant s'en servir (comme en pédologie) pose un problème pour mesurer le potentiel d'oxydoréduction. La terre, en séchant, s'aère et ses composés peuvent s'oxyder au contact de l'oxygène de l'air. Dans les premiers protocoles, 3 échantillons ont été préparés pour chaque élément testé. Voici la liste des protocoles :

Protocole n° 1 : Méthode de mélange

Une bassine de terre a été prélevée le matin à environ 20 cm de profondeur sur une parcelle labourée et vierge (sans végétation). La terre a été mélangée afin d'obtenir un échantillon représentatif et homogène. Olivier Husson m'a conseillé de travailler sur un rapport d'extraction de $\frac{1}{2}$. Les mélanges ont été réalisés à partir de 50 g de terre et 100mL d'eau osmosée.

3 hypothèses de protocole sont étudiées :

–Agitation manuelle pendant 1 minute 6 fois à 4 minutes d'intervalle (t0, t5, t10,

t15, t20, t25)

–Agitation à l'aide d'un agitateur magnétique, 15 minutes puis repos de 1 minute avant la mesure.

–Agitation à l'aide d'un agitateur magnétique, 1 heure puis repos de 1 minute avant la mesure.

Protocole n°2 : Méthode de mélange (affinage)

Pour pouvoir comparer les méthodes manuelle et magnétique, elles doivent être testées avec un temps de mélange identique.

3 hypothèses de protocole sont étudiées à nouveau :

–Agitation magnétique pendant 5 minutes après délayage à la main. 1 minute de repos avant la mesure.

–Agitation manuelle pendant 1 minute après délayage, 4 minutes de repos, 1 minute d'agitation manuelle puis 1 minute de repos avant mesure (plus tard appelée méthode de mélange habituelle).

–Agitation manuelle pendant 1 minute après délayage puis mesure après 1 minute de repos.

Pour l'agitation magnétique, 2 échantillons sont mélangés en même temps et le troisième est mélangé pendant les mesures des deux premiers. Pour les agitations manuelles, les trois échantillons sont préparés à une minute d'intervalle.

Protocole n°3 : Choix du solvant (mesure de l'eau seule)

L'eau est le solvant le plus présent sur Terre et le plus complexe à la fois, c'est un bon transmetteur d'information. L'eau peut être utilisée pour mesurer les paramètres physico-chimiques du sol (pH, potentiel d'oxydoréduction, résistivité), pour mettre le sol en solution et transmettre l'information aux électrodes de mesure. L'objectif de cette étude est d'identifier quelle eau peut être utilisée comme solvant du sol pour obtenir des résultats fiables sur ces mesures. Cinq eaux ont été testées : eau osmosée, eau déminéralisée, eau du robinet filtrée par carafe *brita*, eau du robinet non filtrée et eau de source en bouteille "Cristalline".

Les mesures ont été prises sur chaque eau plusieurs fois dans la journée dans le même ordre à chaque répétition. L'eau était mélangée dans son bidon ou dans le bécher avant de plonger les électrodes et les mesures ont été enregistrées après stabilisation des paramètres (plusieurs minutes). Un nouvel échantillon

d'eau a été préparé avant chaque mesure.

Protocole n°4 : Choix du solvant (mesure de l'eau et de la terre mélangées)

Afin de choisir l'eau qui donne des résultats les plus représentatifs des paramètres du sol, il a été nécessaire de mesurer ces paramètres sur les échantillons terre+eau au cours de la journée. Cela permet de comparer les valeurs des eaux seules avec les échantillons terre+eau.

Trois répétitions de trois échantillons préparés au même moment avec chaque eau ont été préparées et mesurées dans la journée. Au total, 45 échantillons ont été délayés, mélangés manuellement 2 fois 1 minute avec 4 minutes de repos entre les deux agitations puis 1 minute de repos avant la mesure (50g terre / 100 mL eau).

Protocole n°5 : Conservation de l'échantillon de sol

L'objectif de cette étude est de savoir si le mode de conservation de la terre (toute la journée dans la bassine ou terre fraîchement prélevée) modifie ses paramètres. Cela permettra d'avoir une idée de l'intervalle de temps maximum, s'il y en a un, entre le prélèvement de l'échantillon de sol et le moment de la mesure au laboratoire. Nous observerons la variabilité de la mesure à l'instant t sur 3 échantillons et la variabilité tout au long de la journée sur 8 répétitions.

Une bassine de terre a été prélevée le matin à environ 20 cm de profondeur dans un quadrat de 0,25 m² délimité par des piquets. Le trou a ensuite été rebouché pour que les conditions *in situ* restent les plus naturelles possible. La terre de la bassine a été homogénéisée à l'aide de la pelle de jardinage. La première série de mesures a été effectuée sur la terre de la bassine, puis, environ une fois par heure, une série de mesures a été effectuée sur cette même terre et sur la terre prélevée "fraîchement" dans le même quadrat (trou rebouché après chaque prélèvement). Méthode de mesure : délayage, 2 fois 1 minute d'agitation manuelle avec 4 minutes de repos entre les 2 agitations, 1 minute de repos avant la mesure. Mélange à l'eau déminéralisée (50g terre / 100 mL eau).

La comparaison des variabilités de la méthode "bassine" et de la méthode "fraîche" a permis de discuter du choix de conservation de la terre.

Protocole n°6 : Influence de la lune

Michel Barbaud m'a conseillé, pour comparer l'évolution d'un sol, de mesurer ses paramètres à environ 28 jours d'intervalle, au même moment lunaire de la lune (ascendante/descendante) et à chaque fois sur un jour "racine" du calendrier lunaire. La lune ascendante aurait un effet sur la montée de sève vers les extrémités hautes de la plante. La lune descendante, au contraire, aurait comme effet d'attirer la sève vers les racines et de favoriser leur pousse. Les calendriers lunaires biodynamiques conseillent de semer ou de planter les carottes, pomme de terre, radis, betterave etc. (plantes qui poussent en terre) en jour "racine" car l'impulsion des constellations zodiacales donne sa "force" à l'élément terre. D'après les principes de biodynamie, les interactions plante/sol ne sont pas les mêmes en jour racine qu'en jour fleur ou feuille. Afin de considérer ces paramètres dans la méthodologie générale, il a fallu effectuer des mesures sur un même sol à différentes dates pour voir si les différences sont observables.

Les variables testées ont été : lune ascendante et descendante, jour racine et jour fleur. Sur trois jours, un échantillon de terre a été prélevé au même endroit : à environ 20 cm de profondeur (zone racinaire) en terrain cultivé (blé + adventices). L'étude a eu lieu lundi 21 mai (lune ascendante, jour racine), mardi 22 mai (lune descendante, jour racine) et mercredi 23 (lune descendante, jour fleur). Trois séries de mesure de trois échantillons ont été effectuées chaque jour à peu près à la même heure. Méthode de mesure : délayage, 2 fois 1 minute d'agitation manuelle avec 4 minutes de repos entre les 2 agitations, 1 minute de repos avant la mesure. Mélange à l'eau déminéralisée (50g terre / 100 mL eau).

Protocole n°7 : Recherche du rapport d'extraction préférable

La mesure des eaux seules en comparaison avec les échantillons eau+terre nous ont permis d'observer que les valeurs de l'eau seule variait plus que celle des mélanges. En effet, de par son caractère amphotère, puisqu'elle peut capter ou céder un proton, l'eau est une espèce chimique très réactive. L'hypothèse suivante a été émise : plus l'échantillon de terre est dilué dans l'eau et plus il est influencé par l'environnement (ondes électromagnétiques, température, oxydation par l'oxygène de l'air etc.). Le but de cette étude est de trouver le mélange terre+eau réalisable avec un volume de liquide le plus faible possible, qui soit un compromis entre fiabilité de la mesure et facilité de délayer/mélanger la terre à la main.

L'eau seule et des échantillons de dilutions différentes de terre ont été

mesurés un maximum de fois dans la journée pour observer leur évolution.

Différentes dilutions ont été testées (g de terre / mL d'eau déminéralisée) :

1/10 : 20g / 200 mL ; ¼ : 25g / 100 mL ; ½ : 50g / 100 mL ; 1/1 : 50g / 50 mL ;
2/1 : 100g / 100 mL

Les échantillons ont été préparés une fois le matin selon la méthode habituelle de mélange, puis ont été mélangés 1 minute manuellement avant chaque mesure.

Protocole n°8 : Recherche d'un rapport d'extraction préférable (version approfondie)

Le protocole n°7 a permis de confirmer l'hypothèse émise. La gamme de dilution doit être approfondie vers les rapports d'extraction plus élevés (3/1, 4/1). Ne sachant pas si l'effet d'aération (réutiliser le même échantillon de terre+eau toute la journée) influe sur les paramètres, les échantillons ont été préparés fraîchement avant chaque mesure. Une nouvelle eau a été versée avant chaque mesure de l'eau seule.

Dilutions (g de terre / mL d'eau déminéralisée) :

1/1 : 50g / 50 mL ; 2/1 : 100g / 100 mL ; 3/1 : 30g / 90 mL ; 4/1 : 100g / 25 mL

La méthode de mélange est la méthode habituelle.

Critères de choix et méthode d'interprétation des résultats

L'objectif final était de mettre au point un protocole de mesure qui donne des résultats stables et répétables. A 3 moments de la journée, 3 échantillons ont été préparés. La variation des valeurs mesurées à chaque moment a été le premier critère de sélection de la méthode pratique. Pour cela, la moyenne de chaque série de mesures ainsi que l'écart type associé ont été calculés pour chaque paramètre.

La comparaison des écarts types a permis de voir quelle méthode procurait des résultats les moins variables. Au fur et à mesure de la mise au point de la méthode, le temps de préparation plus court a permis de faire un plus grand nombre de séries de mesures dans la journée. Après avoir fixé la méthode de mélange et choisi l'eau, les écarts étaient relativement faibles à l'instant t. De plus, après avoir pris conscience de la variabilité des paramètres (surtout Eh) au cours de la journée, il nous a semblé plus pertinent de ne préparer qu'un échantillon au lieu de 3 à l'instant t mais d'augmenter le nombre de répétitions de ce même échantillon dans la journée. Cela permet de représenter graphiquement l'évolution de chaque paramètre en fonction de l'heure. Les moyennes et écarts types peuvent

également être calculés, mais de manière plus globale, à partir des valeurs de toute la journée.

Puisque nous travaillons sur de la matière vivante, au sens des multiples réactions qui se produisent dans le sol, il est rare de mesurer deux fois la même valeur avec précision. Nous n'avons pas cherché à atteindre un écart type de 0 ou même de 0,01. La sélection de la "meilleure" méthode de mesure s'est plutôt faite par élimination des moins bonnes méthodes. En outre, pour un paramètre donné, la variation des mesures doit être relativisée par rapport à l'étendue de la zone qui définira l'interprétation de la mesure.

Cette variation doit être rapportée en pourcentage de la valeur absolue de la mesure.

Prenons un exemple. D'après le bioélectronigramme agronomique de M. Barbaud, la zone de santé des sols se situe environ entre 210 mV et 500 mV. L'étendue de cette zone est donc : $500 - 210 = 290$ mV. Si nous observons une variation du Eh de 40 mV au cours de la journée, cette variation correspond à $40 / 290 * 100 = 14$ %, ce qui est acceptable pour des mesures agronomiques. On raisonnera de même pour les autres paramètres mesurés.

5. Résultats des analyses

La représentation graphique des résultats permet de visualiser rapidement les différences d'écart type et de moyenne entre les variables étudiées (différentes eaux, dilutions etc.). Cependant, la représentation graphique des résultats des 9 protocoles serait trop longue pour le rapport. Ainsi, je ne présenterai pas certains graphiques, mais seulement les conclusions qui en sont issues.

Les résultats seront présentés pour chaque paramètre (pH, Rhô et Eh) avant de tirer une conclusion globale.

Résultats du protocole n°1 : Méthode de mélange

Globalement les écarts types sont plus faibles après agitation manuelle, mais le nombre de mesures ne permet pas de conclure. Il est nécessaire de reproduire ces essais sur un plus grand nombre de mesures et sur des temps de mélange comparables entre agitation manuelle et agitation magnétique.

Cette première analyse a permis de se familiariser avec le matériel.

Résultats du protocole n°2 : Méthode de mélange (affinage)

L'annexe I présente les résultats obtenus sur la journée.

pH : Les écarts types les plus faibles sont ceux du mélange "manuel 5 minutes" autant sur 3 échantillons à l'instant t que sur les neuf mesures de la journée. L'écart type général est de 0,15 pour le mélange manuel et de 0,42 pour l'agitation magnétique.

Rh δ : L'écart type général est de 1,5 pour l'agitation magnétique alors qu'il est de 0,77 et 0,40 pour les agitations manuelles 5 min et 1 min.

Eh : Ce paramètre varie énormément dans la journée : la valeur minimale mesurée est de 196,1 mV et la valeur maximale est de 276,3 mV. Ces variations ne sont pas seulement dues à la façon de mélanger les échantillons car la variation de Eh était d'environ 30 mV pour chaque méthode. Malgré ces variations, l'écart type général des méthodes manuelles est beaucoup plus faible que celui de la méthode magnétique (11,92 et 10,33 pour les manuelles contre 16,43 pour la magnétique). Effectivement, le potentiel d'oxydoréduction serait influencé par les ondes électromagnétiques, donc probablement aussi pas le magnétisme de l'agitateur. Entre les deux méthodes manuelles, la "5 min" donne l'écart type général le plus élevé, mais donne 2 écarts types d'instant t plus faibles que la "1 min" (1,76 et 2,0 contre 5,71 et 3,42).

Observation : Dans 6 cas sur 9, les valeurs de Eh sont décroissantes entre le premier échantillon de la série et le troisième, qui a été mesuré quelques minutes plus tard. Ce phénomène est-il dû à l'aération plus longue ou à un facteur plus éloigné?

Les écarts types les plus importants à prendre en compte sont ceux du Eh, car c'est le paramètre qui varie le plus. Aux vues de nos résultats, la méthode de mélange retenue a été l'agitation manuelle 5 min. Nous l'utiliserons pour le reste des manipulations.

Résultats du protocole n°3 : Choix du solvant (mesure de l'eau seule)

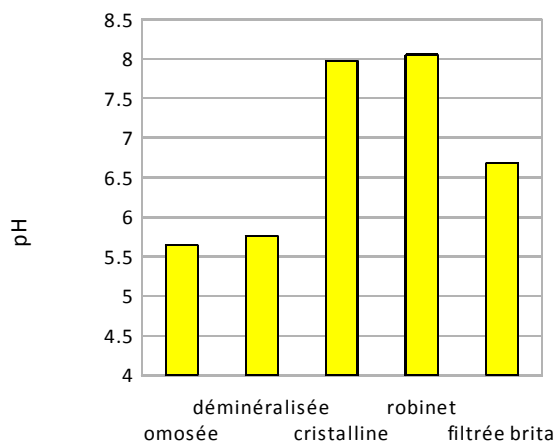


Illustration 3: pH moyen de l'eau seule sur une journée.

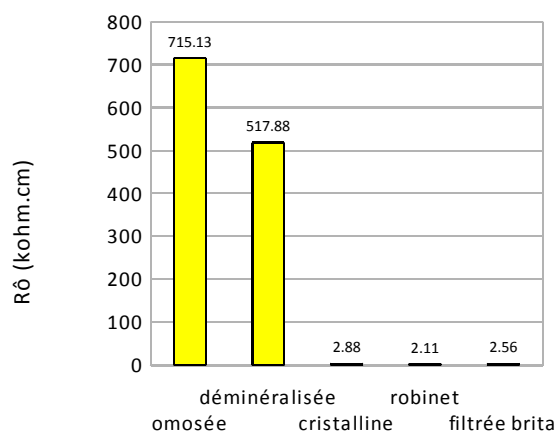


Illustration 4: Résistivité moyenne de l'eau seule sur une journée.

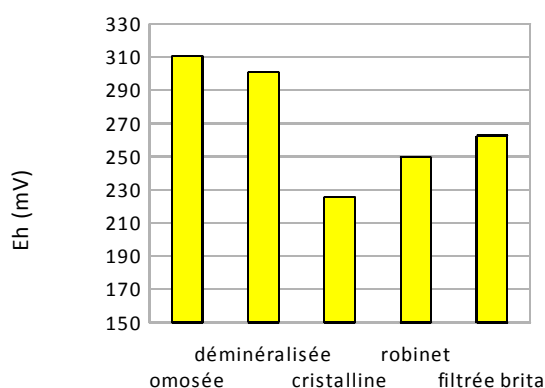


Illustration 5: Potentiel d'oxydoréduction moyen de l'eau seule sur une journée.

pH : L'illustration 3 montre que les écarts types les plus élevés sont ceux des eaux pures (osmosée et déminéralisée). Cependant, "le pH d'une eau osmosée utilisée dans les laboratoires n'a pas vraiment de sens et il est pratiquement impossible à mesurer car absolument pas tamponné" (Husson, 2012). Il faut se pencher sur les autres paramètres pour juger de la qualité de l'eau.

Rhô : L'illustration 4 montre que la différence entre la moyenne de la résistivité des eaux pures et celle des eaux courantes est énorme : elles ne sont pas comparables. Il est clair que les eaux courantes sont chargées en ions (minéraux). Les eaux osmosée et déminéralisée indiquent des valeurs de résistivité de 715 et 518 kohm.cm, leur qualité de laboratoire est de type 3, soit $Rh\hat{o} > 50$ kohm.cm (site internet Elga Labwater). Cela convient à la dilution de sol car la très faible

quantité d'impuretés présentes dans ces eaux ne réagira pas avec les molécules de la terre pour faire varier significativement les paramètres mesurés.

Eh : Comme on peut le voir sur l'illustration 5, les eaux pures donnent des valeurs proches de potentiel redox au cours de la journée (310 mV et 300 mV). Leur écart type est également très proche (34,74 mV et 34,84 mV). Leur qualité est identique sur ce paramètre. L'écart type des eaux courantes est plus faible (entre 18 mV et 25,6 mV). La variabilité moins forte des mesures du Eh sur les eaux courantes est due à leur composition moléculaire complexe. Les eaux pures sont composées essentiellement d'H₂O et de quelques molécules organiques pour l'eau déminéralisée. De ce fait, les réactions engendrées par les molécules de l'environnement (particules volatiles de l'air, impuretés provenant du bécher ou des électrodes etc.) modifient plus fortement la composition d'une eau pure que d'une eau courante.

En conclusion, les eaux courantes sont probablement à éliminer à cause de leur forte charge en ions. Elles seront observées en mélange avec la terre pour confirmer cette décision. Le mélange avec la terre des eaux pures permettra de choisir l'une des deux suivant leur comportement.

Résultats du protocole n°4 : Choix du solvant (mesure de l'eau et de la terre mélangées)

Observation : d'un point de vue pratique, la terre se délaye plus facilement dans les eaux pures (osmosée et déminéralisée) que dans les eaux courantes. Leur carence en minéraux favorise-t-elle la dissociation des éléments dans le solvant?

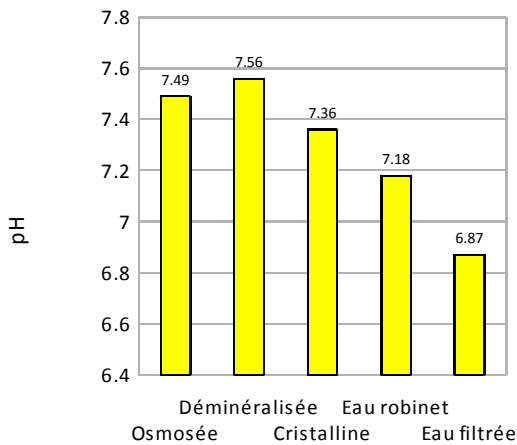


Illustration 6: pH moyen du mélange eau+terre sur une journée

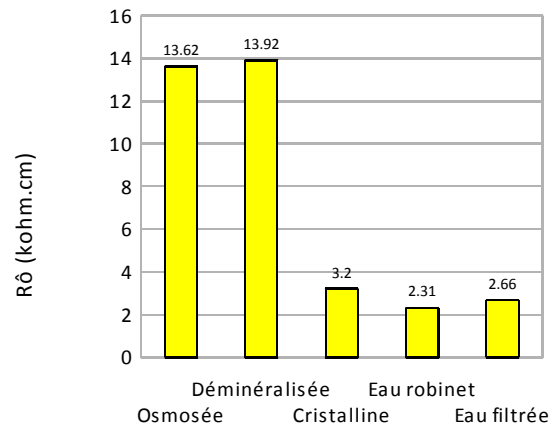


Illustration 7: Résistivité moyenne du mélange

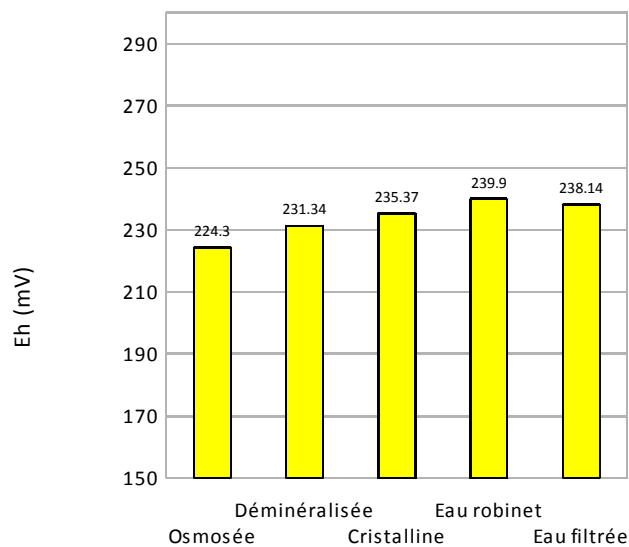


Illustration 8: Potentiel d'oxydoréduction moyen du mélange eau+terre sur une journée.

Rhô : L'illustration 6 montre que les eaux pures donnent des valeurs similaires et beaucoup plus élevées que les autres eaux : 13,62 et 13,92 contre 3,2 ; 2,66 et 2,31 kohm.cm. A l'inverse, la conductivité des mélanges terre/eau pure est donc plus faible, ce qui signifie que le mélange final est moins chargé en ions. Les eaux courantes (cristalline, eau du robinet et eau filtrée), sont chargées en minéraux pour être propres à la consommation. Leur charge en minéraux s'additionne à celle de la terre et la valeur de résistivité mesurée est faussée. Cela confirme l'hypothèse émise lors des mesures de l'eau seule. Les eaux courantes sont de ce fait éliminées. Nous nous intéresserons seulement aux eaux pures pour les autres paramètres.

pH : La différence entre les deux moyennes de pH est faible : 7,49 et 7,56. Par contre, l'eau déminéralisée présente un écart type environ 4 fois plus faible que l'eau osmosée (voir illustration 7).

Eh : A l'observation de l'illustration 8, encore une fois, l'écart type des valeurs obtenues avec l'eau déminéralisée est plus faible que celui des valeurs obtenues avec l'eau osmosée.

En conclusion, l'eau déminéralisée est retenue car les écarts types de ses valeurs sont les plus faibles par rapport à l'eau osmosée.

Résultats du protocole n°5 : Conservation de l'échantillon de sol

Pour les préparations de terre fraîche et de terre "bassine", les trois échantillons mesurés à l'instant t donnent des valeurs très proches pour chaque paramètre. Par contre, ces valeurs ne sont pas stables sur la journée. Les courbes de l'évolution de chaque paramètre sont visibles en annexe II. Le pH de la terre fraîche varie de la même façon que celui de la terre "bassine", mais avec plus d'ampleur. Le Rhô de la terre "bassine" est très stable ($6,87 < \text{Rhô} < 7,65$ khom.cm) alors que le Rhô de la terre fraîche varie fortement ($6,91 < \text{Rhô} < 9,68$ kohm.cm). Enfin, le potentiel redox Eh des deux terres est quasiment identique à chaque série de mesure, même s'il varie très fortement au cours de la journée.

La méthode de prélèvement unique et le stockage en bassine pour la journée assurent une plus grande stabilité des résultats car les prélèvements de la terre fraîche n'étaient pas tous effectués exactement au même endroit. Pour assurer une qualité de mesure, mais surtout pour faciliter les manipulations, nous avons retenu le prélèvement unique en un point avec homogénéisation de la terre en bassine pour les mesures de la journée. Cela signifie aussi que si de la terre est prélevée dans la matinée, les mesures effectuées dans l'après-midi au laboratoire seront correctes.

Résultats du protocole n°6 : Influence de la lune

Les résultats sont disponibles en annexe III. Il est très difficile de les interpréter car les valeurs varient encore étrangement au cours des 9 mesures. Pour le Rhô, il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des trois jours. Le pH augmente du lundi au mardi d'environ 0,3 unité puis stagne le mercredi. Le Eh augmente le mardi de 35 mV environ pour diminuer de 55 mV le

mercredi, soit 20 mV de moins que le lundi. Ces variations semblent incohérentes puisque le Eh est sensé diminuer de 60 mV lorsque le pH augmente d'une unité (Vizier, 1971). Soit l'effet de la lune n'est pas mesurable d'un jour à l'autre, soit la méthode de mesure n'est pas encore assez au point pour mesurer cette différence.

Résultats du protocole n°7 : Recherche du rapport d'extraction préférable

Pour tous les paramètres, l'observation est la même : la mesure varie plus quand l'échantillon est plus dilué. Autrement dit, le fait d'ajouter de l'eau à la terre diminue la stabilité des mesures. Le deuxième protocole de dilution permettra d'approfondir la recherche vers des dilutions plus faibles.

Résultats du protocole n°8 : Recherche du rapport d'extraction préférable (version approfondie)

Voici la représentation graphique de l'évolution de chaque paramètre au cours de la journée :

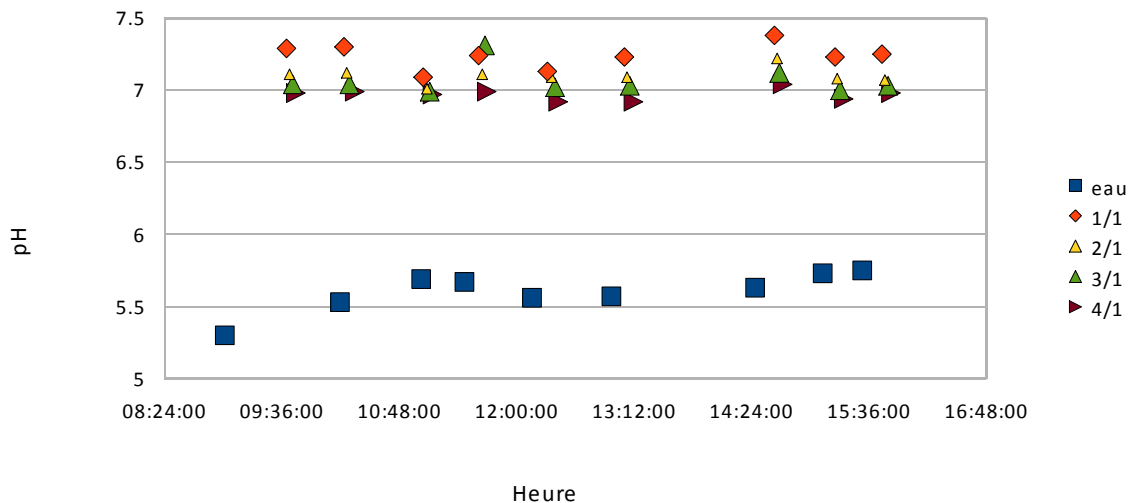


Illustration 9: Evolution du ph au cours de la journée.

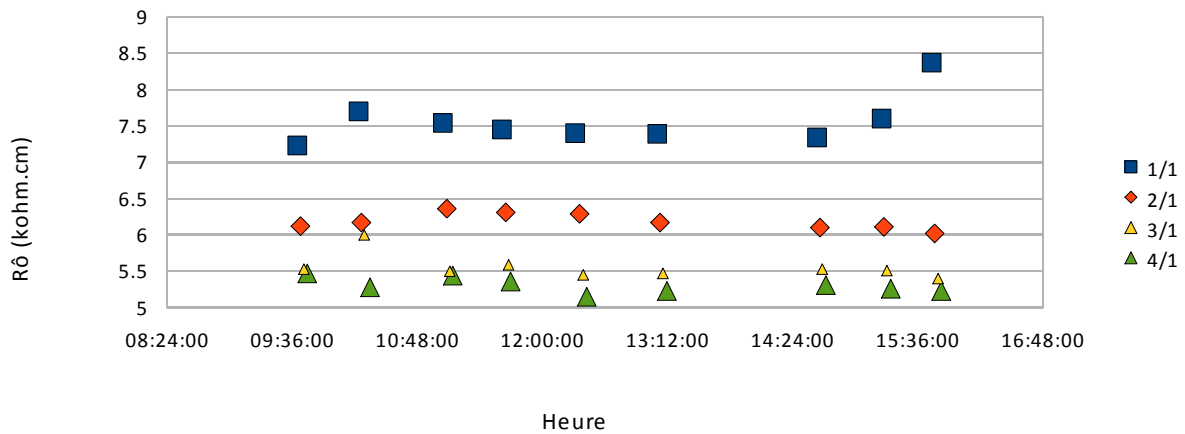


Illustration 10: Evolution de la résistivité au cours de la journée.

Les mesures de l'eau seule n'apparaissent pas sur le graphique car elles modifient trop l'échelle ($Rh\hat{o}_{\text{eau seule}} = 500 \text{ kohm.cm}$). Ainsi, il est plus facile de comparer l'évolution des différentes dilutions. Attention : les couleurs des dilutions ne correspondent pas aux couleurs des autres graphiques.

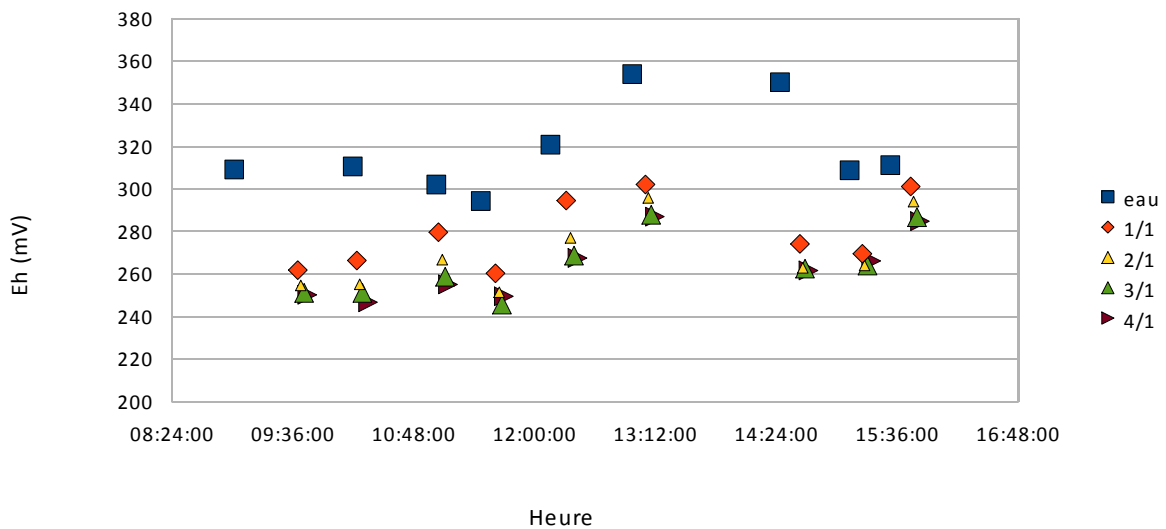


Illustration 11: Evolution du potentiel d'oxydoréduction au cours de la journée.

L'observation est la même que celle du premier essai. Cela confirme la tendance : pour le $Rh\hat{o}$ et le Eh, les valeurs mesurées sont d'autant plus proches de la valeur de l'eau seule que l'échantillon était dilué. C'est l'inverse pour le pH, la valeur se rapproche de celle de l'eau seule alors que l'échantillon est peu dilué. Effectivement, le pH est calculé comme le logarithme de l'inverse de la

concentration en ions hydrogène, le fait d'ajouter de l'eau (dilution plus élevée) dilue les ions H^+ dont la quantité reste la même et fait baisser leur concentration. De plus, pour tous les paramètres, on observe que l'écart entre les courbes de dilutions est de plus en plus faible à mesure que le rapport d'extraction diminue (3/1, 4/1). Prenons l'exemple de $Rh\hat{o}$: l'écart entre la dilution 1/1 et la dilution 2/1 est d'environ 1,38 kohm.cm alors que l'écart entre la dilution 3/1 et la dilution 4/1 est seulement de 0,25 kohm.cm en moyenne.

Pour conclure, la valeur mesurée est d'autant plus stable que le rapport d'extraction est faible et elle tend vers une valeur limite, nous choisirons donc le rapport 4/1 pour la suite des mesures.

Synthèse des résultats : Méthode de mesure mise au point à la fin du stage :

Prélèvement de l'échantillon de terre : la terre doit être prélevée une seule fois dans la journée. Elle est ensuite homogénéisée dans une bassine. Elle doit restée à l'air et à température ambiante.

Méthode de constitution de l'échantillon à mesurer : 100 g de terre sont délayés dans 25 mL d'eau déminéralisée, dans un bécher en verre, à l'aide d'une cuillère en porcelaine. Ensuite, le tout est mélangé pendant 1 minute avec la cuillère en porcelaine, puis il repose pendant 4 minutes, il est mélangé à nouveau pendant 1 minute et la mesure peut être prise après stabilisation des valeurs (environ 1 minute).

Deux échantillons de terre différents, pour être comparés, doivent être préparés et mesurés dans un minimum de temps (1 heure maximum).

6. Discussion des résultats et analyse critique

La méthode mise au point a atteint son objectif de stabiliser les mesures du pH et de la résistivité au cours de la journée. Nous sommes donc aptes à comparer les valeurs de ces deux paramètres entre différentes parcelles. Par contre, nous ne savons pas si la valeur même des mesures effectuées est bonne.

Pour le "meilleur" rapport d'extraction, le choix a été fait par rapport à la stabilité des mesures, mais non par rapport à la valeur de la mesure car il n'existe pas de sol "étalon". Tous les praticiens qui utiliseront la BEV devront donc utiliser le même protocole de mesure s'ils veulent comparer leurs mesures.

Le potentiel d'oxydoréduction, quant à lui, n'est pas stable du tout et il

semble varier selon des forces extérieures. Ces forces ne sont probablement pas liées au lieu de mesure. Elles semblent provenir d'ailleurs. Le seul appareil électrique présent dans la salle de mesure est un réfrigérateur, les chauffages et les néons n'ont jamais été allumés pendant les mesures. Le laboratoire est situé en bordure de champs et à plus de 75 mètres des autres bâtiments de l'INRA. Il n'y a ni wifi, ni téléphone sans fil et les téléphones portables étaient éteints pendant les mesures. Nous ne pouvons pas réduire ces variations en améliorant la méthode de préparation de l'échantillon terre+eau. Olivier Husson a trouvé un moyen de stabiliser la valeur de Eh sur une journée : il effectue la mesure dans une cage de Faraday. Ressemblant à une boîte de métal conducteur, la cage de Faraday a pour principe de stopper toutes les ondes électromagnétiques ou presque (suivant le diamètre du maillage si elle n'est pas opaque). Nous nous posons la question : sachant que la cage supprime les influences électromagnétiques d'origine anthropique mais aussi d'origine naturelle, la valeur mesurée est-elle représentative du sol dans son état naturel ? De nombreuses recherches sont à faire sur le sujet.

6.1.Critique de nos expériences et nouvelles problématiques

Pendant la durée de mon stage, l'appareil n'était étalonné ni en résistivité, ni en potentiel d'oxydoréduction, ni en température (cela a été dû à des retards et erreurs dans la livraison du matériel neuf). Seule l'électrode de pH a été étalonnée. Les valeurs ne sont donc pas à retenir en tant que telles et ne seront pas comparables avec des prochaines mesures.

Lors des mesures, le multimètre était branché à un ordinateur pour lui transmettre les données. Nous ne savons pas si cela influe sur la mesure de Eh. Un essai est à entreprendre en enlevant l'ordinateur de la pièce et en enregistrant les mesures dans le multimètre par exemple.

Les mélanges terre+eau ont été préparés avec une masse de terre et un volume d'eau précis. Cependant, le taux d'humidité de la terre n'est pas le même après une semaine de canicule qu'après une semaine de pluie. Est-il nécessaire de mesurer la masse et le volume avec précision ? Ou faut-il essayer d'obtenir une boue qui a toujours la même épaisseur, sans mesure précise ? Un essai est à faire. A priori, le choix serait plutôt de mesurer précisément les volumes. Nous avons vu

deux choses importantes sur les dilutions. Premièrement, la mesure est plus stable quand il y a peu d'eau dans la terre. Deuxièmement, plus la dilution de la terre est faible, plus l'écart entre les valeurs est faible, comme s'il y avait une valeur limite. Donc, si les préparations sont très peu diluées, la variation du taux d'humidité de la terre n'aura que très peu d'effet sur les mesures.

Le protocole "Influence de la lune" a été effectué avec 50 g de terre pour 100 mL d'eau. Or, nous avons conclu qu'il fallait travailler avec le moins d'eau possible, soit 25 mL pour 100 g de terre. Puisque les résultats sont négatifs à cause des trop fortes variations, il faudrait recommencer ce protocole avec ce nouveau rapport d'extraction.

Nous nous posons aujourd'hui de nouvelles questions :

- La profondeur de prélèvement doit-elle être précise ? Faut-il prélever à plusieurs profondeurs ?
- Faut-il travailler à une température constante ? Ou la compensation de l'appareil est-elle assez efficace pour palier cela ?
- Y a-t-il une valeur limite (pour le pH, le Rhô et le Eh) quand le rapport d'extraction diminue ?
- Des sols différents donnent-ils des valeurs significativement différentes ?
- Pourquoi le potentiel d'oxydoréduction varie-t-il autant ? Observe-t-on les mêmes variations dans les autres régions de France, dans d'autres pays ?
- La lune influence-t-elle la mesure ?

6.2. Avantages et inconvénients de la Bioélectronique de Vincent

a) Avantages

Puisqu'elle est développée en réponse à la demande des acteurs de l'AB, l'un des avantages les plus importants est le côté écologique de la méthode. En effet, très peu de produits chimiques sont employés : seulement pour l'étalonnage de l'appareil et pour l'entretien des électrodes de mesure. Elle ne produit pas de déchet à traiter, le seul déchet étant la boue (terre+eau déminéralisée) qui peut être remise au champ.

Le deuxième avantage de la méthode est sa simplicité qui la rend accessible à tous, et le temps de réponse relativement court qui permet d'avoir des résultats en quelques heures. Cependant, les résultats résident plutôt dans

l'interprétation des chiffres. Cela demande une bonne pratique et une connaissance pointue du fonctionnement physico-chimique des sols.

b)Inconvénients

Son prix peut être un critère limitant pour certains car il faut compter environ 2200 euros pour faire l'acquisition du matériel. Cependant, une fois le matériel acquis, l'entretien est peu coûteux et il suffit de manipuler avec précaution pour conserver les électrodes en bon état le plus longtemps possible.

Si la qualité du sol peut être évaluée de cette manière, ce n'est qu'une approche globale. Une étude plus poussée de la composition et de la structure du sol est nécessaire en parallèle pour pouvoir interpréter convenablement les résultats et savoir comment agir pour l'améliorer.

7.Conclusion

En conclusion, l'objectif principal du stage n'a été atteint qu'en partie, car le travail de mise au point de la méthode n'est pas terminé. Le retard dans la livraison du matériel m'a obligé à patienter jusqu'à la cinquième semaine de stage avant de commencer les premières manipulations. La durée restante a permis de mettre au point la méthode de mesure donnant des valeurs stables du pH et de la résistivité. Et il reste encore à stabiliser la mesure du potentiel d'oxydoréduction. Malgré ce temps de manipulation réduit, des observations importantes ont été faites, notamment sur le pouvoir qu'a l'eau de modifier la mesure des paramètres, suivant sa quantité et sa qualité. Des nouvelles problématiques se posent alors. La recherche peut continuer.

De manière générale, une fois l'interprétation maîtrisée, cet outil devrait se développer dans le monde de l'AB. Effectivement, les paysans qui travaillent dans le cadre de projets avec Véronique Chable et Estelle Serpolay s'intéressent à la vitalité du sol. Si la BEV donne une évaluation quantitative de la vitalité du sol, elle deviendra peut être un outil de routine pour ces personnes.

La méthode mise au point pendant mon stage va être testée dans les prochaines semaines pour mesurer les différentes évolutions du sol en fonction des variétés de plantes cultivées. L'objectif est d'aider les agriculteurs biologiques à créer des outils d'aide à la décision dans le but d'apprécier l'interaction entre les variétés et

le sol pour rétablir sa vitalité, et augmenter la résilience et la performance des agro-écosystèmes.

Du point de vue de l'expérience personnelle et professionnelle, ce stage a été très enrichissant pour moi. L'autonomie, l'organisation et la communication ont été mises à l'épreuve durant les premières semaines. Puisque le laboratoire était vide, il a fallu contacter de nombreuses personnes pour emprunter du matériel, préparer et passer une commande. Ce qui n'est pas évident quand on vient d'arriver dans une entreprise. Je craignais que le travail de laboratoire soit rébarbatif. Les journées de manipulation sont parfois longues et fastidieuses lorsque l'on répète 45 fois la même préparation pour appuyer sur le bouton de mesure 45 fois. Bien heureusement, il y a eu autant de temps de réflexion que de manipulation. C'est l'intérêt de la recherche : le chemin est long et diversifié avant d'arriver à atteindre l'objectif final. J'ai pu assister à une réunion d'unité, laquelle m'a fait découvrir l'organisation financière bien complexe de la structure, mais aussi le rôle de chacun dans l'élaboration des projets de recherche. J'ai eu l'occasion de travailler sur le terrain pour aider une thésarde en manque de personnel. Nous avons passé la journée à compter les larves de coccinelle dans des champs de blé en agriculture conventionnelle et en agriculture biologique. Cette expérience restera dans ma mémoire pendant longtemps je pense, car j'ai pu comparer les sols et blés conventionnels aux sols et blés biologiques. Rien à voir.

Enfin, ce stage m'a apporté un espoir immense pour l'avenir de l'agriculture biologique de par la découverte de nombreux acteurs de l'AB (agriculteurs, meneurs de projets associatifs...) et il a confirmé mon objectif de faire partie de ce projet qui est de revenir à une agriculture saine, respectueuse du consommateur, de l'environnement, et de l'agriculteur.

Bibliographie

Alain Guyon, 1985. Thèse : Notion de terrain en médecine à travers les trois paramètres physico-chimiques pH, rH₂, résistivité. Université de Picardie. Faculté de médecine d'Amiens. 108 pages.

Bruno Taupier-Létage. 2009. Méthodes globales d'analyses de la qualité : état des connaissances. ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique).

Bubenicek L., 1964. L'oxydoréduction en sédimentologie. Bull. BRGM, n° 4, pp. 1-36.

Christophe Bonneuil, Frédéric Thomas. 2009. *Gènes, pouvoirs et profits*. Editions Quae. p. 506

Howard A., 1943. *Le Testament Agricole*. Edition Vie et Action.

J.F. Vizier, 1971. Etude de l'état d'oxydoréduction du sol et de ses conséquences sur la dynamique du fer dans les sols hydromorphes. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. IX, n°4.

J.M. Danzé, 2011. Une méthode ignorée d'évaluation du terrain : la bioélectronique selon L.C. Vincent.

N. Sinoir et A. Coulombel, 2011. Approches globales d'évaluation de la qualité. Résumé des journées organisées par l'ITAB, dans le cadre d'un projet transversal porté par PEUV (Pour l'Emergence d'une Université du Vivant), avec un financement de la FPH (Fondation pour le Progrès de l'Homme).

Sites internet :

Elga Labwater. Qualité de l'eau : un aspect primordial [en ligne]. Disponible sur : <http://www.elgalabwater.com/water-quality-fr> (consulté le 7.06.2012).

INRA. 1946-2006 : 60 ans de recherches et d'innovations au service de la société [en ligne]. Disponible sur : http://www.inra.fr/60ans/1946_2006_60_ans_de_recherches_et_d_innovations_au_service_de_la_societe (consulté le 02/05/2012).

Annexe I : Méthode de mélange.

	pH	Rhô (kohm.cm)	Eh (mV)	rH2
	7.38	11.779	243.1	30.07
	7.44	13.089	239.4	30.05
	7.46	12.920	235.8	29.99
Moyenne	7.43	12.6	239.43	30.04
Écart type	0.04	0.71	3.65	0.04
	7.61	15.5	235.5	30.25
	7.62	16.12	231.7	30.14
	7.49	15.67	235.3	30.01
Moyenne	7.57	15.76	234.17	30.13
Écart type	0.07	0.32	2.14	0.12
	6.56	14.3	276.3	29.59
	6.68	15.26	268.7	29.55
	6.84	15.22	258.4	29.51
Moyenne	6.69	14.93	267.8	29.55
Écart type	0.14	0.54	8.98	0.04
Moyenne générale	7.23	14.43	247.13	29.91
Ecart type général	0.42	1.5	16.43	0.28
Agitation magnétique 5 min				

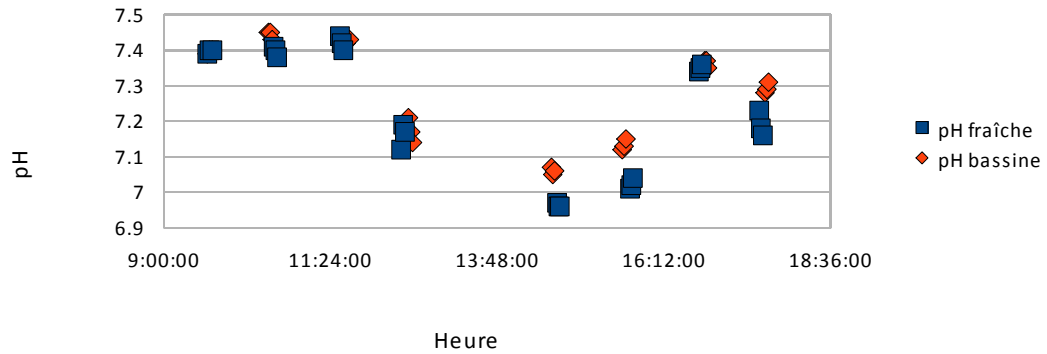
	pH	Rhô (kohm.cm)	Eh (mV)	rH2
	6.73	14.57	238.3	28.6
	6.77	14.85	237.4	28.66
	6.78	16.12	234.9	28.57
Moyenne	6.76	15.18	236.87	28.61
Écart type	0.03	0.83	1.76	0.05
	6.99	15.38	244.5	29.39
	6.94	16.02	240.7	29.13
	6.93	16.5	241.5	29.14
Moyenne	6.95	15.97	242.23	29.22
Écart type	0.03	0.56	2.0	0.15
	7.11	16.5	219	28.73
	7.1	16.33	215.6	28.57
	7.06	14.85	214.7	28.45
Moyenne	7.09	15.89	216.43	28.58
Écart type	0.03	0.91	2.27	0.14
Moyenne générale	6.93	15.68	231.84	28.8
Ecart type général	0.15	0.77	11.92	0.33
Agitation manuelle 5 min				

Annexe I (suite)

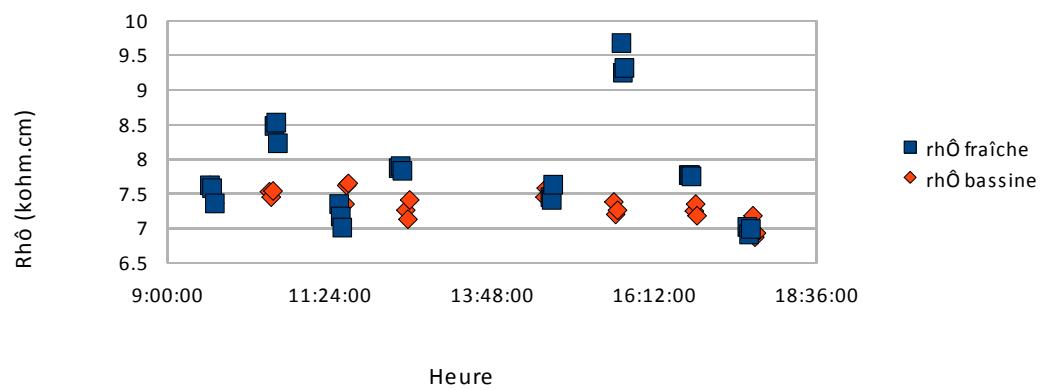
	pH	ρ_h (kohm.cm)	Eh (mV)	rH2
	7.67	18.14	207.4	29.37
	7.67	18.11	203.2	29.23
	7.72	18.14	196.1	29.09
Moyenne	7.69	18.13	202.23	29.23
Écart type	0.03	0.02	5.71	0.14
	7.31	17.63	212.6	28.83
	7.36	17.54	207.3	28.73
	7.42	17.57	213.7	29.08
Moyenne	7.36	17.58	211.2	28.88
Écart type	0.06	0.05	3.42	0.18
	7.47	18.21	225.8	29.59
	7.38	17.79	224.2	29.36
	7.37	18.76	223.9	29.34
Moyenne	7.41	18.25	224.63	29.43
Écart type	0.06	0.49	1.02	0.14
Moyenne générale	7.49	17.99	212.69	29.18
Ecart type général	0.16	0.40	10.33	0.28
Agitation manuelle 1 min				

Annexe II : Test de conservation.

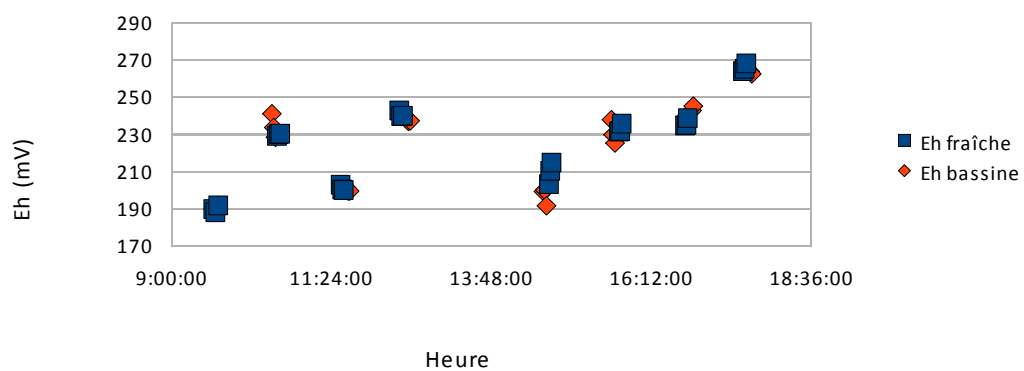
Evolution pH suivant le conditionnement



Evolution de la résistivité suivant le conditionnement

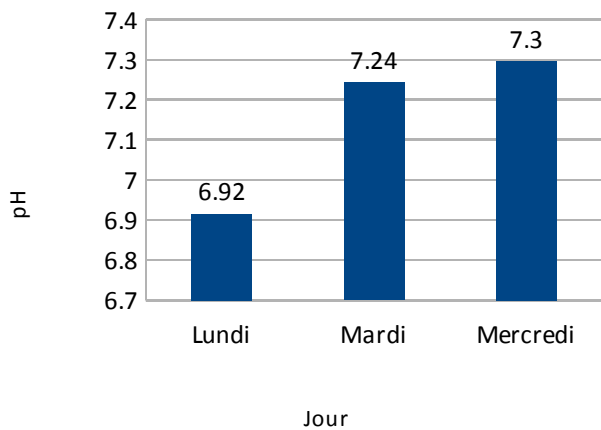


Evolution du potentiel redox (Eh) suivant le conditionnement

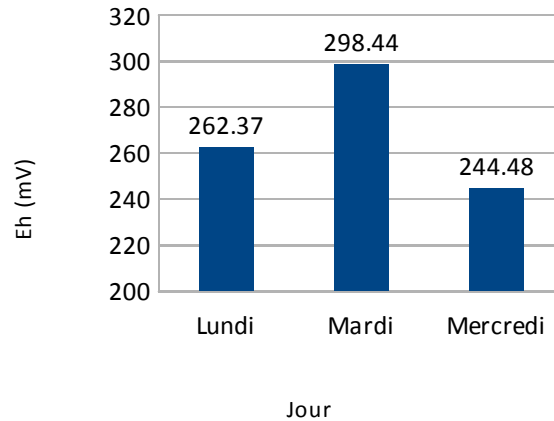


Annexe III : Influence de la lune.

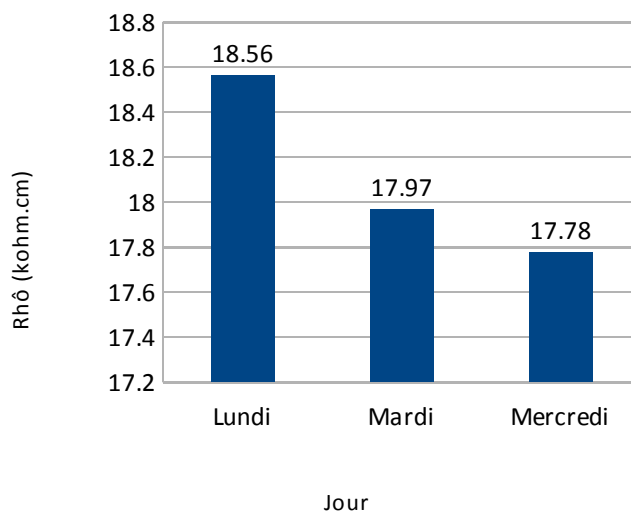
Moyenne du pH



Moyenne du potentiel redox

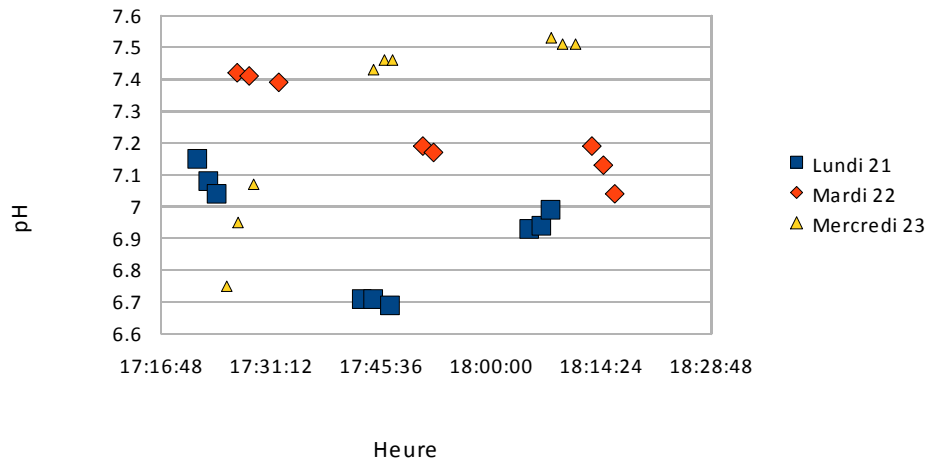


Moyenne de Rhô

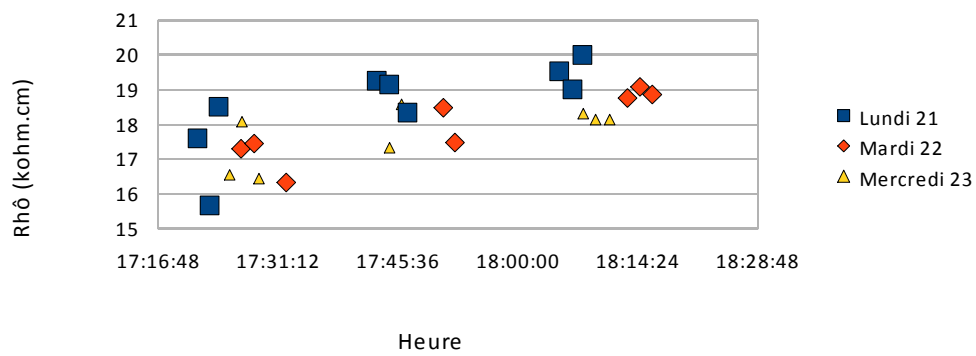


Annexe III (suite)

Mesure du pH sur 3 jours



Mesure de la résistivité sur 3 jours



Mesure du potentiel redox sur 3 jours

