

Andoni GABIRONDO

Stage en entreprise

Licence professionnelle BAEMOVA

IUT Angers

*Mise au point d'une
méthode d'analyse globale
de la qualité des sols et
validation sur la mesure
d'interactions plantes-sol*

Kaol
Kozh



Centre INRA (Le Rheu), UR SAD Paysage,
Equipe Biodiversité cultivée
7/05/2012 au 13/08/2012

Maître de stage : Véronique CHABLE
Tuteur pédagogique : Stéphanie BLOT



Remerciements

Tout d'abord, je souhaite remercier l'association « Kaol Kozh » qui m'a permis de réaliser ce stage au centre INRA du Rheu.

Je remercie mon maître de stage, Véronique Chable, pour son dévouement, et son aide précieuse dans mon étude.

Je remercie également Estelle Serpolay pour tous ses précieux conseils qui m'ont appris beaucoup et remis sur la voie lorsque j'en déviais.

Et enfin un grand merci à tous les stagiaires et partenaires de l'équipe : Simon Rousselot, Lucie Le Jeanne, Dewi Gleneau, Anabelle Laurent, et Hugo Gonzales, avec qui j'ai partagé de très bons moments et également de très riches échanges enrichissants.



Abréviations et sigles utilisés

- ITAB : Institut Technique pour l'Agriculture Biologique
- BEV : Bioélectronique de Vincent
- pH : Potentiel hydrogène
- eH : Potentiel oxydo-réducteur , (ORP : Oxydo-reduction potential)
- r_{H_2} : Elasticité = $33,3 \times eH + 2 \text{ pH}$ (Formule de Nernst)
- ρ : Résistivité
- mV : milli volts
- mL : milli litres
- g : gramme

Table des matières

I.	Introduction.....	1
II.	Présentation de l'entreprise.....	2
1.	L'INRA : origine et évolution.....	2
2.	Le centre INRA de Rennes	4
3.	L'Unité de Recherche Sciences pour l'Action et le Développement Paysage (SAD Paysage)	4
4.	L'équipe biodiversité cultivée (Génétique Végétale et Sélection participative)	5
5.	La recherche participative, pilier de la sélection paysanne régionale, et internationale	5
III.	Analyse de la Qualité en agriculture biologique.....	8
1.	Un institut pionnier : L'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB).....	8
2.	Evaluation et suivi de la qualité d'un sol en agriculture biologique.....	10
IV.	Etude bibliographique	12
1.	La bioélectronique de Vincent (BEV).....	12
2.	Applications Agronomiques de la BEV : travaux de Jeanne Rousseau	14
3.	La dynamique de l'eau par Jeanne Rousseau.....	15
4.	La qualité des sols étudiée par Jeanne Rousseau.....	16
5.	Botanique du blé	17
6.	Histoire de la culture du blé	17
7.	Culture du blé en agriculture biologique en association avec d'autres espèces	18
8.	Nouveaux utilisateurs de la BEV en agronomie	18
V.	Problématique du stage	19
VI.	Matériels et méthodes	20
1.	Matériel	20
a.	Matériels de laboratoire.....	20
b.	Dispositif expérimental au champ.....	21
VII.	Mise au point de la méthode d'analyse par la bioélectronique.....	23
1.	Prélèvement d'échantillons de terre.....	23
2.	Préparation et traitement des échantillons de terre	24

3.	Etude de l'eau de dilution adaptée à la méthode d'analyse d'un sol par la BEV	25
4.	Technique de mélange utilisée pour la préparation des échantillons	27
5.	Etude du facteur de dilution des échantillons.....	28
6.	Etude de l'effet d'aération sur les échantillons préparés	30
7.	Etude de l'influence du conditionnement sur les paramètres des échantillons.....	31
8.	Etude de la compensation de température	32
VIII.	Résultats de l'application de la méthode	33
1.	Application de la méthode BEV à l'analyse des sols.....	33
a.	Par répétition.....	33
b.	Par variété	34
c.	Par Association	35
2.	Analyse d'un jus de blé.....	36
a.	Etude de la dilution.....	37
b.	Etude de l'effet d'aération sur les échantillons de jus de blé	37
c.	Observation de la décantation des glutens dans un jus de blé.....	38
IX.	Discussion et perspectives.....	39
X.	Conclusion et expérience professionnelle.....	42

J. Introduction

Dans le cadre de ma formation en Licence Professionnelle BAEMOVA, j'ai effectué un stage de quatorze semaines au sein d'un des laboratoires de l'INRA, faisant partie du centre de Rennes, parmi l'équipe de Recherche participative et Biodiversité cultivée, qui travaille sur la sélection génétique de variétés paysannes de céréales cultivées en agriculture biologique.

L'objectif de travail qui m'a été proposé était de mettre au point une technique d'analyse de qualité applicable à différents éléments de l'agrosystème, dont les sols et les plantes, par une méthode de mesure bioélectronique utilisant trois paramètres physico-chimiques connus.

Mon rôle a été d'organiser le laboratoire, de mettre au point la méthode et d'analyser un essai réalisé en champ pour appréhender la validité de la méthode pour mesurer la qualité des sols supportant différentes variétés de blé cultivées seules et en association, le tout en agriculture biologique.

Cette étude rentre dans le cadre de la recherche participative alliant scientifiques et agriculteurs.

II. Présentation de l'entreprise



1. L'INRA : origine et évolution

Depuis 2006, L'INRA est le premier institut de recherche agronomique en Europe, et le deuxième dans le monde en nombre de publications en sciences agricoles et en sciences de la plante et de l'animal.

L'Institut National de la Recherche Agronomique a été fondé en 1946, suite à la deuxième guerre mondiale, avec comme but premier, répondre à l'objectif de pouvoir produire plus pour nourrir la France entière ; en période de pénurie alimentaire.

Placé sous le statut d'Etablissement public à caractère scientifique et technologique (EPST), il est sous la double tutelle du ministère chargé de la Recherche et du ministère chargé de l'agriculture. Les premiers scientifiques eurent comme mission de mettre la science et la technologie au service du développement de l'agriculture en améliorant les techniques de production (culture et élevage) et la sélection génétique, végétale et animale.

Dès 1960, la mission première de l'INRA est remplie, la France est autosuffisante. L'Institut National de la Recherche Agronomique est alors incité à se développer régionalement.

Dans les années 1970 la France devient exportatrice de denrées alimentaires, et se trouve confrontée à des excédents dans différents secteurs. Un nouvel objectif avec comme mots d'ordre : la qualité de produit ainsi que la valeur ajoutée ; voit le jour.

Les secteurs de l'ingénierie et de la microbiologie deviennent primordiaux, et seront privilégiés pour répondre à la problématique naissante. En s'associant avec le secteur industriel national en plein essor, l'INRA suscite et favorise la création de pôles agroalimentaires régionaux. La France devient premier exportateur de produits agroalimentaires.

Dans un même temps, la crise énergétique de 1973 pousse l'INRA à s'intéresser aux problèmes liés à l'environnement et au développement local, pour viser une agriculture plus autonome et plus économe, selon les dires du président-directeur de l'INRA de l'époque, Jacques Poly.

Vers 1980, les phénomènes de surproduction nationale, l'instauration de quotas laitiers, la prise de conscience de la pollution due aux activités agricoles, ainsi que les conditions de production et la qualité des produits donne à l'INRA de nouvelles problématiques à traiter, urgemment.

C'est à partir de cette époque que l'essor des biotechnologies marque le monde de la recherche ; l'Institut National participera au programme mobilisateur de 1982 sur les biotechnologies. L'INRA réussit un « tournant académique » visant à l'excellence scientifique. En 1984, l'institut devient un établissement public à caractère scientifique et technologique sous la tutelle conjointe des ministères en charge de la Recherche et de l'Agriculture. Ses nouvelles missions sont ciblées sur l'amélioration de la qualité des produits et de leur adaptation à la demande des consommateurs ; ainsi que sur la protection et la gestion des ressources naturelles et de l'espace rural.

Depuis 1990 les crises liées à la sécurité sanitaire des aliments se multiplient, et la demande des consommateurs se concentre sur une alimentation saine et de qualité. Ce facteur devient un élément économique moteur pour les secteurs de la production et de la transformation alimentaire. L'INRA porte alors ses projets de recherche sur un axe de sécurité sanitaire des aliments. (Développement de techniques pour lutter contre les contaminations microbiennes des aliments ; *Salmonella, Listeria* ...)

Parallèlement les préoccupations des citoyens conscients de l'influence de l'agriculture sur l'environnement pousse l'INRA à se diversifier et à étudier les interactions entre : agriculture, alimentation et environnement. L'institut s'intéresse aussi à la santé de l'homme, et il devient nécessaire de travailler sur l'alimentation et plus seulement sur les aliments.

Pour l'environnement, les études se portent sur la préservation des ressources naturelles et sur l'impact des activités agricoles sur l'environnement, plus précisément sur les écosystèmes.

Au début de ce XXI^{ème} siècle les nouveaux thèmes tels que, l'alimentation, la sécurité alimentaire, la biodiversité, les bioénergies, les maladies, le changement climatique...etc. mettent en évidence la nécessité d'agir pour un développement durable.

C'est pourquoi l'INRA oriente ses recherches dans ce sens, en ayant pris conscience que ces thématiques sont devenues prioritaires pour la société actuelle. Et c'est en créant des partenariats scientifiques et des unités mixtes associant institut de recherche, universités et enseignements agronomiques et vétérinaires qu'il y parvient.

Organigramme de l'UR 980 INRA SAD-Paysage

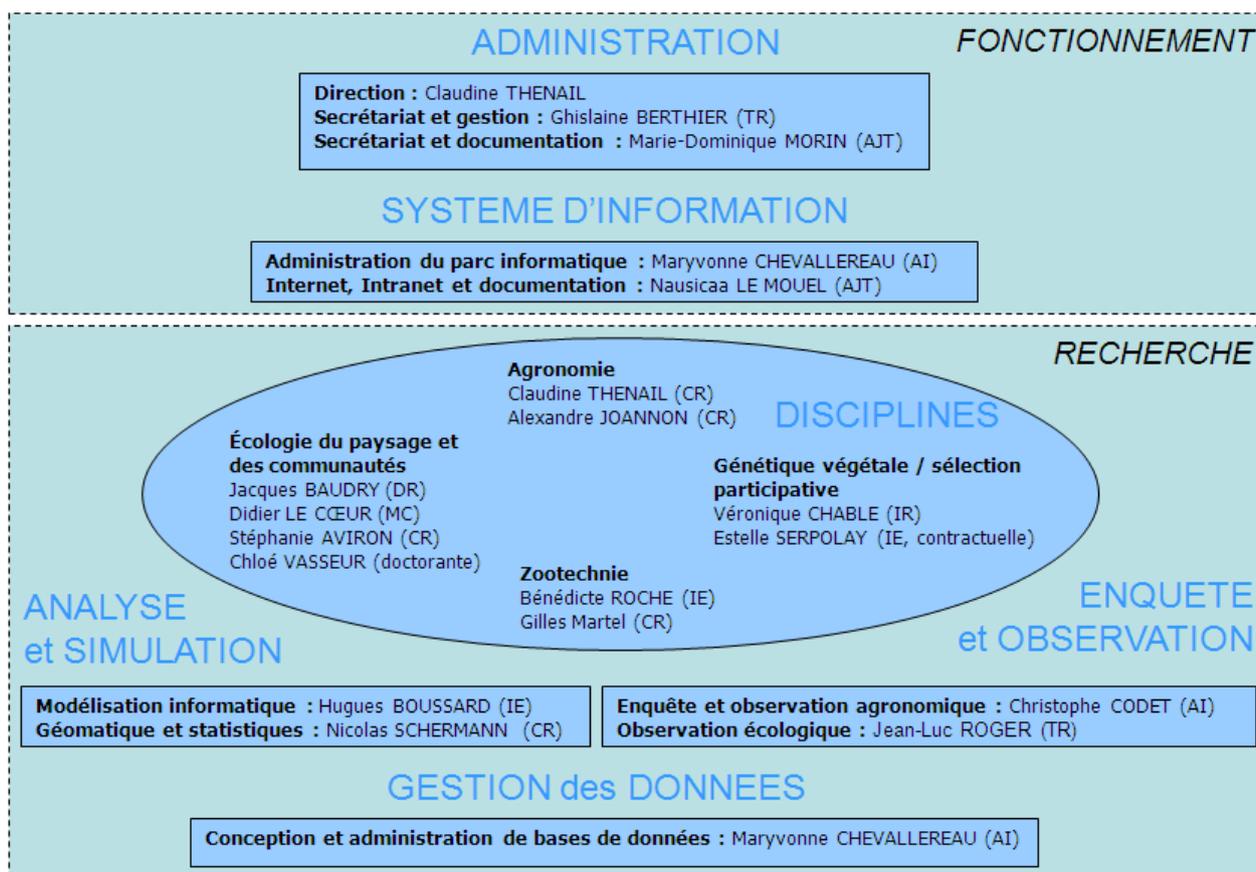


Fig. 1 : Organigramme SAD Paysage
 Source : www.rennes.inra/sad/equipe.fr

De plus, les approches scientifiques évoluent et l'institut développe des recherches interdisciplinaires qui font appel à des compétences et des disciplines plus larges, basées sur les critères de la durabilité ; et il s'appuie sur des techniques de recherche en pleine évolution qui ouvrent de nouvelles perspectives pour la compréhension du vivant.

La finalité de la recherche agronomique est aujourd'hui de contribuer à une alimentation saine et équilibrée, une « éco-agriculture » compétitive, une valorisation performante des produits de l'agriculture et de la forêt, un environnement préservé, un espace rural valorisé... pour un développement durable au niveau planétaire. (Source : site Web de l'INRA, 60 ans d'histoire)¹

2. Le centre INRA de Rennes

Le centre de recherche INRA de Rennes regroupe 1000 personnes dans 23 unités de recherche et d'expérimentation, réparties en Bretagne et Basse-Normandie.

Quatre thèmes sont traités au travers des recherches fondamentales et finalisées :

- Qualité des produits laitiers et innovations agro-alimentaires
- Evaluation globale des filières animales
- Qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques
- Résistance des plantes aux bio-agresseurs et environnement.

L'unité au sein de laquelle j'ai effectué mon stage est l'Unité de Recherche du département scientifique « Sciences pour l'Action et le Développement », le SAD Paysage.

3. L'Unité de Recherche Sciences pour l'Action et le Développement Paysage (SAD Paysage)

L'unité a été fondée en 1993 pour le développement de recherches systémiques sur les relations agriculture-environnement. Elle s'est ouverte à la zootechnie, la génétique et la modélisation.

Elle comprend 16 titulaires et 3 non titulaires en contrat de longue durée.

Le SAD Paysage est situé à l'Agro-campus Ouest de Rennes ainsi qu'au domaine de la Motte à Le Rheu. Cette unité développe ses recherches sur les interactions entre activités agricoles, paysage et biodiversité, au niveau de territoires agricoles et ruraux.

¹ www.inra.fr



Logo région Bretagne.

Source : www.rtl.fr

The logo for the association "Kaol Kozh" consists of the words "Kaol" and "Kozh" stacked vertically. The letters are in a serif font and are colored in shades of green and brown, with some letters overlapping.

Logo association « Kaol Kozh ».

Source : www.liorzhou.blogspot.fr



Logo association « Triptolème »

Source : www.semencespaysannes.org

Ces recherches poursuivent deux enjeux finalisés :

- La durabilité des pratiques agricoles impliquées dans la gestion des ressources paysagères et de la biodiversité.
- La préservation des fonctions écologiques et agricoles des paysages.

4. L'équipe biodiversité cultivée (Génétique Végétale et Sélection participative)

L'équipe composée de Véronique Chable (Ingénieure de recherche), ainsi que d'Estelle Serpolay (Ingénieure d'études), travaille sur le domaine de la Motte au Rheu, à l'ancien laboratoire de « la Quarantaine de pomme de terre ». Leurs sujets d'étude sont en totalité orientés vers la recherche participative sur la biodiversité variétale cultivée, le tout en agriculture biologique ou à très faibles intrants avec les moyens de divers projets de recherche au financement régionaux, nationaux et européens, en collaboration avec les organismes dédiés à l'agriculture biologique et les paysans du Réseau Semences Paysannes.

5. La recherche participative, pilier de la sélection paysanne régionale, et internationale

«[...] Avant 2000, l'agriculture biologique s'organise et crée ses structures représentatives, puis à partir de 2000, les perspectives d'application du règlement européen imposent l'utilisation de semences certifiées biologiques en 2004. De 2000 à 2009, devant le manque de semences certifiées biologiques, la sélection participative s'organise pour répondre au besoin de variétés adaptées et redonner l'autonomie semencière aux paysans. [...] (V.Chable 2010)².

Avec le support de l'INRA, l'équipe biodiversité cultivée de l'Unité SAD Paysage coordonne plusieurs projets participatifs qui visent à collecter et multiplier des semences de variétés patrimoniales.

L'un d'entre eux bénéficie d'un financement régional visant à rapprocher « science et société » en Bretagne, comme dans le projet « PaysBlé », lequel réunit quatre associations et deux unités de recherche qui sont : Kaol Kozh, Triptolème, Inter Bio Bretagne, La fédération des agrobiologistes de Bretagne, ainsi que EcoBio UMR 6553, et bien sur l'équipe biodiversité cultivée du SAD Paysage.

² (V. Chable, «Synthèse du séminaire Payblé » 2010.)



Ces études permettent de rapprocher les savoirs paysans et les connaissances scientifiques pour mieux observer les différentes caractéristiques des différentes formes de variétés cultivées ; paysans et chercheurs définissent ensemble leurs critères de sélection, en fonction des terroirs et des pratiques agricoles, très variées chez les agriculteurs en AB (Agriculture Biologique). Il s'agit aussi de répondre ensemble à un objectif global de renouveler les ressources génétiques paysannes parfois anciennes, mais qui, au cours des générations d'agriculteurs, se sont parfaitement adaptées à leur environnement régional et culturel.

L'unité Biodiversité cultivée est investie également de responsabilités scientifiques au sein de projets de taille européennes tels que « Farm Seed Opportunities » (2007-2010) qui a étudié et proposé les dispositions réglementaires spécifiques pour reconnaître, entretenir et stimuler la diversité en matière de systèmes semenciers en Europe ; ce programme fut financé par la Commission Européenne. (V.Chable 2010). Les critères de sélection principaux se basent sur les interactions génotype-environnement montrant une adaptation spécifique aux terroirs, et de ce fait, la sélection participative s'écarte fortement du modèle de culture conventionnel et de sélection d'après guerre, qui visait à sélectionner des variétés « élites » choisies pour répondre sur de larges territoires, grâce à l'apport d'intrants chimiques, aux besoins d'une agriculture pressée et intensive. (Bonneuil C., Thomas F., 2009)³

« Le tournant participatif de l'amélioration des plantes entre ici en synergie avec le tournant participatif, opéré autour du sommet de la Terre de Rio en 1992, des politiques de protection de la biodiversité. » (Bonneuil C., Thomas F., 2009)

Ainsi grâce aux issues positives du projet « FarmseedOpportunities » formé de 12 partenaires, concluant sur les capacités rapides d'adaptation des populations paysannes et des propositions réglementaires pour le législateur européen, un autre projet Européen et International a pu voir le jour : « Solibam »

Logo « Solibam »

Source : www.rennes.inra.fr



³(Bonneuil C. et Thomas F., Gènes, pouvoirs et profits, Quae, 2009)

Celui-ci constitué de 23 partenaires au travers des pays tels que : l'Italie, la Grande Bretagne, le Danemark, l'Allemagne, le Portugal, l'Espagne, la Hongrie, la Suisse, l'Autriche, le Mali, l'Ethiopie et bien sûr la France ; exploite les résultats des différents essais de variétés paysannes, ainsi que des essais de populations dynamiques à différents niveaux de diversité, avec la participation de plusieurs artisans-semenciers européens, et évidemment grâce aux agriculteurs internationaux, sans qui rien ne pourrait être étudié.

Le projet européen « Solibam » a pour objectif de développer des approches intégrées de la création variétale et des pratiques agronomiques pour améliorer les performances, la qualité des produits, la « durabilité » et la stabilité des systèmes en agriculture biologique et faibles intrants en Europe et en Afrique sub-Saharienne.

L'hypothèse sous-jacente est que des populations diversifiées, dans divers systèmes d'agriculture biologique et faibles intrants, montrent une meilleure résistance face aux « stress » et sont ainsi plus aptes à s'adapter aux variations environnementales.

« Solibam » conçoit développe et expérimente des systèmes agricoles innovants en grandes cultures et en culture légumières basés sur un haut niveau d'agro-biodiversité.

Ils seront conçus pour optimiser les systèmes biologiques et à faibles intrants, évaluant l'impact sur l'environnement non cultivé, mais aussi sur les valeurs nutritionnelles, organoleptiques et les qualités spécifiques pour la transformation en produit fini.

(Source : Plaquette publicitaire SOLIBAM et site internet Solibam)⁴

Ces nouveaux projets en développement s'attachent particulièrement aux critères de « qualité », largement oubliés par la sélection moderne. Avec les partenaires de SOLIBAM, des études méthodologiques sont appliquées aux différents essais variétaux, sur différents terroirs, en agriculture biologique et faibles intrants. Il est donc impératif de s'intéresser aux moyens et techniques d'analyse de la qualité en agriculture biologique déjà mis au point dans des institutions parraines de l'agriculture biologique, en France et en Europe.

⁴ www.solibam.eu





*Fédérer tous les acteurs de la
recherche-expérimentation biologique
pour faire progresser la technique en AB*

Source illustration :

www.itab.asso.fr



]]]. Analyse de la Qualité en agriculture biologique

1. Un institut pionnier : L'Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB)

Créé en 1982, l'ITAB, partenaire de SOLIBAM, est un organisme dédié à la coordination nationale de la recherche expérimentale en agriculture biologique, géré par des professionnels. L'institut rassemble les experts, de terrain, de la recherche et les professionnels afin de produire des références techniques sur le mode de production biologique, via des techniques d'analyse de la qualité de leurs produits, utiles aux agriculteurs en AB. ainsi qu'en conventionnelle.

(Source : site web de l'ITAB)⁵

L'agriculture biologique a été développée en réaction face à l'intensification des cultures industrielles conventionnelles, le but était de produire, certes en moins grande quantité mais en visant une meilleure qualité.

Les méthodes d'analyse de la qualité globale, postulent que les aliments ne sont pas qu'un ensemble composés biochimiques (protéines, lipides, glucides, minéraux, vitamines...), mais que ces éléments constitutifs sont régis par des forces structurantes propres.

Les analyses classiques employées de nos jours en grand nombre, ne rendent pas compte de la manière dont l'aliment est organisé (texture, structure...) ou s'est élaboré.

Ces dernières nécessitent le plus souvent que l'aliment soit transformé (déshydratation, broyage, centrifugation, extraction, révélateurs, dosages...) cette ou ces transformation entraîne alors certaines pertes d'informations qui semblent importantes pour une connaissance plus fine du produit.

Remarquons que si les différents éléments constitutifs d'une plante (composés chimiques, biologiques, protéines, gènes, vitamines,...) sont mélangés dans un bocal, puis soumis à différentes actions, ce n'est pas pour autant que cette plante vivante sera reconstituée. (*Taupier-Létage B., 2009*)



Logo « ITAB »Source : www.itab.asso.fr

⁵ www.itab.asso.fr

Ce sont ces forces assurant les processus vitaux et de structuration que souhaitent étudier les chercheurs qui s'intéressent à la qualité en agriculture biologique. Les premiers précurseurs en agriculture biologique, et notamment Rudolph Steiner, fondateur de la Biodynamie, ont estimé qu'en remplaçant l'utilisation de fumier, par des produits chimiques, une perte de vitalité des plantes s'opérerait, donc des aliments, et par conséquent n'aurait pas une influence positive sur les hommes.

L'apport de fumier, très riche en microorganismes divers, favorise l'activité biologique des sols, en permettant une « liaison active » entre la plante et le sol et donc les aliments plus « riche » pour l'homme. Les promoteurs de l'agriculture biologique et biodynamique considèrent que dans un aliment, il y a tout d'abord une composante « biochimique », indispensable à l'entretien des fonctions physiologiques de base de l'homme. Mais il y a aussi une autre composante dite « énergétique » aussi essentielle, en lien avec cette notion de « vitalité » qui contribuerait à nourrir d'autres aspects plus subtils de l'être humain. De nombreuses analyses ne montrent pas des différences sur les composants chimiques majeurs entre les produits issus des différentes formes d'agriculture. L'ITAB a entrepris depuis de longues de collecter les expériences européennes en matière d'analyses complémentaires aux analyses classiques de la qualité nutritionnelle. L'ITAB associé à l'INRA s'organisent pour tester la validité scientifique des méthodes dites « globales », et vérifier qu'elles respectent les mêmes critères que les autres méthodes classiques d'analyses : fiabilité, répétabilité, etc...

« La Bioélectronique de Vincent (BEV) se situe également dans cette logique de choisir les « bons » aliments pour l'homme. » (Taupier-Létage B., 2009)⁶

Lors d'un colloque organisé en 2011 sur les méthodes d'analyse de la qualité, l'ITAB a réuni de nombreuses compétences européennes dont des praticiens de la Bioélectronique de Vincent (BEV). La BEV est technique s'appuyant sur les propriétés vitales d'un milieu aqueux ou d'éléments en solution aqueuse (richesse en éléments : électrons, protons, sels minéraux).

⁶ (Taupier-Létage B., « Méthodes globales d'analyse de la qualité » ITAB 2009)

2. Evaluation et suivi de la qualité d'un sol en agriculture biologique

Un des premiers champs d'investigation des professionnels de l'AB est le sol. Les pionniers ont insisté sur la qualité du sol pour réussir une agriculture biologique. Il ont introduit la notion de « santé du sol » qui est associée à la présence de micro-organismes, d'une faune et d'une flore nécessaire à son maintien.

Les accidents pathologiques d'une culture ou un apport de matières nocives telles des intrants chimiques, entraînent une perturbation des éléments vivants, le sol sera donc en moins « bonne santé générale » et ne fournira pas des conditions optimales à la culture suivante. Au niveau écologique, on essaie aussi d'attirer l'attention sur le fait que la biodiversité du sol est étroitement liée à celle des plantes et des animaux qui y vivent, que le sol assure des fonctions écosystémiques qu'aucun autre organisme n'effectue comme le processus de nitrification n'est possible que par quelques microorganismes du sol. (*Parker, 2010*)⁷.

Les analyses accréditées qui existent déjà en laboratoire d'analyse des sols, ne traitent qu'un caractère de santé générale du sol à la fois, en visant à calculer sa composition en tel ou tel constituant ou alors en calculant sa teneur en certains minéraux et autres composés comme les pesticides par exemple. (cf. figure H1. Tableau analyses « cofrac » labo. sols INRA d'Arras)

Le premier inconvénient de ces analyses est qu'elles sont chères à réaliser pour un agriculteur, et de plus impraticable par lui-même.

Le deuxième est qu'elles ne traitent qu'un seul caractère à la fois, et qu'il faut donc effectué une batterie d'analyses pour pouvoir évaluer la qualité générale du sol en question. Elles ne sont pas adaptées au suivi d'une culture dans le temps.

Et enfin le troisième est que la grande majorité de ces techniques utilise des produits chimiques hautement toxiques pour l'environnement, qu'il faut traiter afin de ne pas polluer les milieux naturels situés près du centre d'analyses.

⁷ Sophie S. Parker (2010) Buried treasure: soil biodiversity and conservation.

Biodivers Conserv 19:3743–3756

Le sol est un champ d'application récent de la BEV, notamment par une équipe du CIRAD. Au sein du SAD Paysage, au laboratoire de l'équipe biodiversité cultivée, nous repartons de cette approche pour mettre au point une technique d'analyse de l'état des sols, le tout à un moindre coût, et facilement reproductible pour des associations d'agriculteurs ne possédant pas les moyens de faire analyser, et pour apprécier une dynamique d'évolution au sein des programmes d'étude de biodiversité cultivée ; menés au travers des projets nationaux et internationaux. Au niveau écologique, on essaie aussi d'attirer l'attention sur le fait que la biodiversité du sol est étroitement liée à celle des plantes et des animaux qui y vivent (Parker, 2010)



Louis Claude Vincent, fondateur de la Bioélectronique.¹

« La vie a ses lois. Ce sont elles qu'il faut connaître, respecter et enseigner pour une meilleure santé. »

Louis-Claude Vincent (1986)

¹ Source image : www.atlantipedia.ie

/V. Etude bibliographique

1. La bioélectronique de Vincent (BEV)

Né en 1906, Ingénieur hydrologue, diplômé de l'Ecole Supérieure des Travaux Publics en 1925, Louis Claude Vincent travaille au sein des travaux d'hygiène publique (adduction d'eau, assainissement, etc.). L.C.Vincent fut professeur en hygiène alimentaire à l'école d'anthropologie de Paris de 1955 à 1960, où il donne notamment des cours sur les boissons. Il travaille dès 1948 avec le Docteur en pharmacie Jeanne Rousseau, et fonde avec elle le centre de recherche bioélectronique à Avrillé entre 1961 et 1964.

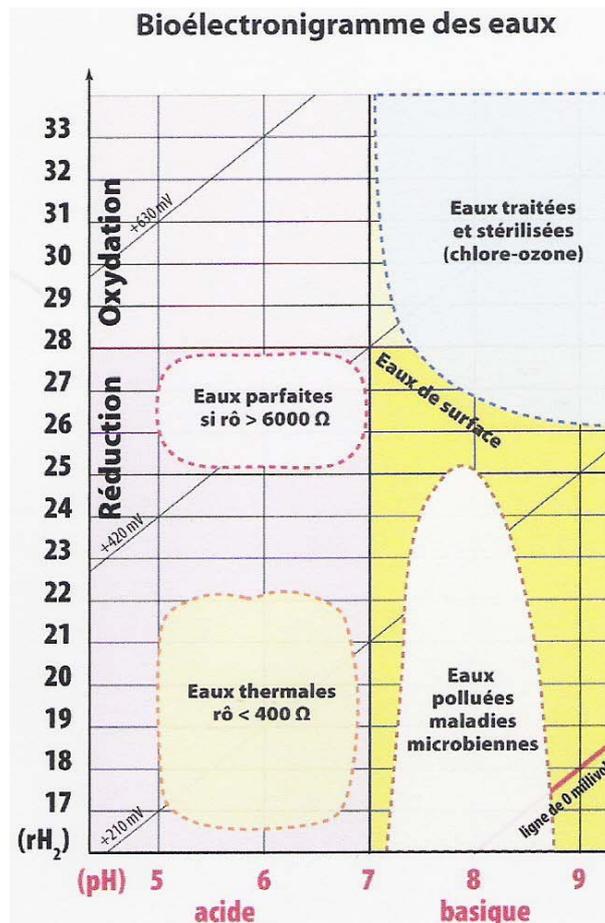
Dès 1936, L.C.Vincent énonce l'observation suivante : « *Les taux de mortalité de maladies de tous ordres, et notamment tuberculoses, troubles cardio-vasculaires et cancers, sont directement liés à la qualité de l'eau délivrée aux populations. Ils croissent en particuliers lorsque ces eaux sont très minéralisées et rendues artificiellement potables après traitement physiques et addition de produits chimiques oxydants.* » (A. Fougerousse, et al 1992)⁸

Afin d'élaborer une explication scientifique de ces faits, L.C. Vincent propose en 1946 l'utilisation de 3 paramètres physico-chimiques pour qualifier une phase aqueuse :

- Le pH, qui mesure le degré d'acidité, c'est-à-dire la quantité de protons [H⁺]
- Le rH₂, qui reflète le pouvoir oxydo-réducteur, c'est-à-dire la disponibilité en électrons
- La résistivité (rhô) qui mesure la facilité de passage d'un courant électrique, grandeur qui est proportionnelle à la concentration ionique, la conductivité.

En étudiant ces 3 paramètres, sur nombre de phases aqueuses, et en étendant ces études aux liquides du corps, sang, salive et urine ; Louis Claude Vincent réussit à définir de façon quantitative la notion de « terrain » et en propose une détermination objective en 1948. Il permet ainsi une approche scientifique pour expliquer les observations de Béchamp (contemporain de Pasteur), Tissot et Grigoraki sur le polymorphisme bactérien et pour comprendre cet aveu, tardif, de Pasteur : « Le microbe n'est rien, le terrain est tout »

⁸ (A. Fougerousse, et al., « *Biologie et électronique* », Sciences du vivant, 1992)



Premier bioélectronigramme des eaux établi par L.C. Vincent.

Source : J.P. Chuine, www.bevincent.fr

L.C. Vincent ayant démontré qu'une eau alcaline et réductrice est favorable aux microbes pathogènes, une eau alcaline et oxydée aux virus, une eau acide et oxydée aux mycoses et champignons et une eau acide et réductrices aux microbes banaux ; il établit le premier bioélectronigramme des eaux. (J.M. Danzé, 2011). Grâce à ses travaux effectués en santé humaine en Allemagne avec Franz Morell, il retrouva les mêmes caractéristiques sur le sang humain.

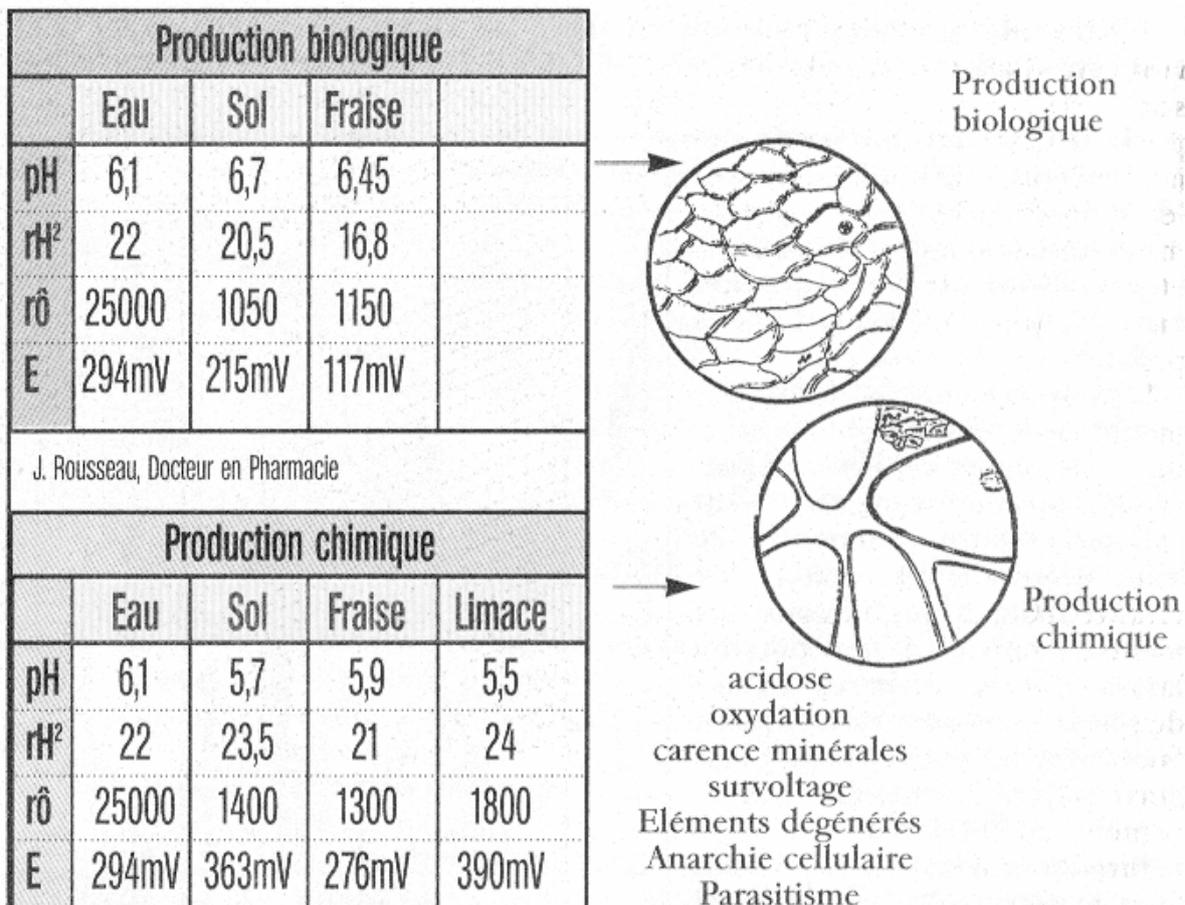
Cette méthode analytique a été minutieusement réétudiée après le décès de L.C Vincent, au moyen de données statistiques par la Société Internationale de Bioélectronique selon Vincent (SIBEV) sous la présidence du Dr. Franz Morell (Allemagne), et à l'initiative de l'ingénieur E.Rasche. Des cliniques allemandes où la bioélectronique est appliquée ont collaboré à ces études.

Les données issues de cette étude, ont permis d'apporter certaines corrections au référentiel mis au point grâce aux mesures observées sur des personnes saines par L.C.Vincent. Il a également été mis au point un logiciel capable de traiter les résultats mesurés sur les liquides du corps humains, le logiciel « BEVVIN » de « Med-Tronik ».

Ainsi les fluctuations des trois paramètres observés sur les trois liquides, donc neuf au total, permettent de suivre l'évolution du terrain d'une personne, qui peut prendre plusieurs directions : aggravation, constance, tendance à l'irréversibilité, curabilité, rétablissement, le tout en fonction des traitements, régimes alimentaires et modes de vie adoptés.

En France, il y a encore très peu voire aucun laboratoire d'analyse qui utilise cette méthode dite de BEV ; de par mes recherches, j'ai pu trouver une Psychologue-Naturopathe qui étudie les données bioélectroniques de personnes, pour observer les évolutions des paramètres, sur le sang, la salive et l'urine ; suivant un régime, ou une adaptation du mode de vie de ses patients. Elle se nomme Laurence Gallais et effectue ses analyses à Challans en Vendée. Car si en France la Bioélectronique est encore méconnue, voire parfois discréditée et déconsidérée, d'autres scientifiques l'utilisent notamment la NASA pour suivre l'état de santé de ses astronautes lorsqu'ils sont en mission, loin d'un laboratoire conventionnel. Les Américains de la NASA n'ont pas hésité à breveter un appareil de bioélectronique sans jamais se soucier de la propriété intellectuelle du scientifique hydrologue français. (J.M. Danzé, 2011)⁹

⁹ (J.M. Danzé « Une méthode ignorée de l'évaluation du terrain, la bioélectronique de Vincent » 2011)



Analyse de fraise par la bioélectronique par Jeanne Rousseau

Source : www.bevincent.fr

2. Applications Agronomiques de la BEV : travaux de Jeanne Rousseau

Jeanne Rousseau docteur en pharmacie, s'associe en 1956 avec Louis Claude Vincent pour créer le centre de bioélectronique à Avrillé (Maine et Loire) et adapte la méthode à plusieurs types d'analyses biologiques.

Elle s'intéresse particulièrement à l'agriculture biologique et à cet aspect « énergétique » des aliments, des plantes et de leur environnement nourricier. Elle réalise des observations étonnantes sur les différences entre paramètres et sur les aspects d'organisation cellulaire, sur plusieurs études menées sur différents fruits et légumes (extraction d'un jus pur, représentatif de la santé cellulaire intrinsèque, facilement praticable). (cf. illustration ci-contre)

Sur la figure ci-contre, un extrait d'étude menée par Jeanne Rousseau sur des fraises de différents types d'agriculture.

On peut observer un sol plus neutre sur la culture biologique, légèrement acide, il est également plus riche en électrons que le sol de production chimique car ayant un rH_2 plus faible, donc solution plus réductrice. Les fraises de production chimiques sont comparativement « survoltées », et de même pour le sol, qui est lui aussi plus oxydé que le biologique. A cause de ce survoltage on peut voir que le milieu devient plus compatible avec le fonctionnement de la limace. L'organisation cellulaire est également témoin de ce dysfonctionnement : sur les fraises biologiques, on observe des cellules compactes et en bonne forme tandis que la fraise de production chimique produit des cellules qui sont désordonnées, d'une taille très supérieure à celle observée sur les biologiques. Il y a un manque de minéraux sur les fraises et le sol chimiques, car la résistivité est plus forte sur ce type d'agriculture donc la conductivité est plus faible.

Une acidose, une forte oxydation, un survoltage, une carence minérale, une anarchie cellulaire telle est la conclusion de Jeanne Rousseau sur cette étude.

C'est donc grâce à la technique de bioélectronique de Vincent, que le docteur Jeanne Rousseau a réussi à démontrer des différences notables entre plusieurs produits issus de l'agriculture biologique et d'autres issus de production chimique.



Le Docteur Jeanne Rousseau.
Source photo : www.risc.tv

Ces études retransmises au travers de plusieurs ouvrages plus ou moins contemporains nous permettent d'observer des caractéristiques jusqu'à lors non remarquées par des analyses conventionnelles, et mettant en valeur un aspect global des produits, et non seulement la composition biochimique intrinsèque de ceux-ci. Bien sur ils ne peuvent être exploités tels quels, car la base de données de mesure de ce Docteur n'étant pas divulguée, il est impossible d'affirmer la pertinence de ces résultats, sans avoir le recueil total des mesures effectuées. Néanmoins les résultats ou extraits de ces études datant des années 1960 affirment une nette différence entre la qualité et l'apport énergétique, d'un point de vue « vitalité », entre plusieurs produits de cette époque, issus de deux agricultures totalement différentes. Les analyses du docteur Jeanne Rousseau contribuent à étayer une hypothèse de travail sur le rôle correctif des plantes cultivées de façon naturelle qui ramènent les paramètres bioélectroniques de l'eau vers un état d'équilibre propice à la santé, et sur l'inconvénient de produits de l'agriculture chimique intensive qui « se survolent » et qui ne se construisent pas de façon organisée. (A.Fougerousse, et al. 1992)

3. La dynamique de l'eau par Jeanne Rousseau

Jeanne Rousseau observe également des variations dans le temps en poussant ses mesures, sur différents milieux aqueux. Ces constatations la conduisent à énoncer que « l'eau possède une identité biologique liée au milieu dans lequel elle évolue ». (A.Fougerousse et al.1992)

C'est ainsi que grâce à ses observations effectuées dans le temps sur plusieurs eaux vives (eau de mer, de fleuves, de sources...) elle pu mettre en évidence la propriété essentielle de l'eau dans la nature, et l'état dynamique de son équilibre. (J. Rousseau et al., 1991)¹⁰

Car d'après ses relevés, une eau courante devenue stagnante subit rapidement, sans qu'il y ait apport extérieur de quoi que ce soit; une modification des 3 paramètres : la résistivité s'effondre, le pH dévie vers l'acidose et le rH2 vers un état de réduction.

Elle en déduit donc que le mouvement s'avère être générateur d'une structuration de l'eau.

La propriété d'une eau vive, dans son milieu naturel, apparaît liée à 3 facteurs :

- La concentration en ions issus des éléments minéraux solubles, facteur chimique ;
- Son mouvement, facteur cinétique ;
- Sa température, facteur thermique. (J. Rousseau 1993)¹¹

¹⁰ (J. Rousseau et al., « L'eau », vol. 2, Sciences du vivant, 1991)

¹¹ (J. Rousseau, Applications diverses de la bioélectronique, Sciences du vivant, 1993)

Ainsi pour Jeanne Rousseau, l'interprétation des paramètres bioélectroniques lorsqu'il s'agit d'un milieu vivant (l'eau, du sol, du sang ou de la sève) ne peut se limiter au seul aspect chimique, mais doit prendre en compte l'existence de structures altérables, tributaires elles mêmes du facteur physique qu'est le mouvement.

L'équilibre dynamique défini par le Docteur Rousseau qui caractérise l'adaptation de l'eau au milieu dans lequel elle évolue, lui a permis d'établir une corrélation flagrante existantes entre les paramètres bioélectroniques et les phases d'activité lunaire et solaire, mais aussi avec les périodes d'orages et de séismes.

Elle conclut que cette propriété de résonance est d'autant plus sensible, que la solution est concentrée en ions, après de nombreuses études menées sur des eaux de sources, de pluies d'orage, ainsi que sur les marées. (*J. Rousseau, 1993*)

4. La qualité des sols étudiée par Jeanne Rousseau

Le Docteur Jeanne Rousseau s'est également occupé d'étudier la qualité globale de différents sols, en observant leurs évolutions au cours des saisons et de fertilité variable.

Dans ces études, elle compare l'effet des intrants sur un sol conventionnel avec celui d'une agriculture biologique, il est retranscrit que l'apport d'engrais chimique « survolte » le sol par rapport au sol biologique, que cette action contribue à une carence minérale car la résistivité augmente comparativement.

En suivant l'évolution de plusieurs sols durant une année le docteur relève une suroxydation croissante proportionnelle à la décroissance de fertilité, depuis le printemps jusqu'à l'automne qui est donc le cycle normal du sol : printemps période de végétation, été croissance et reproduction, et automne repos du sol, sommeil de la végétation.

Mais ces différences sont très notables suivant les terrains ; le sol fertile a un potentiel redox de 204 mV au printemps contre 339 et 603 mV pour les champs peu fertiles et parasités respectivement. Cette évolution les conduit à 430 mV pour le sol fertile en automne et 555 et 660 mV pour les sols fertile et parasités, dans cet ordre. On peut alors bien comprendre grâce à ces études que plus un sol est oxydé, moins il sera fertile. Jeanne Rousseau a aussi étudié le comportement et la santé des plantes lors des phases de germination par exemple sur le blé, le tamari, le haricot, le soja, le miso, et la pomme de terre. (*J. Rousseau, 1993*)

Elle s'est également intéressée à plusieurs phénomènes de fermentation connus et employés comme la fabrication de fromages et la panification sur levain et sur levure. (J.Rousseau, 1993)

5. Botanique du blé

Le blé est une céréale qui appartient au genre *Triticum*, de la famille des *Poaceae*. La domestication et la culture du blé est l'un des éléments fondateurs des premières civilisations humaines. Actuellement, le blé fait partie des trois céréales les plus cultivées au monde, avec le riz et le maïs. (Source : *Le marché du blé dans le monde*)¹²

6. Histoire de la culture du blé

La culture du blé a débuté il y a plusieurs milliers d'années, entre 8900 et 7000 av. JC, avec l'apparition des premières techniques agricoles. La domestication de certaines plantes, dont le blé, a entraîné la création des premières communautés villageoises sédentaires et a abouti à la disparition progressive du mode de vie « chasseur-cueilleur ». L'ancêtre du blé moderne, *Triticum monococcum*, a été découvert pour la première fois en Grèce par Link en 1833. La première classification naturelle des blés a ainsi été établie par Shultz en 1913 puis renforcée par des travaux de cytogénétique (Sakamura, 1918) qui ont permis de déterminer le nombre de chromosomes de différents blés. Les blés cultivés ont ainsi été classés en trois groupes principaux : les blés diploïdes, les blés tétraploïdes et les blés hexaploïdes. A partir du 19^{ème} siècle, certains agriculteurs se spécialisent dans la sélection et la production de nouvelles variétés. C'est le cas de Louis de Vilmorin dont la famille est impliquée dans le commerce des graines depuis le 18^{ème} siècle. Dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle, il est apparu que les blés hexaploïdes cultivés résultaient d'hybridation spontanée entre des blés cultivés tétraploïdes et des espèces sauvages diploïdes. (A. Bonjean)¹³

¹² www.capmarche.chambagri.fr

¹³ Alain Bonjean « Histoire de la culture des céréales »
dossiers de l'environnement de l'INRA n°21



Source illustration :
www.marocagriculture.com

7. Culture du blé en agriculture biologique en association avec d'autres espèces

En agriculture biologique, le blé peut être cultivé seul ou bien en association avec des variétés de plantes de la famille des légumineuses. Certains cultivent même en culture intermédiaire des légumineuses afin de préserver une majeure partie de l'azote, car le terrain est souvent victime du phénomène de lixiviation, communément appelé « lessivage du sol » qui intervient en hiver. Ce phénomène provoque des pertes en azote importantes. Une culture en association permet aussi de faire entrer en compétence le blé et la légumineuse, de par ce fait le blé ne dispose plus autant d'azote et sent la présence d'une autre plante à ses côtés.

Une étude réalisée par l'INRA UMR 1248 de Castanet-Tolosan et par le CREAB de Midi-Pyrénées démontre que la culture de blé en association avec des légumineuses améliore la qualité du grain de par sa teneur en protéines qui en est augmentée. Et par comparaison à un blé non associé, il produit moins en général mais est de meilleure qualité. (E. Justes, et al. 2009)¹⁴

8. Nouveaux utilisateurs de la BEV en agronomie

En France, certains acteurs de la recherche en agronomie, plus précisément ceux qui s'intéressent à la qualité et à la santé du monde végétal et du sol se penchent de plus en plus sur la BEV. J'ai pu au cours de mon stage prendre contact avec Olivier Husson, membre du CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) basé à Montpellier, qui effectue des recherches grâce à la BEV sur la santé des sols en rizières. Il nous a transmis ses méthodes d'analyses ainsi que quelques conseils pour pouvoir commencer à mettre au point une nouvelle technique d'analyse BEV avec le matériel que nous avons commandé.

L'agronome Michel Barbaud, géo-biologiste qui a été formé par Jeanne Rousseau elle-même, nous a aussi apporté des réponses à nos questions sur les premiers résultats des manipulations réalisées. Un membre de l'équipe biodiversité-cultivée a également suivi une formation de bioélectronique par Michel Barbaud.

Un protocole officiel ou norme AFNOR, n'ayant pu être trouvés car inexistant, et les techniques utilisées en France n'étant pas les mêmes, nous avons d'abord essayé de réunir l'information dispersée ; puis, nous avons, adapté et modifié les techniques pour obtenir une plus grande stabilité des résultats, et une meilleure praticabilité vis-à-vis du matériel à disposition.

¹⁴E. Justes, et al. « Innovations Agronomiques » 4, 165-176, (2009)

V. Problématique du stage

L'équipe « Recherche participative et biodiversité cultivée » s'est intéressée à la bioélectronique pour qualifier de manière globale et par les mêmes outils, différents sols et plantes. Cette méthode offre la possibilité de qualifier et différencier, dans un même temps, des sols et des plantes au sein de cultures de plusieurs variétés différentes. Cette problématique est issue d'un travail de fond mené en collaboration avec l'ITAB pour introduire de nouvelles techniques d'analyse de la qualité en agriculture biologique, techniques largement utilisées hors de nos frontières et qui ont fait l'objet d'échanges et de débats lors de colloques organisés par l'ITAB, en 2009 et 2011 à Paris. Les acteurs de la filière agro-alimentaire bio sont très demandeurs d'études sur ces méthodologies. L'objectif principal du stage a été d'introduire cette méthode de bioélectronique au laboratoire, en mettant au point une technique d'analyse des sols fiable et facilement reproductible. Ainsi, après cette première étape méthodologique, le laboratoire pourrait donc se pencher sur les interactions existantes entre la biodiversité cultivée et le milieu. Car si la méthode de bioélectronique permet de qualifier plusieurs aspects d'un sol, elle pourra alors devenir un outil de pilotage des systèmes agronomiques à part entière. La question posée dans le cadre de ce stage est : « les mesures bioélectroniques permettent-elles de mettre en évidence des différences sur le sol selon l'association qui y est cultivée (variété de blé et légumineuse) ? »

Ainsi, pour répondre à ces questions, il m'a été demandé dans le cadre du stage, dans un premier temps, de mettre au point la méthode de mesure sur les sols, et dans un deuxième temps, de l'appliquer à un essai en place.

Cet essai comprenait différentes variétés de blé, chacune associée à différentes légumineuses, l'objectif était de voir si la méthode de bioélectronique mise au point permet de discriminer le sol selon la culture (variétés, légumineuses et interaction).

Cultivé sur les terres de l'INRA sur le domaine de la Motte au Rheu, l'essai contenait plusieurs variétés de blé structures variétales différentes : une lignée pure (Renan), une landrace (Sixtee) et un mélange de populations.

Cet essai a été semé en association avec des légumineuses : Trèfle sous-terrain, Trèfle blanc, Minette ou Lotier, pour également essayer de différencier l'impact de ces associations avec les variétés de blé sur le sol ; via la BEV.



Appareil CONSORT C3050

Source : www.consort.be

V|. Matériels et méthodes

1. Matériel

a. Matériels de laboratoire

Mon stage a commencé par l'équipement et l'organisation du laboratoire. Afin d'introduire et de mettre au point une nouvelle méthode d'analyse de la qualité des sols par la bioélectronique, il a fallu commander le matériel nécessaire pour pouvoir mettre en place cette technique au laboratoire, qui se base sur quatre principaux caractères physico-chimiques. (pH, rh \hat{O} , eH, rH₂), mesurés dans une solution aqueuse. Pour s'assurer que l'appareil de mesure était bien calibré, et qu'il était fiable sur les valeurs qu'il indiquait, des solutions d'étalonnage et de contrôle pour chaque paramètre ont été également commandées avec des pipettes jaugées pour obtenir les bonnes concentrations de solution étalon.

Par une analyse bibliographique, nous avons déterminé le type de verrerie nécessaire, qui n'interférerait pas avec la solution à mesurer, ainsi que du matériel de mélange inerte vis-à-vis de la solution. Nous avons complété le laboratoire avec une balance, thermomètre digital et pissettes. Une tarière déjà au sein du matériel de l'équipe biodiversité cultivée a servit à effectuer les prélèvements dans le sol, par carottage.

Matériel total :

- Appareil CONSORT C3050 avec sonde de pH, sonde de conductivité, et sonde d'ORP. (Oxydo-réduction potential)
- Balance BLAUSCAL de précision 0.01g (max.600g)
- 20 Béchers de 250 mL de marque SCHOTT-DURAN
- 2 pipettes jaugées de 10 mL et 5 mL
- 3 cuillères en céramique
- Solutions étalons de pH HANNA INSTRUMENTS. (4, 7, 10)
- Solutions étalons de conductivité HANNA INSTRUMENTS. (84 μ S, 1413 μ S, 12880 μ S)
- Solution étalon de potentiel rédox HANNA INSTRUMENTS (240 mV)
- Solution de contrôle rédox HANNA INSTRUMENTS (200-275 mV)
- Eau distillée, eau osmosée, eau du robinet, eau Cristalline, eau filtrée par carafe BRITA.
- Sacs plastique type sacs congélation
- Bassine plastique

Haie			Répétition
Minette	Minette	Minette	1
Lotier	Lotier	Lotier	
Blé Seul	Blé Seul	Blé Seul	
Trèfle Michelli	Trèfle Michelli	Trèfle Michelli	
Trèfle Blanc	Trèfle Blanc	Trèfle Blanc	
Trèfle souterrain	Trèfle souterrain	Trèfle souterrain	
Trèfle souterrain	Trèfle souterrain	Trèfle souterrain	2
Minette	Minette	Minette	
Lotier	Lotier	Lotier	
Trèfle Michelli	Trèfle Michelli	Trèfle Michelli	
Trèfle Blanc	Trèfle Blanc	Trèfle Blanc	
Blé Seul	Blé Seul	Blé Seul	
Blé Seul	Blé Seul	Blé Seul	3
Trèfle souterrain	Trèfle souterrain	Trèfle souterrain	
Trèfle Michelli	Trèfle Michelli	Trèfle Michelli	
Minette	Minette	Minette	
Lotier	Lotier	Lotier	
Trèfle Blanc	Trèfle Blanc	Trèfle Blanc	
<u>Variété de blé</u>			
<u>Renan</u>	Minette	Minette	Minette
<u>Sixte</u>	Lotier	Lotier	Lotier
<u>Mélange</u>	Trèfle Blanc	Trèfle Blanc	Trèfle Blanc

Représentation graphique de l'essai réalisé en champ

- Tarière

L'appareil de mesure a alors été calibré, et testé sur les différentes solutions de contrôle. Il effectue lui-même l'équation de Nernst permettant le calcul du rH2.

b. Dispositif expérimental au champ

● *Caractéristiques de l'essai*

L'essai d'associations de différentes variétés de blés et de différentes variétés de légumineuses était sur le même terrain à proximité immédiate de la parcelle témoin.

L'essai mesurait 3 x 50 m², et il comprenait une association de chaque variété de blé avec chaque variété de légumineuse ; le dispositif était répété trois fois sur la longueur de la parcelle. Pour chaque répétition, les variétés de blé étaient disposées en bande. L'ordre des bandes était différent d'une répétition à l'autre. Les bandes de blé étaient divisées en sous parcelles sur lesquelles les légumineuses étaient distribuées aléatoirement. Une « sous-parcelle » de blé sans association était considérée comme témoin neutre.

L'essai a été cultivé selon les contraintes de l'agriculture biologique par l'équipe biodiversité cultivée.

● *Description des variétés de blés étudiées en essai*

Trois variétés de blé ont été semées pour former l'essai qui servira à étudier l'interaction entre le sol et les blés, associés ou non. Ces trois variétés représentent des niveaux de diversité génétique totalement différents. Les variétés sont les suivantes :

- Renan : lignée pure de blé tendre d'hiver, donc homogène génétiquement, tolérante aux herbicides à base de chlortoluron et à la rouille jaune et brune. Variété INRA distribuée via « *Agri Obtention* », filiale de l'INRA.
- Sixtee (*Sixtee sur Aff 346*) variété population de blé (« landrace »), hétérogène génétiquement, d'Ille et Vilaine, du village de Sixt sur Aff où en 1968 Gérard Doussinault, chercheur à l'INRA de Rennes, récupère 11 variétés de blé. Deux d'entre elles furent multipliées et diffusées par les paysans du réseau Semences Paysannes, la n°15 746 et la n°346. (*Réseau semences paysannes, 2011*) Elles ne sont pas inscrites au catalogue officiel et font l'objet d'échanges dans le cadre d'associations ou de la recherche.

- Mélange de populations : mélange de plusieurs variétés « landrace » choisies pour leurs différentes qualités, et donc très hétérogène. Ce mélange évolue pendant quelques années sur un terrain qui lui sera propre plus tard, il s'adapte à son environnement. Et grâce à son évolution sur ce terrain et aussi au faible taux de croisements existant entre les variétés, le mélange évolue selon la vigueur des géotypes les plus productifs et les plus résistants, écartant naturellement les individus les plus faibles. Appelé alors population dynamique, ce mélange évolue intensément en interaction avec son environnement et les pratiques des agriculteurs. Il est composé de Gua (16%), Rojo de Sabando(15%), Marat Barbu, Sixte/Aff 15746 et 346 (12%), Oulianowska (10%), Gris de Saint Laud (7%), Blé de pays du Gâtinais (6%), Alauda Saint Priest (4%) et Saissette de Provence (2%). (*Réseau semences paysannes, 2011*)¹⁵

¹⁵ Réseau semences paysannes, « Voyage autour des semences paysannes »

VII. Mise au point de la méthode d'analyse par la bioélectronique

Aucun protocole n'étant référencé selon les normes AFNOR, pour l'analyse de sol par la bioélectronique, nous avons dû contacter les utilisateurs déjà existants, étudiant cette technique et pratiquant ces types d'analyses : Olivier Husson et Michel Barbaud, travaillant respectivement au sein du CIRAD (Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement) et l'Association Bioélectronique de Vincent).

Ils procèdent de leur côté à la mise au point et au perfectionnement de la technique selon leurs contraintes spécifiques. Leurs expériences étaient précieuses, en absence de bibliographie précise sur le protocole. Ils nous aidé par leurs conseils en matière de technique de préparation des échantillons. Nous désirions également mesurer en plus de la qualité des sols, la qualité des grains de blé produits dans la terre correspondante. C'est pourquoi dans une dernière partie nous avons essayer de mettre au point une méthode d'analyse de jus, extrait de blé.

1. Prélèvement d'échantillons de terre

Pour effectuer la mise au point de la méthode d'analyse de sol par la bioélectronique de Vincent, les prélèvements de terre ont été effectués sur le site de l'INRA du Rheu au domaine de la Motte.

De la terre non cultivée a été prélevée afin d'obtenir un substrat le plus stable et neutre possible. Une parcelle « témoin » a été délimitée. Les échantillons une fois prélevés ont été stockés dans une bassine et analysés dans la journée.

Les échantillons, pour l'analyse de l'essai blés avec légumineuses, ont été prélevés à l'aide de la tarière, à deux profondeurs différentes :

- Entre 0 et -20 cm, ce prélèvement étant représentatif du sol de surface
- Entre -30 et -50 cm, ce prélèvement étant représentatif du sol de profondeur.

Les prélèvements ont été effectués par variété et le même jour pour chaque série. Ils ont été emballés dans un sac plastique de type sac de congélation, puis stockés à température ambiante au laboratoire, où ils ont été analysés dans les 24 heures suivantes. Ayant tenu compte de l'aspect dynamique de l'eau, un contrôle de l'appareil sur la solution étalon rédox à 240 mV a été fait avant et après chaque série de mesure.

2. Préparation et traitement des échantillons de terre

Le protocole décrit par Olivier Husson nécessite de sécher la terre à l'étuve à 70°C durant quelques heures, ensuite la terre est tamisée et enfin il effectue une dilution au ½. Il prend la mesure des 3 paramètres dans une cage de Faraday évitant ainsi les perturbations des champs électriques et électromagnétiques pouvant fausser les mesures.

Le protocole décrit par Michel Barbaud ne sèche pas la terre, ne la tamise pas non plus et prend ses mesures sans cage de Faraday ; il ne pèse pas la terre non plus et dilue jusqu'à obtenir une viscosité praticable de la solution.

De notre point de vue, le fait de sécher la terre dévitalise celle-ci en tuant une grande majorité des microorganismes présents, et la tamiser affecte son état d'origine en modifiant sa résistivité dite *d'in situ*.

Ne pas connaître le facteur de dilution exact de la solution préparée empêche la comparaison des résultats d'analyses d'une série d'échantillons à l'autre. Enfin, le fait de placer l'échantillon lors de sa mesure dans une cage de Faraday isole la solution de toute influence électromagnétique et électrique, mais ne représente pas la situation normale de fonctionnement d'un sol et des êtres vivants.

Compte tenu de nos objectifs, nous avons choisi d'effectuer le protocole suivant :

- Pas de séchage, ni tamisage préalable de la terre : pour garder une situation proche du terrain et donc un comportement propre à celui de la terre cultivée en plein champ
- Les perturbations électromagnétiques et électriques n'étant pas détectables selon nos mesures préalables, nous n'avons pas jugé utile l'achat d'une cage de Faraday.

De plus, notre laboratoire est en pleine campagne isolé de sources de pollutions électromagnétique, alors que Michel Barbaud travaille en ville.

Nous nous sommes également préalablement renseignés sur l'éventuel achat de sondes qui pourraient s'implanter en plein champ, et donc mesurer les évolutions du terrain en temps réel, et dans des conditions optimales, seulement ces systèmes de mesure sont beaucoup trop onéreux pour mon équipe d'accueil mais aussi pour les autres utilisateurs potentiels de la méthode.

Nous avons acquis un matériel de laboratoire neuf de même marque que les chercheurs travaillant sur le sujet pour pouvoir discuter des résultats. Pour la première phase de mise au point, nous avons essayé de cerner tous les facteurs physiques et chimiques pouvant venir modifier les valeurs et perturber une certaine stabilité lors de la phase d'analyse. Afin que la méthode soit répétable et que les résultats des différents échantillons puissent être comparés, nous avons tenu à étudier certaines phases de préparation en détails, et avons effectué plusieurs séries de mesures dans un même temps, dans le but de les comparer entre elles.

L'appareil CONSORT C3050 possédant les trois sondes principales nécessaires pour la BEV, les échantillons pouvaient être mesurés en un seul trempage. Nous avons également étudié quelques fonctionnalités de l'appareil comme la compensation de température effectuée par le programme interne.

3. Etude de l'eau de dilution adaptée à la méthode d'analyse d'un sol par la BEV

Nous avons testé cinq eaux de dilution, seules pour observer les valeurs moyennes par paramètre de chaque eau ainsi que leur évolution dans la journée. L'objectif était de choisir notre eau de dilution mais aussi de mesurer les variations possibles pour des paramètres BEV pour différentes formes d'eau.

Les cinq eaux testées ont été placées dans un bécher et mesurées, elles sont :

- A. L'eau Cristalline
- B. L'eau du robinet
- C. L'eau du robinet filtrée par carafe Brita
- D. L'eau Osmosée (par osmose inverse)
- E. L'eau Déminéralisée (achetée dans le commerce)

Huit échantillons ont été mesurés de neuf heures du matin à dix sept heures. (cf. figures A1 à A4, et T1)

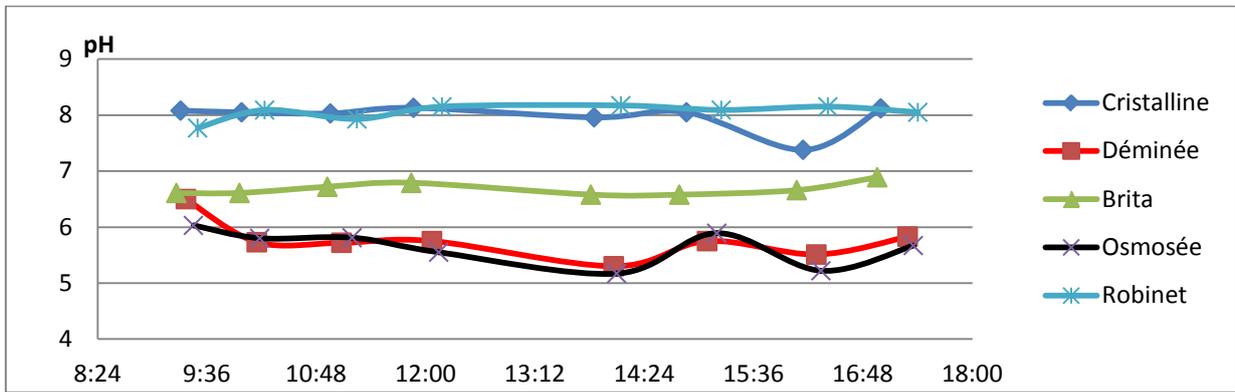


Figure A1. Variations de pH des eaux de dilution dans le temps

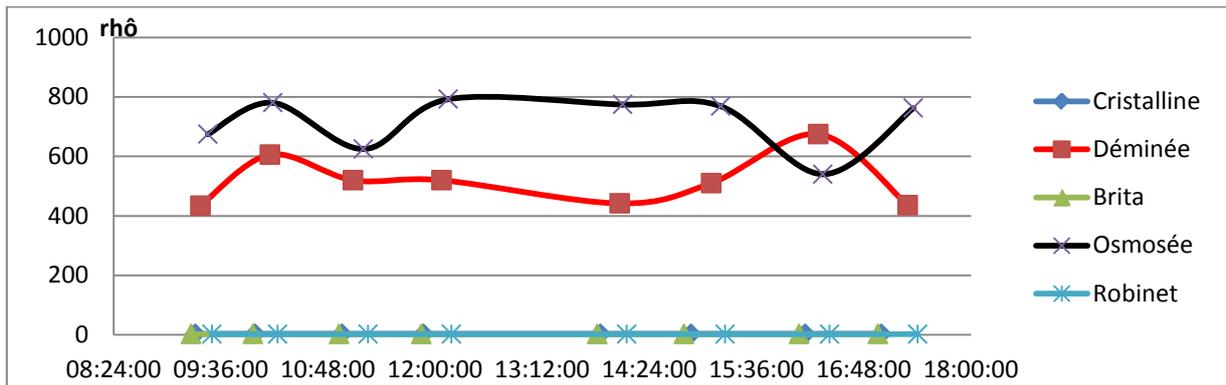


Figure A2. Variations de résistivité en kOhm des eaux de dilution dans le temps

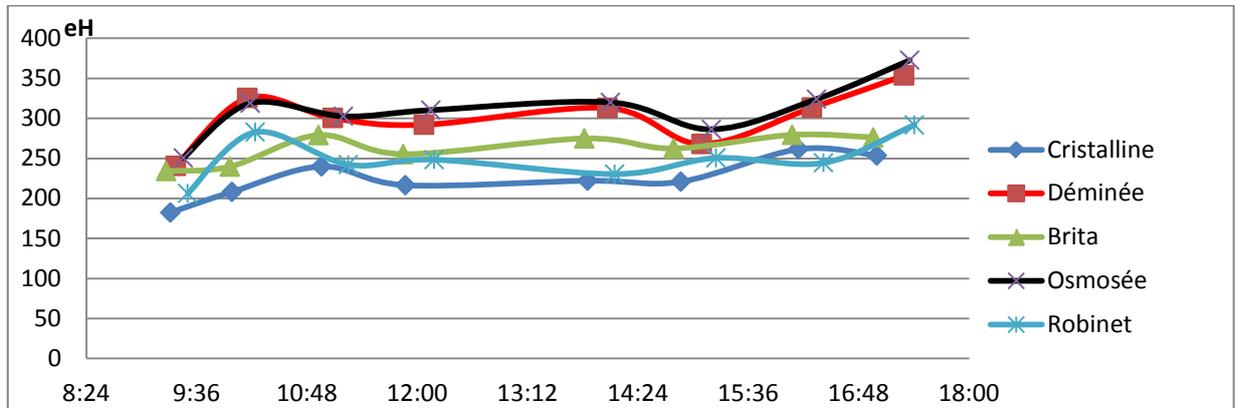


Figure A3. Variations de potentiel rédox en mV des eaux de dilution dans le temps

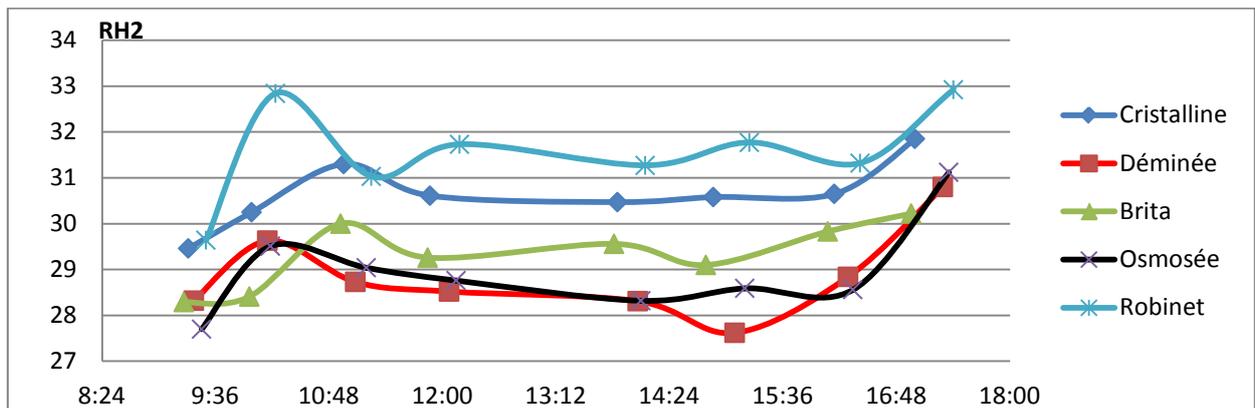


Figure A4. Variations du rH2 des eaux de dilution dans le temps

Nous avons ensuite étudié chaque eau en fonction des quatre paramètres :

- **pH:** Les pH des eaux testées variaient entre approximativement 5.5 pour l'eau déminéralisée et l'eau osmosée et vers 8 pour la Cristaline et l'eau du robinet, l'eau filtrée par Brita se situant plutôt dans la neutralité.
- **RhÔ:** Ce paramètre est sensible au degré de minéralisation des eaux. Les eaux comme celle du robinet, la Cristalline, et l'eau filtrée par Brita avaient une très faible résistivité. Elles étaient donc très conductrices, donc très chargées en minéraux. Comparativement, l'eau osmosée et l'eau déminéralisée avaient une forte résistivité donc peu chargées en minéraux. Désirant obtenir une eau stable et la plus pure possible, afin que la terre puisse relâcher tous ses composants dedans, les trois eaux de consommation classique, eau Cristalline, eau du robinet et eau filtrée par Brita, ont été écartées de notre choix car beaucoup trop minéralisées. Ainsi elles ne pourraient peut-être pas exprimer la situation intrinsèque réelle de la terre en arrivant à saturation avant que celle-ci ait relâché tous les composants solubles. Pour les dilution de la terre, Nous nous sommes alors intéressés principalement à ces deux eaux.
- **eH:** Les deux eaux les plus déminéralisées, avaient des valeurs de potentiel rédox plus fortes que toutes les autres, ce qui est assez normal étant donné qu'elles sont plus acides que celles-ci, donc des charges positives en plus grande quantité.
- **rH2:** Sur le paramètre rH2, on peut observer que les eaux déminéralisées sont plus réduites que les eaux de consommation.

Après cette étude comportementale des paramètres physico chimiques des eaux de dilutions potentielles, nous avons retenu les deux eaux les plus déminéralisées, l'eau osmosée, et l'eau déminéralisée achetée dans le commerce. L'eau osmosée provenait du laboratoire de biologie moléculaire voisin mais manquait de stabilité pour ses valeurs physico-chimiques d'un prélèvement l'autre comparée à l'eau déminéralisée du commerce qui est beaucoup plus stable d'un bidon à l'autre ; nous avons choisi d'effectuer nos dilutions avec l'eau déminéralisée trouvée dans le commerce, en gardant la même marque à chaque fois.

<i>Agitation magnétique 5 min après dissolution + 1 min repos + 1min réagitation</i>				
échantillon	pH	rhô (kohm.cm)	eH (mV)	rh2
1	7,38	11,779	243,1	30,07
2	7,44	13,089	239,4	30,05
3	7,46	12,920	235,8	29,99
4	6,56	14,3	276,3	29,59
5	6,68	15,26	268,7	29,55
6	6,84	15,22	258,4	29,51
7	7,61	15,5	235,5	30,25
8	7,62	16,12	231,7	30,14
9	7,49	15,67	235,3	30,01
écarts types	0,42	1,50	16,43	0,28

Tableau.T2 Essais de différents mélanges

<i>Agitation manuelle 1 min après dissolution + 4 min repos + 1min réagitation</i>				
échantillon	pH	rÔ (kohm.cm)	Eh (mV)	rh2
ech n°1	6,73	14,57	238,3	28,6
ech n°2	6,77	14,85	237,4	28,66
ech n°3	6,78	16,12	234,9	28,57
ech n°4	7,11	16,5	219	28,73
ech n°5	7,1	16,33	215,6	28,57
ech n°6	7,06	14,85	214,7	28,45
ech n°7	6,99	15,38	244,5	29,39
ech n°8	6,94	16,02	240,7	29,13
ech n°9	6,93	16,5	241,5	29,14
écarts types	0,15	0,77	11,92	0,33

Tableau.T3 Essais de différents mélanges

<i>Agitation manuelle 1 min après dissolution + 1 min repos + 1min réagitation</i>				
échantillon	pH	rÔ (kohm.cm)	Eh (mV)	rh2
ech n°1	7,67	18,14	207,4	29,37
ech n°2	7,67	18,11	203,2	29,23
ech n°3	7,72	18,14	196,1	29,09
ech n°4	7,47	18,21	225,8	29,59
ech n°5	7,38	17,79	224,2	29,36
ech n°6	7,37	18,76	223,9	29,34
ech n°7	7,31	17,63	212,6	28,83
ech n°8	7,36	17,54	207,3	28,73
ech n°9	7,42	17,57	213,7	29,08
écarts types	0,16	0,40	10,33	0,28

Tableau.T4 Essais de différents mélanges

4. Technique de mélange utilisée pour la préparation des échantillons

Pour stabiliser la méthode et surtout la phase de préparation des échantillons, après le choix de l'eau, il fallait étudier la technique de mélange. Olivier Husson mélangeait ses échantillons avec un agitateur magnétique, et Michel Barbaud quant à lui utilisait une méthode manuelle à l'aide de pilons et mortiers.

Cette étape de mélange consiste à essayer de diluer la totalité de la masse de terre dans l'eau de dilution pour que le prélèvement de sol soit sous forme d'un échantillon homogène. Cette étape de délayage doit se faire manuellement : les agrégats de terre peuvent demander jusqu'à un quart d'heure pour être totalement dissouts dans l'eau.

Pour un premier essai, nous diluons 100 grammes de terre dans 50 mL d'eau déminéralisée, soit une dilution au demi telle celle utilisée par Olivier Husson.

Nous avons testé les deux méthodes de mélange, l'une manuelle à l'aide de cuillère en céramique car le métal pouvant interférer avec le potentiel oxydo-réducteur de la solution. L'autre utilisant un agitateur magnétique et un aimant placé dans le bécher après dissolution manuelle de la terre.

Ainsi nous avons trois types d'échantillons à comparer :

- 1 - Une minute d'agitation manuelle + 1 min. de repos + 1 min. de ré-agitation
- 2 - Une minute d'agitation manuelle + 4 min. de repos + 1 min. de ré-agitation
- 3 - Une agitation magnétique après dissolution pendant 5 min + 1min de repos + 1 min de ré-agitation comme les autres échantillons.

Nous avons effectué 9 échantillons pour chaque technique, soit 27 échantillons au total, dans la même journée et à partir du même prélèvement de terre préalablement homogénéisé, et de la même eau de dilution.

Ensuite nous avons calculé les écarts-types de chaque série de neuf échantillons, pour voir laquelle des techniques de mélange obtenait une plus grande stabilité dans les répétitions de mesure, en observant les valeurs par paramètre. Selon les données représentées sur le figure n, les écarts types les plus faibles sont obtenus sur les séries d'agitation manuelle.

Entre les deux techniques manuelles, celle qui a un temps de repos le plus court a en majorité les plus faibles écarts-types, c'est pourquoi nous choisirons de retenir cette technique de mélange.

Dissolution de l'échantillon , mélange 1 min. , repos 1min., agitation 1 min.

—————→ Mesure.

5. Etude du facteur de dilution des échantillons

Afin de parvenir à maîtriser la méthode d'analyse des sols par la bioélectronique, il nous fallait étudier le comportement de la terre vis-à-vis de l'eau, et donc définir un facteur de dilution stable et approprié à la technique, c'est-à-dire un compromis entre la facilité pour obtenir un mélange homogène sans trop dénaturer le sol et les limites techniques des électrodes pour pénétrer dans le mélange. Nous nous sommes basés sur le facteur de dilution déjà employé par Olivier Husson pour effectuer les essais précédents. Dans cette étape de mise au point, nous avons testé d'autres dilutions, plus concentrées, pour observer l'évolution des paramètres et nous rapprocher davantage de l'état natif du sol.

Les facteurs de dilution choisis ont été : 1/1, 2/1, 3/1, 4/1, toujours pour 100 grammes de terre.

Neuf échantillons ont été préparés dans la journée, à partir du même prélèvement de terre, dilués dans de l'eau déminéralisée et agités manuellement.

- **pH:** Sur ce paramètre, l'évolution observée était logique, car le pH étant le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ions H_3O^+ , plus on diluerait l'échantillon, plus la concentration en ions hydronium serait faible, donc plus le pH serait fort. C'est exactement le comportement observé pour les différents facteurs. Le pH ne pouvait donc pas être le paramètre discriminant pour le choix d'une dilution car ses valeurs évolue logiquement en fonction de la croissance du facteur de dilution.
- **rhÔ:** En ce qui concerne la résistivité, nous pouvions voir que plus l'échantillon était dilué, plus il tendait à avoir une forte résistivité, et plus il s'approchait des valeurs de l'eau seule, très résistante.

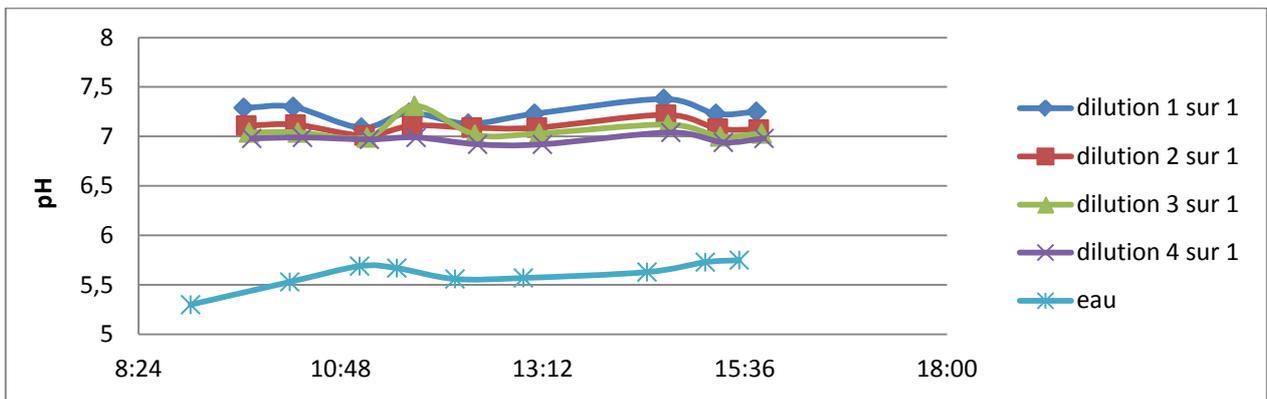


Figure B1. Variation de pH en fonction des dilutions dans la journée

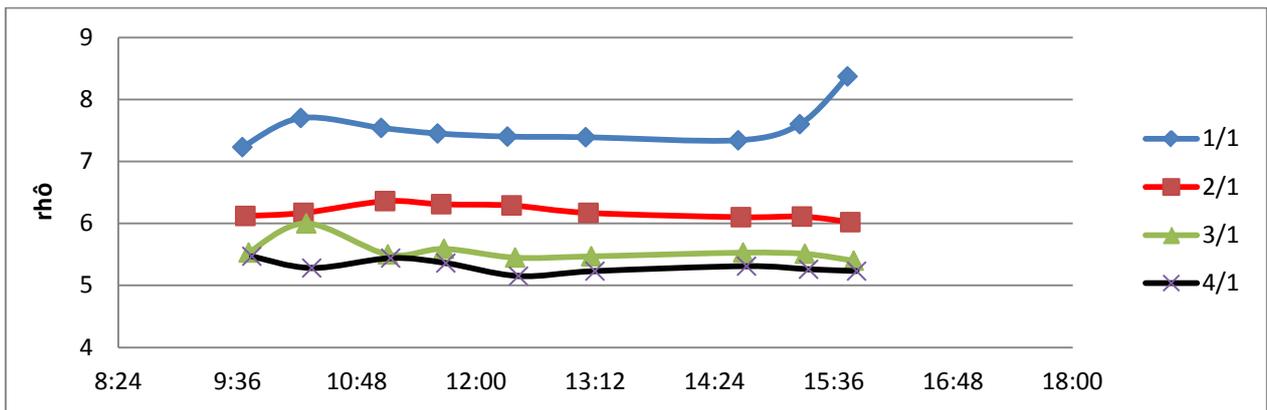


Figure B2. Variation de rhô en kOhm en fonction des dilutions dans la journée

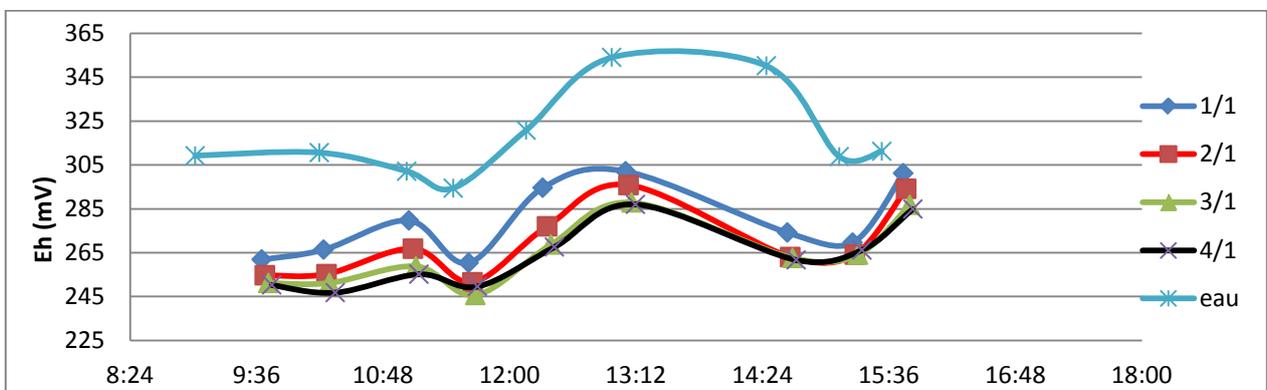


Figure B3. Variation d'eH en mV en fonction des dilutions dans la journée

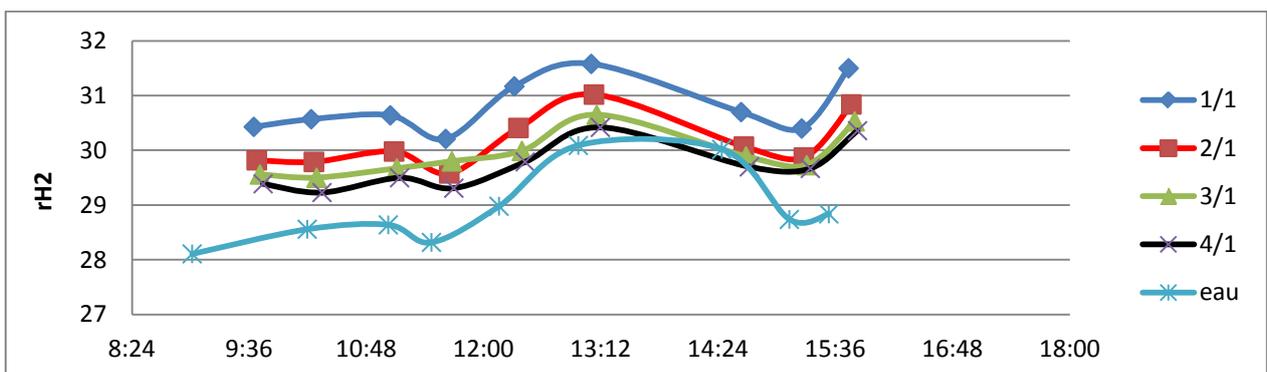


Figure B4. Variation de rH2 en fonction des dilutions dans la journée

L'échantillon le moins dilué de facteur 4/1 (100g de terre pour 25mL d'eau), obtenait l'écart-type le plus faible sur ce paramètre. Donc ce facteur de dilution augmentait la stabilité des valeurs entre les mesures, et surtout en comparant l'évolution des valeurs mesurées dans la journée nous nous sommes rendu compte que son comportement était celui qui s'écartait le plus de celui de l'eau. Il était donc évident que plus on concentrait la dilution, plus on se rapprochait des valeurs intrinsèques de la terre elle-même. (Les valeurs de l'eau n'étant pas présentées dans le graphique car beaucoup trop fortes)

- **eH:** Ce paramètre étant le plus fluctuant dans la journée, il était essentiel de le suivre sur plusieurs heures, et de mesurer l'eau comme valeur de référence. Nous pouvons observer une évolution des valeurs mesurées au fil des heures variant en moyenne de 40mV. Un pic des valeurs est noté aux alentours de 13h.

Pour ce qui est des facteurs de dilution, on observe un comportement similaire au comportement observé sur le paramètre de résistivité ; plus l'échantillon est dilué, plus il s'approchera des valeurs de l'eau de dilution, ce qui semble logique. De plus grâce aux écarts-types observés sur les valeurs totales de la journée, on s'aperçoit que plus la dilution est concentrée plus l'écart-type est faible, donc plus les valeurs sont stables.

- **rH2:** Les valeurs de rH2 observées au cours de la journée sur les différentes dilutions ne peuvent être discriminantes car elles sont une corrélation entre pH et potentiel rédox.

Cependant on peut noter des valeurs très différentes pour chaque série de dilution, la solution la plus oxydante étant l'échantillon le plus dilué.

Grâce à ces séries de mesures et grâce à l'observation de l'évolution des quatre paramètres au cours de la journée nous pouvons conclure que c'est en utilisant un facteur de dilution faible, donc en concentrant au maximum la masse de terre, que les valeurs mesurées se rapprochent le plus de celles de la terre, car s'éloignant au maximum de celles de l'eau. Ceci en se référant aux tendances observées sur la résistivité et sur le potentiel rédox.

Nous avons testé de concentrer encore plus les échantillons, mais un facteur de dilution inférieur à 4/1 n'est plus techniquement praticable, et ne peut être mesuré.

Nous opterons donc pour un facteur de dilution de 4/1, en utilisant :

- 100 grammes de terre pour 25 mL d'eau déminéralisée

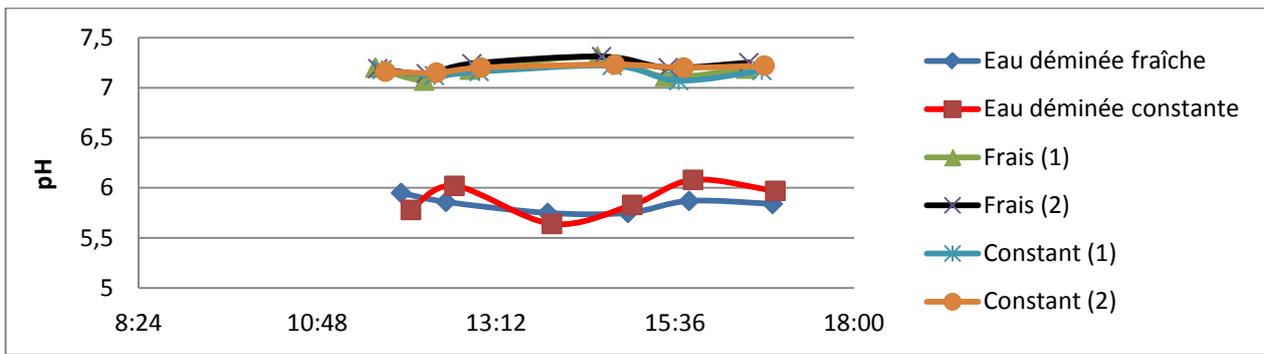


Figure C1. Variation de pH en fonction de l'aération

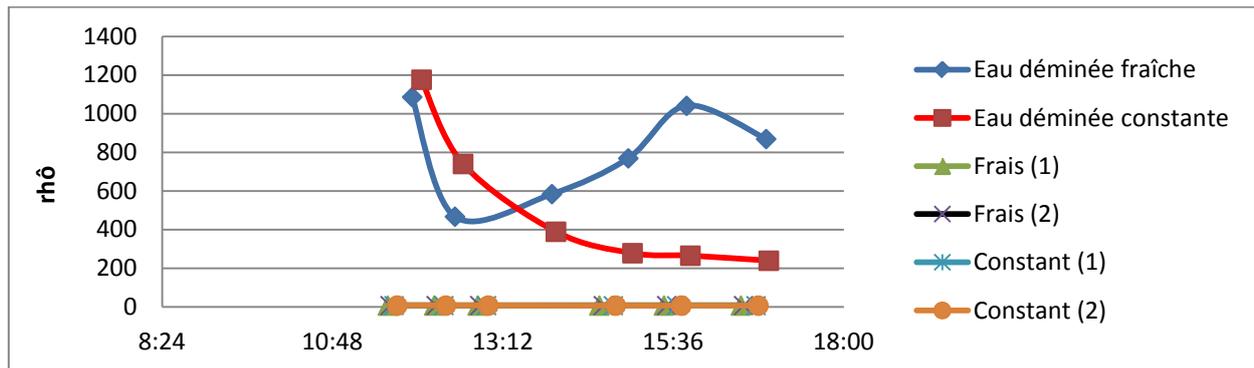


Figure C2. Variation du rho en kOhm en fonction de l'aération

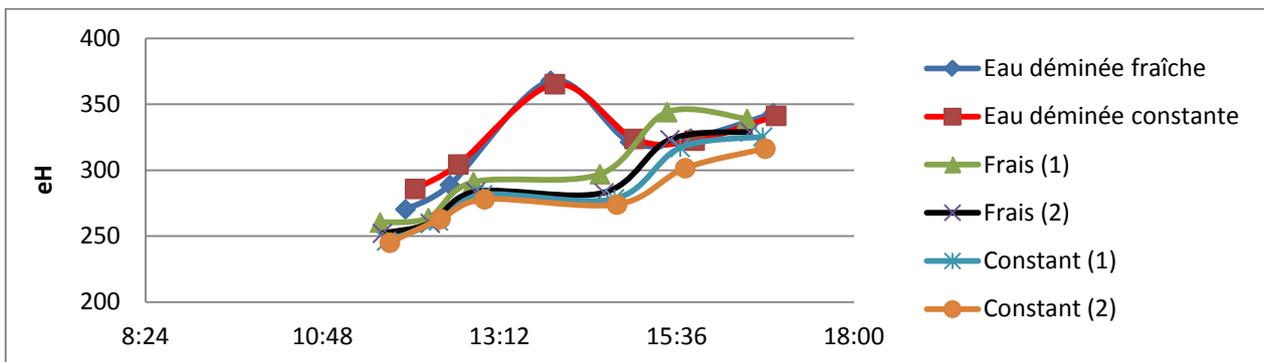


Figure C3. Variation d'eH en mV en fonction de l'aération

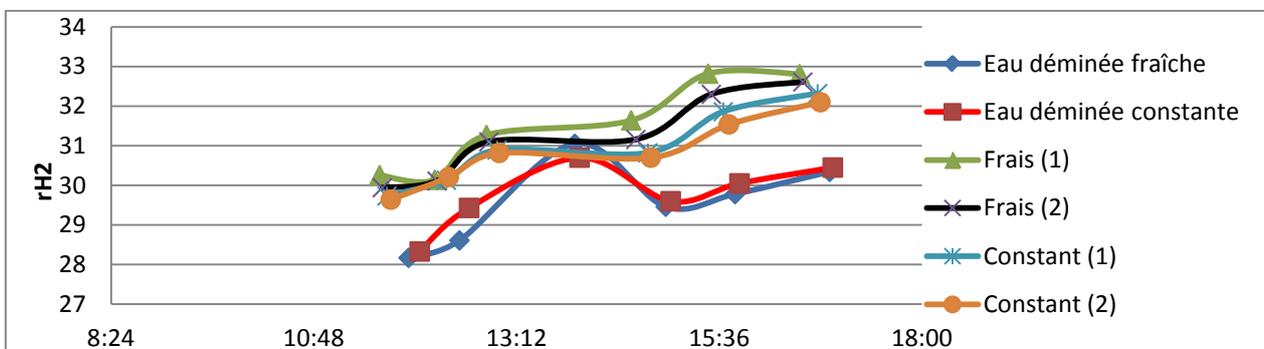


Figure C4. Variation du rH2 en fonction de l'aération

6. Etude de l'effet d'aération sur les échantillons préparés

Après avoir défini la dilution, la méthode de mélange et l'eau à utiliser, nous voulions savoir si la fraîcheur de la préparation de l'échantillon pouvait influencer sur les valeurs mesurées. Nous avons alors préparé deux échantillons que nous avons gardés toute la journée en l'état et mesurés en même temps que deux autres, à chaque fois fraîchement préparés. Deux séries de six échantillons ont été effectuées pour chaque type de préparation : constante et fraîche.

- **pH:** Nous n'avons observé presque aucune différence entre les valeurs de pH des différents échantillons durant la journée.
- **rhO:** Les échantillons préparés à partir de la terre constante conditionnée dans la bassine à l'air libre, montrent des écarts-types à peine plus fort que pour ceux préparés à partir de terre fraîche. Les valeurs tendent à être moins fortes pour les échantillons préparés à partir de la terre « constante ».
- **eH:** Les valeurs de potentiel rédox des différentes terres ne changent pas beaucoup, les écarts-types sont plus faibles pour les échantillons constants.
- **rH2:** Les rH2 des deux types d'échantillons évoluent de la même façon au cours de la journée car les valeurs dépendent du potentiel rédox et du pH.

Les écarts-types sont un peu plus faibles pour la terre conservée depuis le matin. Le fait que sur certains paramètres des séries de mesures les écarts-types des séries d'échantillons préparés et laissés à l'air libre soient plus faibles nous indique qu'*in situ* le sol évolue dans la journée, cependant les valeurs moyennes restent les mêmes. La terre une fois diluée est donc peu sensible au phénomène d'aération.

Nous en concluons que, pour comparer des échantillons, le délai entre la préparation et la mesure influence peu les paramètres. Cette observation est importante pour l'organisation d'une expérimentation pour comparer de nombreux échantillons dans une même journée.

7. Etude de l'influence du conditionnement sur les paramètres des échantillons

Nous voulions étudier l'effet du conditionnement sur les prélèvements avant mélange de la terre et confection des échantillons. Nous avons donc stocké un prélèvement d'à peu près

1 kilogramme de terre dans une bassine, sur laquelle nous nous servons pour effectuer les échantillons notés « bassine » au long de la journée.

En parallèle, nous avons effectué une série de mesures sur des prélèvements frais à chaque nouvel échantillon, ceux-ci notés « fraîche ». Ainsi pour chaque série d'analyses nous pouvions étudier la stabilité des valeurs et qualifier l'effet du conditionnement du prélèvement.

Nous avons effectué 8 échantillons par série au cours de la journée, mesurés 3 fois chacun.

Nous avons pu voir que pour les paramètres pH et ρH le conditionnement en bassine obtenait de plus faibles écarts-types. La technique de prélèvement avant préparation de l'échantillon possède un écart-type légèrement plus faible sur le paramètre potentiel rédox, eH.

Ce paramètre étant essentiel pour l'analyse des valeurs du sol, et difficile à stabiliser, à cause des variations qu'il subit au fil des heures de la journée ; nous opterons donc pour une technique ayant le moins de variations possible au niveau du potentiel rédox, en utilisant une terre la plus fraîche possible.

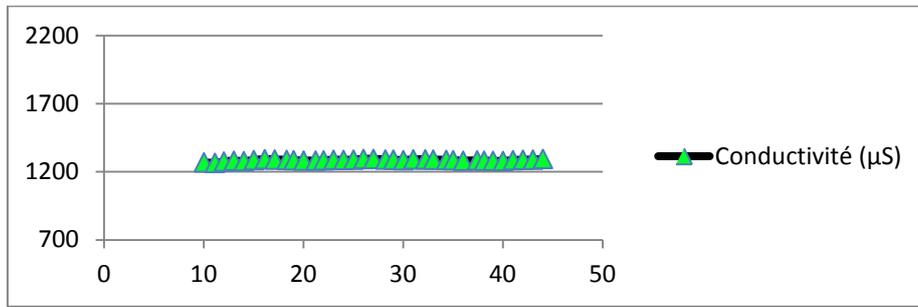


Figure D1. Mesure de la conductivité en fonction de la température

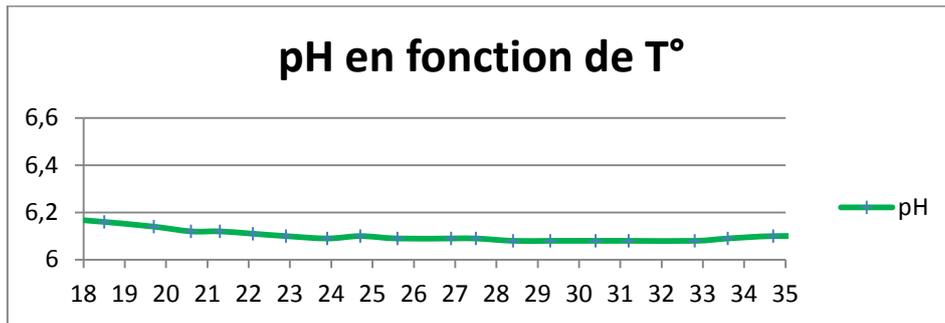


Figure D2. Mesure du pH en fonction de la température

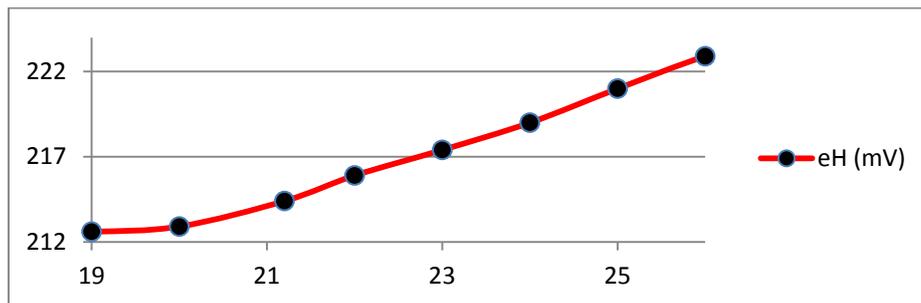


Figure D3. Mesure du potentiel redox (eH) en fonction de la température

8. Etude de la compensation de température

Nous avons décidé d'observer l'appareil de mesure et de vérifier si les contrôles et étalons reçus étaient toujours à la même valeur. Ils étaient tous bien stables à la fin et au début des mesures.

Nous nous sommes alors intéressé à la capacité de l'appareil à compenser l'effet de la température, car pouvant avoir une influence sur les mesures.

Sachant que toutes les mesures étaient prises au sein du laboratoire, à température ambiante de 20°C tout au long des manipulations, nous avons utilisé cette fois ci, une plaque chauffante et un agitateur magnétique pour faire monter un échantillon en température pendant sa mesure, afin de vérifier l'évolution des paramètres dans le temps.

Il en est que grâce à l'appui graphique N° ??? nous pouvons constater la régularité et stabilisation des paramètres $\rho\hat{O}$ et pH , les plus sensibles aux variations de température.

Les mesures ont été effectuées à chaque fois que l'échantillon variait de un degré Celcius, soit 35 fois. Les écarts-type calculés sont très faibles, 6.5 pour le $\rho\hat{O}$, 0.16 pour le pH et 4.8 pour le potentiel rédox.

Nous avons repris les valeurs des solutions de contrôle après ces mesures et elles étaient correctes. Nous avons donc conclu que l'appareil fonctionnait bien, et que la fonctionnalité de compensation de température était fiable.

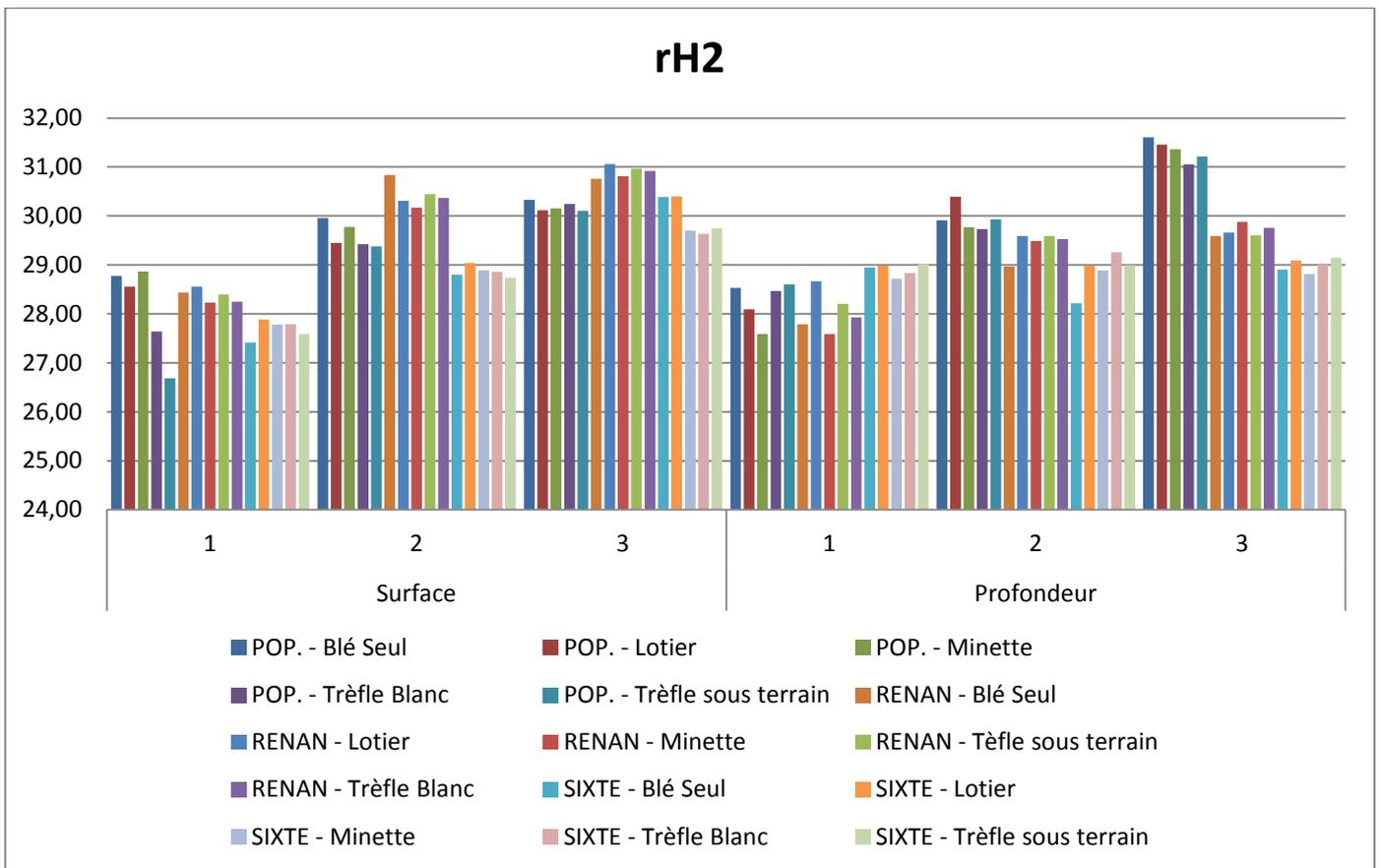


Figure F2. Mesure du rH2 sur des prélèvements de terre issus des différents essais (par répétition)

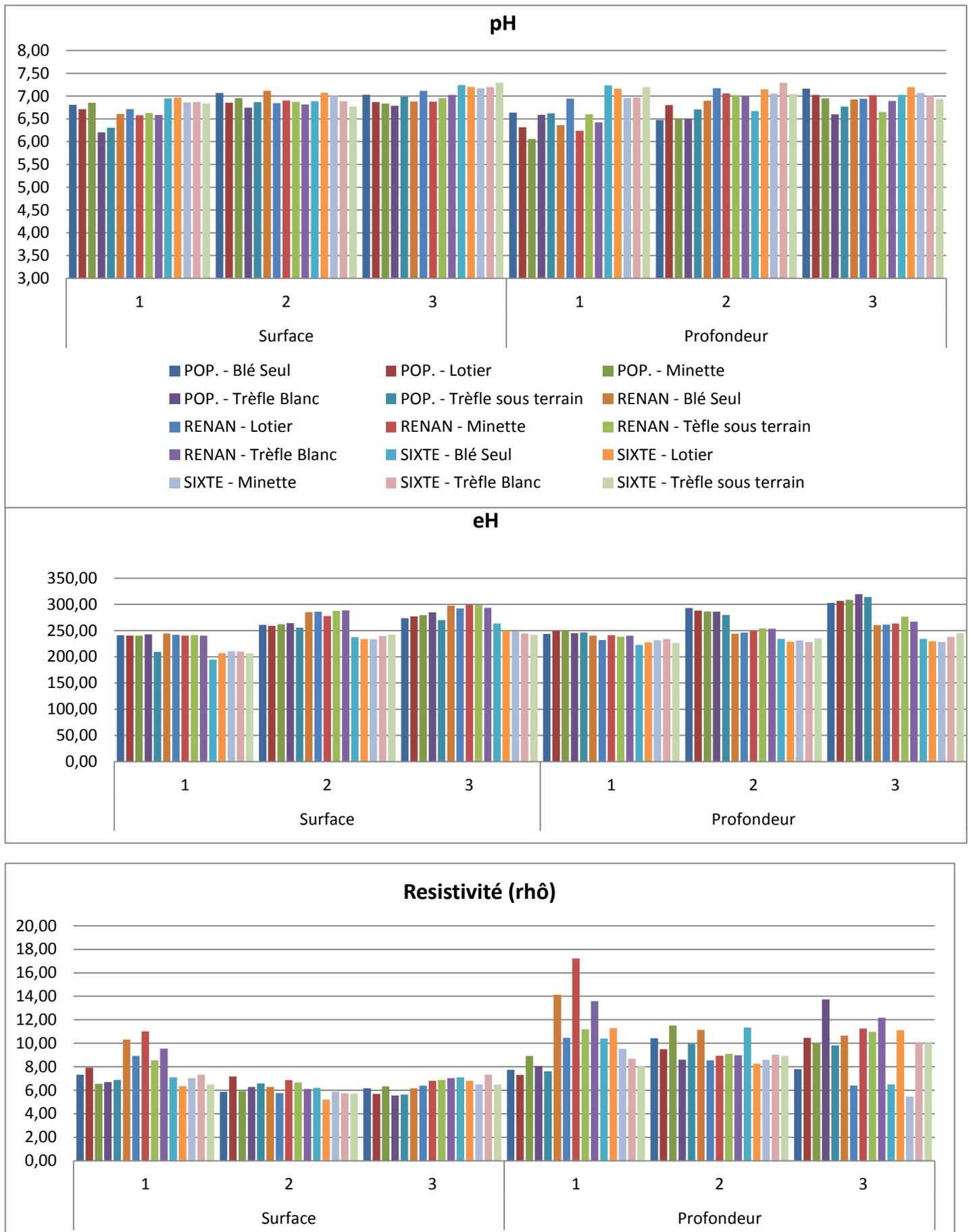


Figure F1. Mesure du pH, ρ en kOhm et eH en mV sur des prélèvements de terre issus des différents essais (analysés par répétition)

VIII. Résultats de l'application de la méthode

1. Application de la méthode BEV à l'analyse des sols

Nous avons analysé les mesures des paramètres, par variétés et associations au sein des différentes répétitions réalisées à deux niveaux du sol en surface et en profondeur.

Lors des premières analyses, nous nous sommes rendu compte que les écarts-types étaient très importants pour tous les paramètres. Or, les conditions sur le terrain étaient elles aussi très variables et une expérimentation réalisée sur ce même emplacement l'année précédente montrait clairement 2 zones différentes, dont une correspond quasiment à 100% avec notre répétition 1. Ainsi, avant de regarder les données par variétés ou par association toutes répétitions confondues, nous avons voulu voir si c'était l'effet répétition qui donnait des écarts-types aussi importants. Nous présenterons donc les résultats par répétition dans un premier temps, afin d'en tirer des conclusions pour la suite de l'analyse.

a. Par répétition

- **pH :** on peut noter que les résultats varient selon le prélèvement de surface et de profondeur, ce qui est normal car le pH n'est pas le même selon la profondeur du sol. On observe une légère hétérogénéité dans les mesures, variant entre 6.5 et 7 d'unité de pH. Cependant, il ne semble pas y avoir d'effet répétition.
- **rh \hat{O} :** Les tendances de résistivités observées sont quant à elles variables selon les répétitions. Les prélèvements effectués sur la répétition 1 apportent des mesures très variables au sein de ce même terrain, tant en surface qu'en profondeur. Comparativement, les répétitions 2 et 3 ont un comportement plutôt similaire entre elles au travers des mesures effectuées sur les différents sols des différentes variétés et associations.

Pour le potentiel rédox, la représentation de la répétition 1, en surface et en profondeur, comparée aux répétitions 2 et 3 n'a pas du tout la même tendance graphique, les valeurs sont à peu près toutes similaires, et l'on n'observe aucune différence notable selon les variétés et associations tandis que sur les répétitions 2 et 3, les comportements des variétés et associations sont semblables, en surface comme en profondeur.

Le graphique traitant le paramètre rH₂, permet de confirmer cette différence de comportement entre la répétition 1 et les deux autres.

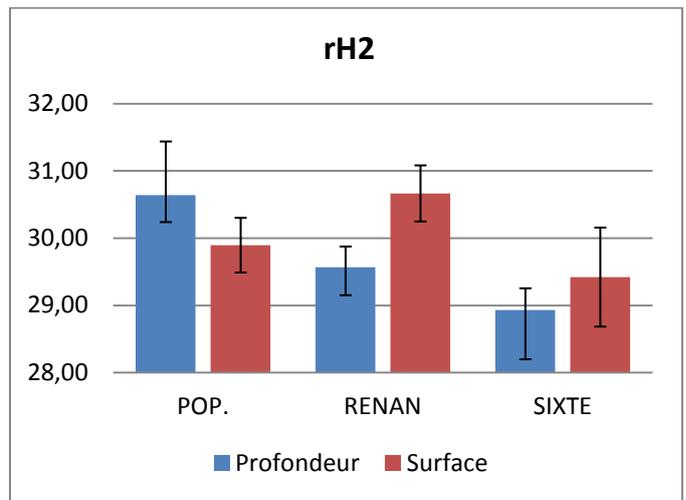
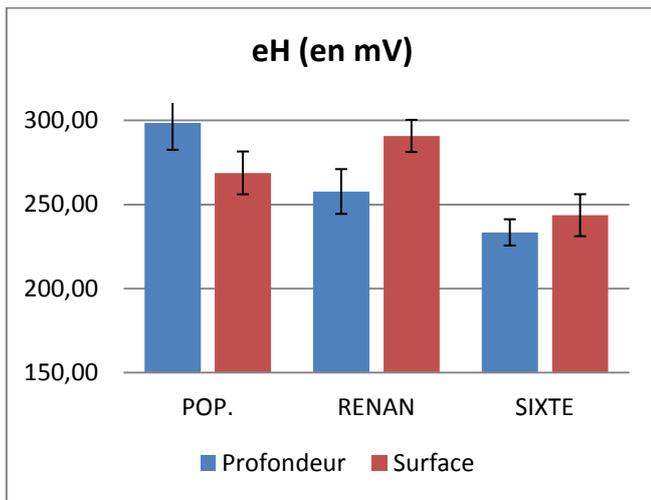
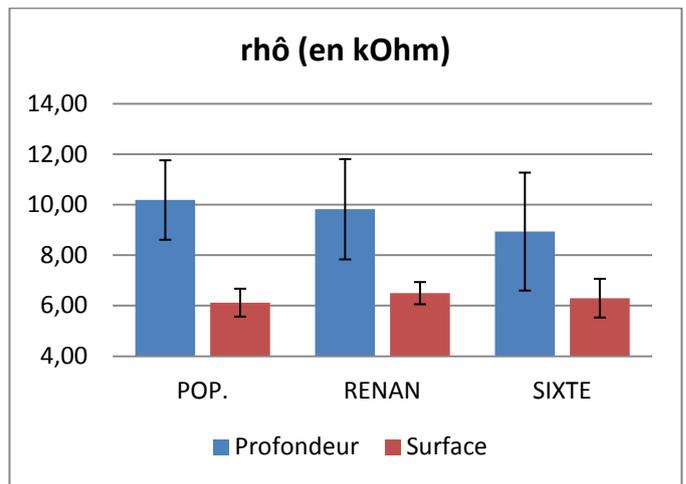
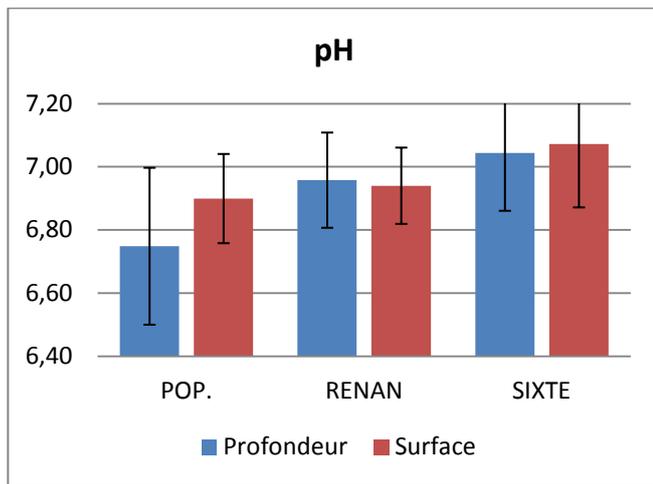


Figure G1. Mesure du pH, rhô, eH et rH2 sur des prélèvements de terre issus des différents essais (analysés par variété)

Nous pouvons donc dire que de manière générale, la répétition 1 se distingue des deux autres car elle a des comportements différents alors que les répétitions 2 et 3 ont des comportements similaires. Ainsi, la répétition 1 sera écartée pour l'analyse totale des données et pour l'interprétation graphique par variété et par association. Les analyses graphiques seront alors basées sur 180 mesures et non plus 270.

b. Par variété

- **pH**: Les écarts-types des valeurs de surface et ceux des valeurs de pH de la terre de profondeur se chevauchent sur 0.2 point, et il n'y a pas de différence notable entre toutes les valeurs moyennes entre variétés, et entre surface et profondeur.

On ne peut pas conclure à des pH significativement différents entre surface et profondeur ni entre les variétés.

- **rh \hat{O}** : Les écarts types ne se chevauchent pas entre valeurs moyennes de surface et valeurs moyennes de profondeur, sauf pour la variété Sixte, mais de très peu (0.5 point).

Il y a donc une très nette différence entre valeurs de surface et valeurs de profondeur pour les sols testés sur ce caractère. Les valeurs moyennes du sol de profondeur pour chaque variété sont situées entre 9 et 10 kOhm, tandis que celles de surface sont situées aux alentours de 6.5 kOhm, la différence entre profondeur et surface est d'environ 3 ohm. Les mesures effectuées sur les sols de profondeurs montrent des valeurs plus fortes, donc les sols ont une résistivité plus élevée en profondeur. Les valeurs des terres de surface pour chaque variété sont plus faibles, donc les sols possèdent une conductivité plus forte à la surface. Si on regarde les données par variétés, on ne peut par contre pas déceler de tendance particulière (les valeurs de conductivités des sols de surfaces sont quasiment les mêmes pour toutes les variétés, et il en est de même pour les valeurs des sols de profondeur). Il n'y a donc pas d'effet variété sur ce paramètre.

- **eH**: Sur le graphique du paramètre potentiel rédox par variété, on peut observer des tendances de comportements distincts pour chacune des variétés en ce qui concerne les rapports de valeurs surface/profondeur :

- Pour le mélange de populations, les écarts types ne se chevauchent pas, valeurs distinctes entre surface et profondeur ; le sol de profondeur a un potentiel rédox plus fort que le sol de surface,

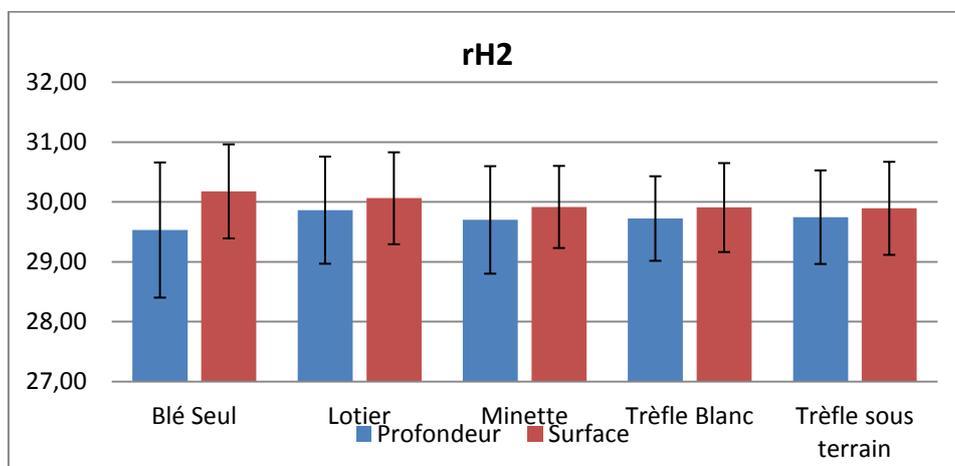
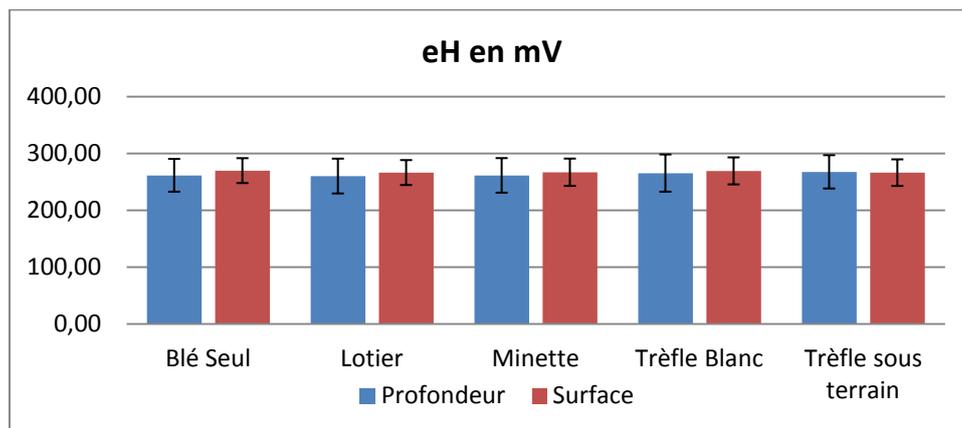
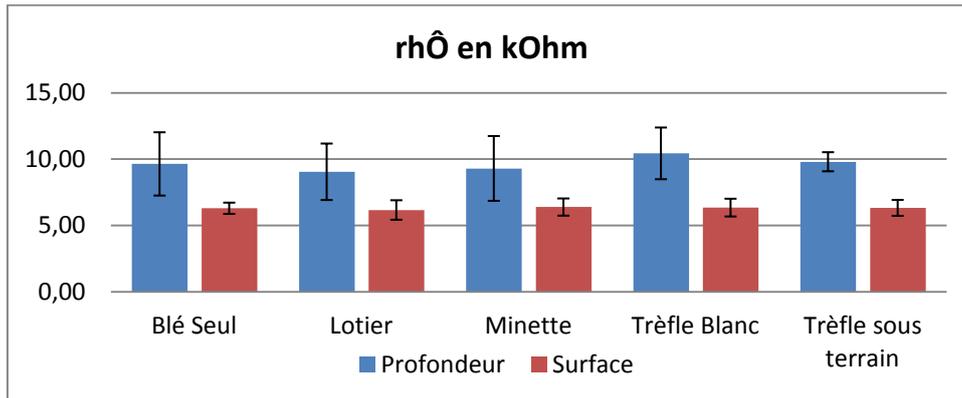
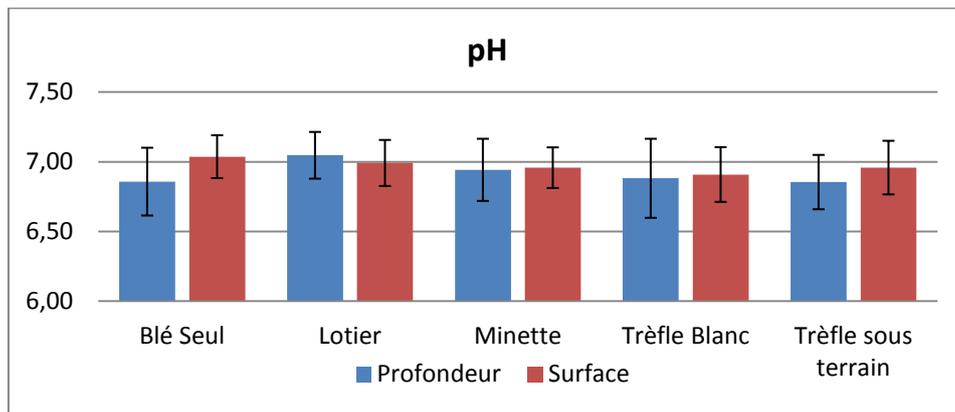


Figure G2. Mesure du pH, rhô, eH et rH2 sur des prélèvements de terre issus des différents essais (analysés par association)

donc plus oxydé en profondeur et plus réduit en surface : valeur moyenne du sol de profondeur aux alentours de 300mV et valeur moyenne du sol de surface d'à peu près 270mV.

- Pour la variété Sixte, son comportement est « intermédiaire ». Les écarts types se chevauchent entre valeurs de surface et valeurs de profondeur, et la valeur moyenne du sol de profondeur est la plus faible des 3 variétés donc le sol de profondeur le plus réduit, aux alentours de 230mV. Cette variété possède un sol de surface légèrement plus oxydé en général.

- Pour le Renan, les écarts types des valeurs du sol de surface et ceux du sol de profondeur ne se chevauchent pas, on observe alors une tendance distincte : la valeur moyenne du sol de profondeur est plus faible que la valeur moyenne du sol de surface, donc généralement plus oxydé en surface et plus réduit en profondeur (comportement inverse de la population).

- **rH2 :** Sachant que le rH2 est une corrélation entre le potentiel rédox et le pH, exprimant le pouvoir réducteur d'une solution, les comportements sont sensiblement les mêmes que sur le graphique présentant les valeurs moyennes de potentiel rédox (le pH ne montrant pas de différences significatives, c'est la tendance du eH qui l'emporte).

c. Par Association

- **pH :** Pour toutes les associations et pour les blés seuls, les valeurs moyennes de pH sont très proches, d'autant plus que les écarts types se chevauchent entre surface et profondeur. Les valeurs moyennes variant entre 6.8 et 7 d'unité de pH, très variables mais dans une fourchette de 0.3 unité de pH au maximum. Il n'y a donc pas de comportement distinct pour une quelconque association.
- **rhÔ :** Les écarts-type ne se chevauchent pas ou très peu entre valeurs moyennes de sol de surface et valeurs moyennes de sol de profondeur, pour chaque association et pour les blés seuls. Les valeurs sont donc nettement différentes entre surface et profondeur, les sols de profondeur se situent moyennement entre 9 et 10 kOhm, et ceux de surface approximativement à 6.5 kOhm.

Ces valeurs sont similaires à celles rencontrées lors de l'analyse par variété. Il y a donc ici aussi plus de conductivité en surface qu'en profondeur. Cependant, il n'y a aucune différence notable entre associations sur le caractère résistivité.

- **eH:** Les écarts-types entre valeurs moyennes de surface et moyennes de profondeur se chevauchent, donc pas de valeurs distinctes pour aucune des deux terres sur aucune des associations ni blé seuls. Les valeurs sont quasi similaires entre toutes les associations, elles restent entre 240 mV et 270 mV. Il n’y a donc aucun comportement caractéristique d’une association en particulier sur les deux terres. Il en est de même pour les blés seuls, qui approchent globalement les mêmes valeurs que toutes les associations, autant en surface qu’en profondeur.
- **rH2:** Les écarts-types entre les moyennes des deux terres se chevauchent sur les valeurs, donc on ne peut pas dire qu’il y ait des différences significatives entre les terres de profondeur et de surface même si on remarque les valeurs des terres de profondeur sont légèrement plus faibles que celles de surface pour toutes les associations (la terre de profondeur serait donc légèrement plus réduite).

En ce qui concerne les associations, il n’y a aucune tendance ou aucun comportement significatif et caractéristique d’une association, sur les valeurs du rH2.

2. Analyse d’un jus de blé

Nous voulions évaluer la qualité globale d’un échantillon de grains de blé en croissance par une méthode de bioélectronique afin de pouvoir mettre en relation les études portées sur les interactions sol-plante, et celles sur la qualité du blé découlant de ces interactions.

Nous nous sommes donc renseignés sur les pratiques existantes, et celles déjà employées par le Docteur Jeanne Rousseau. La technique décrite était le broyage de grains pour extraire un jus qui est dilué ensuite pour la mesure..

Nous avons donc commandé un extracteur de jus à vitesse lente, sans centrifugation, car le jus extrait des grains en croissance est normalement très réducteur et de part ce fait, sa sensibilité à l’oxydation de l’air ambiant est forte. Le modèle commandé est de marque VERSAPER.

Comme pour la mise au point de la méthode d’analyse d’un sol par la BEV, nous avons testé l’influence de plusieurs facteurs sur les mesures prises à partir du jus d’épis extrait.

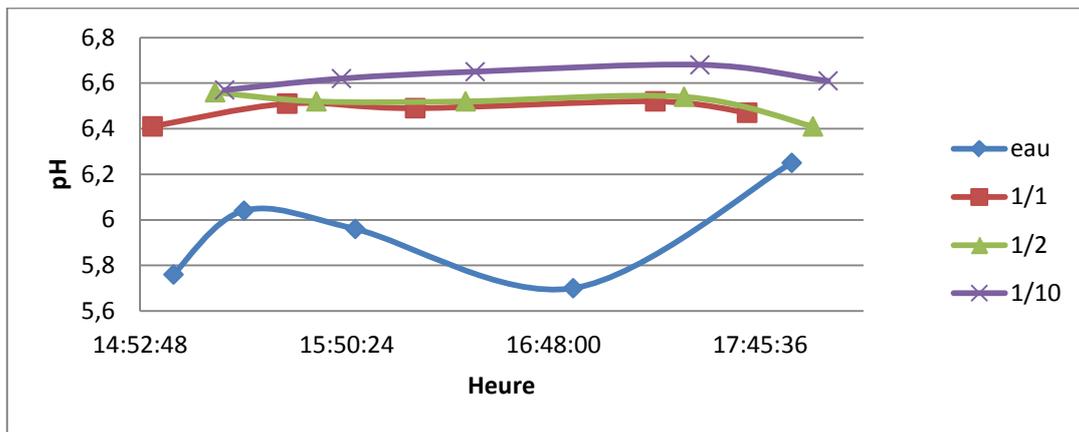


Figure E1. Evolution du pH du jus de blé par dilution et en fonction de l'heure

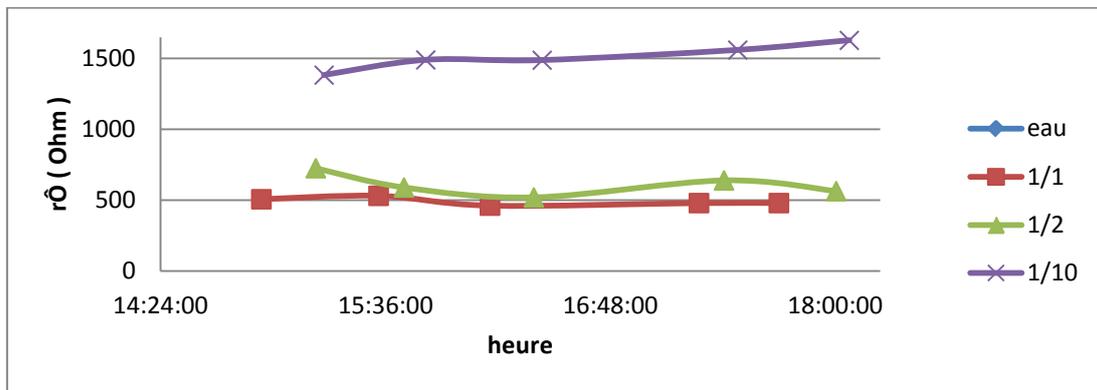


Figure E2. Evolution du rÔ du jus de blé par dilution et en fonction de l'heure

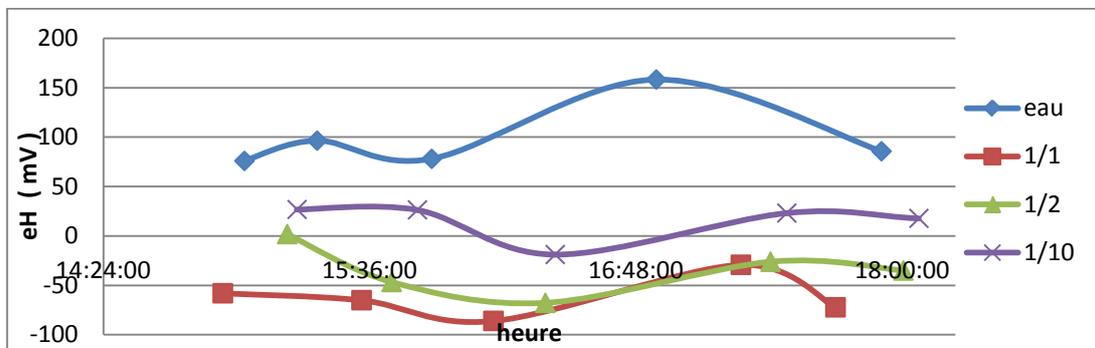


Figure E3. Evolution d'eH du jus de blé par dilution et en fonction de l'heure

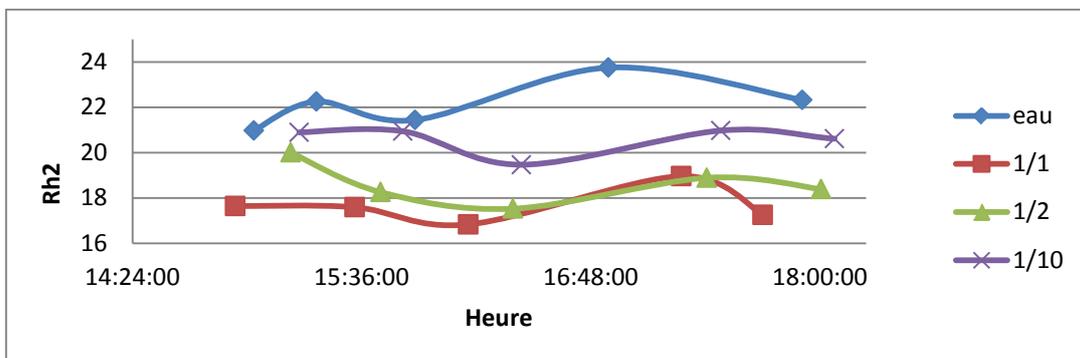


Figure E4. Evolution du Rh2 du jus de blé par dilution et en fonction de l'heure

a. Etude de la dilution

Pour extraire un jus praticable du blé récolté au sein d'une même variété, il fallait définir une masse à partir de laquelle l'extraction et la prise de mesures devenait possible.

Nous avons dilué plusieurs échantillons au cours de la journée pour observer l'évolution des différents paramètres comme pour la terre précédemment.

Les dilutions observées sont :

- 1/10, soit 20 grammes pour 200 mL d'eau déminéralisée
- 1/2 , soit 80 grammes pour 40 mL d'eau déminéralisée
- 1/1, soit 75 grammes pour 75 mL d'eau déminéralisée.

Cinq échantillons de chaque série ainsi que l'eau de dilution ont été mesurés dans la journée.

Nous pouvons observer les mêmes comportements que pour ceux de la terre lors de l'étude de la dilution ; sur les paramètres $\rho\hat{O}$ et eH nous observons un comportement s'éloignant de celui de l'eau au maximum, lorsque l'extrait est le plus concentré. On se rapproche donc de l'état intrinsèque du blé en concentrant au maximum l'échantillon.

C'est donc la dilution 1/1 qui a été retenue, en utilisant 75g de blé pour 75mL d'eau.

b. Etude de l'effet d'aération sur les échantillons de jus de blé

Pour tester l'influence du contact de l'air sur les extraits de blé préparés, nous avons préparé deux échantillons que nous avons suivi tout au long de la journée. Un échantillon a été préparé et couvert pour le privé de contact avec l'air ambiant. L'autre a été préparé et laissé à l'air libre toute la journée, le temps des mesures.

On peut observer sur le tableau de valeurs (*cf. tableau T9*) que les échantillons ont des écarts-types similaires sauf pour les valeurs du potentiel rédox dont l'écart-type est plus fort pour l'échantillon non couvert. Mais on détecte également un phénomène qui amène à réflexion : les valeurs du potentiel rédox décroissent dans le temps.

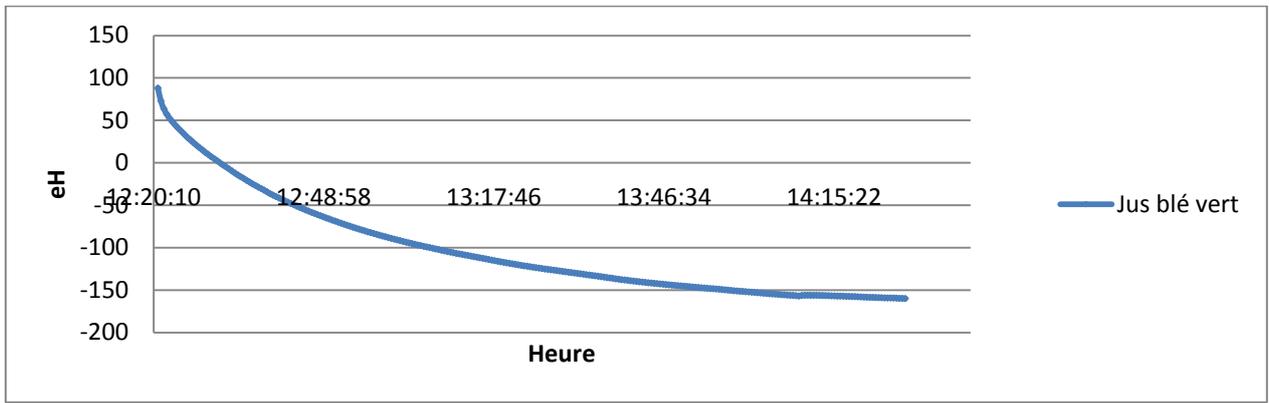


Figure E5. Evolution d'eH en mV pendant la décantation du jus de blé

Après observation des échantillons il s'avérait que plusieurs phases de solutés décantés s'étaient formées. Car étant en début de saison d'été, le grain vient à maturité et entre dans la phase dite « laiteuse ». Au cours de cette phase les gluténines, petites protéines présentes dans le grain, forment des ponts disulfures avec les gliadines le plus souvent, en s'oxydant pour former les glutens. (M.H. Morel, 2009)¹⁶

C'est là que nous nous sommes rendu compte que, nous nous devons d'étudier ce phénomène le décantation des glutens, et l'effet qui en découle sur nos mesures.

c. Observation de la décantation des glutens dans un jus de blé

Ce phénomène de décantation posait problème, car nous ne pouvions stabiliser la méthode de mesure à cause de cet effet. Pour tenir compte de cette influence et de ces variations de valeurs, nous avons décidé de préparer un échantillon qui sera mesuré toutes les trente secondes pendant deux heures. Grâce aux valeurs relevées un graphique a été établi, il prouve bien la non praticabilité des mesures nécessaires sur l'échantillon, à cause de ce phénomène de décantation.

Notre objectif était d'uniformiser la méthode de mesure pour tous les échantillons, il nous faudrait alors séparer les phases, et ainsi pouvoir analyser de la même façon tous les jus. Seulement cette extraction s'est révélée impraticable, même à l'aide de filtres de laboratoire adaptés, car le colmatage était trop important. Ceci dû à l'avancement de la maturité des grains de blé, ayant déjà entraîné une production de glutens trop importante

¹⁶ (M.H. Morel « Réactivité du gluten de blé dans le contexte de pâtes céréaliers et des matériaux glutens » Université Montpellier II. Ingénierie des agro-polymères et technologies émergentes. UMR 1208. 2009)

IX. Discussion et perspectives

Grâce à la méthode d'analyse des sols mise en place, nous avons pu mener à bien l'étude portant sur l'essai cultivé de plusieurs variétés de blé en association avec différentes légumineuses.

La mise au point de la méthode a permis d'obtenir un protocole reproductible et opérationnel au laboratoire, validé par l'étude de différents facteurs pouvant influencer sur les mesures.

Certains facteurs, comme l'influence des champs électromagnétiques, ayant une influence notable sur l'eau, +selon certains auteurs, n'ont pas pu être étudiés, faute de temps. Il serait intéressant d'étudier les variations des paramètres au long d'une année entière afin de pouvoir observer l'influence de la lune sur l'eau de mesure, car même si l'hypothèse de cette influence reste controversée, les résultats d'études menés par Jeanne Rousseau tendent à révéler une réelle sensibilité des mesures en fonction des cycles lunaires.

Les facteurs influents étudiés ont été traités sur quelques séries d'échantillons et n'ont pas été reproduits à grande échelle par manque de temps. Pour le prochain cycle d'analyses, il serait important de prévoir de réétudier l'influence de ces facteurs au travers de séries d'analyses plus importantes permettant ainsi une approche statistique des résultats.

En ce qui concerne les résultats de l'analyse de l'essai réalisé au champ, nous avons tout d'abord observé une nette différence entre les répétitions. Cette différence de terrain a été appuyée par les notations et commentaires de l'équipe ayant cultivé d'autres plantes sur ce même terrain l'année précédente. C'est pourquoi, grâce à nos résultats comparés par répétition, nous avons pu exclure la répétition n°1 du total des résultats, car les mesures étaient beaucoup trop différentes, mais surtout irrégulières, comparées aux deux autres répétitions. Nous avons clairement pu observer un effet « terrain » sur la culture qui venait perturber les résultats finaux.

Nous avons quand même pu analyser les autres répétitions et avons étudié les résultats obtenus en les comparant par variété d'une part, et par association de l'autre. Ainsi, nous avons pu évaluer l'effet de chaque variété sur les paramètres et également l'effet de chaque association.

Lors de l'analyse des résultats obtenus par variété, nous n'avons observé aucune différence notable entre variétés pour les paramètres pH et rhÔ.

Seules quelques différences ont été observées entre les valeurs de surface et les valeurs de profondeur : les terres de surface ont une résistivité plus faible ce qui signifie que leur conductivité

est plus forte donc les sols de surface sont plus chargés en minéraux capables de conduire le courant électrique.

Le plus remarquable a été le comportement différent du paramètre eH, donc le potentiel d'oxydo-réduction de chaque variété, entre sa terre de surface et sa terre de profondeur.

Pour le Renan, la terre était plus oxydée en surface et plus réduite en profondeur.

Pour le Mélange de populations, la terre était au contraire plus oxydée en profondeur et plus réduite en surface, et enfin la variété Sixtee a présenté un comportement intermédiaire, en présentant des valeurs à peine plus réduites en profondeur. Il est intéressant de noter que pour les études approfondies de la diversité et de la performance des ces trois variétés sur six autres essais répartis chez les agriculteurs, la variété Sixtee montre souvent aussi des valeurs intermédiaire entre Renan et le Mélange de populations.

Les résultats analysés cette fois ci par association, n'ont montré aucun comportement propre à une variété de légumineuse associée. Nous avons cependant noté, pendant la croissance de l'essai, que toutes les variétés de légumineuses n'avaient pas poussé de façon régulière entre les différents blés sur les différentes parcelles. Ceci s'explique peut-être par le fait qu'aucun comportement propre à une association n'est pu être observé sur les paramètres de la BEV.

L'objectif de mon stage était de mettre au point une méthode d'analyse des sols par la Bioélectronique de Vincent puis de l'appliquer à un essai afin d'observer l'existence ou non de différences détectables par la technique sur l'impact des variétés cultivées sur leur sol, et d'observer également l'effet d'association du blé avec une variété de légumineuse, sur les sols cultivés.

J'ai pu, grâce à cette nouvelle méthode mise au point, relever des différences spécifiques à chaque variété, vis-à-vis de leur interaction avec la terre de culture. Cependant, aucun comportement spécifique à une association n'a pu être observé à cause de leur faible croissance.

L'impact de chaque variété sur son propre sol de culture a été observé sur le paramètre de potentiel d'oxydo-réduction. Ce potentiel exprime la capacité d'une solution à être oxydante ou réductrice, c'est-à-dire à capter ou à donner des électrons. Nous avons constaté que les valeurs de ces potentiels n'étaient pas les mêmes selon la variété, sur les deux types de terre.

Selon notre première approche, l'hypothèse que l'interaction entre une variété et un sol est spécifique de la variété et serait détectable par la technique de BEV, est plausible.

Nous ne pouvons pas dire comment ces variétés influencent le milieu, car il faudrait coupler ces analyses avec des analyses physico-chimiques classiques, afin de connaître les différentes concentrations en minéraux, à la surface et en profondeur, mais aussi des analyses microbiologiques pour repérer les spécificités de la rhizosphère

En revanche, grâce à cette méthode de BEV appliquée à l'étude d'un sol, j'ai pu répondre à la problématique posée et mettre en évidence les différentes interactions de plusieurs variétés de blé avec leur sol.

Pour pouvoir continuer à développer cette méthode et aussi améliorer et optimiser cette étude dans le futur, il serait bien de reproduire cet essai sur différents terrains, et en plus grand nombre. En effet, le facteur de croissance des végétaux n'est pas maîtrisable, et il serait donc préférable d'optimiser le développement des essais en les reproduisant en plus grand nombre.

Ceci permettrait également une analyse statistique des résultats obtenus dans le futur.

Les caractéristiques physico-chimiques du sol n'étant pas connues durant la culture, il serait également préférable d'effectuer des analyses avant semis de l'essai, pendant son développement ainsi qu'après récolte, et sur les différents terrains accueillant les essais.

De même pour les paramètres bioélectroniques, ils devront être relevés avant culture mais également durant la croissance des végétaux. Ainsi seule l'évolution des paramètres sera observée et non les paramètres à un instant donné. Les nombreux facteurs influençant les mesures rendent l'interprétation des valeurs absolues des paramètres délicate et c'est pourquoi on ne peut se baser sur les résultats d'un seul essai.

En ce qui concerne l'analyse en parallèle des grains de blé, il faut impérativement suivre l'évolution de leurs paramètres bioélectroniques dès la sortie de l'épi car, lors de l'expérience réalisée, nous avons remarqué qu'un épi trop mûr ne peut être analysé par la BEV.

Des analyses physico-chimiques complémentaires seraient également nécessaires pour connaître leur composition et en suivre l'évolution dans le temps, comparativement à celle des paramètres bioélectroniques.

X. Conclusion et expérience professionnelle

L'objectif de mon stage était de mettre au point une méthode d'analyse des sols par la bioélectronique, et de pouvoir mesurer par cette technique l'impact de différentes variétés de blé sur les sols cultivés, en association ou non. Nous avons pu mettre au point ce nouveau protocole d'analyse (*cf. annexes*) et l'appliquer à l'essai de blé cultivé en association. Grâce aux mesures effectuées sur les sols de différentes variétés cultivées, nous avons pu révéler un comportement et des interactions différentes entre les variétés et leur terre de culture. Cette étude a permis de démontrer que la bioélectronique est une technique en plein développement qui peut mettre en évidence certains aspects de la qualité en agriculture. Les mesures réalisées donnent suite à plusieurs opportunités d'études visant à stabiliser la méthode d'analyse ainsi qu'à suivre le comportement de différentes variétés de blé en agriculture biologique.

Pour ma part, ce stage m'a permis de découvrir l'organisation du réseau de semences biologiques, ainsi que le fonctionnement pur de la recherche au sein de la sélection participative. J'ai pu apprendre les étapes de la mise en place d'une nouvelle technique d'analyse en laboratoire. J'ai également appris beaucoup sur les techniques et utilisations de la bioélectronique, en agriculture, agro-alimentaire jusque dans le domaine de la santé humaine.

Je pense que cette technique à de l'avenir car elle est simple d'utilisation et pourra une fois totalement mise au point, rapidement apporter des solutions aux questions des agriculteurs.

Et enfin personnellement, j'ai vraiment apprécié travailler au sein de l'équipe Recherche participative et biodiversité cultivée qui m'a chaleureusement accueilli et beaucoup appris.

Liste Bibliographique

Sites

www.inra.fr

www.rennes.inra.fr

www.itab.asso.fr

www.capmarche.chambagri.fr

Ouvrages

Bonjean A., « Histoire de la culture des céréales » dossiers de l'environnement de l'INRA n°21

Bonneuil C. et Thomas F., Gènes, pouvoirs et profits, Quae, 2009

Chable V., "Synthèse du séminaire Payblé » 2010

Danzé J.M., « Une méthode ignorée de l'évaluation du terrain, la bioélectronique de Vincent » 2011

Fougerousse A., et al., « Biologie et électronique », Sciences du vivant, 1992

Justes E., et al. « Innovations Agronomiques » 4, 165-176, (2009)

Morel M.H., « Réactivité du gluten de blé dans le contexte de pâtes céréalières et des matériaux glutens » Université Montpellier II. Ingénierie des agro-polymères et technologies émergentes. UMR 1208. 2009

Parker S., (2010) Buried treasure: soil biodiversity and conservation. Biodivers Conserv 19:3743–3756

Réseau semences paysannes, « Voyage autour des semences paysannes »

Rousseau J. et al., « L'eau », vol. 2, Sciences du vivant, 1991

Rousseau J., Applications diverses de la bioélectronique, Sciences du vivant, 1993

Taupier-Létage B., « Méthodes globales d'analyse de la qualité » ITAB 2009

Annexes

	Date	Heure	pH	rhô (kOhm)	Eh (mV)	RH2
Cristalline	16/05/2012	09:18:47	8,08	2,91	182,3	29,46
Cristalline	16/05/2012	09:58:57	8,05	3,05	208,1	30,25
Cristalline	16/05/2012	10:57:22	8,03	2,97	240	31,3
Cristalline	16/05/2012	11:52:06	8,13	2,8	216,5	30,61
Cristalline	16/05/2012	13:51:02	7,96	2,81	222,1	30,47
Cristalline	16/05/2012	14:51:51	8,05	2,83	220,9	30,58
Cristalline	16/05/2012	16:08:36	7,38	2,85	261,6	30,65
Cristalline	16/05/2012	16:59:45	8,12	2,79	253,6	31,85
Déminée	16/05/2012	09:22:18	6,5	434	240,6	28,32
Déminée	16/05/2012	10:08:58	5,73	606	325,5	29,63
Déminée	16/05/2012	11:04:45	5,72	520	300,5	28,73
Déminée	16/05/2012	12:04:16	5,75	520	292,1	28,52
Déminée	16/05/2012	14:03:58	5,3	442	313,1	28,31
Déminée	16/05/2012	15:05:27	5,75	510	268	27,62
Déminée	16/05/2012	16:17:21	5,51	675	313,5	28,84
Déminée	16/05/2012	17:17:28	5,83	436	353,7	30,8
Filtrée Brita	16/05/2012	09:15:59	6,61	2,55	234,2	28,29
Filtrée Brita	16/05/2012	09:57:33	6,61	2,74	239,7	28,41
Filtrée Brita	16/05/2012	10:55:25	6,72	2,51	279,1	30
Filtrée Brita	16/05/2012	11:50:41	6,79	2,46	255,3	29,26
Filtrée Brita	16/05/2012	13:48:53	6,58	2,48	274,9	29,56
Filtrée Brita	16/05/2012	14:47:09	6,58	2,5	262,4	29,1
Filtrée Brita	16/05/2012	16:04:29	6,66	2,58	279,4	29,83
Filtrée Brita	16/05/2012	16:57:26	6,89	2,67	276,2	30,22
Osmosée	16/05/2012	09:27:13	6,03	675	250,6	27,7
Osmosée	16/05/2012	10:10:52	5,8	781	318,9	29,51
Osmosée	16/05/2012	11:11:42	5,81	625	302,6	29,04
Osmosée	16/05/2012	12:08:43	5,55	793	310,3	28,76
Osmosée	16/05/2012	14:05:54	5,17	775	320	28,32
Osmosée	16/05/2012	15:11:50	5,89	769	286,3	28,59
Osmosée	16/05/2012	16:20:23	5,22	540	324	28,56
Osmosée	16/05/2012	17:21:12	5,67	763	372,7	31,12
Robinet	16/05/2012	09:29:59	7,77	2,21	206,3	29,64
Robinet	16/05/2012	10:14:06	8,09	2,1	282,8	32,84
Robinet	16/05/2012	11:14:53	7,93	2,12	242,2	31,03
Robinet	16/05/2012	12:10:53	8,15	2,09	248,4	31,73
Robinet	16/05/2012	14:08:40	8,17	2,1	230,4	31,27
Robinet	16/05/2012	15:14:46	8,09	2,13	250,5	31,77
Robinet	16/05/2012	16:24:58	8,15	2,01	244,5	31,32
Robinet	16/05/2012	17:24:11	8,05	2,09	291,7	32,92

Tableau.T1 Résultats bruts de l'analyse des eaux de dilution

	Heure	pH	rÔ	eH	rH2
1/1	09:38:50	7,29	7,23	261,9	30,43
1/1	10:14:05	7,3	7,7	266,4	30,57
1/1	11:02:38	7,09	7,54	279,7	30,64
1/1	11:36:40	7,24	7,45	260,4	30,21
1/1	12:18:49	7,13	7,4	294,6	31,17
1/1	13:06:03	7,23	7,39	302,1	31,58
1/1	14:38:06	7,38	7,34	274,2	30,7
1/1	15:15:17	7,23	7,6	269,6	30,4
1/1	15:44:05	7,25	8,37	301,2	31,5
2/1	09:40:39	7,11	6,12	254,7	29,82
2/1	10:15:46	7,12	6,17	255,2	29,79
2/1	11:04:58	7,01	6,36	266,8	29,98
2/1	11:38:52	7,11	6,31	251,5	29,58
2/1	12:21:21	7,09	6,29	277	30,41
2/1	13:07:42	7,09	6,17	295,8	31,02
2/1	14:39:46	7,22	6,1	263	30,07
2/1	15:16:36	7,08	6,11	264,1	29,87
2/1	15:45:48	7,07	6,02	294,1	30,84
3/1	09:42:38	7,04	5,53	251,2	29,56
3/1	10:17:24	7,04	6	251,2	29,5
3/1	11:06:39	6,99	5,5	258,8	29,67
3/1	11:40:30	7,31	5,59	245,7	29,8
3/1	12:23:29	7,02	5,45	268,7	29,99
3/1	13:09:25	7,03	5,47	287,9	30,65
3/1	14:41:06	7,12	5,53	262,6	29,89
3/1	15:18:22	7	5,51	264,1	29,73
3/1	15:47:50	7,03	5,4	286,8	30,53
4/1	09:44:33	6,98	5,47	250,3	29,39
4/1	10:20:43	6,99	5,28	246,8	29,23
4/1	11:08:21	6,97	5,44	255,2	29,5
4/1	11:41:39	6,99	5,36	249,6	29,31
4/1	12:25:30	6,92	5,15	267,6	29,79
4/1	13:11:39	6,92	5,23	287	30,42
4/1	14:43:10	7,04	5,31	261,7	29,7
4/1	15:20:35	6,94	5,26	266,2	29,67
4/1	15:49:36	6,98	5,23	284,9	30,36
eau	09:00:58	5,3	469	309,2	28,11
eau	10:11:38	5,53	80,8	310,6	28,56
eau	11:01:24	5,69	680	302,1	28,64
eau	11:27:55	5,67	537	294,4	28,32
eau	12:09:24	5,56	259	320,8	28,98
eau	12:58:06	5,57	442	354	30,09
eau	14:26:11	5,63	323	350,2	30,02
eau	15:07:42	5,73	352	308,8	28,74
eau	15:31:55	5,75	125,7	311,2	28,84

Tableau T5. Résultats bruts des essais de dilutions

Étiquettes de lignes	Moyennes				Ecart-type			
	pH	rhô	eH	rH2	pH	rhô	eH	rH2
constant (1)	7,15	6,61	285,05	30,96	0,05	0,19	30,90	0,99
constant (2)	7,19	6,58	279,68	30,84	0,03	0,11	25,84	0,89
eau déminée constante	5,89	514,50	323,87	29,76	0,17	373,70	27,72	0,85
eau déminée fraîche	5,84	802,67	319,32	29,57	0,08	246,21	35,43	1,07
frais 1	7,18	6,99	299,20	31,49	0,08	0,16	35,84	1,18
frais 2	7,22	7,01	288,48	31,20	0,06	0,11	31,75	1,09
Total général	6,74	224,06	299,27	30,64	0,64	364,46	33,78	1,19

Tableau T6. Analyse de l'effet aération sur les essais

Essai bassine					
échantillon	heure	ph	rÔ	Eh	rH2
1er	09:37:29	7,39	7,62	190	28,28
1er	09:39:22	7,4	7,58	188,3	28,23
1er	09:41:52	7,4	7,36	192	28,34
2eme	10:30:19	7,45	7,53	241,2	30,1
2eme	10:31:55	7,45	7,45	233,8	29,85
2eme	10:33:33	7,43	7,54	228,6	29,6
3eme	11:37:31	7,42	7,35	201,4	28,66
3eme	11:38:49	7,43	7,62	199,7	28,62
3eme	11:40:20	7,43	7,65	199,7	28,63
4eme	12:31:18	7,21	7,26	238,6	29,52
4eme	12:33:11	7,17	7,13	237,1	29,38
4eme	12:34:49	7,14	7,41	237,4	29,32
5eme	14:34:53	7,07	7,45	199,4	27,94
5eme	14:35:59	7,05	7,58	200,3	27,92
5eme	14:37:33	7,06	5,23	191,8	27,64
6eme	15:35:59	7,12	7,38	238	29,38
6eme	15:37:35	7,13	7,2	230	29,09
6eme	15:39:16	7,15	7,26	225,5	28,95
7eme	16:47:23	7,37	7,25	242,2	30,01
7eme	16:48:35	7,37	7,35	242,9	30,02
7eme	16:49:44	7,35	7,18	245,3	30,07
8eme	17:39:26	7,28	7,18	264,5	30,57
8eme	17:41:04	7,29	6,87	263,8	30,54
8eme	17:42:26	7,31	6,93	262,6	30,54
Moyenne		7,29	7,27	224,75	29,22
Ecart type entre valeurs		0,14	0,48	25,03	0,89

Tableau T7. Analyse de l'effet du conditionnement sur les mesures (essai bassine)

Essai fraîche					
échantillon	heure	ph	rÔ	Eh	rH2
1er	09:37:29	7,39	7,62	190	28,28
1er	09:39:22	7,4	7,58	188,3	28,23
1er	09:41:52	7,4	7,36	192	28,34
2eme	10:34:50	7,41	8,48	229,3	29,62
2eme	10:36:21	7,4	8,53	230,3	29,64
2eme	10:37:46	7,38	8,23	230,5	29,61
3eme	11:32:09	7,44	7,35	203,1	28,78
3eme	11:33:38	7,42	7,17	200,5	28,66
3eme	11:34:58	7,4	7,01	200,3	28,61
4eme	12:24:57	7,12	7,87	243	29,48
4eme	12:26:40	7,19	7,9	239,9	29,52
4eme	12:28:14	7,17	7,83	240,1	29,45
5eme	14:39:40	6,97	7,45	203,4	27,85
5eme	14:40:51	6,96	7,41	210,6	28,09
5eme	14:42:06	6,96	7,63	215	28,21
6eme	15:42:41	7,01	9,68	231,6	28,92
6eme	15:43:55	7,02	9,25	231,9	28,94
6eme	15:45:15	7,04	9,32	235,9	29,11
7eme	16:42:17	7,34	7,77	234,9	29,68
7eme	16:43:37	7,35	7,77	235,3	29,7
7eme	16:44:46	7,36	7,75	238,9	29,83
8eme	17:34:23	7,23	7,02	264,1	30,45
8eme	17:35:51	7,18	6,91	265,4	30,4
8eme	17:37:31	7,16	6,99	268,2	30,47
Moyenne		7,24	7,83	225,94	29,16
Ecart type entre valeurs		0,17	0,75	23,40	0,77

Tableau T8. Analyse de l'effet du conditionnement sur les mesures (essai fraîche)

Protocole Analyse d'un sol par la méthode B.E.V :

1 Prélèvements :

Les échantillons de terre doivent être recueillis à l'aide d'une tarière pour que l'analyse puisse être complète : Chaque échantillon doit peser au minimum 350g, pour pouvoir réaliser 3 répétitions sur chaque.

→ **1 de surface : entre 0 cm et -20cm.**

Les débris végétaux ainsi que les « 3 à 5 premiers cm de l'échantillon seront retirés de la carotte ; par souci d'homogénéité, représentative de la situation du sol enfoui « de surface ».

→ **1 de profondeur : entre -40cm et -60cm.**

Tous les échantillons seront directement emballés dans une poche plastique (type sac congélation), ou pourront être stockés dans une bassine pour être traités dans la journée.

Eviter au maximum tout contact avec les mains pour ne pas modifier les caractéristiques.

2 Préparation des échantillons :

Les pesées s'effectueront dans un bécher, propre et rincé à l'eau déminéralisée. Il ne devra pas rester d'eau dans le bécher, la dilution pouvant être faussée.

→ Peser 100g de terre à +/- 0,5g.

→ Re-peser le même poids pour les 2 autres échantillons.

→ Verser 25ml à +/- 1ml, d'eau déminéralisée dans chaque bécher.

→ Délayer la terre dans le bécher, à l'aide d'une cuillère en porcelaine (rincée à l'eau déminéralisée), en évitant de faire des bulles en mélangeant. (Oxygénation = Oxydation)

→ Une fois la terre délayée, mélanger pendant 1min en évitant les bulles,

→ puis laisser 1 min de repos avant de re-mélanger pendant 1min à nouveau.

→ Plonger les électrodes dans la solution.

Prendre la mesure après stabilisation des valeurs.

Matériel nécessaire à la préparation des échantillons :

Matériel :

- Une tarière
- Des sacs de type congélation / une bassine
- Des béciers de 250ml (de petite taille si possible)
- Cuillères de porcelaine
- Eau déminéralisée, la plus pure possible.

Matériel nécessaire à la mesure, étalonnage et contrôle :

Appareil de mesure :

Lors de la mesure, Le lieu de manipulation ainsi que l'appareil doivent être situés dans un endroit isolé de toute installation électrique haute tension et d'appareils à micro-ondes , car développant des champs d'ondes électromagnétiques trop importants ces champs peuvent fausser la mesure effectuée par l'appareil.

L'appareil de mesure doit être capable de pouvoir mesurer :

- Le pH
- La Conductivité (————> Résistivité = 1/Conductivité)
- Le potentiel Oxydo-Réducteur.

Et doit donc comporter 3 sondes de mesures.

(Appareil utilisé au SAD Paysage, unité biodiversité cultivée : CONSORT C3050)

Etalonnage et contrôle :

Avant la première utilisation de l'appareil et ceci régulièrement après, l'appareil doit être étalonné grâce aux solutions étalons achetées avec le matériel. Chaque étalon doit être conservé dans un endroit sec à l'abri de la lumière.

Pour vérifier que l'étalonnage est réussi, des solutions de contrôles doivent faire partie du matériel de départ ; une (au minimum) pour chaque unité de mesure.

L'appareil sera contrôlé avant chaque série de mesure, pour bien vérifier que l'appareil n'est pas mal étalonné, et donc relevant de fausses données.

L'étalonnage sera effectué toutes les semaines ou tous les mois selon l'utilisation de l'appareil.

Figure H1. Extrait catalogue d'analyses de sol, laboratoire INRA d'Arras.

SOLS - Groupe 1 : Prise en charge - Préparation

Code analytique Libellé Unité Méthode

SOL-0101 Prise en charge de l'échantillon - -
@ SOL-0103 Préparation des sols - NF ISO 11464
SOL-0104 Traitement spécial de l'échantillon niveau 1 - -
SOL-0105 Traitement spécial de l'échantillon niveau 2 - -
SOL-0106 Traitement spécial de l'échantillon niveau 3 - -
SOL-0107 Renvoi de l'échantillon après analyse - -

SOLS - Groupe 2 : Humidités - Matière sèche

Code analytique Libellé Unité Méthode

@ SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C g/kg NF ISO 11465
SOL-0202 Humidité équivalente à 1000g (pF 3) g/100g méthode INRA
SOL-0203 Humidité sur sol frais g/kg méthode INRA

SOLS - Groupe 3 : Granulométrie

Code analytique Libellé Unité Méthode

SOL-0301 Eléments grossiers (terre fine < 2mm ; graviers 0.2-2cm ; cailloux 2-20cm) g/kg méthode INRA
@ SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation g/kg NF X 31-107
SOL-0303 Granulométrie 8 fractions sans décarbonatation g/kg NF X 31-107
@ SOL-0304 Granulométrie 5 fractions après décarbonatation g/kg NF X 31-107
SOL-3302 Granulométrie 3 fractions sans décarbonatation g/100g ISO 11277

SOLS - Groupe 4 : Matières organiques

Code analytique Libellé Unité Méthode

SOL-0401 Matières volatiles à 550°C g/100g méthode INRA
SOL-0402 Perte au feu à 1100°C g/kg méthode INRA
@ SOL-0403 Carbone (C) organique par correction calcaire g/kg NF ISO 10694
@ SOL-0407 Carbone (C) organique par décarbonatation g/kg NF ISO 10694
@ SOL-0404 Azote (N) total g/kg NF ISO 13878
@ SOL-0405 Carbone (C) organique et azote (N) total g/kg NF ISO 10694 et NF ISO 13878
@ SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total g/kg NF ISO 10694 et NF ISO 13878
SOL-0408 Black carbon g/kg méthode INRA

SOLS - Groupe 5 : pH - Calcaire

Code analytique Libellé Unité Méthode

@ SOL-0501 pH eau - NF ISO 10390
SOL-0502 pH KCl 0,1N - selon NF ISO 10390
@ SOL-0503 pH KCl N - NF ISO 10390
SOL-0508 pH CaCl₂ 0.01 mol/l - NF ISO 10390
@ SOL-0504 Calcaire (CaCO₃) total g/kg NF ISO 10693
@ SOL-0505 (1) Calcaire (CaCO₃) actif g/100g NF X 31-106
SOL-0506 (1) Indice de pouvoir chlorosant (IPC) - méthode Juste et Pouget - FD X 31-146
SOL-0507 (1) Indice de pouvoir chlorosant (IPC) - méthode Morlat et Courbe - méthode INRA
(1) implique la détermination SOL-0504 (CaCO₃ total)

SOLS - Groupe 6 : Phosphore assimilable

Code analytique Libellé Unité Méthode

@ SOL-0601 Phosphore (P₂O₅) - méthode Joret-Hébert g/kg NF X 31-161
@ SOL-0602 Phosphore (P₂O₅) - méthode Dyer g/kg NF X 31-160
SOL-0603 Phosphore (P₂O₅) - méthode Duchaufour g/kg méthode INRA
SOL-0608 * Phosphore (P₂O₅) - méthode Duchaufour g/kg méthode INRA
@ SOL-0604 Phosphore (P₂O₅) - méthode Olsen g/kg NF ISO 11263
SOL-0605 Pouvoir fixateur - méthode Studer % méthode INRA
SOL-0609 Phosphore organique (P₂O₅) g/kg méthode INRA

* : par rapport à la méthode SOL-0603, la méthode SOL-0608 donne le détail de la quantité de phosphore extrait par la solution d'acide sulfurique et la quantité de phosphore extrait par la solution sodique. La somme des teneurs en phosphore obtenues dans les deux extraits revient à la méthode SOL-0603

V 2012.0 Mise en application : 01/01/2012

	pH	rhÔ en Ohm.cm	eH en mV	rH2
Couvert	6,53	615	82,9	22,67
Couvert	6,44	568	60,5	21,74
Couvert	6,47	531	37,4	21,01
Couvert	6,51	533	73,8	22,34
Couvert	6,59	523	48,2	21,61
Couvert	6,5	536	39,4	21,13
Couvert	6,38	524	35,4	20,74
écarts-types	0,07	33,52	18,88	0,71
écarts-types	0,10	33,11	25,45	1,00
Normal	6,58	735	95,3	23,22
Normal	6,39	748	89,3	22,64
Normal	6,45	697	79	22,41
Normal	6,51	666	112,1	23,66
Normal	6,64	675	95,1	23,31
Normal	6,53	683	86,5	22,79
Normal	6,38	667	31,2	20,61

Tableau T9. Observation de l'effet d'aération sur les paramètres d'un jus de blé

**Andoni GABIRONDO, 2012 : Analyse de sols par la bioélectronique :
Mise au point d'une technique de mesure et comparaison d'un essai.
Centre INRA (Le Rheu), Domaine de la Motte au Vicomte,
35653 LE RHEU**

Résumé : Dans le cadre de la Licence Professionnelle BAEMOVA (Biologie Analytique et Expérimentale des Micro-organismes, de l'Animal et du Végétal), j'ai réalisé mon stage de fin d'année au sein de l'Unité de Recherche Sciences pour l'Action et le Développement Paysage.

La bioélectronique de Vincent (BEV) est un outil d'analyse de la qualité en agriculture biologique, basé sur la mesure de trois paramètres physico-chimiques (pH, potentiel oxydo-réducteur et résistivité).

L'objectif de mon stage, réalisé au sein de l'équipe Recherche participative et Biodiversité cultivée, consistait à mettre au point une méthode d'analyse des sols par la BEV, puis de l'appliquer sur différents sols d'un essai. Ces essais comprenaient différentes variétés de blé, chacune associée à différentes espèces de la famille des légumineuses. Les mesures réalisées ont permis de discriminer et de différencier les sols selon la culture (variété, légumineuse associée et interactions).

Cette méthode de mesure bioélectronique pourra également permettre, dans le futur, d'étudier les interactions entre la biodiversité cultivée et la biodiversité du milieu.

**Andoni GABIRONDO, 2012 : Bioelectronic soil analysis : Development
of a measuring technic and comparison between wheat races.
Centre INRA (Le Rheu), Domaine de la Motte au Vicomte,
35653 LE RHEU**

Abstract : As part of the Professional Licence BAEMOVA, I achieved my internship at the Research Unit Sciences pour l'Action et le Développement Paysage.

Bioelectronic of Vincent (BEV) is a tool for analyzing quality in organic farming, based on the measurement of three physico-chemical parameters (pH, oxidoreduction potential and resistivity). The objective of my training course, carried out within the research team Recherche participative et Biodiversité cultivée, was to develop a reliable method for analyzing soils by bioelectronics and then applied it on different soils of a trial. The trials included different wheat varieties, each associated with different species of fabaceae family. The measurements were used to establish and differentiate the soils by crop (variety, fabaceae associated and interactions).

In the future, this bioelectronic measurement method will allow the research team to study interactions between crop biodiversity and biodiversity in the environment.