

# SOL ET FERTILITE

Analyses des sols de la Ferme biologique du Bec Hellouin  
par Claude et Lydia Bourguignon

Par Camille JOYEUX et Louise GEHIN



Mission réalisée du 18 au 20 avril 2016 à la Ferme biologique du Bec Hellouin,  
dans le cadre de l'étude sur la microferme permaculturelle.

Programme de recherches / 2015-2018 / Institut Sylva



# Remerciements aux partenaires de L'Institut Sylva

## Partenaires financiers :

- Fondation de France
- Fondation Iris
- Fondation Lemarchand pour l'Equilibre entre les Hommes et la Terre
- Fondation Lunt
- Fondation Picard
- Fondation Terra Symbiosis
- Mécénat BALT-NEWCO
- Mécénat Charlotte de Mévius
- Mécénat Gilles Ghesquière

## Partenariats scientifiques et techniques :

- Unité SAD-APT - INRA AgroParisTech
- Ferme biologique du Bec Hellouin
- Laboratoire d'Analyses Microbiologiques des Sols (LAMS)
- Université Libre de Bruxelles (ULB)
- Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO)
- Carbone 4
- Université de Gembloux
- Pur Projet
- Ecocert
- Groupe de Recherche en Agriculture Biologique (GRAB)
- Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie (CRAN)
- Association Française d'Agroforesterie (AFA)
- Agroforestry Research Trust

Merci infiniment pour votre soutien et votre contribution  
au programme de recherches de L'Institut Sylva.

## Sommaire

Sommaire .....	2
Sigles et abréviations .....	3
Le sol : le point de vue des maraîchers .....	4
Introduction .....	7
Localisation des différents sites étudiés.....	9
L'herbage.....	10
La grande serre - allée S 22 .....	12
La grande serre - couche chaude S 11.....	14
La grande île - GIS.....	15
La grande île - GI9.....	17
Butte avec du bois .....	18
La mini forêt-jardin .....	20
Tableau récapitulatif des analyses de sol réalisées .....	21
Conclusion et recommandations générales .....	22
Discussion .....	24
Logique de flux et logique de stock :.....	24
Des recommandations à intégrer dans un cadre plus large.....	25
Le sol : le point de vue des maraîchers .....	26
Annexes.....	28
Annexe n°1 : Tableaux récapitulatifs des analyses selon la méthode Hérody.....	28
Annexe n°2 : Dynamique de production des argiles .....	30
Annexe n°3 : Détail des tests réalisés in situ.....	31

## Crédits photos

Ferme biologique du Bec Hellouin  
Institut Sylva  
Hugo Martial Bonnet  
Nicolas Vereecken  
DR

## Sigles et abréviations

B	Bore
BRF	Bois Raméal Fragmenté
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
Ca	Calcium
CEC	Capacité d'Echange Cationique
C/N	Rapport Carbone / Azote
Cu	Cuivre
Fe	Fer
GI	Grande Île
H	Hydrogène
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
K	Potassium
LAMS	Laboratoire d'Analyses Microbiologiques des Sols
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
MO	Matière Organique
MOF	Matière Organique Facilement Minéralisable
MOT	Matière Organique Totale
N	Azote
Na	Sodium
P	Phosphore
pH	Potentiel Hydrogène
S	Serre
S	Soufre
SAD-APT	Sciences Action Développement - Activités Produits Territoires
Zn	Zinc

## Le sol : Le point de vue des maraîchers (première partie)



Pour nous, maraîchers, le sol est l'objet de tous nos soins. Mais il reste cependant un pays mystérieux. Malgré nos efforts, nous peinons à comprendre sa dynamique et l'effet de nos pratiques. La venue de Lydia et Claude au Bec Hellouin a été pour toute notre équipe un grand moment !

Surprise d'abord de voir les Bourguignon tellement concentrés sur chaque sondage. Ils sont aussi enthousiastes que si c'était leur premier trou dans le sol ! Trois jours durant les observations se succèdent et leur engagement est total.

Joie d'entendre leurs explications claires, de constater leur générosité : ils sont dans le don, partagent tout ce qu'ils savent, avec une énergie hors du commun.

Respect, enfin, devant leur humilité : nous n'avons pas devant nous deux grandes « stars » du sol, mais des personnes simples, bourrées d'humanité. Jamais ils ne prétendent tout connaître, la modestie des vrais chercheurs !

Les journées et les soirées ont été animées de leurs chants et de leurs blagues, d'échanges profonds et sincères... Une très belle rencontre !

Merci Claude et Lydia, de la part de tous les habitants du Bec, fermiers, chercheurs, vers de terre et mycorhizes ! Nous n'avons qu'un regret : ne pas vous avoir invités plus tôt !

Lorsque nous avons débuté notre activité maraîchère professionnelle, en 2006, Perrine et moi ignorions à peu près tout du sol. Nous avons créé nos jardins dans le fond de la vallée du Bec, le seul espace dont nous disposions. Les voisins nous ont dit, sans plus de commentaire : « On ne cultive pas la vallée ». Quelques années plus tard, un archéologue nous l'a confirmé, ce fond de vallée n'avait jamais été mis en cultures, celles-ci prennent place sur les plateaux adjacents.

Nous avons vite compris pourquoi : dès que nous pesions dessus, nos outils raclaient un lit de cailloux (nous étions en traction animale). Nous nous consolions en nous disant que la couche de terre arable recouvrant ces silex était noire et fertile.

Les premières analyses de sol effectuées grâce à la méthode Hérody nous ont fait déchanter : notre terre est très peu fertile, le taux de matière organique est élevé mais celle-ci est peu disponible. Le coefficient de fixation était, selon les jardins, de 0,3 à 0,4 sur une échelle qui va de 0 à 6. L'ingénieur de la Chambre d'Agriculture qui avait effectué ces mesures nous a confirmé que notre terre est l'une des moins propres au maraîchage de la région.

Nous pouvions observer effectivement que nos cultures « avaient faim », d'autant plus que, par choix, nous ne voulions pas ajouter d'engrais du commerce.

Nous avons alors rencontré la culture sur buttes et fait évoluer nos pratiques. Les buttes ont permis de corriger la faible profondeur de sol et de faire monter significativement la production. Nous avons fait des apports de matière organique réguliers, essentiellement de la matière fraîche déposée en paillage sur les buttes. Nous avons privilégié le compostage en place de ces mulchs plutôt que le compostage en tas, sans toutefois exclure ce dernier. Le mulch remplit en effet plusieurs fonctions importantes, en plus de jouer un rôle de fertilisant.

Nous cherchons à nous inspirer de la nature et cette pratique de buttes permanentes régulièrement mulchées nous convient parfaitement. Elle s'inscrit dans une logique de flux, omniprésente dans les écosystèmes, plutôt que dans la logique de stocks qui prévaut dans l'agriculture contemporaine. L'un des intérêts de l'écoculture développée au Bec Hellouin est que la faible surface cultivée dans le cœur intensif de la ferme est très productive, ce qui libère d'autres espaces qui jouent un rôle de pourvoyeurs de matière organique, entre autres fonctions. La ferme est donc traversée par des flux réguliers de matière organique au bénéfice de la zone 1, la zone maraîchère intensive. Ces flux peuvent également provenir de la valorisation de déchets du territoire (fumier, bois raméal fragmenté).

Notre aspiration est de créer du sol, à l'instar des anciens maraîchers parisiens. Nous percevons notre sol médiocre comme une opportunité d'apprendre comment créer une bonne terre maraîchère. Actuellement les terres arables de la planète sont trop souvent en voie de désertification et, dans bien des contextes, il va devenir vital de savoir comment recréer des sols fertiles pour nourrir l'humanité de demain. Nous réfléchissons beaucoup à ces questions et pensons que le fait d'être en capacité de diriger vers la zone 1 des flux relativement importants et réguliers de matière organique peut permettre de résoudre cette question importante.

Nous avons une conviction : en tant que paysans, nous ne pouvons pas continuer à être des destructeurs de sols. Nous ne pouvons pas non plus nous contenter de les maintenir en l'état. Il est essentiel que notre activité contribue à améliorer le potentiel de vitalité de la biosphère.

Nous aspirons à une progressive autofertilité de la ferme et n'avons acheté des engrais bio du commerce (Guanofort et Patentkali) que durant 3 années sur les 11 de notre activité maraîchère.

Notre approche était empirique. Nous cherchions toutefois à mieux comprendre les mécanismes qui régissent le fonctionnement du sol, non pas d'un point de vue théorique, mais en tant que maraîchers, en vue d'obtenir des récoltes abondantes par des moyens naturels. Ceci a amené Perrine à s'intéresser fortement aux préparations riches en micro-organismes, de type bokashi, compost-tea, purins de plantes, ainsi qu'au biochar.

Pas facile toutefois d'y voir clair tant ces sujets sont complexes. Nous constatons des discours qui semblent parfois contradictoires, entre l'approche d'Hérody par exemple, qui met en garde contre des apports trop importants de matière organique et les pratiques des maraîchers du XIX<sup>ème</sup> siècle qui importaient d'énormes quantités de fumier, avec d'excellents résultats. En tant que maraîchers l'approche de nos anciens confrères nous intéresse fortement, toutefois aujourd'hui nous savons qu'il faut limiter les apports pour protéger les nappes phréatiques d'éventuels lessivages, et agir dans le cadre de la législation actuelle qu'il convient de respecter bien évidemment.

En 2015 nous avons démarré une étude sur les flux et une autre sur la séquestration de carbone, études pilotées par l'Institut Sylva en lien avec plusieurs partenaires scientifiques, afin de mieux comprendre et décrire ces mécanismes. Dans ce cadre, nous avons fait réaliser une nouvelle série d'analyses par la méthode Hérody, cinq années environ après les premières analyses. Les résultats nous ont troublés. Il semblait que les apports importants de matière organique réalisés au fil des ans avaient eu pour effet de créer un horizon superficiel de sol anthropique fertile, mais n'avaient que peu affecté le sol en lui-même, malgré sa faible profondeur. Le coefficient de fixation, par exemple, ne s'était pas amélioré. Finalement, nous nous trouvions avec plus de questions que de réponses !

Toutefois, si les analyses de sol donnent un éclairage, elles ne décrivent pas tout. L'observation de la végétation permet de compléter notre perception de ce continent mystérieux qu'est le sol. Hors, nous avons vu notre production légumière augmenter fortement au fil des ans et la végétation était devenue plutôt luxuriante. Les résultats atteints en année 3 de notre première étude « Maraîchage biologique permaculturel et performance économique », 55 € de production commercialisée en moyenne par mètre carré, avaient été obtenus dans ce contexte, ce qui est encourageant pour tous les maraîchers qui ne disposent pas d'un « sol de rêve ».

C'est alors que Louise Géhin, l'ingénieure qui pilote nos programmes de recherches, a eu l'excellente idée d'inviter Claude et Lydia Bourguignon pour bénéficier de leur expertise.

La suite est racontée dans ces pages... Nous nous retrouverons à la fin de ce dossier pour quelques réflexions complémentaires !

Charles Hervé-Gruyer, maraîcher  
et co-créateur de la Ferme biologique du Bec Hellouin



## Introduction

L'étude « Maraîchage biologique permaculturel et performance économique »<sup>1</sup> a montré qu'une micro-agriculture bio-intensive et inspirée de la permaculture, pratiquée de manière presque exclusivement manuelle sur une petite surface, peut atteindre une productivité insoupçonnée jusque-là. Ce résultat révèle le potentiel encore méconnu d'un modèle agroécologique innovant dont le but est de tirer la quintessence des services écosystémiques tout en essayant d'intégrer au mieux les défis économiques, sociaux et environnementaux d'aujourd'hui et de demain.

Dans une ferme comme celle du Bec Hellouin, performance économique et performance écologique semblent étroitement liées. Cette hypothèse ouvre donc des perspectives qui demandent à être mieux comprises et davantage étudiées.

### Comment un jardin maraîcher aussi petit peut-il soutenir durablement un tel niveau de production ?

Tel est le point de départ du programme de recherches-actions 2015-2018 de l'Institut Sylva. Ce programme propose d'étudier le fonctionnement et la durabilité de deux systèmes permaculturels bio-intensifs (la microferme permaculturelle et la forêt-jardin) et plus particulièrement, pour le cas de la microferme permaculturelle, d'évaluer l'impact des pratiques culturales sur la fertilité<sup>2</sup> des sols.

Quel est l'état des sols des jardins ? Comment évoluent leurs fertilités (physique, chimique et biologique) ? Quels sont les flux de matières qui traversent les sols des jardins (amendements, récoltes) ? Les pratiques développées à la Ferme du Bec Hellouin répondent-elles aux besoins des sols de ses jardins ? Ces pratiques sont-elles adaptées au regard des exportations réalisées ?

Pour répondre à ces questions, une meilleure compréhension des sols de la ferme, de leur état, de leur fonctionnement et de leur évolution, était indispensable. Nous avons donc fait appel à plusieurs experts susceptibles d'éclairer notre raisonnement et d'alimenter notre réflexion.

Nous avons tout d'abord fait appel à la méthode Hérody qui prend en compte les paramètres fondamentaux de l'écologie des sols et les cycles biogéochimiques. Cinq analyses de sol ont été réalisées en juillet 2015 dans différents jardins de la Ferme du Bec Hellouin.

Les principaux résultats de ces analyses sont présentés dans l'Annexe 1. Ils montrent que les sols de la ferme sont pauvres en particules fines à grande surface d'échange (argiles en feuillets et limons fins), ce qui limite la capacité d'échange cationique (CEC) des nutriments et augmente le risque de lessivage. Les recommandations formulées à l'issue de ces analyses proposent de réduire les apports de matières carbonées récalcitrantes riches en polyphénols (bois non raméal fragmenté, matières très pailleuses et lessivées) tout en augmentant les apports de fumier jeune, de compost frais et d'engrais verts. En considérant que la MO joue le rôle « d'éponge à nutriments » (Gobat et al., 2010)<sup>3</sup>, ces apports seraient bénéfiques et pourraient compenser la faible CEC héritée du sol.

---

<sup>1</sup> Etude menée de 2011 à 2015 à la Ferme biologique du Bec Hellouin en partenariat avec l'Institut Sylva et l'unité SAD-APT de l'INRA et AgroParisTech. Pour plus d'information sur ce sujet, se reporter au rapport final et aux rapports intermédiaires de l'étude « Maraîchage biologique permaculturel et performance économique » réalisée de 2011 à 2015 à la Ferme biologique du Bec Hellouin, en partenariat avec l'Institut Sylva et l'unité SAD-APT de l'INRA-AgroParisTech.

<sup>2</sup> Le mot fertilité vient du latin *Fertilis* (fertile) qui signifie « qui produit en abondance ». La fertilité d'un agroécosystème correspond à l'aptitude d'un écosystème agricole à répondre aux besoins de toute la chaîne alimentaire allant de la plante à l'homme, en passant par les animaux et les micro-organismes.

<sup>3</sup> GOBAT J.-M., ARAGNO M., WILLY M. [2013]. Le sol vivant. Presses polytechniques et universitaires romandes, troisième édition.

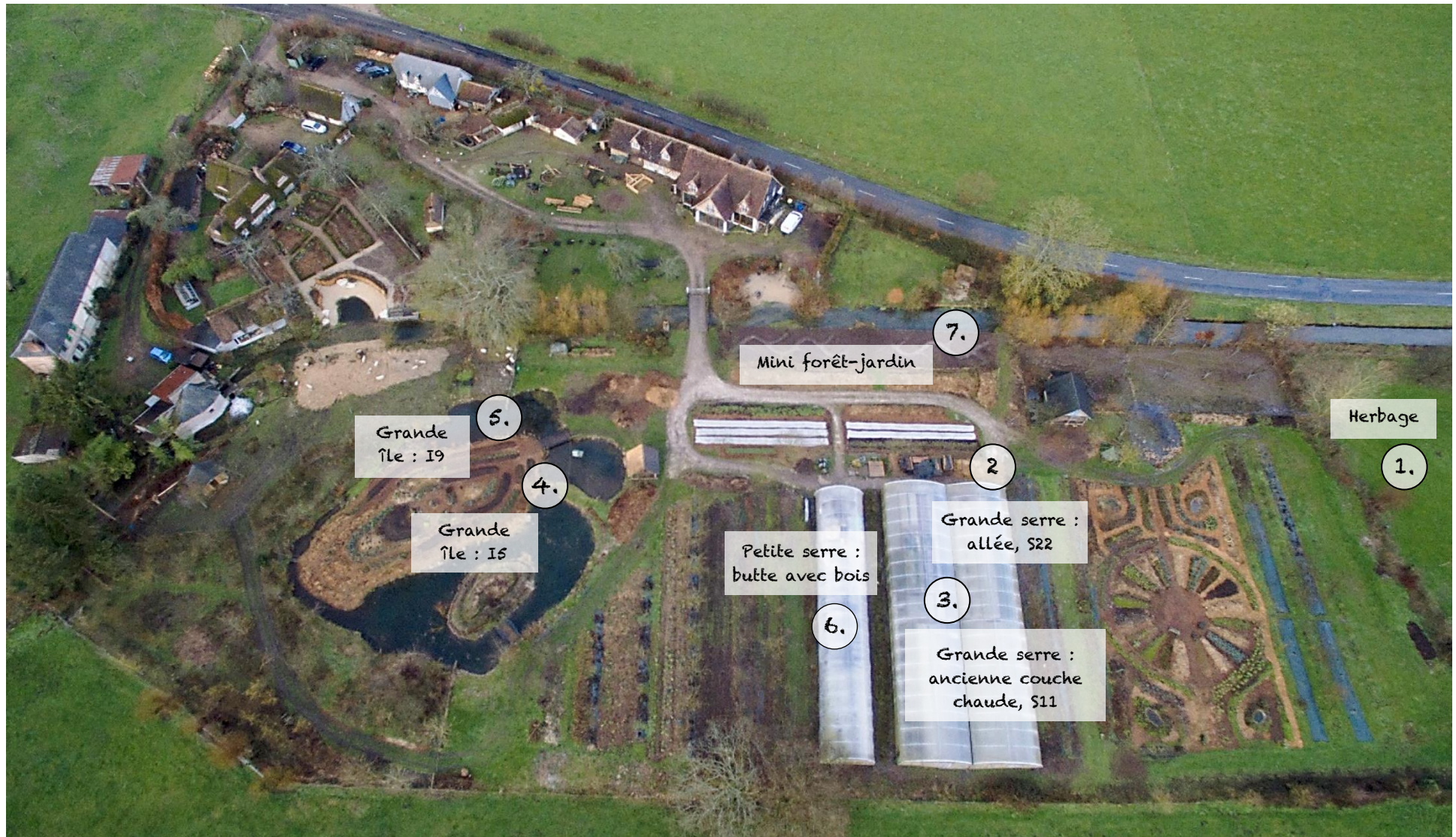


Pour approfondir cet aspect, nous avons demandé à Claude et Lydia Bourguignon de réaliser des analyses de sol complémentaires en avril 2016. Chercheurs, microbiologistes et pédologues, co-créateurs du LAMS (Laboratoire d'Analyses Microbiologiques des Sols), reconnus pour leur expérience et leur expertise en France et à l'international, ils sont venus en mission à la Ferme du Bec Hellouin du 18 au 20 avril 2016.

Le présent document propose un compte-rendu de la mission qu'ils ont réalisée. Une première partie présente les analyses de sol effectuées et leurs recommandations respectives. Une seconde partie synthétise les conseils formulés par Claude et Lydia Bourguignon. Le travail s'achève par une discussion qui ouvre la réflexion quant à la suite à envisager : comment intégrer ces conseils au fonctionnement d'une microferme en maraîchage bio-intensif d'inspiration permaculturelle ?

## Localisation des différents sites étudiés

Analyses réalisées à la ferme biologique du Bec Hellouin : plusieurs sites de la ferme ont été étudiés et divers prélèvements y ont été effectués. Les résultats sont présentés pour chaque site dans les pages suivantes.





# 1. L'herbage

Le sol de l'herbage est considéré comme le sol témoin. En théorie, il nous permettra de comparer un sol « neutre », non cultivé, avec d'autres sols cultivés selon les techniques développées à la Ferme biologique du Bec Hellouin.

## Site d'échantillonnage :

Observations : herbage pâturé par des moutons et des équidés  
Absence de légumineuses dans la flore spontanée de la prairie en avril

Deux prélèvements sont effectués dans l'herbage :  
terre de surface et en profondeur



L'herbage est situé dans la vallée du Bec



Les animaux de l'herbage

## Analyse du profil :



### Tests *in situ* :

- Test au HCl : **absence de carbonates de calcium, le sol n'est pas calcaire**
- Test à  $H_2O_2$  : **faible activité biologique de surface**
- Test du fer :
  - ✓ Le sol est riche en fer et **lessive légèrement**
  - ✓ Le sol n'est **pas asphyxiant**, l'eau circule dans le sol sans gêner les racines
- Pierrosité du sol :
  - ✓ 0% de cailloux en surface
  - ✓ 70% de cailloux en profondeur

### En surface : 10-20 cm d'épaisseur

Limons sableux non calcaire riche en MO dans sa partie supérieure. Sol extrêmement léger, **peu d'argiles**  
**Forte densité racinaire** : racines belles et bien développées  
Présence de tâches de rouille : l'endroit est régulièrement inondé (battance de l'eau / **hydromorphie**)  
**Structure idéale** : sol non compacté / coudé

### En profondeur : 20-40 cm d'épaisseur

Roche meuble de silex  
**Sable limoneux non calcaire** exploré par les racines  
Moins de 10 % d'argiles  
**Systèmes racinaires abondants et ramifiés qui courent le long des silex**  
Un lit de cailloux au fond du profil  
Gradient d'humidité croissant vers le fond du profil



Les racines des plantes courent le long des galets



Croûte de battance sur le sol limoneux de la parcelle

### Tests réalisés en laboratoire :

**Activité biologique :** Comptage de la faune de surface : niveau très bas (en comparaison avec un sol de forêt)  
**Faible activité biologique** sur l'ensemble du profil

**Analyse physique :** Surface = limoneux fins / 22% d'argiles  
Profondeur = limoneux / 20% d'argiles  
Qualité des argiles : surface interne moyenne (type illites)

**Attention :** **Risque de lessivage des cations et donc de pollution des nappes**  
**Risque de croûte de battance** (observée sur les zones travaillées de l'herbage)

**Analyse chimique :** L'hydrogène envahit la CEC (voir abréviations en page 2), **sol en voie d'acidification** (confirmation par le pH en surface : 5,90)

**CEC argile faible** : peu de sites de fixation et d'échange sur les argiles

CEC MO élevée mais points de CEC par % de MO faibles : peu de sites de fixation et d'échange sur la MO / **mauvaise qualité de la MO**. La CEC élevée de la MO est liée à la présence de MO en grande quantité et non à la qualité de celle-ci. **MO fossilisée**

Pas de calcaire actif

C/N = 7,80 - Capacité moyenne de minéralisation

**Éléments :** **Sodium : réserve insuffisante** (élément essentiel pour les animaux du sol et notamment pour le bon fonctionnement du système nerveux des vers de terre)

**Manganèse : sol carencé**

**Attention :** **Complexe adsorbant faible** (peu d'argiles, des argiles de qualité moyenne et une MO de mauvaise qualité)

**Dynamique d'acidification + de lessivage des éléments du sol**

**Conclusion :** Le sol de l'herbage est un bon sol de prairie. Il est cependant en voie d'acidification (dynamique naturelle suivie par les sols d'Europe dès lors que la végétation climax - la forêt - est remplacée par une végétation herbacée dont les racines ne sont pas suffisamment profondes pour retenir les ions calcium. La création de prairies sans arbres abouti à des dynamiques d'acidification des sols => revenir à des systèmes plus adaptés de type pré-verger). Son complexe adsorbant est faible : peu d'argiles, argiles de mauvaise qualité et MO de mauvaise qualité malgré une quantité très importante.

**Retour sur l'essai de céréales :** Ce n'est pas un sol pour la culture de céréales d'hiver (blé d'hiver) : il est beaucoup trop humide. En revanche, il est possible d'y installer des cultures de printemps (lin, orge de printemps, sarrasin) et des cultures plus résistantes à l'humidité (avoine).

**Retour sur le projet de forêt comestible :** Il est possible de transformer l'herbage en pré-verger pâturé, privilégier des fruitiers peu sensibles aux excès d'humidité (pommiers à cidre)

Attention : le pommier préfère des sols plus argileux

Attention : le châtaigner n'aime pas la craie, essayer avec une greffe sur chêne

### Recommandations :

**Objectifs :** renforcer le complexe adsorbant, initier la restauration physique du sol pour favoriser dans un second temps son activité biologique

#### Apports recommandés :

- Bentonite 2 T/ha/an
- Compost 5 T/ha/an
- Calcaire 300 kg/ha/an
- Patenkali 30 unités/ha/an
- Sel de Guérande 70 kg/ha/an

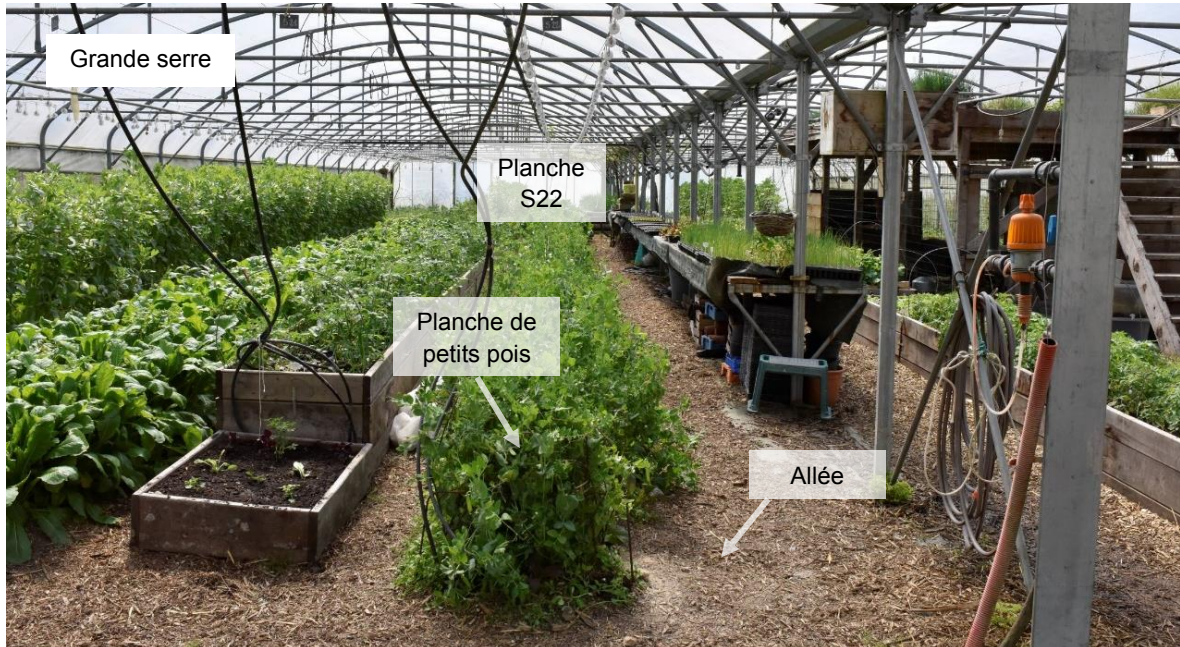


## 2. La grande serre - allée S 22

Site d'échantillonnage :

Allée de la planche S22 : à l'entrée de la serre, là où Charles et Perrine Hervé-Gruyer ont identifié par le passé la présence, à faible profondeur, d'un substrat blanc qui n'a pas pu être identifié

Prélèvement de l'horizon inférieur (profondeur) dans l'allée (planche S22)



Analyse du sol de la grande serre.  
Emplacement du premier profil : allée S22

Analyse du profil :



Tests *in situ* :

- Test au HCl : présence de **carbonate de calcium** (produit issu de la décomposition de la craie) en **très grande quantité** dans tous les horizons du sol
- Test du fer : **le sol est asphyxiant et réducteur, il manque d'oxygène**

Horizon supérieur : 5-10 cm

Terre noire très riche en **carbonates de calcium**

Décomposition anaérobie de la matière organique : **mauvaises odeurs** de soufre et d'ammoniac

En profondeur : > 10 cm

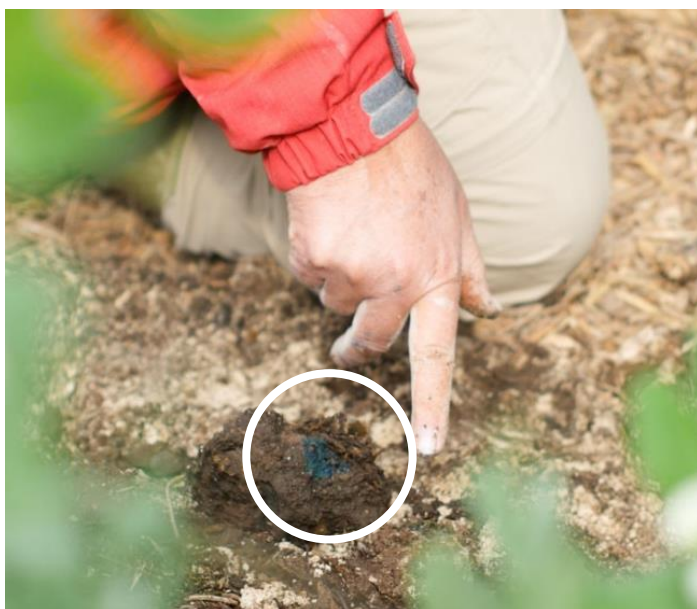
Sol sableux, légèrement argileux

Substrat blanc **extrêmement humide** (hydromorphe) et très riche en **carbonates de calcium**

Passage d'une **veine de craie** à cet endroit

Présence de **racines brunes asphyxiées**





Présence de grandes quantités de fer ferreux dans l'horizon superficiel



Le sol dégage une odeur nauséabonde d'œuf pourri (présence d'H<sub>2</sub>S et de NH<sub>3</sub>)

### Tests réalisés en laboratoire :

**Activité biologique :** En profondeur : très faible activité biologique

**Analyse physique :** En profondeur = limono-sableux / 6% d'argiles  
Qualité des argiles : surface interne moyenne (type illites)

**Attention :** Risque de lessivage des cations et donc de pollution des nappes

**Analyse chimique :** CEC argile faible : peu de sites de fixation et d'échange sur les argiles  
% MO et CEC MO faibles (résultats normaux pour une allée)  
pH basique (8,70)  
Niveau élevé de calcaire actif

**Attention :** Risque de galle sur pommes de terre + risques de chloroses

C/N = 9,70 - Capacité normale de minéralisation

**Éléments :** L'allée est pauvre en tous les éléments (Ca, Mg, P, K, N, S et Na)  
L'allée est pauvre en tous les oligoéléments (B, Zn, Fe, Cu, Mn)

### Conclusion :

Le sol de la serre est riche en calcium actif et basique. **Attention au risque de chlorose. Ne pas trop arroser un tel sol.**

**Retour sur le décaissage des allées :** Les allées sont des zones de compostage in situ. Elles sont décaissées régulièrement et leur contenu est épandu sur les planches de cultures voisines. Si cette pratique n'est plus réalisée dans la serre de la ferme, elle l'est encore dans d'autres jardins. Cependant, en fonction du substrat de compostage utilisé, le piétinement des allées peut favoriser l'apparition de zones anaérobies au sein desquelles la dégradation de la matière organique va aboutir à la production d'ammoniac, d'hydroxyde de soufre et de méthane mais aussi de divers composés secondaires (alcools, sucres...).

**Attention :** des matières organiques issues de dynamiques de décomposition anaérobie ne seront pas intéressantes pour les plantes (absence d'éléments nutritifs et présence potentielle d'éléments toxiques). Elles ne pourront qu'apporter de la structure au sol à condition d'être bien décompactées, aérées et incorporées petit à petit, en quantités modérées.

### Recommandations :

#### Pour la gestion des allées, de manière générale :

- Privilégier la sciure et des copeaux de bois (décomposition lente, meilleure gestion de l'enherbement),
- Ne pas mettre de fumier : décomposition trop rapide (minéralisation et lessivage) + les éléments nutritifs ne profitent pas aux plantes.

**Eviter les situations d'anaérobiose (absence d'oxygène liée au piétinement ou à l'engorgement en eau d'un milieu)**

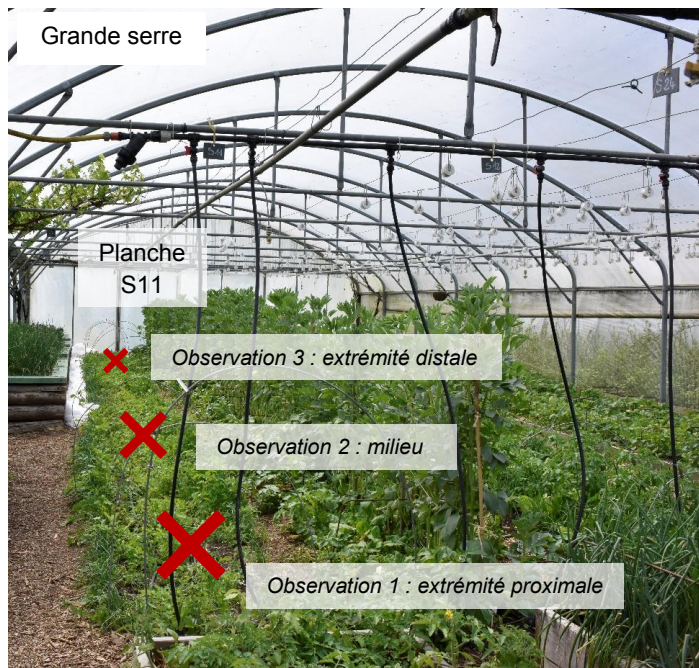


### ③ La grande serre - couche chaude S 11

Site d'échantillonnage :

Sur la planche S11 : ancienne couche chaude de plus de deux ans, trois observations sont réalisées à trois endroits

Prélèvement d'argile au niveau d'une ancienne couche chaude (planche S11)



Analyse du sol de la grande serre  
Ancienne couche chaude (S11)

Analyse du profil :

**Observation 1** : sol léger, humide, très peu compact. Absence de craie. **Importante couche d'argile à 60 cm** (25 à 30%). Sol très calcaire sur toute la hauteur (test au HCl : positif)

**Observation 2** : absence d'argile

**Observation 3** : terre sèche, pulvérulente. **Absence d'argile**. Sol très calcaire. Présence de nombreux silex très drainants



Le sol de l'horizon inférieur est riche en argile

Tests réalisés en laboratoire :

**Activité biologique** : Faible activité biologique en profondeur

**Attention** : Manque d'aération de la couche chaude

**Analyse physique** : Profondeur = limoneux fins / 23% d'argiles

Qualité des argiles : surface interne moyenne (type illites)

La présence d'argile est très intéressante pour le maraîchage, en particulier pour le goût des légumes

**Analyse chimique** : CEC argile faible : peu de sites de fixation et d'échange sur les argiles

% MO et CEC MO très faibles **Attention** : La MO n'est pas encore humifiée

pH basique (8,00)

Pas de calcaire actif

C/N = 7,00 - Capacité moyenne de minéralisation

**Éléments** : La couche chaude présente des teneurs faibles en tous les éléments (Ca, Mg, P, K, N, S et Na) et oligoéléments (B, Zn, Fe, Cu, Mn)

**Attention** : Le manque d'oxygène bloque la minéralisation de la matière organique et la libération des éléments nutritifs qu'elle contient

**Conclusion** : La ferme semble installée sur un ancien lit de rivière. Avec le temps, l'eau a apporté divers dépôts par endroits. Il est ainsi possible de trouver des poches de sable, de graviers, de limons fins ou d'argiles => des dépôts aléatoires, très forte hétérogénéité des sous-sols et donc des sols.

**Retour sur la technique des couches chaudes** : La technique des couches chaudes est pertinente dans un sol peu profond. Attention cependant aux conditions d'anaérobiose qu'elle peut favoriser : en l'absence d'oxygène, la minéralisation de la MO est bloquée.

**Recommandations pour les couches chaudes** :

Apporter de l'argile, veiller à la bonne aération de l'ensemble (installer une couche inférieure drainante, réaliser des trous d'aération dans les bacs...).

Eviter les situations d'anaérobiose



## ④ La grande île - GIS

### Site d'échantillonnage :

Butte GIS : épinards implantés le 14 mars 2015 (précédent de rutabagas)  
Culture homogène après repiquage. Symptômes localisés de chloroses 1 mois après.  
La chlorose des épinards peut être liée à une carence en Mg (feuilles jaunes et nervures vertes), en Fe (jaunissement de toute la feuille), en N (jaunissement de toute la feuille) ou à un pH inadapté

Deux prélèvements à l'endroit où les épinards sont chlorosés (surface et profondeur)



Butte GIS implantée avec des épinards



Symptômes de chlorose sur certains pieds

### Analyse du profil :



#### Tests *in situ* :

- Test au HCl : **absence de carbonates de calcium, le sol n'est pas calcaire**
- Test à H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : **activité biologique de surface** qui diminue dans le profil
- Test du fer :
  - ✓ Le sol est très riche en fer et lessive légèrement
  - ✓ Bonne aération de surface, sol réducteur en profondeur

La chlorose semble coïncider avec les zones les plus riches en copeaux de bois peu décomposés. Il s'agirait peut-être d'une faim d'azote.

### Tests réalisés en laboratoire :

**Activité biologique :** Bonne activité biologique en surface, plus faible en profondeur

**Analyse physique :** En surface = limoneux fins / 14% d'argiles  
En profondeur = limoneux fins / 18% d'argiles  
Qualité des argiles : surface interne moyenne (type illites)

**Attention :** Risque de lessivage des cations et donc de pollution des nappes

**Analyse chimique :** CEC argile faible : peu de sites de fixation et d'échange sur les argiles  
% MO correct mais MO fossilisée + taux d'argile trop faible pour flocculer les humus  
CEC totale élevée du fait du très fort taux de MO dans le sol  
pH basique (8,10 en surface et 7,80 en profondeur)  
Pas de calcaire actif : tous les légumes peuvent être cultivés  
C/N = 6,00 en surface à 8,00 en profondeur - Capacité moyenne à normale de minéralisation



**Éléments :** **Sodium** : réserve insuffisante (élément essentiel pour les animaux du sol et notamment pour le bon fonctionnement du système nerveux des vers de terre)

**Attention :** **Complexe adsorbant faible** (peu d'argiles, des argiles de qualité moyenne et une MO de mauvaise qualité / fossilisée) + sol exposé aux aléas climatiques = **dynamique de lessivage des éléments**

#### Conclusion :

**Chlorose des épinards** : la chlorose observée est liée à une faim d'azote. En curatif, apporter 30 unités d'ammonitrates (forme d'N directement assimilable). En préventif, différentes stratégies sont envisageables :

- Apporter 10 à 15 unités d'N à la reprise de la végétation,
- Pulvériser du purin d'ortie,
- Attendre la décomposition complète des copeaux de bois avant de décaisser les allées,
- Apporter un compost de BRF et de fientes de poules.

**Lessivage des éléments** : teneurs plus faibles en Ca, N et Na que dans la butte étudiée sous serre. Ce constat résulte du fait que le sol de la butte G15 est plus pauvre en argile, plus sableux et exposé aux aléas climatiques.

#### Recommandations :

**Objectif : renforcer le complexe adsorbant pour lutter contre le lessivage**

#### Apports recommandés :

- Bentonite 10% dans le compost
- Calcaire broyé 200 kg/ha/an
- N organique 100 unités/ha/an
- Sel de Guérande 50 kg/ha/an





## 5. La grande Île - GI9

Site d'échantillonnage :

Butte GI9, étudiée dans le cadre d'une analyse Hérody en 2015

Un prélèvement en surface

Tests réalisés en laboratoire :

**Activité biologique :** Faible activité biologique en surface

**Analyse physique :** Surface = limoneux fins / 22% d'argiles

Profondeur = limoneux / 20% d'argiles

Qualité des argiles : surface interne moyenne (type illites)

**Attention :** Risque de lessivage des cations et donc de pollution des nappes

**Analyse chimique :** CEC totale élevée

Taux MO élevé (> 8%)

pH basique : 7,80

Pas de calcaire actif : tous les légumes peuvent être cultivés

C/N = 7,80 - Capacité moyenne de minéralisation de la MO

**Éléments :** Teneurs similaires aux autres buttes mais plus pauvres en N, P, Na, B, Cu et Mn

**Sodium :** réserve insuffisante (élément essentiel pour les animaux du sol et notamment pour le bon fonctionnement du système nerveux des vers de terre)

**Azote :** butte avec la plus faible teneur en azote

**Attention :** Complexe adsorbant faible (peu d'argiles, des argiles de qualité moyenne)

Le sol est sensible au lessivage

Recommandations :

**Objectif :** renforcer le complexe adsorbant pour lutter contre le lessivage

Apports recommandés :

- Bentonite 10% dans le compost
- Calcaire broyé 300 kg/ha/an incorporés dans le compost
- Sel de Guérande 50 kg/ha/an



Prélèvement d'un échantillon de sol à la tarière au niveau de la butte I9 (butte Hérody) de la Grande Île

## 6. Butte avec du bois

Incorporer du bois dans les buttes ou ne pas enfouir de matière organique ? La question suscite depuis plusieurs mois un vif débat dans le monde de la permaculture... Claude et Lydia Bourguignon se sont déjà exprimés sur le sujet. Pour eux, la présence de bois enfoui dans le sol n'est pas naturelle et ne présente aucun intérêt sous nos latitudes où les décomposeurs du bois sont les champignons, organismes exclusivement aérobies.

### Site d'échantillonnage :

Butte avec du bois dedans. La butte est sous abri (petite serre)

Age de la butte : plus de quatre ans

Bois utilisé : bois de bouleau alors âgé de plusieurs années

Deux prélèvements sont effectués :  
terre de surface et en profondeur



Analyse du sol d'une butte contenant du bois

### Analyse du profil :

Le bois est présent à seulement quelques centimètres de la surface

Après plus de quatre ans enterré dans la butte, le bois n'a pas évolué. Il n'est pas décomposé alors que la butte est située dans un tunnel qui génère un milieu chaud et humide. Le bois ne montre aucun signe de décomposition active

La technique de la butte sur bois a été mise au point par des agriculteurs camerounais.

Dans les régions tropicales, les termites consomment le bois, laissant derrière elles un épais tapis de crottes qui améliore la structure du sol.

### Tests réalisés en laboratoire :

**Activité biologique :** Comptage de la faune de surface : niveau faible  
**Bonne activité biologique** sur l'ensemble du profil

**Analyse physique :** Surface = limoneux fins / 25% d'argiles  
Profondeur = limoneux fins / 24% d'argiles → **Risque de lessivage des cations nul**  
Qualité des argiles : surface interne moyenne (type illites)

**Analyse chimique :** **CEC argile faible** : peu de sites de fixation et d'échange sur les argiles  
CEC MO élevée mais points de CEC par % de MO faible : peu de sites de fixation et d'échange sur la MO / **mauvaise qualité de la MO**. La CEC élevée de la MO est liée à la présence de MO en grande quantité et non à la qualité de celle-ci.  
pH basique (9,30 en surface et 7,90 en profondeur)

Pas de calcaire actif : **tous les légumes peuvent être cultivés**

C/N = 7,40 en surface et 5,60 en profondeur - Capacité moyenne de minéralisation

**Éléments :** Sol très riche en tout. **Excès de magnésium par rapport à la potasse.**



### Conclusion :

A la Ferme biologique du Bec Hellouin, des buttes ont été initialement créées avec incorporation de bois mort. L'objectif de Charles et de Perrine était de surélever les cultures et de compenser une épaisseur de sol relativement faible. Avec le temps et la pratique, le bois a progressivement été enlevé des buttes.

La présence de bois véhicule de nombreuses contraintes (difficulté à reprendre la butte à la grelinette au printemps notamment) et ne semble pas apporter de bénéfices significatifs.

Par ailleurs, le bois perturbe la nutrition des plantes :

- De manière directe en générant des faims azotées.
- De manière indirecte en gênant l'enracinement des végétaux. Ceux-ci dépensent une énergie supplémentaire pour éviter le bois et les racines développées n'explorent pas le sol de manière optimale.

Enfin, selon Claude et Lydia Bourguignon, le **problème de la répliquabilité à grande échelle de cette technique** pose aussi des questions. Prélever du bois dans la forêt reste durable tant que l'opération est ponctuelle et ne concerne que de très faibles quantités. Mais si cette technique vient à se répandre elle se révélera vite non durable : multiplication des prélèvements réalisés au niveau des forêts, transferts de fertilité massifs et appauvrissement des milieux forestiers seraient en effet à craindre.

### Recommandations :

Objectifs : renforcer le complexe adsorbant par des apports d'argiles qui viendront équilibrer la CEC de l'argile avec celle de la MO

#### Apports recommandés :

- Bentonite 10%
- Patenkali 50 unités/ha/an
- Sel de Guérande 50 kg/ha/an



## 7. La mini forêt-jardin

### Site d'échantillonnage :

Mini forêt-jardin implantée au printemps 2016 sur une ancienne parcelle maraîchère  
Sol anthropique (terre de remblais) posé sur un sol argilo-calcaire

Un prélèvement  
effectué en profondeur

**Gestion des adventices :** bâche textile biodégradable recouverte de fumier dans les allées et de copeaux de bois sur les buttes



### Analyse du profil :

#### Tests *in situ* :

- Test au HCl : **présence de carbonates de calcium**
- Test du fer :
  - ✓ Sous le fumier, dans les allées, le sol est **asphyxiant** (milieu réducteur, manque d'oxygène)
  - ✓ Milieu réducteur en profondeur

### Tests réalisés en laboratoire :

**Activité biologique :** **Faible activité biologique** en profondeur (probablement liée à la présence de la bâche)

**Analyse physique :** En profondeur = limoneux à limoneux fins / 14% d'argiles  
Qualité des argiles : surface interne moyenne (type illites)

**Attention :** **Risque de lessivage des cations et donc de pollution des nappes**

**Analyse chimique :** **CEC argile faible** : peu de sites de fixation et d'échange sur les argiles  
**Taux de MO faible + MO de mauvaise qualité** (peu de points de CEC par % de MO)  
pH basique : 8,40 en profondeur  
C/N = 8,70 - Capacité normale de minéralisation de la MO  
Calcaire actif faible : pas de risque de chlorose sur les fruitiers

**Éléments :** **Teneurs faibles en P, N, S et Na** mais suffisantes pour des arbres fruitiers

**Oligoéléments :** **Teneurs faibles en B, Zn, Fe, Cu et Mn** mais suffisantes pour des arbres fruitiers

### Conclusion :

La bâche sous le BRF freine le passage de l'oxygène et diminue donc l'activité biologique du sol  
La présence de l'eau stagnante accentue davantage le côté asphyxiant du sol

### Recommandations :

**Objectifs :** aérer le sol pour relancer l'activité biologique et permettre la mycorhization des arbres

Utiliser un **couvert végétal permanent pour la gestion des adventices dans les allées** : associer trèfle (*Trifolium repens*, 3 kg/ha), fétuque (*Festuca ovina*, 10 kg/ha et *Festuca rubra*, 10 kg/ha), pâturin (*Poa arvensis*, 10 kg/ha) et lotier laineux (*Lotus uliginosus*, 3-4 kg/ha)

**Adapter les porte-greffes** au climat et au sol

### Apports recommandés :

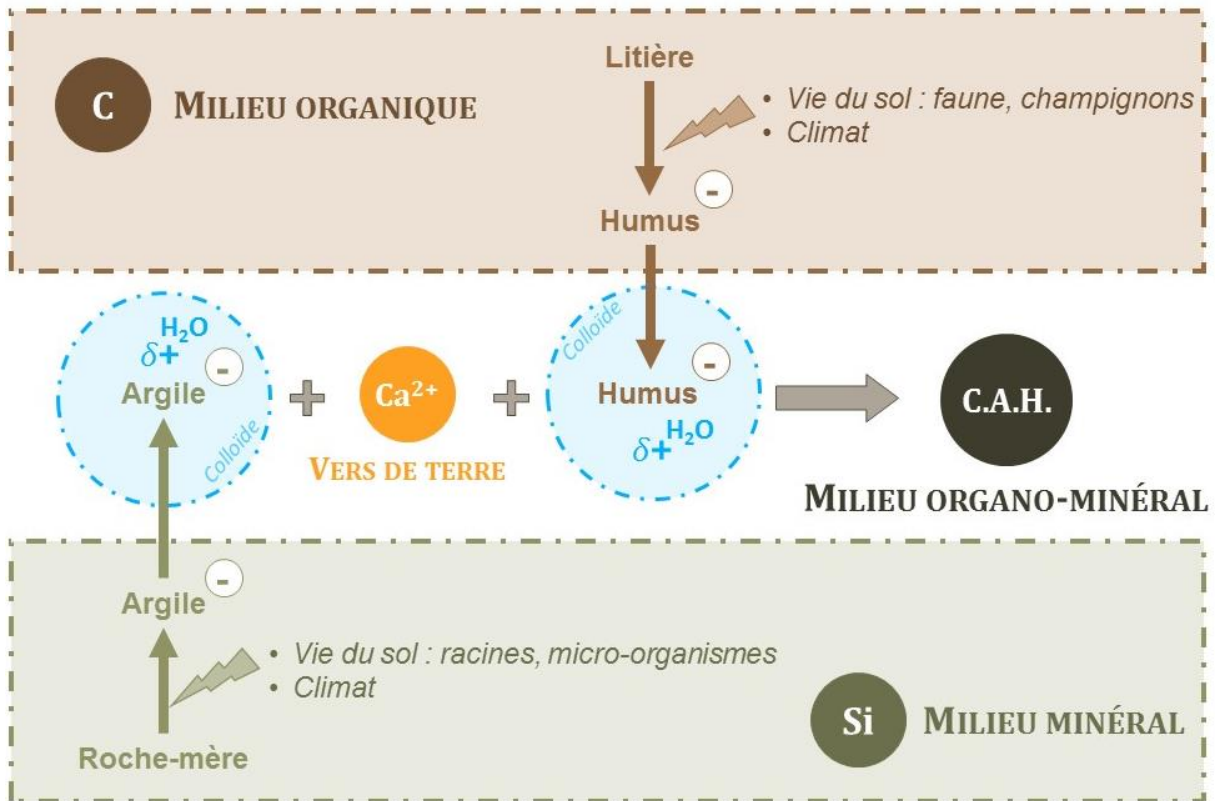
- Retirer la bâche
- Compost 5 T/ha/an

# Tableau récapitulatif des analyses de sol réalisées par Claude et Lydia Bourguignon à La Ferme du Bec Hellouin en avril 2016

	Sol en surface	Sol en profondeur	Apports recommandés	Vocations du sol & Cultures adaptées
<b>Herbage</b>	Non calcaire Pas asphyxiant Limoneux fins Sensible au lessivage	Limoneux non calcaire Sensible au lessivage	Bentonite 2 T/ha/an Compost 5 T/ha/an Calcaire 300 kg/ha/an Patenkali 30 unités/ha/an Sel de Guérande 70 kg/ha/an	Bon sol de prairie Cultures de printemps (lin, orge, sarrasin) / Avoine Fruitiers peu sensibles aux excès d'humidité (pommiers à cidre) Châtaigner greffé sur chêne
<b>Allée Grande serre</b>	Non renseigné	Limono-sableux Calcaire Asphyxiant Réducteur Basique Sensible au lessivage	Copeaux de bois dans les allées Eviter fumier	
<b>Ancienne couche chaude Grande serre</b>	Non renseigné	Limoneux fins Basique Très calcaire Très forte hétérogénéité des sous-sols et donc des sols Sensible au lessivage	Irriguer le moins possible Faire des couches chaudes moins profondes et plus aérées	Tous les légumes peuvent être cultivés
<b>Grande île Parcelle 19</b>	Limoneux fins Pas calcaire Activité biologique MO fossilisée Sensible au lessivage	Limoneux fins Pas calcaire Faible activité biologique Sensible au lessivage	Bentonite 10% dans le compost Calcaire broyé 200 kg/ha/an N organique 100 unités/ha/an Sel de Guérande 50 kg/ha/an Compost de BRF et de fientes poules	Tous les légumes peuvent être cultivés
<b>Grande île Parcelle 15</b>	Faible activité biologique Limoneux fins Sensible au lessivage	Limoneux Sensible au lessivage	Bentonite 10% dans le compost Calcaire broyé 300 kg/ha/an incorporés dans le compost Sel de Guérande 50 kg/ha/an	Tous les légumes peuvent être cultivés
<b>Butte en bois Petite serre</b>	Limoneux fins Aucun risque de lessivage CEC argile faible Mauvaise qualité de la MO Sol riche en nutriments Bonne activité biologique		Bentonite 10% Patenkali 50 unités/ha/an Sel de Guérande 50 kg/ha/an	Tous les légumes peuvent être cultivés
<b>Mini forêt-jardin</b>	Sol anthropique (terre de remblais) posé sur un sol argilo-calcaire Faible activité biologique Limoneux à limoneux fins		Compost 5 T/ha/an Mettre un couvert végétal permanent pour la gestion des adventices dans les allées plutôt que des bâches Relancer l'activité biologique. Bien choisir les variétés et les porte-greffes	Adapté aux fruitiers

## Conclusion et recommandations générales

Claude et Lydia Bourguignon construisent leur approche du sol et de la pédogénèse sur le **complexe argilo-humique** et les trois éléments indispensables qui le constituent : l'**humus** et l'**argile**, structures colloïdales chargées négativement, et les **cations** nécessaires pour les lier ( $\text{Ca}^{2+}$ ...). Le schéma ci-dessous illustre la dynamique de la pédogénèse telle qu'ils la présentent.



La naissance d'un sol : rencontre dynamique entre le minéral et l'organique  
(Schéma : C.Joyeux d'après Bourguignon et Bourguignon, 2008<sup>4</sup>)

De manière générale, les sols de la Ferme biologique du Bec Hellouin analysés par Claude et Lydia Bourguignon se distinguent par :

- Des **taux importants de matière organique** mais une **matière organique fossilisée et de mauvaise qualité** qui n'entre pas dans la formation du complexe argilo-humique et qui n'est pas non plus minéralisable par les micro-organismes du sol (formes trop complexes d'humus).
- Des **taux faibles d'argiles** et des **argiles de mauvaise qualité** (surface interne moyenne).

Par ailleurs, les pratiques agricoles développées et mises en œuvre à la ferme reposent sur des apports importants de matière organique (fumier pailleux, résidus de culture, tontes de gazon...) de manière à nourrir le sol et à ne jamais le laisser à nu. **Pour Claude et Lydia Bourguignon, ces pratiques accentueraient le déséquilibre entre argile et matière organique.**

Leurs analyses montrent qu'il y aurait un risque que les sols de la ferme se déstructurent progressivement : ils deviendraient sensibles à la lixiviation et au lessivage des éléments. Des éléments comme le calcium seraient ainsi perdus, point de départ de la perte du complexe argilo-humique par séparation des argiles et des humus. A la longue, il en résulterait une diminution de la capacité des sols à retenir l'eau et les éléments minéraux.

<sup>4</sup> BOURGUIGNON C., BOURGUIGNON L. [2008]. Le sol, la terre et les champs. Paris : Editions Sang de la Terre, 2<sup>ème</sup> édition, 224p.

Partant de ces constats, ils proposent donc d'amender le sol en apportant de l'argile (bentonite, argile à surface interne importante), de l'humus (compost de bonne qualité ou matière organique fraîche) et du calcium (calcaire broyé). Leurs recommandations visent à équilibrer la dimension organique et la dimension minérale des sols de la ferme afin de restaurer le complexe adsorbant pour inverser l'actuel processus de déstructuration. Selon eux, une fois cette première étape réalisée (restauration physique), la fertilité chimique et l'activité biologique des sols s'amélioreront progressivement d'elles-mêmes.

**Marnage (argile + calcium sous forme de calcite) et compostage (humus) sont les bases de l'amendement.** Elles étaient mises en œuvre par les paysans d'autrefois qui, une fois dans leur vie, apportaient sur leurs terres de 20 à 30 tonnes de marne par hectare.

Claude et Lydia Bourguignon recommandent d'incorporer la bentonite (10%) et le calcaire<sup>5</sup> (5%) au compost, en fin de compostage, avant son utilisation pour amender les sols. Ils nous conseillent également d'ajouter du **sel de mer** (10 kg par tonne de compost) au compost. Le sel contient du sodium qui entre dans la composition du complexe argilo-humique et qui est essentiel pour le bon fonctionnement du système nerveux des vers de terre et, de manière générale, de la faune du sol.

Pour Claude et Lydia Bourguignon, il est essentiel de **soigner au maximum le substrat de semis**. Sur ce point, disposer de composts de qualité est déterminant.

Le système de production de la Ferme biologique du Bec Hellouin est très intensif : selon Claude et Lydia Bourguignon, il y a, de manière générale, **très peu de risque** de lessivage. La couverture permanente du sol (couvert vivant ou mulch), la densité des cultures et les associations réalisées permettent de couvrir et de protéger le sol des agressions des différents paramètres abiotiques (soleil, vent, pluie) tandis que les plantes pompent les nutriments avant que ceux-ci soient entraînés par l'eau.

**Si la nature des sols de la ferme est favorable au lessivage, les pratiques agricoles mises en œuvre permettraient de contrecarrer cette tendance et de minimiser considérablement les risques.**

En parallèle, ils estiment que les **pertes sous forme de gaz sont négligeables** : il y a trop de cultures en place pour initier des dynamiques de dénitrification.

Par contre, l'application de fumier de cheval, même pailleux, dans les allées est problématique et doit être évitée. Le cas échéant, le terrain devient alors favorable au lessivage, les éléments nutritifs libérés par la dégradation du fumier ne sont pas accessibles pour les plantes et sont perdus. Sur ce point, Claude et Lydia Bourguignon nous invitent à réserver la réalisation des couches chaudes aux espaces sous abri de manière à maîtriser l'arrosage et à diminuer les risques de lessivage.

Claude et Lydia Bourguignon sont également très sensibles à la problématique de l'**exportation** : chaque plante récoltée pour être vendue contient **des éléments minéraux qui quittent le « système sol »**. Cette problématique est d'autant plus marquée en production maraîchère, production pour laquelle les légumes sont récoltés en vert. Une approche bio-intensive sur petite surface, telle que celle mise en œuvre à la Ferme biologique du Bec Hellouin, génère des exportations de très grandes quantités d'éléments nutritifs et de minéraux.

Laisser les racines en terre, restituer le maximum de résidus de cultures, est un prérequis indispensable mais s'avère, selon Claude et Lydia Bourguignon, insuffisant. Selon eux, si la gestion de la fertilité réalisée à la ferme est largement suffisante pour ce qui concerne la matière organique (et le carbone), elle ne suffirait pas pour de nombreux éléments minéraux. L'idéal serait d'analyser ce qui entre dans les jardins (composition minérale des apports de compost, de fumier et de BRF) et d'évaluer ce qui est exporté (croiser les volumes récoltés avec des tables existantes des compositions minérales des différents végétaux) afin d'ajuster au mieux la stratégie de gestion de la fertilité des sols de la ferme. Dans le cadre du programme de recherches-actions 2015-2018 de l'Institut Sylva, nous réalisons actuellement une étude des flux de minéraux qui existent au sein de la Ferme du Bec Hellouin.

---

<sup>5</sup> En plus d'entrer dans la composition du complexe argilo-humique, le calcaire joue également un rôle pour éviter l'acidification de sols.



## Discussion

### Logique de flux et logique de stock : deux logiques complémentaires et indissociables

La Méthode de la Ferme biologique du Bec Hellouin accorde une grande importance au sol, gardien de la bonne santé des plantes et de la productivité des jardins. La gestion de la fertilité de l'agroécosystème vise à protéger et à nourrir suffisamment le sol pour que celui-ci soit capable de nourrir les plantes cultivées. Cette gestion est construite sur **une logique de flux** : les pertes (lessivage, lixiviation et pertes gazeuses) et les exportations de matière organique et d'éléments minéraux inhérents à la récolte et à la commercialisation des productions sont anticipées, atténuées et compensées par diverses pratiques qui visent à :

- **Limiter les pertes** : restitution, non-travail du sol, couverture permanente, étagement et association, cultures de légumineuses...
- **Compenser les pertes** : amendements divers (compost, fumier, feuilles mortes, tontes de gazon, orties, consoudes...).

La mission de Claude et de Lydia Bourguignon a été une réelle opportunité ; une invitation à **réviser notre perception de la fertilité et de sa gestion**. A la lumière de leurs témoignages et de leurs recommandations, nous nous apercevons que **les pratiques de la Ferme du Bec Hellouin** sont essentielles et bonnes pour la protection des sols. Elles **trouvent écho auprès des conseils habituellement formulés par Claude et Lydia Bourguignon** : couverture du sol permanente, travail du sol minimum, léger et peu profond, respect des horizons du sol... mais **peuvent être affinées et améliorées** afin de mieux répondre aux besoins des sols des jardins et des cultures qui y sont réalisées.

Si la logique de flux suivie à la ferme a été confirmée et validée par les propos de Claude et de Lydia Bourguignon, les résultats de leurs analyses et leurs recommandations nous montrent que :

- **Une logique de flux est complémentaire et indissociable d'une logique de stock**. En effet, la fertilité (physique, chimique et biologique) du sol au début d'une activité maraîchère conditionne directement le potentiel productif de ce sol et donc la stratégie de gestion de fertilité à mettre en place et les flux à envisager. Si le point de départ n'est pas suffisant (i.e. si la qualité du sol et son niveau de fertilité sont insuffisants), des interventions doivent être envisagées de manière à **(1) d'abord améliorer le sol et sa fertilité (i.e. créer un stock, un pool de départ, favoriser la création du complexe adsorbant)** avant d'entrer dans **(2) une phase d'entretien de la fertilité (i.e. gérer des flux)**.
- Une logique de flux (entretien de la fertilité du sol) n'est durable que **si les flux sortants sont compensés par des apports de même quantité** (quantités exportées / perdues) **et de même qualité** (type d'éléments exportés / perdus).

Les recommandations de Claude et de Lydia Bourguignon remettent donc en question le mythe de la butte auto-fertile couramment rencontré dans le domaine de la permaculture. A la lumière de leurs explications, cette approche de la fertilité apparaît très idéalisée, presque naïve.

## Des recommandations à intégrer dans un cadre plus large

**Mais comment intégrer les recommandations de Claude et de Lydia Bourguignon au fonctionnement d'une microferme en maraîchage bio-intensif d'inspiration permaculturelle ?** La mise en œuvre de certaines de leurs recommandations peuvent ne pas répondre pleinement à l'éthique et aux principes de la permaculture : respecter la Terre, économiser l'énergie, boucler les cycles, rechercher l'autonomie et la résilience...

A titre d'exemple, **les argiles** entrent dans la composition du complexe argilo-humique. Elles jouent un rôle essentiel et stratégique dans la **structure du sol** (composition des agrégats, porosité et perméabilité du substrat) ainsi que dans sa **fertilité** (rétention des éléments minéraux et de l'eau dans leurs feuillets). Importer des argiles soulève cependant des questions. En effet, cette pratique entraînerait des **transferts non compensés de ressources et de fertilité**, une **dégradation des paysages au sein desquels ces ressources seraient extraites**, sans oublier les risques d'éboulement inhérents aux activités d'extraction, et diminuerait l'autonomie et la résilience de la ferme...

Toujours concernant les argiles, une analyse approfondie des ressources géologiques du territoire peut apporter des éléments de réflexion. Les cartes et les résultats de sondage accessibles sur le site Infoterre du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) témoignent de la présence d'argiles dans certaines couches géologiques de la vallée du Bec et des plateaux qui l'entourent. Par ailleurs, les notices d'information mises à disposition par le BRGM montrent que le marnage était autrefois abondamment pratiqué par les anciens agriculteurs de manière à augmenter la fertilité des terres des plateaux. Il est d'ailleurs possible d'observer une ancienne marnière dans les bois qui surplombent le village du Bec Hellouin. Serait-il possible d'envisager un **approvisionnement local** ? A quelles conditions ? Selon quelles modalités ?

Mais ces questionnements ne s'arrêtent pas là. Jusqu'à quel point peut-on influencer un sol, le modifier, le faire évoluer ? Est-il possible/souhaitable de réaliser tous types de productions sur tous types de sol ? **Faut-il chercher à produire de tout partout ? Faut-il travailler directement sur les propriétés et les capacités productives d'un sol ou bien plutôt chercher à identifier, à sélectionner et à adapter les cultures qui sont les plus à même de s'y épanouir ?** A ce sujet, Claude et Lydia Bourguignon évoquent souvent **la vocation des sols** pour évoquer la ou les cultures les plus à même d'y pousser...

En ce qui concerne les nutriments, des apports peuvent être réalisés en privilégiant des paillages ou des extraits fermentés de plantes locales ou cultivées sur la ferme (afin de réduire les transports lointains de matières sans pourtant viser l'autarcie). Un autre levier potentiel serait de continuer à **activer et de maintenir la vie du sol** pour faciliter l'assimilation des nutriments par les plantes. Une étude approfondie de l'impact de ces pratiques sur la fertilité serait très utile.

En outre, comment savoir si nous apportons suffisamment ou trop de matières au sol ? Il serait intéressant de mettre à disposition des maraîchers une façon d'observer et/ou d'analyser facilement leur sol afin d'ajuster plus précisément leur gestion de la fertilité.

Pour finir, ces recommandations sont également à relativiser. **Le sol est le facteur de production essentiel de l'agroécosystème mais il faut aussi savoir le repositionner dans le cadre plus global d'une activité maraîchère professionnelle.** Les choix inhérents à la stratégie de gestion de la fertilité doivent, certes, intégrer les besoins du sol et des cultures mais également tenir compte des objectifs de production, des moyens et des ressources mobilisables ainsi que des aspirations éthiques de chaque producteur. Aucune situation n'étant idéale, ces choix résulteront nécessairement de **conciliations**.

Partant de ces constats, la discussion est ouverte !



## Le sol : Le point de vue des maraîchers (suite et fin)

Les enseignements de Lydia et de Claude Bourguignon nous ont passionnés et interpellés.

Comme décrit dans la conclusion de ce rapport, ils ont souligné le risque de lessivage lié à la structure de nos sols, mais également confirmé la pertinence de nos pratiques. La quasi absence de travail du sol, le couvert presque permanent des buttes, la densité de la végétation, le fait d'apporter de la matière organique fraîche plutôt que des nutriments directement solubles permet, de leur point de vue, de minimiser les risques de lessivage.

Lors du dîner final ils nous ont dit « Tout ce que nous préconisons depuis 25 ans est mis en œuvre ici », ce qui nous a tous touchés.

Toutefois, Claude et Lydia ont mis le doigt sur plusieurs faiblesses de nos pratiques.

Le point essentiel est que « la logique de flux » n'exclut pas « la logique de stock ». Apporter beaucoup de matière organique fraîche, s'il n'y a pas en face les minéraux disponibles en quantité et en qualité suffisantes, ne permet pas forcément la construction du complexe argilo-humique.

Le second point est l'importance de réaliser de très bons composts. En d'autres termes, ne pas miser uniquement sur les mulchs. Dans ces composts, Claude et Lydia recommandent d'incorporer les éléments minéraux qui manquent dans notre « stock » : argile, calcaire, sel.

Est-ce à dire qu'une agriculture bio-inspirée reste forcément dépendante d'apports extérieurs ? Pouvons-nous espérer qu'une fois corrigées ces lacunes dans la composition de notre sol nous pourrions cesser ces apports, peu satisfaisants en eux-mêmes ?

Il convient de se garder de généralisations hâtives car nous partons d'un sol relativement impropre au maraîchage intensif.

Il faut également intégrer le fait que le maraîchage bio-intensif autorise une production relativement inégale jusqu'alors, et que si l'on commercialise une quantité de légumes de l'ordre de 10 à 20 kilos par mètre carré et par an, cela représente une exportation certaine de minéraux... Se garder donc des simplifications probablement hâtives de certains discours sur les « buttes autofertiles »...

Et reconnaître humblement que nous ne savons pas tout sur les sols, que différentes approches sont possibles, que l'on n'a pas fini d'en apprendre... Rester ouvert, tenter de prendre le meilleur de chaque point de vue... Ne pas cesser de s'interroger !

Nous allons suivre les conseils avisés de Lydia et de Claude et nous organiser en conséquence. Mais cela n'exclut pas d'intenses questionnements en équipe... Est-ce que des apports de matière organique fraîche pourraient fournir les minéraux nécessaires à la bonne nutrition de la vie du sol ? Après tout, les plantes contiennent une part de minéral. Nous pourrions apporter davantage de plantes riches en minéraux comme la consoude ou les orties.

Par ailleurs, on lit parfois que les plantes et les micro-organismes ont la faculté d'extraire de la roche-mère les éléments dont les végétaux ont besoin. Pourrions-nous, en soignant tout particulièrement la

vie microbienne de nos sols par des bonnes pratiques, des bokashis, des compost-tea, des apports de biochar, permettre aux processus biologiques de résoudre eux-mêmes le problème ?

Certains agronomes disent qu'il n'y a pas de mauvais sol, que chaque sol contient tous les éléments nécessaires. Est-ce un point de vue simpliste ?

Nous suivons avec beaucoup d'intérêts les travaux d'Helen Ingam sur la microbiologie des sols, entre autres. Pouvons-nous faire confiance en la nature et, en intervenant avec discernement, en bonne intelligence avec les principes du vivant, renforcer les forces qui construisent la fertilité des sols, cette fertilité dont nous avons besoin pour nous nourrir et construire, comme nous y invite la permaculture, une « culture durable » ?

Nous en sommes là de nos questionnements et espérons que chaque lecteur de ce dossier fera progresser nos connaissances grâce à des expériences de terrain.

Merci encore, Claude et Lydia pour ces éclairages précieux et votre passion communicative !

Charles Hervé-Gruyer, maraîcher  
et co-créateur de la Ferme biologique du Bec Hellouin

## Annexes

### Annexe n°1 : Tableaux récapitulatifs des analyses selon la méthode Hérody

Synthèse des résultats spécifiques à chacune des analyses Hérody effectuées le 7 juillet 2015 par Clara Carrayrou et Marielle Suire.

	PP Serre parcelle S32	Couche chaude serre parcelle S29	Verger maraîcher Pommier, parcelle 8	Île-jardin Parcelle à droite de l'île, 2ème butte	Jardin clairière 3ème butte, à gauche
<b>Localisation prélèvement par rapport objet fixe</b>	Cadre bois S32 à partir entrée côté prairie du voisin : 290 à 330 cm	Cadre bois S29 à partir entrée côté pommiers : 830 à 870 cm	A partir de la projection du deuxième pommier : 60 à 98 cm	Poteau G du pont arrivant sur l'île : 230 à 276 cm	A partir du groseillier rouge bout de butte vers entrée : 460 à 496 cm
<b>Qualification visuelle de l'état hydrique sol</b>	Sol humide	Sol très mouillé Nappe phréatique à 45 cm	Assez sec	Assez sec	Très sec
<b>Nombre de cm de sol</b>	26 cm : sol sans cailloux peu profond	40 cm	25 cm: sol sans cailloux peu profond	40 cm	37 cm : sol sans cailloux peu profond
<b>Les différents horizons</b>	- A0: 3 cm -A: 23 cm - B : cailloux avec terre (pas de marne)	- A : 18 cm de terre, carbo 3* - B : 17 cm de fumier non décomposé, carbo 1 - C : 3 cm de terre, carbo 3 - Marne blanche calcaire, carbo 3	- A : 17 cm de terre, carbo 3 - B : Cailloux très très abondants et poches d'argile grisâtre avec des taches ocre rouille, carbo 3	- A0 : 5cm, carbo 1 -A : 20cm très meuble riche en MO, carbo 0 -B : 17 cm, davantage structuré, mottes de plus grande taille, carbo 3 - sous sol d'origine sous la butte, sol compacté	- A : 22 cm, carbo 3 sur grains de calcaire - B : Cailloux très abondants, couleur plus claire, carbo 0
<b>Différentes spécificités</b>	Sol meuble, bonne aération avec amas de MO fibreuse. Végétation maigre et pâle (tomates) : la matière accumulée limite la disponibilité en azote pour les plantes (K et N) et favorise des champignons (pathogènes)	La couche de fumier tassée à 20 cm de profondeur constitue une barrière aux racines. Bon drainage et aération avant la barrière, odeur de fermentation anaérobique au niveau du fumier. Le sol de l'horizon C ne contient pas cette accumulation de matière organique infertile	En dessous de la couche de 17 cm de terre, le sol est très caillouteux. Le volume nourricier pour les racines est faible. Beaucoup de racines présentes lors du prélèvement	Fort drainage, l'aération est bonne, structure grumeleuse, racines sur tout le profil, sans obstacles. Le fait qu'on retrouve du fer L jusqu'à l'horizon C est un signe de lessivage avec des molécules organiques.	Sol très caillouteux, poreux et aéré, mottes très denses constituées de matière en décomposition Le calcaire ne provient pas du sol sous la butte (horizon C), il a dû être apporté sous forme des petits grains visibles.

\*Carbo signifie niveau de carbonates donc de calcaire, déterminé sur le terrain avec de l'acide chlorhydrique sur une échelle de 0 : pas calcaire à 3 : très calcaire.

Synthèse des interprétations communes pour les cinq analyses Hérody effectuées par Marielle Suire.

	<b>Interprétations selon la méthode Hérody des résultats communs aux 5 analyses de sol</b>
<b>Coefficient de fixation (CF)</b>	Le complexe organo-minéral étant peu abondant, il est préférable que tout <b>apport d'eau ou de fertilisants soit en quantité limitée et fractionnée</b> si besoin. Les risques de lessivage sont importants. Les forts niveaux en fer proviennent des apports constants de matières organiques.
<b>Texture</b>	La texture permet une porosité modérée. Par contre, la surabondance de MO, agglomérée par le calcaire, assure une porosité importante ce qui fait que le sol est généralement plutôt meuble.
<b>Les différentes fractions de la Matière Organique (MO)</b>	Le niveau de MOF (Matières Organiques Facilement Minéralisables) oscille entre 15 ou 20% des MOT (Matières Organiques Totales). Alors qu'un niveau considéré suffisant pour maintenir l'activité microbienne nécessaire à la nutrition des plantes est d'environ 25%. Or une très bonne activité microbienne est indispensable pour "attaquer" le calcaire et utiliser la matière organique stockée et les cultures intensives en légumes réclament une activité forte. Le pourcentage de MOF est faible par rapport aux autres fractions organiques il reste cependant élevé, compte tenu du très fort taux de MOT. Les MOF présentes semblent donc suffire pour libérer suffisamment d'éléments nutritifs pour les légumes. Le niveau extrêmement élevé de NiNi* provient entre autres des apports fréquents, en particulier de paillage (bois fragmenté, fumier très pailleux). Des amas noirs fibreux sont d'ailleurs souvent visibles. <b>Il ne faut surtout pas amener de vieux compost ou de vieux fumier.</b>
<b>Les effets du calcaire</b>	<u>Le comportement induit par le calcaire:</u> 1- Les cycles de l'azote et du soufre sont perturbés par le défaut d'acidité. Un rééquilibrage des apports de matières organiques vers un <b>apport plus azoté au printemps serait bénéfique.</b> 2- Présence d'humus géochimique, c'est-à-dire d'humus fabriqué puis enrobé par du calcaire. Les micro-organismes ne peuvent l'atteindre qu'après avoir attaqué la gangue calcaire, ce qui entraîne un démarrage lent de la végétation au printemps. Ensuite la MO se minéralise beaucoup (si MOF suffisante) et peut alors fournir, entre autres, beaucoup d'azote pour les cultures d'été et automne. 3- Le phosphore est immobilisé par le calcium et seuls les champignons peuvent le mobiliser correctement. Cependant, ici le sol est riche en phosphore, rendu disponible pour les plantes, par l'acidification au niveau des racines (acides organiques). 4- Le molybdène favorise la fixation d'azote par les légumineuses, <b>ces cultures (pois, haricots, fèves) sont donc toutes indiquées.</b>
<b>Les nutriments</b>	Le sol est riche en phosphore malgré le calcaire, riche aussi en potasse et magnésium. Cette richesse doit être en partie liée à des apports de fertilisants type guano ou Patentkali. <b>Tout apport de fertilisant est inutile.</b>
<b>La toxicité</b>	Pas d'aluminium ni de manganèse libre grâce au calcaire.

\* La MO Brute inactive est une fraction de matière organique très stable et donc très dure à dégrader. Elle est constituée de grosses molécules comme la lignine. Cette MO est appelée la forme NiNi car elle n'est ni humifiée ni minéralisée, et s'accumule donc simplement (Hérody, 2014). Dans un sol calcaire, les valeurs de NiNi ne devraient pas dépasser 150. L'unité n'est pas mentionnée.

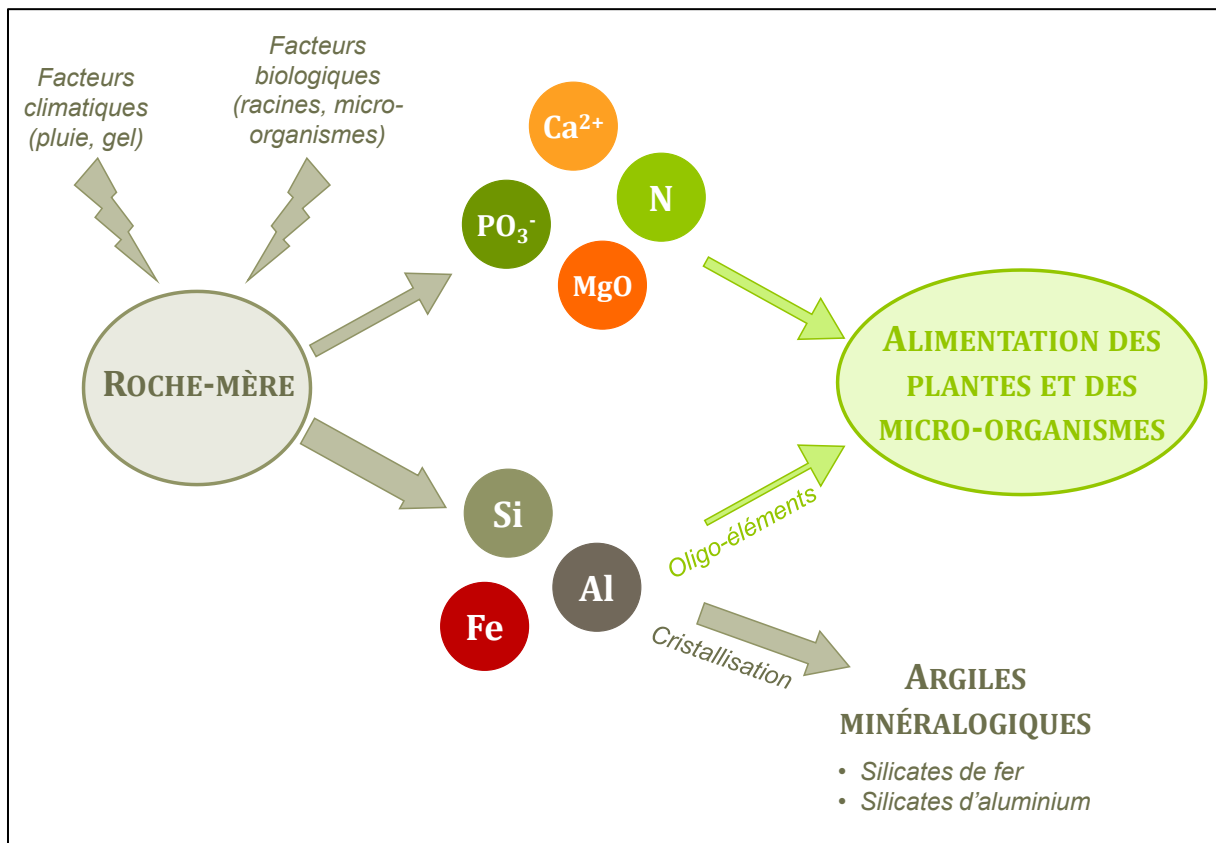
## Annexe n°2 : Dynamique de production des argiles

La dynamique de production des argiles est connue depuis la fin des années 1980. En laboratoire, l'attaque de cristaux de mica par des racines de blé forme des argiles en sept heures.

**Les racines et les micro-organismes** sécrètent des acides qui **attaquent les roches des sous-sols**. Les exsudats acides permettent la décomposition des roches et la libération d'une multitude d'éléments minéraux. Les racines des plantes et les micro-organismes prélèvent une partie de ces minéraux **pour leur nutrition** : Mg, Ca, K, S, P...

Les roches sont essentiellement composées de **silice**, d'**aluminium** et de **fer**. Ces trois éléments du monde minéral ne sont que des **oligo-éléments** pour les plantes : elles n'ont besoin que de très faibles quantités (oligo- : petit, peu nombreux, oligo-élément : élément chimique, métal ou métalloïde, présent en très faible quantité dans l'organisme et généralement indispensable au métabolisme).

La dégradation des roches laisse ainsi la place à de grandes quantités de silice, de fer et d'aluminium. Ces concentrations élevées aboutissent à des dynamiques de **crystallisation** autour des racines des plantes. Les argiles sont des cristaux de **silicates de fer** et de **silicates d'alumine**.



Dynamique de décomposition des roches en argiles.  
(Schéma : C.Joyeux d'après Bourguignon et Bourguignon, 2008<sup>6</sup>)

<sup>6</sup> BOURGUIGNON C., BOURGUIGNON L. [2008]. Le sol, la terre et les champs. Paris : Editions Sang de la Terre, 2<sup>ème</sup> édition, 224p.

## Annexe n°3 : Détail des tests réalisés *in situ*

**Test de la matière organique disponible ( $H_2O_2$ ) :** la peroxydase des micro-organismes attaque la matière organique. Si celle-ci réagit à l'eau oxygénée (apport brutal d'oxygène) cela veut dire que la matière organique est attaquable par les microbes.

### Tests du fer (couple redox : $Fe^{3+}$ / $Fe^{2+}$ ) :

Dans des coupelles, placer trois prélèvements de sol (prélèvements effectués à trois/quatre hauteurs différentes du profil de l'horizon A à l'horizon C).

#### 1. Pour le fer ferrique, forme oxydée du fer ( $Fe^{3+}$ : $Fe_2O_3$ – fer ferrique ou oxyde de fer III) :

Ajouter de l'acide sulfurique à 36 M pour extraire les éléments minéraux (dont le fer) du sol.

Ajouter du thiocyanate de potassium pour révéler la présence de  $Fe_2O_3$  (coloration rouge).

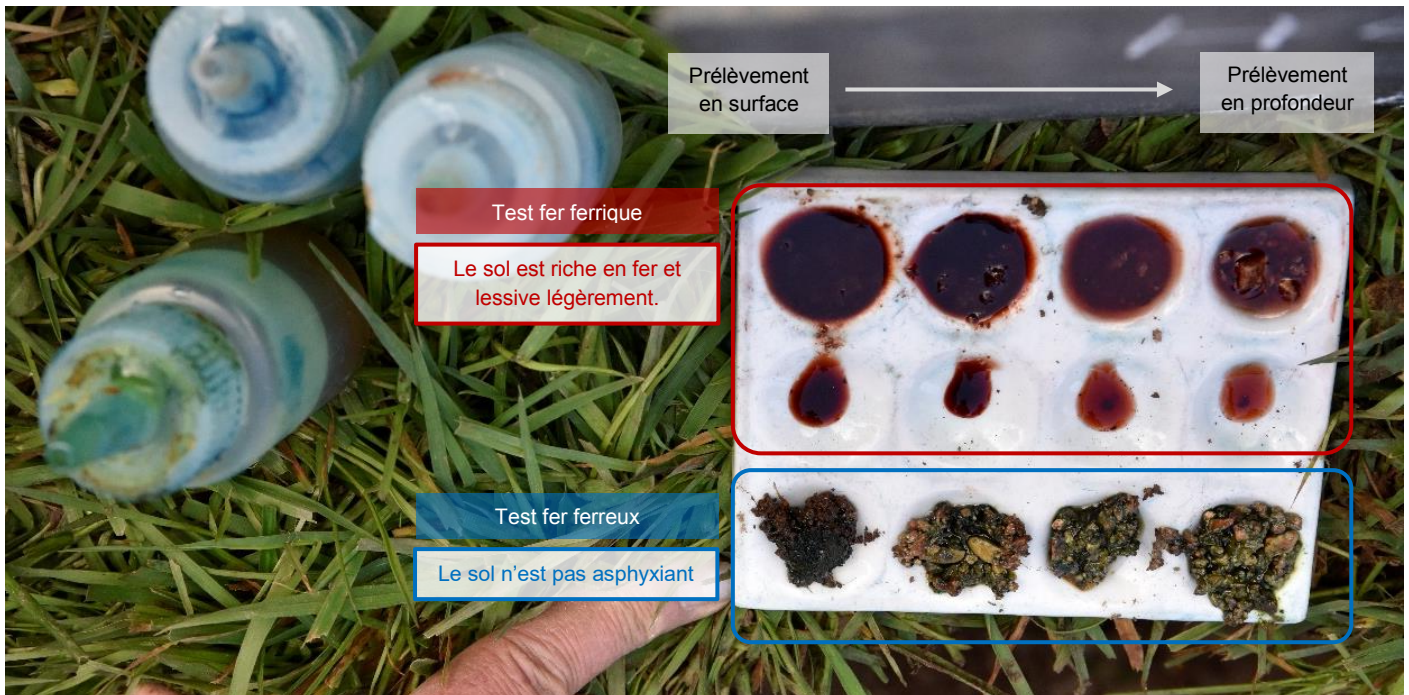
La réaction vise à observer si le fer est oxydé / oxygéné (coloration rouge) et comment (intensité et localisation dans le profil). Le test permet d'évaluer, d'une part, la teneur en fer du sol et, d'autre part, si le sol retient les éléments ou bien s'il est soumis à un lessivage important. Si la coloration vire au rouge dans les horizons inférieurs du sol cela signifie que le sol ne retient pas les éléments minéraux, « c'est une véritable passoire ». Il conviendra de fractionner les apports lors des différents amendements afin de ne pas dépasser les capacités de rétention du sol.

#### 2. Pour le fer ferreux, forme réduite du fer ( $Fe^{2+}$ : $FeO$ – fer ferreux ou oxyde de fer II) :

Ajouter de l'acide sulfurique à 36 M pour extraire les éléments minéraux (dont le fer) du sol.

Ajouter du ferricyanure de potassium pour révéler la présence de  $FeO$  (coloration bleue de Prusse).

Un bleuissement indique la présence de fer ferreux : forme réduite du fer qui témoigne d'un milieu réducteur, peu oxygéné, régulièrement inondé à hydromorphe. Attention la lecture du test doit se faire immédiatement car le réactif vire au bleu après quelques minutes d'exposition à l'air libre.



Résultats des tests de dépistage du fer ferrique et fer ferreux



**Pierrosité du sol** : la pierrosité du sol est une notion essentielle à connaître afin de relativiser les dosages des éléments minéraux et de les rapporter à la fraction non pierreuse du sol. Les analyses de terre qui ne tiennent pas compte de la pierrosité ont tendance à sous-évaluer les teneurs en minéraux du sol et à formuler des recommandations trop importantes en termes de fertilisation.

De manière générale, il y a peu d'éléments nutritifs en surface : les racines pompent peu dans l'horizon superficiel.

**Test de carbonate de calcium** : Ajout d'acide chlorhydrique sur une roche ou un échantillon de sol. L'apparition de bulles (dégagement gazeux) signe la présence de carbonate de calcium et donc d'un sol calcaire.

**Classification des couleurs du sol** : utilisation d'un référentiel international.



Claude Bourguignon étudie la couleur du sol de l'herbage