



# Construction d'un référentiel départemental en microbiologie des sols

*Bilan d'étape*



Contact : Julien Halska [jhalska@sl.chambagri.fr](mailto:jhalska@sl.chambagri.fr)



Avec la contribution financière  
du compte d'affectation spéciale  
«développement agricole et rural»



## Contenu

Introduction : origine et objectifs du projet .....	3
Matériel et méthodes : des campagnes annuelles d'échantillonnage .....	3
Acquisition des données.....	3
Les indicateurs étudiés.....	3
Echantillonnage.....	3
Essai sur les couverts intermédiaires .....	3
Méthode de prélèvement .....	4
Collecte des données sur les pratiques agricoles.....	4
Bilan de 4 campagnes de prélèvements.....	5
Constitution d'une base de données .....	6
Analyse des données : élaborer le référentiel et comprendre les variations des indicateurs .....	6
Elaboration d'un référentiel pour la biomasse moléculaire microbienne par modélisation .....	6
Variabilité des indicateurs selon les types de sol et le couvert.....	7
Etude des effets de la physico-chimie sur la biomasse moléculaire microbienne par ACP. ....	7
Etude de l'effet des pratiques sur la biomasse moléculaire microbienne par des statistiques exploratoires.....	7
Etude du rapport champignons / bactéries .....	8
Etude de la diversité microbienne .....	8
Résultats : création d'un modèle pour la biomasse moléculaire microbienne et étude des effets de pratiques .....	9
Un modèle pour la biomasse moléculaire microbienne.....	9
Variation de la biomasse moléculaire microbienne par type de sol et de couvert .....	10
Biomasse moléculaire microbienne et paramètres physico-chimiques .....	12
Corrélations à deux variables .....	12
Analyse en composantes principales .....	14
Biomasse moléculaire microbienne et pratiques culturales .....	15
Cultures assolées : effets de l'espèce en place, des cultures intermédiaires et du travail du sol.....	15
Prairies permanentes : effet du mode d'exploitation .....	19
Ratio champignons / bactéries : comprendre les déséquilibres .....	20
Diversité des microorganismes : premières mesures.....	22
Richesse en taxons .....	22
Equitabilité .....	24
Valorisation du projet .....	25
Perspectives à horizon 2017 .....	26
Aboutir à un jeu complet de référentiels .....	26
Poursuivre l'étude des données .....	26
Ateliers à destination des agriculteurs .....	27
Former aussi les conseillers.....	27
Le projet REVA, pour REseau de Veille à l'innovation Agricole .....	27
Conclusion.....	27
Bibliographie.....	28

## Liste des annexes

Annexe 1.....	30
Annexe 2.....	32
Annexe 3.....	34
Annexe 4.....	36
Annexe 5.....	39
Annexe 6.....	41
Annexe 7.....	42
Annexe 8.....	43
Annexe 9.....	44
Annexe 10.....	45
Annexe 11.....	46

## Introduction : origine et objectifs du projet

Ce projet est né au début des années 2010 d'une rencontre entre partenaires de la recherche et du développement agricoles : l'unité mixte de recherche Agroécologie de Dijon et la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire. Des indicateurs de fertilité biologique des sols sont mis au point par des équipes de recherche qui souhaitent les rendre opérationnels dans le cadre des activités agricoles. Il s'agit notamment d'indicateurs reposant sur les microorganismes des sols et qui font appel aux outils de la biologie moléculaire.

Considérant les rôles essentiels des microorganismes dans le fonctionnement des sols (recyclage des nutriments, contribution à la structure, dégradation des polluants, etc.), la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire a souhaité s'associer à ces travaux. Or l'interprétation des indicateurs sur le terrain implique de disposer de références. Et s'il existe désormais des référentiels nationaux, il est pertinent d'en développer plus localement. C'est ainsi qu'est né le projet de construction d'un référentiel départemental en microbiologie des sols.

Ce rapport constitue un bilan intermédiaire du projet. Il présente d'abord la méthodologie mise en œuvre, puis les résultats obtenus. La valorisation du projet et ses perspectives sont ensuite évoqués.

## Matériel et méthodes : des campagnes annuelles d'échantillonnage

### Acquisition des données

#### Les indicateurs étudiés

Trois indicateurs sont étudiés dans le cadre du projet :

- La biomasse moléculaire microbienne représente la quantité de microorganismes présents, que l'on souhaite maximiser.
- Le rapport champignons / bactéries est équilibré entre 1 et 5 %. En dehors de ces bornes il traduit un problème de structure, de type de matière organique ou de pollution.
- La diversité des microorganismes est étudiée par identification des espèces et par le calcul d'indices (richesse en espèces ou taxons et équilibre des populations de ces différentes espèces / taxons, appelé équitabilité). On cherche à maximiser la diversité sans que certaines espèces ne dominent les autres.

#### Echantillonnage

Seules les parcelles en grande culture et en prairie permanente entrent dans le cadre du projet. Une stratégie d'échantillonnage stratifié a été adoptée lors des deux premières campagnes de prélèvement (Palabaud, 2012) sur la base des facteurs ayant une influence potentielle (Longueville, 2011). Les strates ont été définies en distinguant les cultures assolées des prairies permanentes et en les croisant avec les principaux types de sols concernés (et parfois le caractère drainé ou non des parcelles). A cela se sont ajoutés des critères relevant des pratiques culturales comme la succession pour les cultures, le nombre de fauches pour les prairies, et les apports d'amendements. 21 strates ont été ainsi définies.

A partir de 2014, l'échantillonnage a été revu afin d'alléger la recherche de nouvelles parcelles, très contraignante si l'on sélectionne des pratiques particulières. A partir de cette date, la priorité a donc été donnée au type de sol en distinguant cultures et prairies. De plus, la classification des sols a été revue, et de nombreuses parcelles ont changé de catégorie. Cela s'explique notamment du fait de différences fréquentes entre le sol attendu et le sol réel des parcelles, identifié au moyen de cartes pédologiques (IGCS) et de l'analyse physico-chimique. Une autre raison est l'adoption de la typologie Typesol ("GéoBourgogne - Portail de l'information géographique en Bourgogne - TypeSol," n.d.). Ces modifications ont entraîné un changement de codage des parcelles, le double codage étant conservé dans la base de données (voir page 6).

#### Essai sur les couverts intermédiaires

En 2015 un essai a été mis en place pour tester les effets éventuels des couverts intermédiaires sur les indicateurs étudiés. Cet essai est en place sur deux parcelles chez deux agriculteurs différents sur limons battants, dans la Bresse. Ils comportent chacun deux modalités sans répétition : avec et sans couvert intermédiaire. Les prélèvements sont inclus

dans la base de données du référentiel et les données sur les pratiques sont recueillies de la même façon que pour les prélèvements du référentiel. Les codes des parcelles sont :

- CLBH\_bargecouv
- CLBH\_barg
- CLBH\_princescouv
- CLBH\_princes

La culture précédente, récoltée en juillet 2015 est du blé tendre. La culture suivante sera probablement du maïs. Un état initial a été mesuré via des prélèvements effectués au cours de la campagne 2015 (avril). Une seule analyse physico-chimique a été effectuée sur chaque parcelle.

Cet essai n'aura pas de valeur statistique et ne sera donc pas généralisable. Il constitue cependant un moyen d'explorer les effets d'un facteur «toutes choses égales par ailleurs», ce qui n'est pas le cas dans le reste du dispositif. Mais il a principalement une valeur pédagogique et illustrative, et permet d'impliquer plus fortement des agriculteurs particulièrement motivés par les questions de biologie des sols.

Ce travail ne fait pas l'objet d'une section dans la partie résultats de ce rapport. Les données correspondant à l'état initial sont cependant présentées dans le Tableau 1.

**Tableau 1. Etat initial des modalités de l'essai couvert intermédiaire (BMM : Biomasse Moléculaire Microbienne).**

	BMM	Ratio champignons / bactéries
CLBH_princes	52	1,1
CLBH_princescouv	74	1,5
CLBH_barge	47	2,2
CLBH_bargecouv	42,2	1,4

On constate qu'il n'y a pas de déséquilibre du rapport champignons / bactéries sur ces parcelles. Il y a un écart non négligeable de BMM entre les modalités de la parcelle CLBH\_princes. Ça n'est pas le cas pour CLBH\_barge.

### **Méthode de prélèvement**

La méthode complète est présentée dans le rapport de stage réalisé au moment de la 1<sup>ère</sup> campagne de prélèvements (Palabaud, 2012). Elle consiste à identifier une zone qui semble homogène dans la parcelle, et à y effectuer 9 prélèvements à la tarière régulièrement répartis dans un carré de 6 m de côté. Ces prélèvements sont mélangés, des quartages sont effectués et deux échantillons sont constitués, l'un destiné à être tamisé puis congelé à l'INRA de Dijon, l'autre étant envoyé à un laboratoire pour une analyse physico-chimique classique. Parallèlement au prélèvement, des observations sont réalisées et consignées sur la fiche présentée en Annexe 1 : stade de la culture, présence de mauvaises herbes, d'apports organiques, remarques sur les éléments topographiques, coordonnées GPS, etc. De nombreuses parcelles ont été suivies plusieurs années de suite. Dans ce cas les prélèvements ont été effectués au même endroit à l'aide des coordonnées GPS. Il peut cependant y avoir un écart de quelques mètres entre deux prélèvements successifs.

### **Collecte des données sur les pratiques agricoles**

Les pratiques ont été recueillies auprès des agriculteurs qui exploitent les parcelles via des questionnaires envoyés par courrier avec relance téléphonique, voire recueil des réponses par téléphone (en 2014 et en cours pour 2015). Les questionnaires ont évolué en 2014 et en 2015 afin d'explorer de nouvelles questions (ancienneté du dernier labour, existence de drainage, vitesse de ressuyage, traitements des animaux, etc.). Il existe un questionnaire pour les parcelles en cultures assolées et un autre pour les prairies permanentes. Les différentes versions sont disponibles dans l'Annexe 2 (prairies) et dans l'Annexe 3 (cultures).

Les taux de retour ont été relativement satisfaisants (90 % en moyenne de 2012 à 2014), même si les questionnaires remplis étaient parfois incomplets. Cela explique que toutes les mesures n'ont pas pu être exploitées pour l'étude des effets des pratiques culturales. La collecte des pratiques pour les parcelles prélevées en 2015 n'est pas close au moment de l'édition de ce rapport.

## Bilan de 4 campagnes de prélèvements

Depuis 2012, 258 prélèvements ont été effectués sur 149 parcelles distinctes chez 79 agriculteurs. Le Tableau 2 présente leur répartition par couvert et par année.

Tableau 2. Répartition des prélèvements par type de couvert et par année

	2012	2013	2014	2015
Cultures assolées	49	55	37	7
Prairies permanentes	23	23	31	33
total	72	78	68	40

### Représentativité des types de sol

Pour évaluer la capacité de l'échantillon à représenter les sols du département, on peut comparer le nombre de parcelles pour un type de sol avec sa surface dans le département. Ce travail a été effectué sur la base de la classification pédologique Typesol ("GéoBourgogne - Portail de l'information géographique en Bourgogne - TypeSol," n.d.), simplifiée pour correspondre aux types de sols utilisés pour l'échantillonnage. Cette démarche donne également une vision plus synthétique de l'échantillon.

Comme le montre la Figure 1, si quelques sols sont bien représentés, on a un échantillon déséquilibré pour plusieurs types de sol dont certains sont surreprésentés et d'autres sous-représentés. Les campagnes de prélèvement à venir devront viser à corriger ces biais.

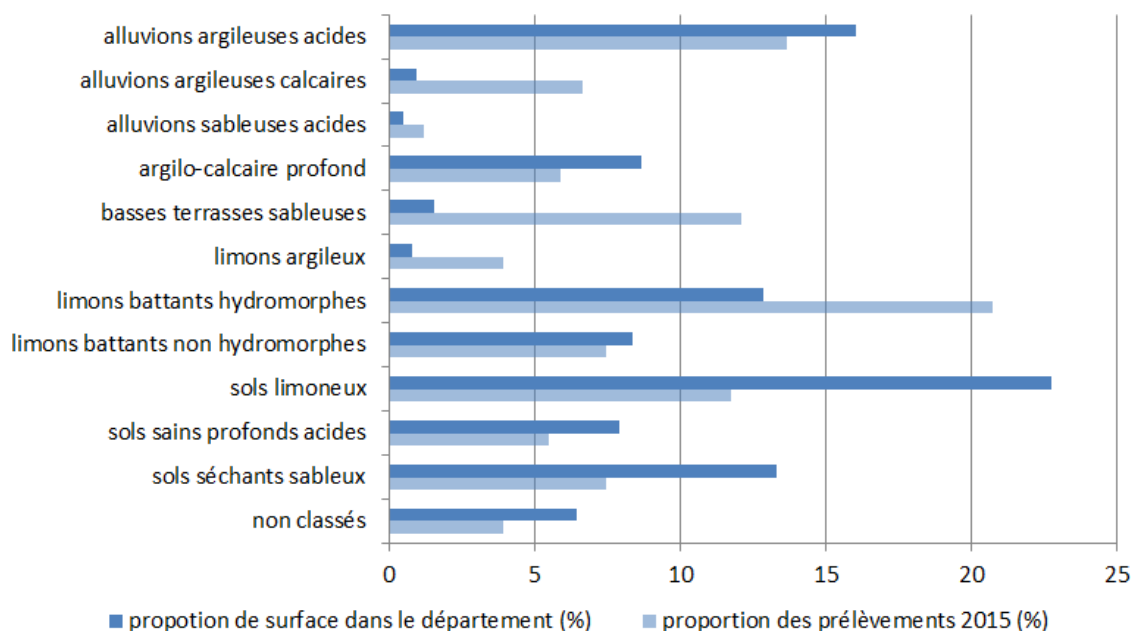


Figure 1. Représentativité des types de sol dans l'échantillon (données 2012 à 2015)

### Représentativité géographique

Comme le montre la carte de la Figure 2, les prélèvements sont répartis dans toutes les zones agricoles du département (hors côte viticole). Il reste quelques zones moins bien explorées, par exemple entre Autun et Charolles et entre Autun et Chalon-sur-Saône. Cela vient à la fois de la méthode de repérage des parcelles, via les dossiers de plan de fumure gérés par la Chambre d'Agriculture qui ne sont pas forcément répartis de façon homogène sur le territoire, et de l'hétérogénéité des sols dans certains secteurs qui rend difficile l'échantillonnage. On peut cependant considérer comme satisfaisante la représentativité géographique de l'échantillon, qui ne prétend pas à l'exhaustivité.

## Répartition géographique des prélèvements 2012 à 2015

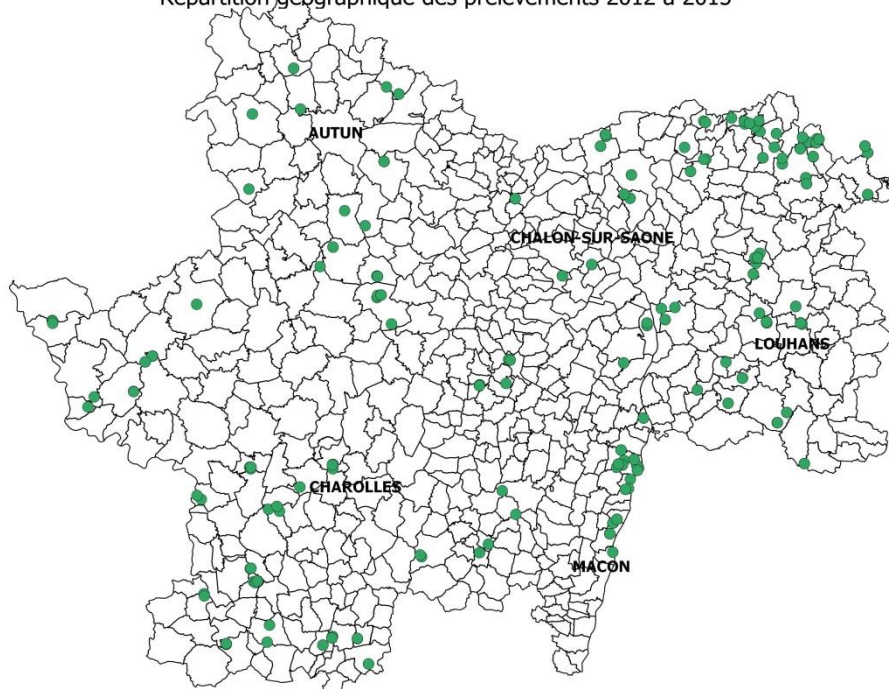


Figure 2. Carte des prélèvements effectués entre les années 2012 et 2015 incluses

### Réalisation des mesures de diversité

Notamment pour une raison de coût, les mesures de diversité n'ont pas été effectuées dès la réalisation des prélèvements comme cela a été le cas pour la BMM et pour le rapport champignons / bactéries. Les mesures ont donc été effectuées selon un ordre de priorité décrit page 8 dans la partie Etude de la diversité microbienne.

### Constitution d'une base de données

Une base de données Access a été constituée pour regrouper l'ensemble des éléments acquis par les analyses, les observations et les questionnaires. Elle permet un stockage sûr des informations et leur exploitation facilitée par les nombreuses requêtes possibles. Elle limite également les risques d'erreur de saisie.

## Analyse des données : élaborer le référentiel et comprendre les variations des indicateurs

### Elaboration d'un référentiel pour la biomasse moléculaire microbienne par modélisation

L'objectif du projet est d'acquérir des références pour les différents indicateurs étudiés. En 2015, une étape a été franchie pour la biomasse moléculaire microbienne (BMM, voir ci-dessous). Les analyses de diversité n'étant pas encore assez nombreuses, des études complémentaires restent nécessaires. Pour le rapport bactéries champignons, l'interprétation repose sur des valeurs seuils indépendantes du contexte. Cependant, les niveaux atteints dans le département sont étudiés (voir Ratio champignons / bactéries : comprendre les déséquilibres page 20).

Un modèle prédictif de la BMM a été conçu par l'UMR Agroécologie de Dijon (Horrigue et al., In Press) à l'aide des données recueillies dans le département et sur la base de la méthode employée avec les données du RMQS (Réseau de Mesure de la Qualité des Sols) (Ranjard et al., 2010). La liste des données mobilisées est disponible en Annexe 4. Ce sont les mesures effectuées de 2012 à 2014, avec la valeur de BMM mesurée la plus ancienne disponible en cas de suivi pluriannuel. Ce choix a été fait afin d'avoir une mesure de biomasse microbienne simultanée avec la mesure des paramètres physico-chimiques utilisés dans le modèle. Parmi ces 127 analyses, 14 ont été conservées pour étudier la qualité des prédictions.

Ce modèle polynomial paramétrique détermine la BMM attendue en fonction de paramètres physico-chimiques de la parcelle étudiée (teneur en carbone et en argile, latitude et pH) comme on le voit sur la Figure 3. Cette valeur théorique



de référence dépend des valeurs de BMM de l'échantillon qui a servi de base à la construction du modèle et donc indirectement des pratiques mises en œuvre sur les parcelles concernées.

On peut ainsi comparer les nouvelles valeurs mesurées dans les sols du département à cette valeur théorique de référence. Les paramètres physico-chimiques étant pris en compte par le modèle, la différence entre prédiction et mesure s'explique par les pratiques agricoles. Cela revient à comparer les mesures à la valeur moyenne de l'échantillon corrigée par la prise en compte de l'influence des principaux paramètres physico-chimiques.

### **Variabilité des indicateurs selon les types de sol et le couvert**

Une première étape a consisté à représenter les valeurs des indicateurs par type de sol, en séparant cultures assolées et prairies permanentes. Cela donne une idée de la variabilité départementale selon le principal critère utilisé pour l'échantillonnage. Les gammes de variations obtenues constituent un premier type de référentiel, car il permet de situer une mesure ponctuelle parmi des mesures effectuées sur des sols semblables.

### **Etude des effets de la physico-chimie sur la biomasse moléculaire microbienne par ACP**

Plusieurs paramètres physico-chimiques peuvent avoir des effets simultanés sur les niveaux de BMM observés. Il est donc pertinent d'étudier leur effet combiné. Pour cela on a réalisé une ACP basée sur les indicateurs de l'analyse de sol (Analyse en Composantes Principales, fonction `dudi.pca` avec le logiciel R et le package `ade4` (Dray and Dufour, 2007; R Core Team, 2015)). Dans un second temps, on a donné aux points de l'espace des individus (représentation des observations sur des axes synthétiques) une taille fonction de la BMM, ce qui permet de détecter graphiquement des corrélations éventuelles.

Variables mobilisées :

- Teneurs en argile, limon, sable et matière organique,
- pH, CEC et saturation de la CEC,
- Teneurs en  $P_2O_5$  (peu pertinent car les méthodes des analyses de laboratoire ne sont pas homogènes),  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$  et  $Na_2O$ ,
- Altitude.

Trois parcelles ont dû être éliminées pour cause de données manquantes : CBTS\_11, PAAA\_29a et PSS\_4maraudes.

### **Etude de l'effet des pratiques sur la biomasse moléculaire microbienne par des statistiques exploratoires**

Les effets des pratiques une à une ne sont pas visibles dans notre échantillon car plus encore que pour la physico-chimie, la BMM mesurée résulte du système de pratiques appliqué à la parcelle concernée. Deux méthodes de statistiques exploratoires ont donc été appliquées dans le but de constituer des groupes d'observations les plus homogènes possibles du point de vue des pratiques agricoles. On a ensuite étudié les valeurs des écarts entre BMM mesurée et BMM prédite par le modèle national obtenus dans chacun des groupes. Utiliser cet écart permet de s'affranchir des effets de la physico-chimie et donc de potentiellement ne conserver que les effets des pratiques. Le modèle départemental n'a pas pu être utilisé dans ce cas car il a été bâti sur les mêmes données.

Les méthodes utilisées pour constituer les groupes d'observations sont l'Analyse Factorielle sur Données Mixtes et la classification hiérarchique sur composantes principales (fonctions `AFDM` et `HCPC` du package `FactoMineR` du logiciel R, (Husson et al., 2015)). L'arbre de la classification a été coupé au niveau suggéré par la fonction `HCPC`.

Des groupes d'observations (une observation = une parcelle une année donnée) ont été composés en appliquant les méthodes exposées ci-dessus aux observations décrites à l'aide des critères présentés dans le Tableau 3 et dans le Tableau 4. Les cultures assolées et les prairies permanentes sont étudiées séparément car sans cela l'analyse distingue culture et prairie et n'apprend rien, et car les variables de description des pratiques ne sont pas tout à fait les mêmes. Il s'agit du codage retenu après plusieurs essais légèrement différents.



Tableau 3. Codage des pratiques pour les cultures assolées

thème	variables	valeurs possibles
caractérisation du couvert	nombre de familles botaniques dans la succession (distinction du maïs, des céréales à paille et des prairies temporaires)	1 / 2 / 3 / 4 / 5
	culture intermédiaire	oui / non
travail du sol	travail du sol	labour / profond / superficiel / semis direct / aucun
fertilisation	organique ou minérale	aucune / org / min / orgamin
	amendements basiques	oui / non
traitements	types de traitements	aucun / combinaisons de insecti / herbi / fongi
	nombre de traitements	valeur

Tableau 4. Codage des pratiques pour les prairies permanentes

thème	variables	valeurs possibles
caractérisation du couvert	nombre d'espèces	nombre entier
	entretien du couvert (hersage)	oui / non
	mode d'exploitation	pâturage / fauche et pâturage
fertilisation	organique	oui / non
	minérale	oui / non
	amendements basiques	non / oui

A noter que la donnée nombre d'UGB / ha (Unités Gros Bétail) n'a finalement pas été retenue car il s'agit plus probablement d'un chargement moyen de l'exploitation que pour la parcelle concernée. C'est ce chiffre que les exploitants connaissent et donc celui qu'ils ont probablement fourni. Cela explique sans doute les valeurs assez peu variables comprises entre 1,2 et 1,5. Ce n'est donc pas une donnée qui permet de caractériser correctement les observations. La modalité fauche uniquement n'est pas représentée dans l'échantillon étudié.

Du fait de questionnaires incomplets, toutes les observations n'ont pas pu être incluses dans l'étude. Ce sont donc 103 observations qui ont été retenues pour les cultures assolées et 50 pour les prairies permanentes.

### Etude du rapport champignons / bactéries

On a étudié la dispersion des résultats concernant cet indicateur. On l'a également confronté aux analyses physico-chimiques pour identifier d'éventuelles corrélations, et aux types de sol comme pour la biomasse moléculaire microbienne.

Les mesures ont aussi été étudiées en fonction des groupes d'observations liés aux pratiques tels qu'ils ont été mis au point pour l'étude des effets des pratiques sur la BMM (voir page 7). Pour interpréter les graphiques tirés de cette démarche, il faut prendre en compte le fait que les valeurs brutes sont aussi le reflet de la physico-chimie des sols prélevés. Ça n'est pas le cas de la BMM puisqu'on compare alors à une référence qui prend en compte la physico-chimie.

### Etude de la diversité microbienne

La diversité microbienne des parcelles a été étudiée à travers deux indicateurs qui sont la richesse et l'équitabilité. La richesse reflète le nombre de taxons représentés. L'équitabilité est un indice qui reflète les équilibres entre populations des différents taxons. L'indice tend vers 0 si un ou quelques taxons dominant, et vers 1 si les populations sont parfaitement équilibrées.

A ce stade, les éléments présentés sont surtout descriptifs. Il s'agit de constater les niveaux des indicateurs relevés dans le département. Les mesures de diversité sont effectuées au fur et à mesure, en priorité sur des échantillons conservés, essentiellement pour des questions budgétaires. En 2015, on dispose de 60 mesures issues d'échantillons prélevés en 2012 et en 2013. Le principe retenu est de réaliser les mesures en priorité sur les échantillons anciens et sur certains types de sol. De plus, on a veillé à n'avoir, sauf exception, qu'une seule mesure par parcelle dans la perspective de la

constitution de référentiels sur la diversité. Enfin, on a veillé à varier les exploitations concernées par les mesures et donné la priorité aux observations pour lesquelles on dispose des données sur les pratiques.

Ainsi, 30 mesures ont été effectuées sur des cultures assolées sur limons battants et 30 mesures sur prairies permanentes sur 3 types de sol différents : sols sains profonds acides, sols séchant sableux et argilo-calcaires profonds. Les éléments présentés ci-après sont essentiellement descriptifs et ne décrivent que de premières tendances. La liste des observations ayant bénéficié d'une mesure de diversité est donnée en Annexe 5.

## Résultats : création d'un modèle pour la biomasse moléculaire microbienne et étude des effets de pratiques

La plupart des résultats présentés ici sont basés sur les études des données acquises de 2012 à 2014, la collecte des données sur les pratiques pour les parcelles étudiées en 2015 étant encore en cours.

### Un modèle pour la biomasse moléculaire microbienne

Une bonne corrélation a été obtenue entre les valeurs prédites et les valeurs mesurées conservées pour la validation du modèle (Figure 4). Ce modèle élaboré et appliqué à l'échelle départementale permet donc une interprétation plus fine de l'impact des pratiques agricoles sur la BMM microbienne des sols de Saône et Loire.

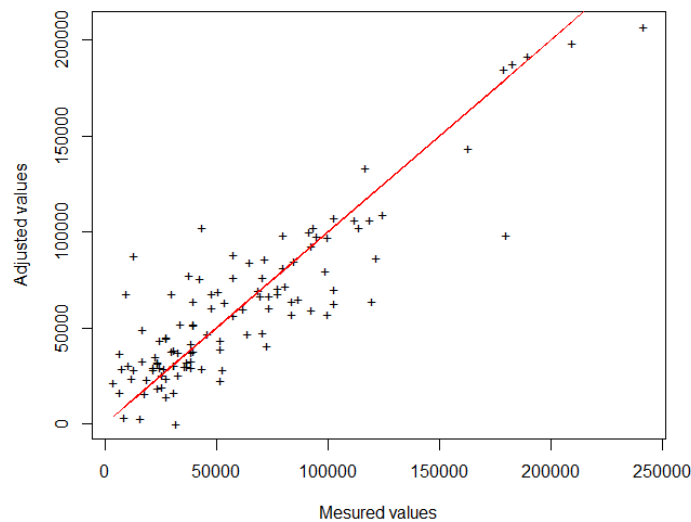


Figure 3. Relation obtenue entre valeurs mesurées et valeurs ajustées par le modèle en tenant compte de paramètres physico-chimiques principaux ayant une influence (teneur en carbone et en argile, latitude et pH)

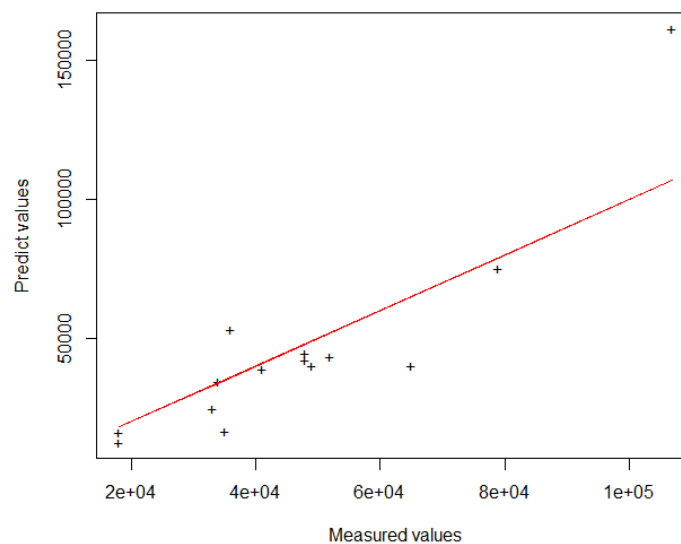


Figure 4. Relation entre valeurs prédites par le modèle et valeurs mesurées sur un échantillon de données conservé pour vérifier la qualité du modèle.  $R^2=0,796$

Un référentiel d'interprétation est donc disponible pour ce 1er indicateur qu'est la BMM. Son utilisation mobilise le logiciel de statistiques R. Un guide d'utilisation du modèle est disponible en Annexe 6. L'équation du modèle est de forme polynomiale avec un polynôme du 3<sup>ème</sup> degré. 4 facteurs sont pris en compte :

- la latitude (GPS Lambert II),
- la teneur en carbone en g/kg,
- la teneur en argile en %<sup>1</sup>
- et le pH.

## Variation de la biomasse moléculaire microbienne par type de sol et de couvert

Les données 2014 permettent de compléter la connaissance des gammes de variation de la biomasse moléculaire microbienne par type de sol et de couvert, ainsi que l'illustre la Figure 5 ci-dessous. On peut en tirer les constats suivants :

- La gamme est confirmée sur les sols où elle était déjà partiellement connue (PSL, PSPA, PSS, CAAA, CLBNH) ou bien connue (CBTS, CLA, CLBH).
- La gamme se dessine sur les sols où elle était mal connue (CAAC, PAAC).
- Elle reste à confirmer sur les sols avec peu de mesures : CACP, PAAA et PACP.

Les mesures de 2014 confirment une gamme plus étendue et un potentiel plus élevé pour les sols à texture fine, et supérieur sous les prairies par rapport aux cultures, ce qui était déjà révélé par les données des années précédentes.

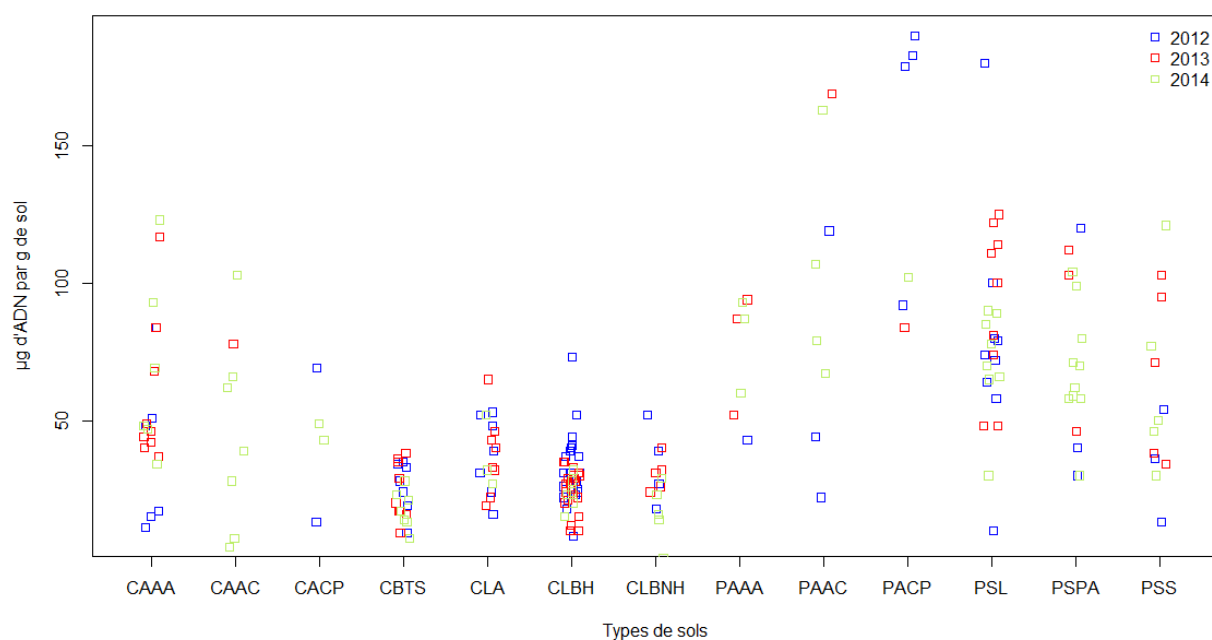
Dans le modèle d'interprétation national (Horrigue et al., In Press), la BMM est expliquée par 5 grands facteurs : le couvert (forêt, cultures, prairies, arboriculture, vigne), la teneur en argile, le pH, la teneur en carbone et l'altitude. On retrouve bien ici l'influence du facteur couvert, étant donnée la différence de potentiel entre cultures et prairies. Les autres facteurs sont examinés dans les sections suivantes.

Le même type de graphique a été réalisé avec les données de la campagne 2015 (Figure 6). C'est sous cette forme que les résultats ont été restitués aux agriculteurs.

---

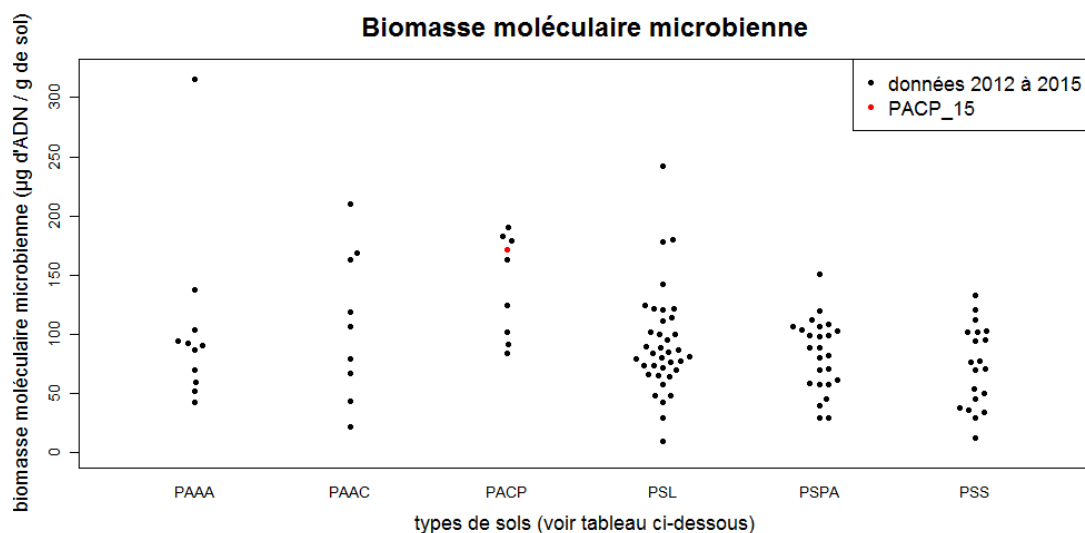
<sup>1</sup> Initialement l'indice de battance, abandonné car c'est une variable synthétique (basée sur teneurs en argile, matière organique et limons) et qu'il n'est pas disponible pour certaines parcelles car on est en dehors du domaine de validité.

### Biomasse moléculaire microbienne



Code	Types de sol - cultures assolées	Code	Types de sol - prairies permanentes
CAAA	Alluvions argileuses acides	PAAA	Alluvions argileuses acides
CAAC	Alluvions argileuses calcaires	PAAC	Alluvions argileuses calcaires
CACP	Argilo-calcaires profonds	PACP	Sols argilo-calcaires profonds
CBTS	Basses terrasses sableuses, sables maraîchers	PSL	Sols limoneux
CLA	Limons argileux	PSPA	Sains profonds acides
CLBH	Limons battants hydromorphes	PSS	Sableux séchants superficiels
CLBNH	Limons battants non hydromorphes		

Figure 5. Biomasse moléculaire microbienne mesurée en fonction du type de sol et de l'année. La dispersion horizontale des points pour une même catégorie n'a pas de signification particulière et permet seulement de mieux visualiser les données



Code	Types de sol - prairies permanentes
PAAA	Alluvions argileuses acides
PAAC	Alluvions argileuses calcaires
PACP	Sols argilo-calcaires profonds
PSL	Sols limoneux
PSPA	Sains profonds acides
PSS	Sableux séchants superficiels

Figure 6. Exemple de tableau restitué à l'agriculteur qui exploite la parcelle PACP\_15

# Biomasse moléculaire microbienne et paramètres physico-chimiques

## Corrélations à deux variables

Des graphiques représentant un facteur physico-chimique en abscisse et la BMM en ordonnée ont été tracés pour tous les facteurs physico-chimiques. Ils permettent de visualiser d'éventuelles corrélations.

On observe une certaine corrélation entre la teneur en matière organique des sols et la BMM :  $R^2=0,6$  environ sur l'ensemble des données (Figure 7), et  $R^2=0,7$  environ sur les données 2014 (graphique de droite ci-dessous). Cela correspond aux résultats obtenus sur les données du RMQS (la teneur en carbone ou en matière organique est un facteur explicatif de la BMM). On retrouve un lien entre teneur en matière organique et type de couvert, les prairies étant bien mieux pourvues. Les BMM observées sur prairies sont bien entendu généralement supérieures mais aussi très variables.

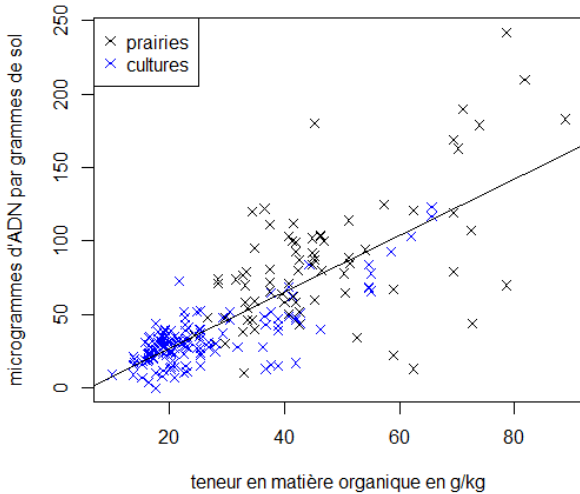


Figure 7. BMM en fonction de la teneur en matière organique du sol pour l'ensemble des données collectées de 2012 à 2014

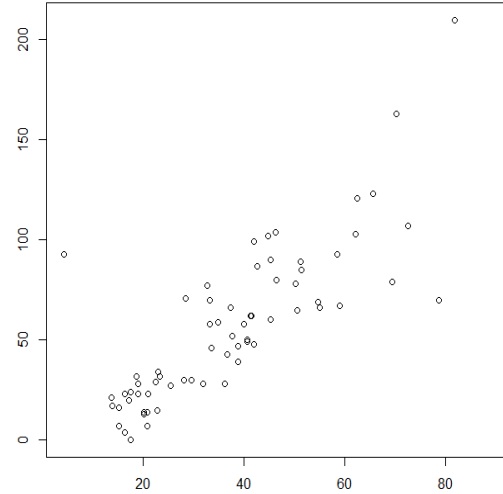


Figure 8. BMM ( $\mu\text{g}$  d'ADN / g de sol) en fonction de la teneur en matière organique du sol pour les données collectées en 2014.

Les observations réalisées sur une parcelle de prairie en 2012, 2013 et 2014 illustrent bien le lien entre BMM et type de couvert (et indirectement teneur en matière organique). La prairie a été retournée avant la mesure de 2014 (date non connue, car pas de réponse au questionnaire). Le sol était nu lors du prélèvement. On observe une diminution importante de la biomasse moléculaire microbienne suite à la destruction de la prairie (Tableau 5). Cependant, une variation importante avait été observée entre 2012 et 2013. Le rapport champignons / bactéries reste équilibré lors de cette transition.

Tableau 5. Evolution de la BMM et du rapport champignons / bactéries sur la parcelle PAAC\_14.

Année de mesure	2012	2013	2014
Biomasse microbienne mesurée	119	169	79
Ratio champignons/bactéries	1,88	1,14	1,45

Par contre, le pH n'est pas directement corrélé à la BMM dans le jeu de données (Figure 10). On retrouve des BMM faibles pour tout niveau de pH. Il en est de même pour quelques valeurs très élevées (plus de  $150 \mu\text{g/g}$ ). Cependant, les valeurs élevées (plus de  $80 \mu\text{g/g}$  environ) sont plutôt observées pour des pH acides (entre 5,5 et 6,5), ce qui correspond en tendance aux prairies permanentes.

La corrélation avec la teneur en argile est très mauvaise (on observe seulement une certaine tendance, voir Figure 9). Le lien avec l'altitude n'est pas direct non plus (Figure 11), mais il est possible que ce facteur n'ait pas d'influence à l'échelle du département (alors qu'il en a une à l'échelle de la France, et donc dans le modèle basé sur les données du RMQS).

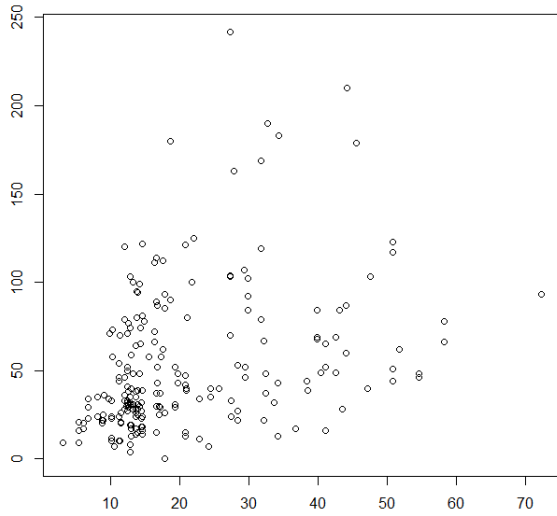


Figure 9. BMM ( $\mu\text{g d'ADN / g de sol}$ ) en fonction de la teneur en argile (%)

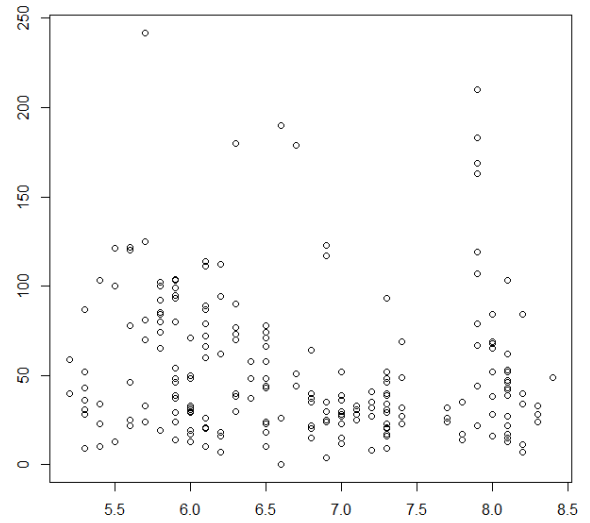


Figure 10. BMM ( $\mu\text{g d'ADN / g de sol}$ ) en fonction du pH

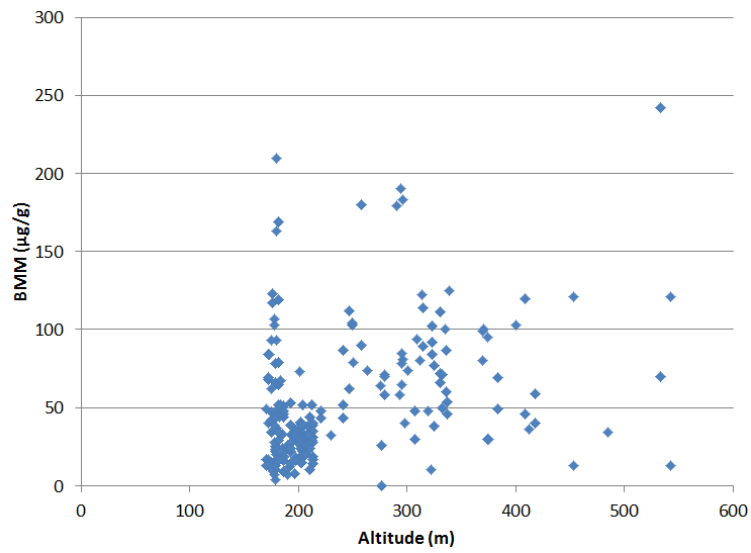


Figure 11. BMM ( $\mu\text{g d'ADN / g de sol}$ ) en fonction de l'altitude

## Analyse en composantes principales

Les deux premiers axes obtenus expliquent 63,6 % de la variabilité totale des données. Les corrélations entre variables sont observables sur la Figure 12 et la dispersion des observations sur la Figure 13.

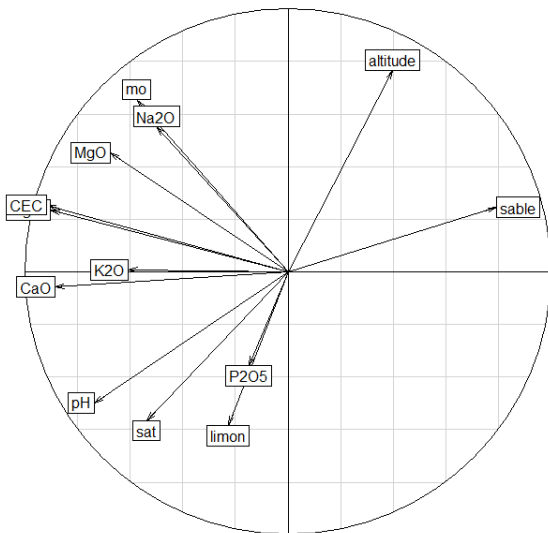


Figure 12. Cercle des corrélations obtenu par ACP sur les données physico-chimiques 2012 à 2014

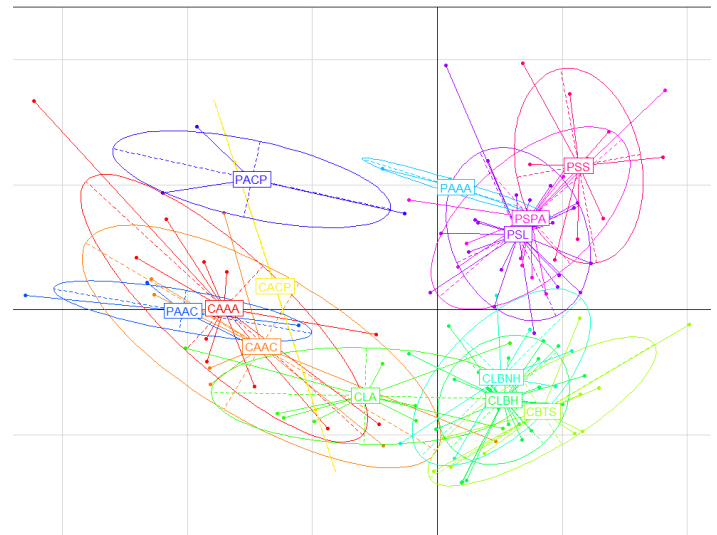


Figure 13. Représentation des individus dans l'espace factoriel déterminé par les deux premiers axes. Ils sont regroupés par type de sol et de couvert. ACP sur les données physico-chimiques 2012 à 2014.

L'axe horizontal est assez fortement lié à la teneur en sable (croissante vers la droite), et à la teneur en argile (très liée à la CEC) vers la gauche. Le pH est quasi inversement corrélé à la teneur en sable. La teneur en matière organique pointe vers 11h, l'altitude vers 1h. On peut en déduire les tendances suivantes dans l'espace des individus :

- On retrouve en haut à droite des parcelles de prairie avec sol superficiel et situées plus en altitude. La présence des prairies sur alluvions argileuses acides dans cette zone peut interroger mais est sans doute liée au pH. De plus, les prairies sur sols limoneux se distinguent peu des prairies sur sol sain, profond et acide.
- En haut à gauche se trouvent peu de parcelles également plus en altitude mais avec des textures plus lourdes (prairies sur argilo-calcaires profonds).
- En bas à droite se trouvent des parcelles de culture sur sols à texture assez légère (basses terrasses sableuses et limons battants). Elles sont plutôt à faible altitude relativement aux parcelles précédentes.
- Autour de l'axe horizontal et à gauche de l'axe vertical se trouvent des parcelles de faible altitude à texture plus lourde (alluvions argileuses, argilo-calcaires profonds). Ce sont surtout des cultures, mais aussi quelques prairies de la vallée du Doubs. Les parcelles d'un même type de sol sont assez fortement dispersées dans ce secteur en fonction des variations de texture et de teneur en matière organique.
- Le groupe des cultures sur limons argileux se situe dans une zone intermédiaire entre les cultures à texture légère et celles à texture plus lourde.

### En résumé, les axes permettent en tendance de distinguer les parcelles selon :

- **La texture** : sableuse vers la droite, argileuse vers la gauche.
- **L'altitude** : plus importante vers le haut, plus faible vers le bas.
- **Le pH**, à l'inverse de l'altitude plus faible vers le haut, et plus élevé vers le bas.

On retrouve les facteurs mobilisés dans le modèle du RMQS. Il reste à voir quel lien éventuel on peut observer avec la BMM. Pour cela, on a donné aux points de l'espace des individus une taille liée à la BMM mesurée (la BMM moyenne en cas de suivi pluriannuel).



On peut les identifier sur le graphique de la Figure 14 :

- Biomasses les plus faibles pour les cultures sur limons et sables, ainsi que limons argileux.
- Biomasses assez élevées pour les prairies sur sols de limons et de sables.
- Les biomasses les plus élevées sont atteintes pour des cultures ou des prairies sur sols argileux.
- Bien entendu, on constate un certain nombre d'exceptions, qui pourraient s'expliquer par les pratiques culturales.

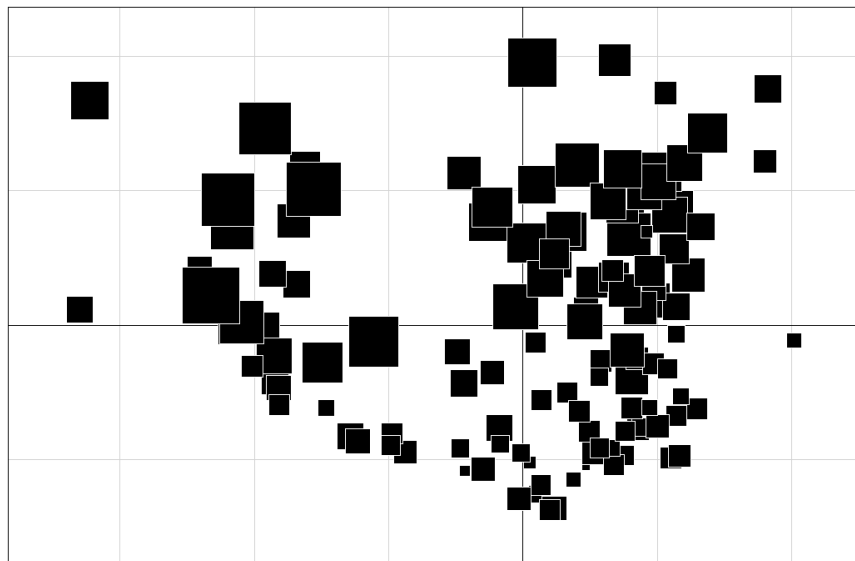


Figure 14. Représentation des individus dans l'espace factoriel déterminé par les deux premiers axes. Leur taille est fonction de la BMM moyenne mesurée. ACP sur les données physico-chimiques 2012 à 2014.

## Biomasse moléculaire microbienne et pratiques culturales

### Cultures assolées : effets de l'espèce en place, des cultures intermédiaires et du travail du sol

L'Analyse Factorielle sur Données Mixtes permet d'identifier le travail du sol comme expliquant le plus la dispersion des données sur les deux premiers axes factoriels (Figure 15). L'axe 1 est également assez fortement lié au nombre de traitements et à l'application d'herbicides.

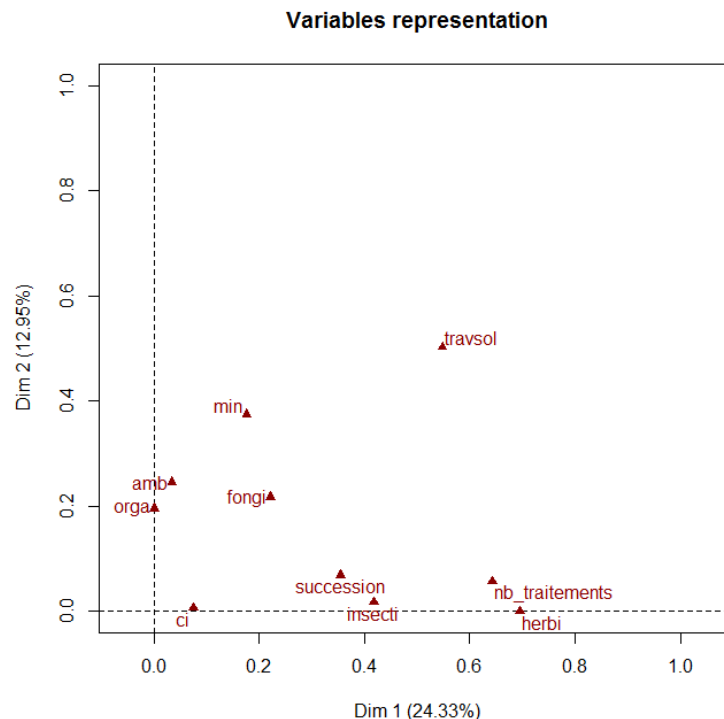


Figure 15. Représentation des variables sur les deux premiers axes de l'AFDM. Plus une variable est proche de 1 sur un axe, plus elle lui est corrélée.

On constate sur la Figure 16 que les individus sont relativement groupés dans le plan factoriel. La Figure 17 permet de situer les modalités des facteurs dans le plan.

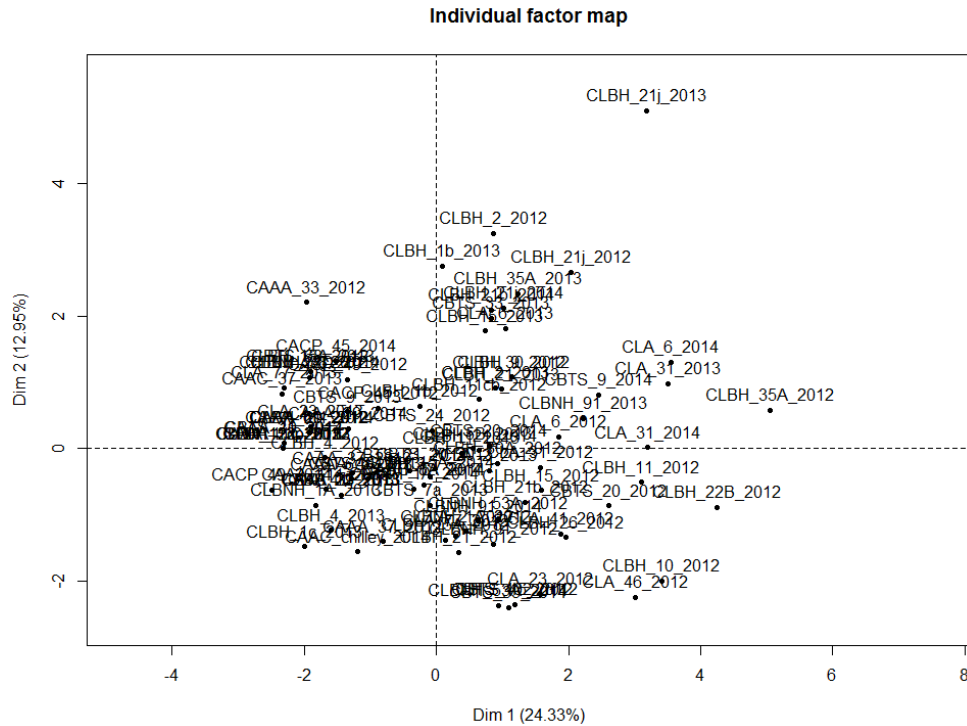


Figure 16. Représentation des individus dans le plan factoriel

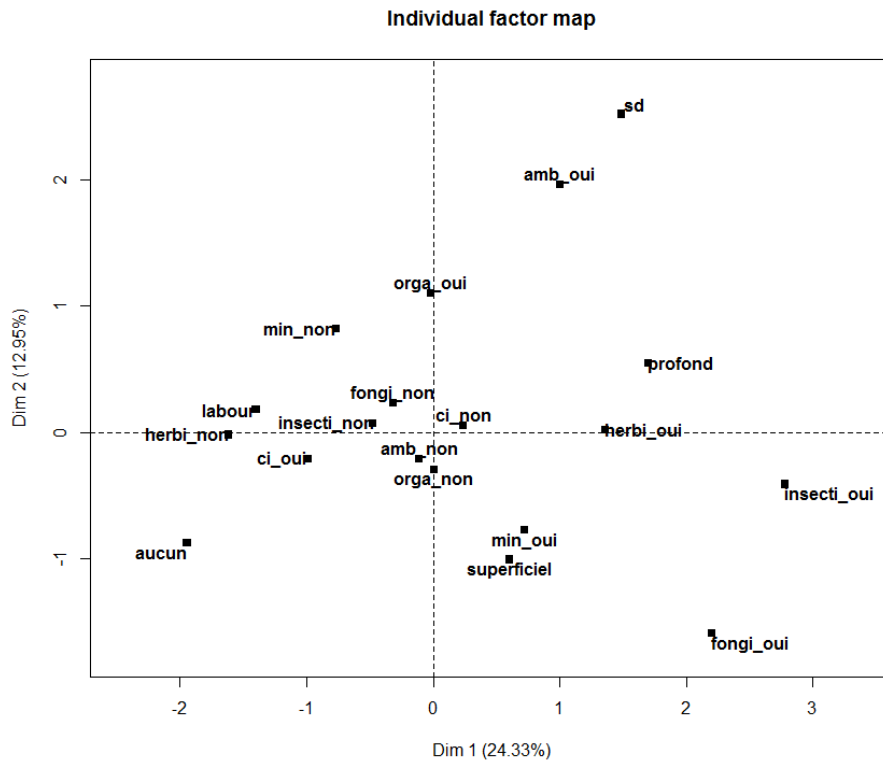


Figure 17. Représentation des modalités dans le plan factoriel

La classification donne les groupes présentés ci-dessous. Le «nom» du groupe en gras donne ses caractéristiques principales, le texte qui suit donne quelques précisions supplémentaires. Les cultures en place l’année du prélèvement ressortent fortement du fait que les pratiques sont très distinctes entre du maïs et des céréales à paille. Les observations correspondant à du semis direct se distinguent cependant sans lien avec la culture en place.

### 1. Maïs dominant avec culture intermédiaire : 17 observations

Maïs, culture intermédiaire, ni herbicide ni engrais minéral. 3 parcelles en prairie temporaire.

### 2. Maïs dominant sans culture intermédiaire : 29 observations

Maïs, un peu de blé et quelques autres cultures. Labour majoritaire, pas de traitements, pas de culture intermédiaire ni d'AMB (Amendement Minéral Basique), ni d'apport minéral.

### 3. Céréales avec travail du sol superficiel : 30 observations

Herbicide et apport minéral. Pas d'apport organique ni d'AMB.

### 4. Céréales avec travail profond : 10 observations

AMB et herbicide.

### 5. Semis direct : 7 observations

Herbicide = oui

### 6. Colza : 10 observations

Insecticide et herbicide. Fongicide oui à 60 %. Travail profond (70 %). Apport minéral.

Une fois les groupes constitués, on étudie pour chacun la **distribution des écarts entre mesure et prédiction** (Figure 18). Les moyennes et médianes de la plupart des groupes sont légèrement plus faibles que les prédictions (sauf groupe colza). On n'observe pas de tendance très marquée selon les groupes. Les paramètres pertinents n'ont donc probablement pas été mobilisés ou n'ont pas eu suffisamment de poids. On remarque cependant que la BMM sous maïs dominant sans culture intermédiaire (groupe 2) est plus altérée que sous maïs avec culture intermédiaire (groupe 1), ainsi que sous les céréales avec travail profond (groupe 4) par rapport à celles avec travail superficiel (groupe 3). Nous mettons probablement ici en évidence l'effet délétère du travail du sol sur la BMM et l'effet positif de la présence d'une culture intermédiaire.

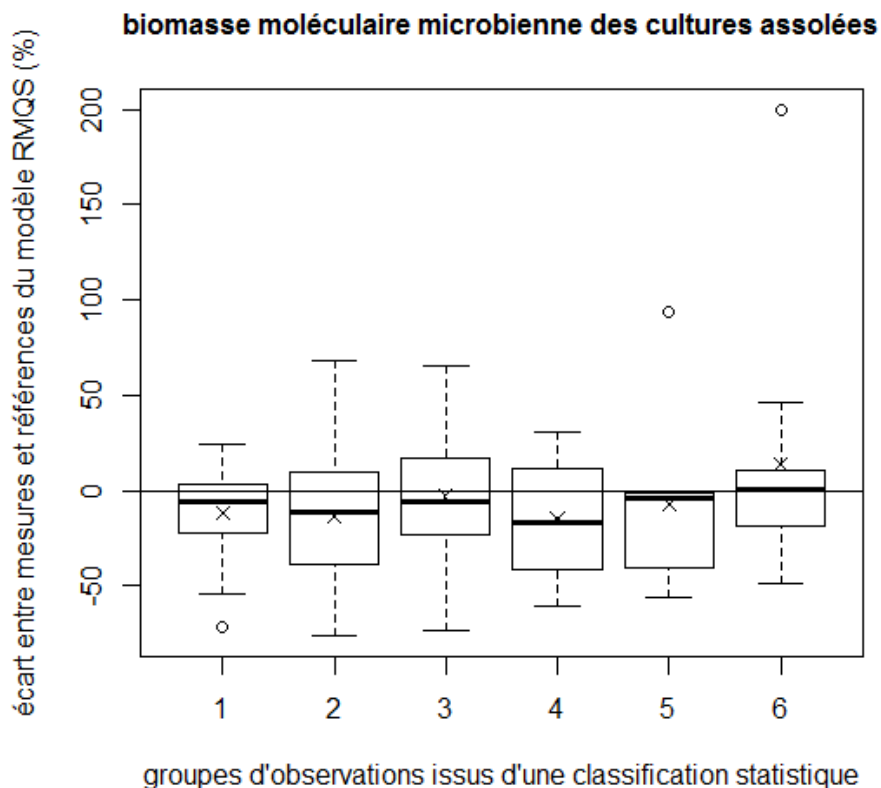


Figure 18. BMM des cultures assolées en fonction des groupes de pratiques. Les x représentent les moyennes des groupes.

On a étudié d'éventuels autres effets, comme l'**effet année**, puisque les observations étudiées ont été collectées sur 3 années successives avec des météo différentes (Figure 19). Graphiquement on n'observe pas de tendance marquée.

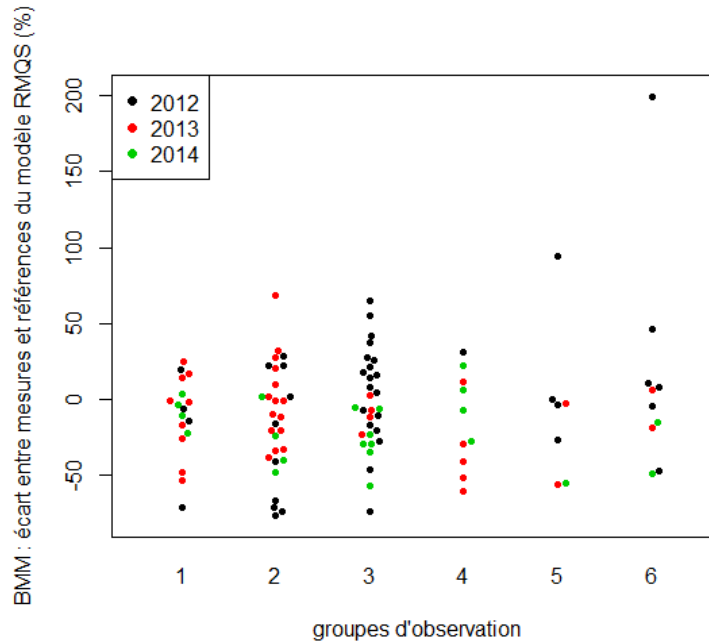


Figure 19. BMM en fonction des groupes statistiques et de l'année de mesure. Cultures assolées.

On identifie dans le graphique ci-dessus quatre **valeurs particulièrement élevées** par rapport aux autres valeurs de leurs groupes respectifs. Trois des quatre observations ont été réalisées en 2012.

- Groupe 2 : CLHB\_13\_2013 : ne semble pas atypique au niveau des pratiques par comparaison aux autres observations du groupe. Pas d'élément d'explication au niveau physico-chimique sauf un pH assez faible.
- Groupe 5 : CLBH\_21j\_2012 : rien de particulier au niveau des pratiques. Teneur en potasse assez faible ? Indice de battance le plus élevé du groupe. CEC la plus faible.
- Groupe 6 : CLBH\_22B\_2012 (qui atteint environ 3) : pas de remarque particulière au niveau des pratiques. pH un peu faible (6,3) ?
- Groupe 6 : CLA\_46\_2012 : rien de particulier au niveau des pratiques (assez peu de traitements). pH un peu faible (6) ?

Il y a aussi quelques **valeurs particulièrement faibles** dans les groupes 1, 2 et 3. Ce sont uniquement des observations réalisées en 2012. C'est leur seul dénominateur commun.

### Autres tests

Il a été tenté de valoriser d'autres informations recueillies soit par observation lors du prélèvement soit via les questionnaires. Il y a beaucoup de données manquantes pour ces informations. Pour les valoriser, on a réalisé des graphiques représentant le rapport biomasses mesurées / prédites en fonction des groupes en colorant les points selon le paramètre étudié.

- **Vitesse de ressuyage (exemple de graphique ci-dessous)** : en tendance les parcelles dont le ressuyage est apprécié comme lent par l'agriculteur ont des rapports de biomasses moins favorables.
- **Inondation** : seulement 5 parcelles concernées. Elles ont plutôt des rapports défavorables (1 observation avec rapport < 0.97 et 4 avec rapport < 0.79).
- **Observation de résidus de culture** : 41 observations concernées dont 9 avec des résidus (5 à 30 % de couverture) qui présentent toutes des rapports de biomasse < 1 et sont plutôt dans les valeurs faibles de leurs groupes respectifs.
- **Observation de fumure organique** : seulement deux parcelles avec fumure organique.
- **Nombre d'années sans labour** : pas de tendance affirmée. Groupe 3 : de meilleures valeurs du rapport de biomasse pour 12 ou 15 ans de non-labour (2 observations) par rapport à 8 ans et moins (12 observations).

## Prairies permanentes : effet du mode d'exploitation

Les variables les plus influentes sont le mode d'exploitation (fauche et pâture ou pâture uniquement), le chaulage (amb), et dans une moindre mesure les apports organiques, le hersage et la durée de pâturage (voir Figure 20). Dans la représentation des individus, la même parcelle ressort du groupe sur deux années car c'est la seule où il y a eu apport d'amendement minéral basique (Figure 21). Le reste des observations est très groupé.

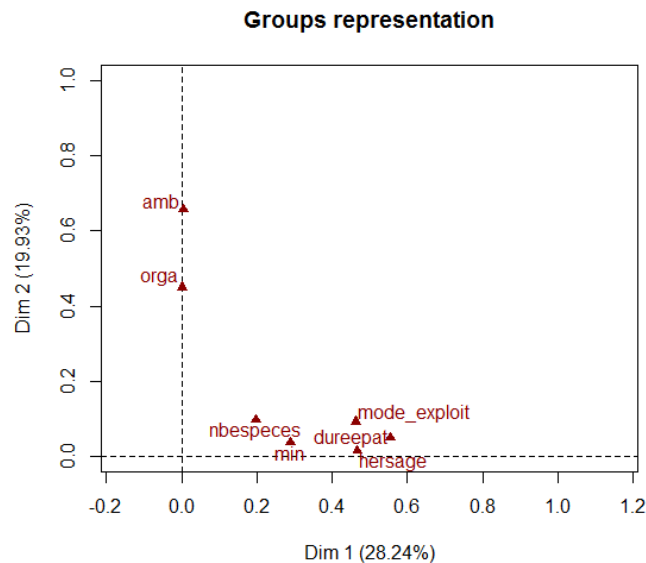


Figure 20. Représentation des variables dans le plan factoriel (2 premiers axes) de l'AFDM. Plus une variable est proche de 1 sur un axe, plus elle lui est corrélée.

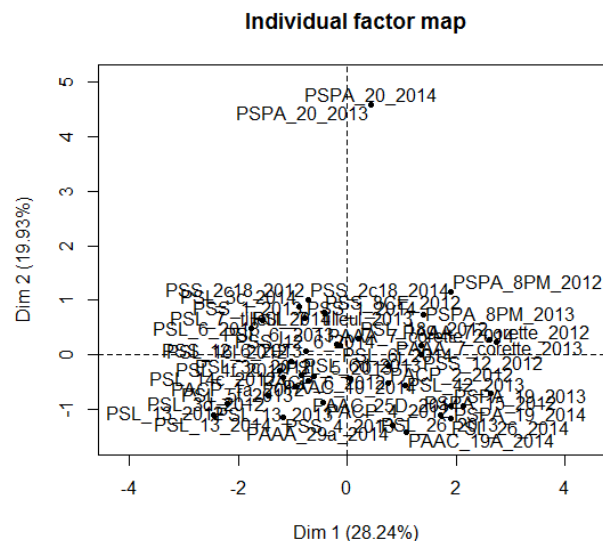


Figure 21. Représentation des individus dans le plan factoriel (2 premiers axes)

4 groupes ont été constitués :

1. Prairies fauchées et pâturées avec apport minéral, 11 observations.
2. Prairies fauchées et pâturées avec hersage et sans apport minéral, 20 observations.
3. Prairies fauchées et pâturées avec amendement basique, 2 observations. **Ces deux observations ont été rattachées au groupe 1.**
4. Prairies pâturées uniquement (67 %) non hersées et sans apport minéral, 15 observations.

Une fois les groupes constitués, on étudie pour chacun la **distribution des écarts entre mesure et prédiction** (Figure 18). Les valeurs mesurées sont largement supérieures aux prédictions pour les prairies permanentes. On remarque cependant que la BMM est plus altérée sur les prairies pâturées, ce qui pourrait être lié au tassement du sol par le piétinement des animaux.

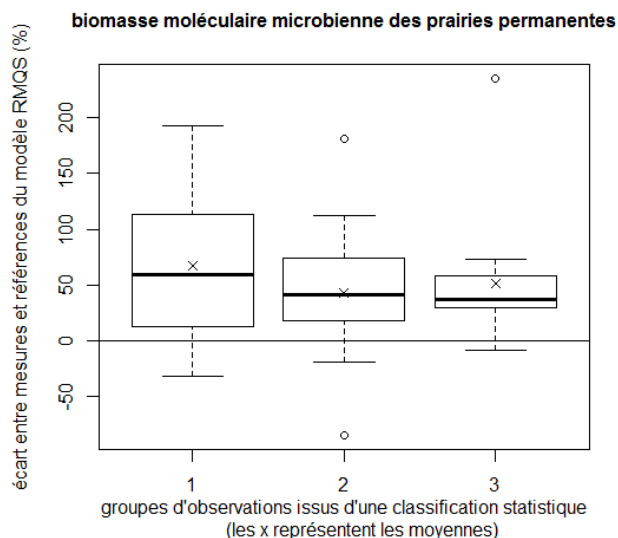


Figure 22. Ecart entre BMM mesurée et prédite en fonction des groupes de pratiques pour les prairies permanentes

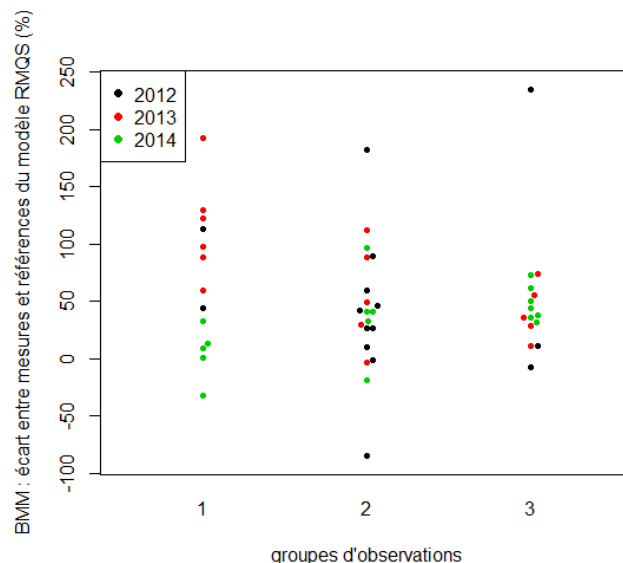


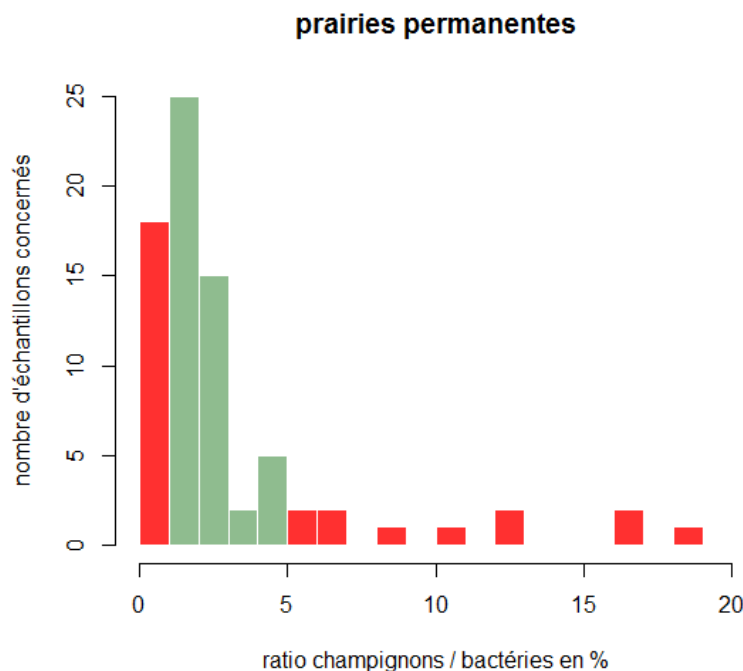
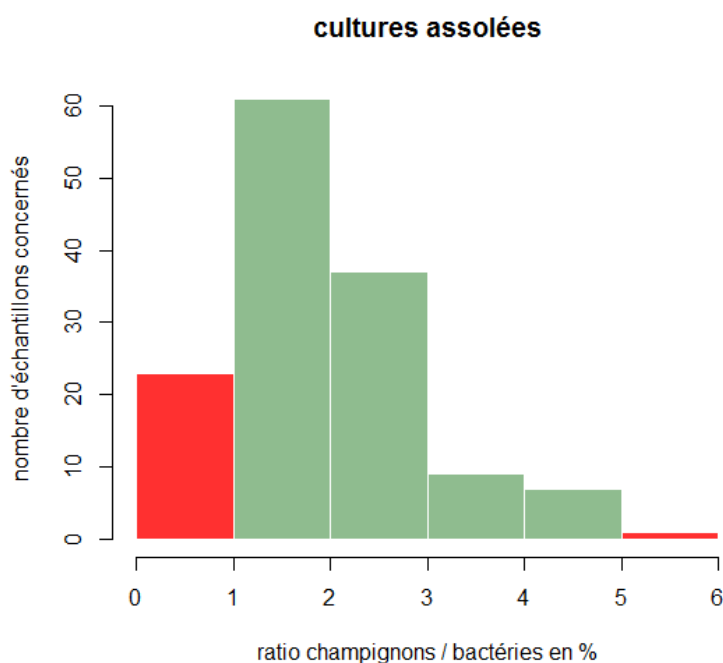
Figure 23. Ecart entre BMM mesurée et prédite en fonction des groupes de pratiques et des années pour les prairies permanentes

Sur la Figure 23 (groupe 2 et surtout 1), il semble que les BMM de l'année 2013 sont plus élevées que celles de 2014 (2012 donne des résultats variés et concerne le groupe 2).

Les points du graphique ont aussi été colorés selon la vitesse de ressuage et selon la durée d'inondation éventuelle appréciée par les agriculteurs enquêtés (donnée disponible pour une partie des données seulement). On ne décèle aucune tendance.

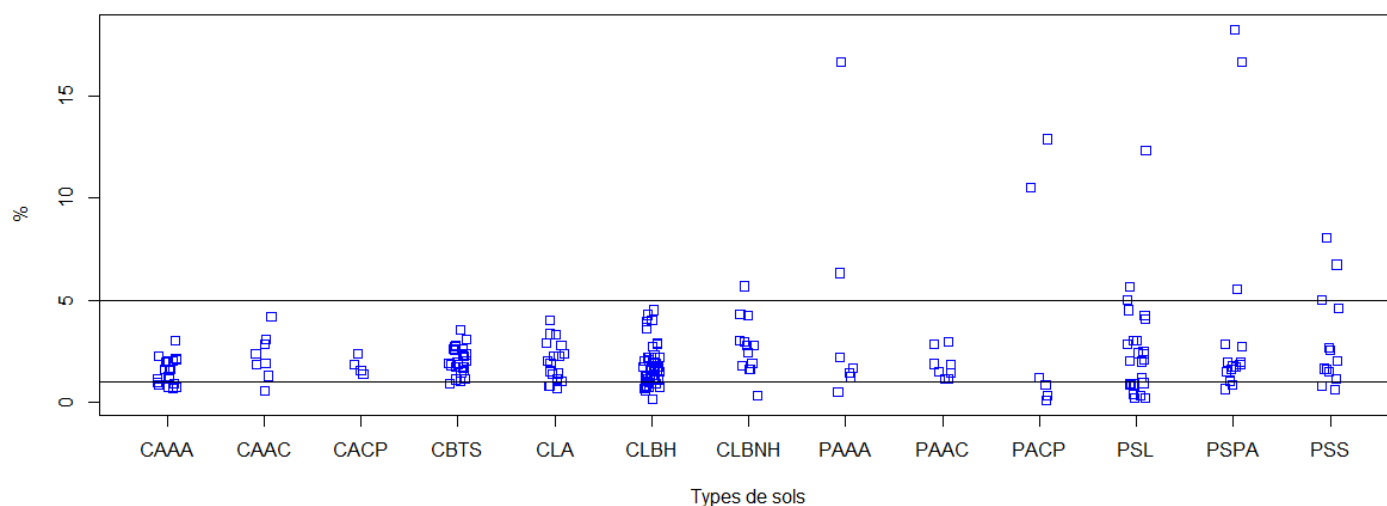
## Ratio champignons / bactéries : comprendre les déséquilibres

Les effectifs par classe de ratio champignons / bactéries sont présentés dans les graphiques ci-dessous (données 2012 à 2014, Figure 24 et Figure 25).



On constate que la majorité des observations présente un ratio compris entre 1 et 5 %, donc équilibré. Cependant, 41 présentent un ratio inférieur à 1 % et donc déséquilibré du côté bactérien, tandis que 12 sont déséquilibrées du côté fongique. Ces dernières présentent parfois des valeurs très élevées supérieures à 10, voire à 15 %.

## Rapport champignons / bactéries



Code	Types de sol - cultures assolées	Code	Types de sol - prairies permanentes
CAAA	Alluvions argileuses acides	PAAA	Alluvions argileuses acides
CAAC	Alluvions argileuses calcaires	PAAC	Alluvions argileuses calcaires
CACP	Argilo-calcaires profonds	PACP	Sols argilo-calcaires profonds
CBTS	Basses terrasses sableuses, sables maraîchers	PSL	Sols limoneux
CLA	Limons argileux	PSPA	Sains profonds acides
CLBH	Limons battants hydromorphes	PSS	Sableux séchants superficiels
CLBNH	Limons battants non hydromorphes		

Figure 26. Ratio champignons / bactéries en fonction du type de sol et du couvert. La dispersion horizontale des points pour une même catégorie n'a pas de signification particulière et permet seulement de mieux visualiser les données.

Les déséquilibres du côté fongique concernent quasi exclusivement des prairies (une parcelle en culture). Les déséquilibres en faveur des bactéries ne sont pas spécifiques du type de couvert. On n'observe *a priori* pas d'influence du type de sol (Figure 26).

Le tracé des graphiques du ratio champignons / bactéries en fonction des principaux facteurs physico-chimiques montre que les parcelles avec un ratio supérieur à 5 % ont presque toutes un pH inférieur à 6,2 (une exception à 7,4, voir Figure 27). Mais des valeurs correctes sont observées pour tous pH.

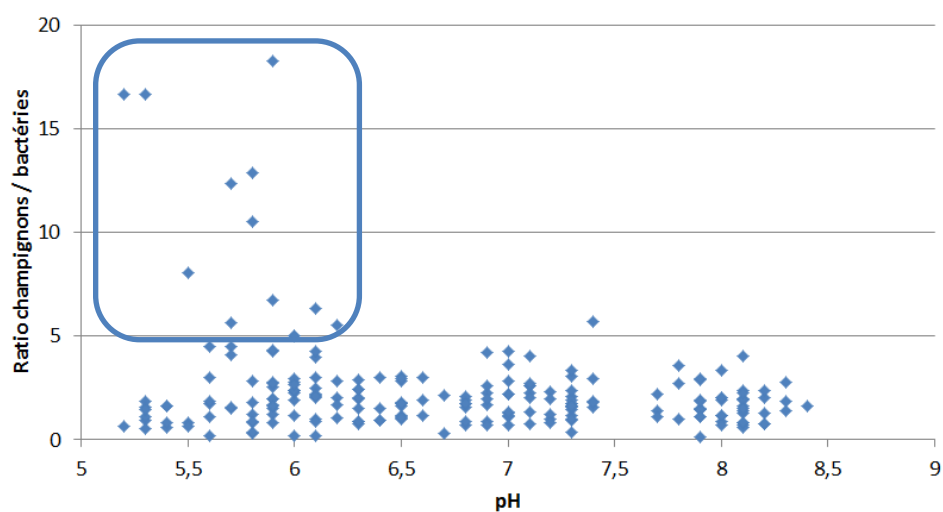


Figure 27. Ratio champignons / bactéries en fonction du pH. Les valeurs de ratio supérieures à 5 % sont entourées.

Pour le moment, on n'a pas mis au jour d'autres tendances concernant cet équilibre entre les deux types de microorganismes.



Les groupes d'observations constitués sur la base des pratiques (voir pages 7 et 15) ont été confrontés aux niveaux du rapport champignons / bactéries (sachant que dans ce cas on n'a pas pris en compte les effets de la physico-chimie de la parcelle). Cela permet de faire quelques observations à l'aide des graphiques, même si on n'a pas encore d'hypothèse de mécanisme pour les expliquer.

**Cultures** (Figure 28) : en proportion, on a environ trois fois plus d'observations inférieures 1 % dans les groupes 1 et 6 (maïs avec culture intermédiaire et colza) que dans les autres. Dans les groupes 2 et 3 (maïs sans culture intermédiaire et céréales avec travail superficiel) les observations inférieures 1 % ont été en majorité effectuées en 2012.

**Prairies** (Figure 29) :

- En proportion on a plus de valeurs inférieures à 1 % dans le groupe 2 (prairies fauchées et pâturées hersées sans apports minéraux). Les groupes en présentent respectivement 23, 42 et 13 %.
- Les valeurs inférieures à 1 % ont principalement eu lieu en 2012 (8 valeurs / 11).
- Les valeurs supérieures à 5 % ont principalement eu lieu en 2014 (5 valeurs sur 6 ou 6 sur 8 en comptant les valeurs égales à 5 %).

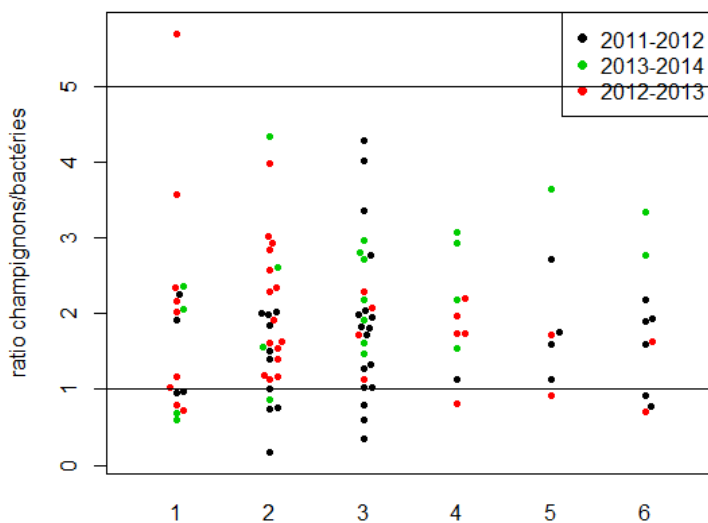


Figure 28. Ratio champignons / bactéries en fonction des groupes de pratiques, cultures assolées

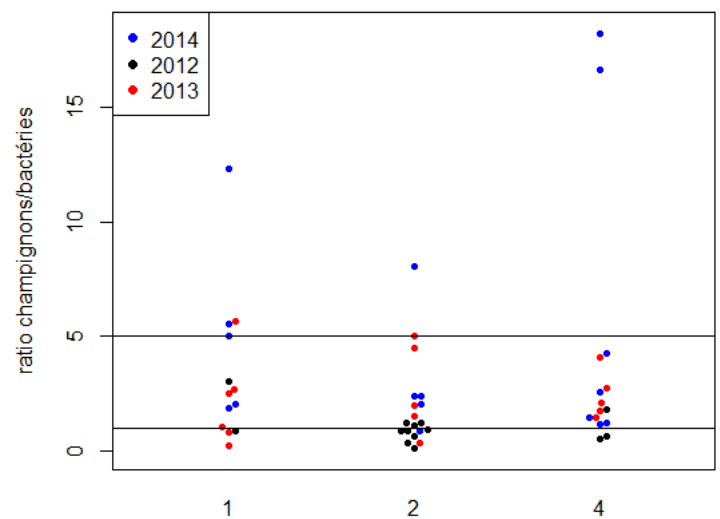


Figure 29. Ratio champignons / bactéries en fonction des groupes de pratiques, prairies permanentes

## Diversité des microorganismes : premières mesures

### Richesse en taxons

Les richesses (nombres de taxons) observées sont du même ordre de grandeur que celles observées niveau national via le RMQS (médianes de 700 environ pour les bactéries et de 430 environ pour les champignons). Voir Figure 30. La richesse est supérieure pour les bactéries.

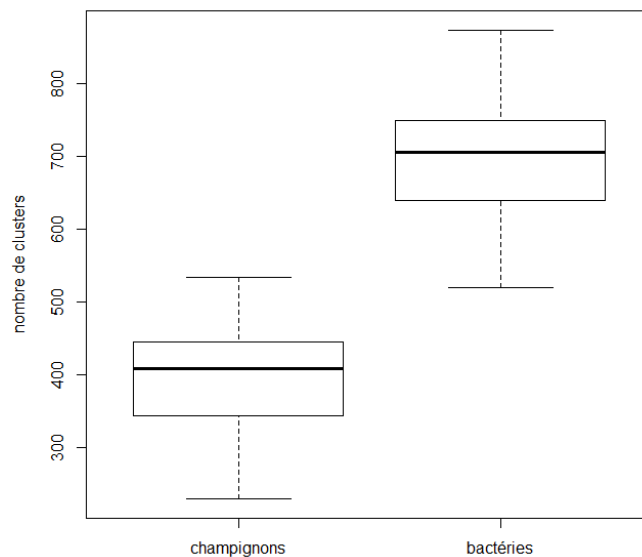


Figure 30. Richesse en champignons et bactéries pour les mesures 60 réalisées

Si l'on étudie les données en fonction du type de couvert (Figure 31 et Figure 32), on remarque que la diversité est légèrement plus importante sous cultures assolées. La variabilité est équivalente quel que soit le couvert pour les bactéries. Par contre pour les champignons les valeurs peuvent être plus faibles sous prairies permanentes que sous cultures assolées.

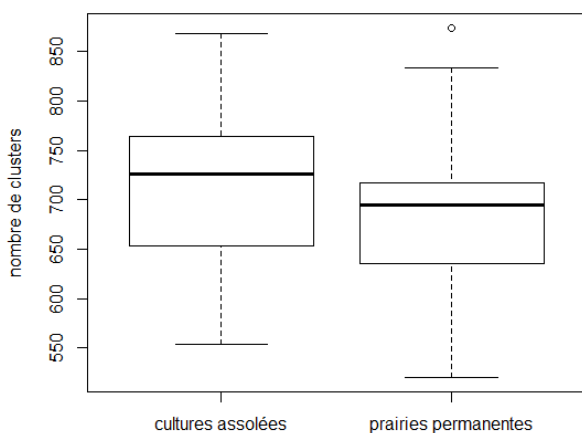


Figure 31. Richesse pour les bactéries en fonction du type de couvert

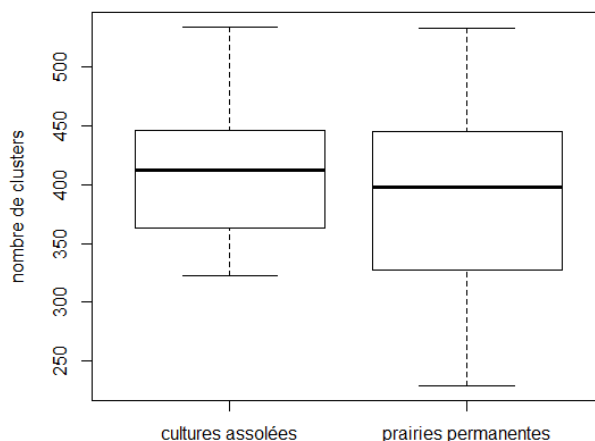


Figure 32. Richesse pour les champignons en fonction du type de couvert

Bien que le nombre de données soit encore faible pour conclure, les figures ci-dessous laissent entrevoir l'influence du type de sol, et notamment de la texture sur la diversité. Pour les cultures assolées, c'est l'hydromorphie qui différencie les deux types de sol (limons battants hydromorphes et non hydromorphes). Cette dernière semble impliquer une richesse bactérienne réduite. Pour les prairies, on observe des richesses bactériennes plus faibles sur les argilo-calcaires profonds, à texture fine et pH élevé.

A l'inverse, la richesse fongique est supérieure en limons hydromorphes par rapport aux limons non hydromorphes. Sous prairies permanentes elle est disparate et on observe les valeurs les plus élevées sur les sols séchants sableux.

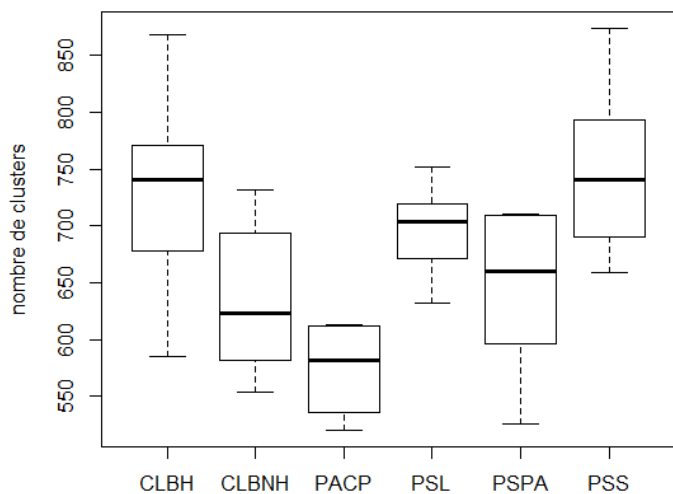


Figure 33. Richesse bactérienne en fonction du type de sol et de couvert

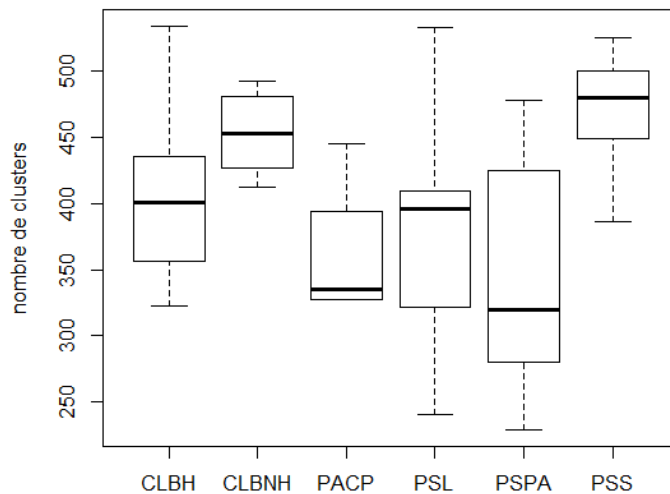


Figure 34. Richesse fongique en fonction du type de sols et de couvert

### Équitabilité

L'équitabilité est un indice utilisé en écologie des populations. Elle varie entre 0 et 1. Elle tend vers 0 lorsque tous les effectifs sont concentrés sur une espèce, et vers 1 si l'abondance de toutes les espèces est équivalente.

L'indice d'équitabilité est largement supérieur pour les bactéries par rapport aux champignons (Figure 35). Ces derniers présentent donc à la fois une richesse moins élevée et des espèces qui dominent en nombre par rapport à d'autres. Si l'on considère le type de couvert (Figure 36 et Figure 37), on constate une équitabilité bactérienne supérieure sous prairies permanente. On ne remarque pas de différence substantielle pour les champignons.

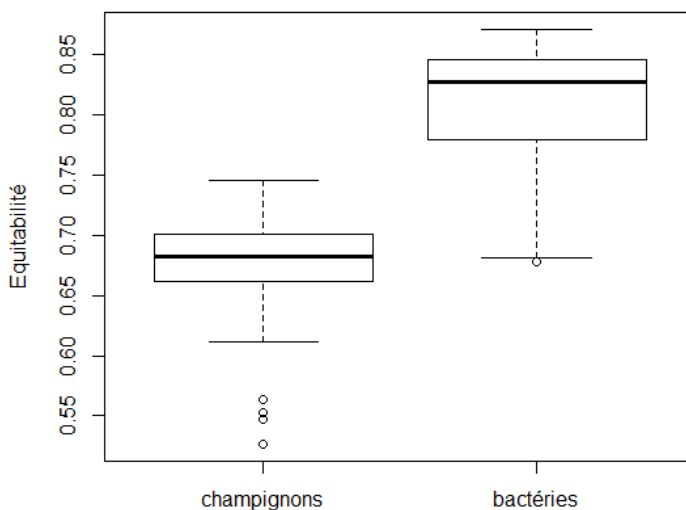


Figure 35. Équitabilité pour les 60 mesures réalisées

Si l'on considère le type de sol (Figure 38 et Figure 39), on constate que l'équitabilité bactérienne est dégradée pour les limons battants hydromorphes. L'équitabilité fongique est dégradée pour plusieurs observations sur sols sains profonds acides.

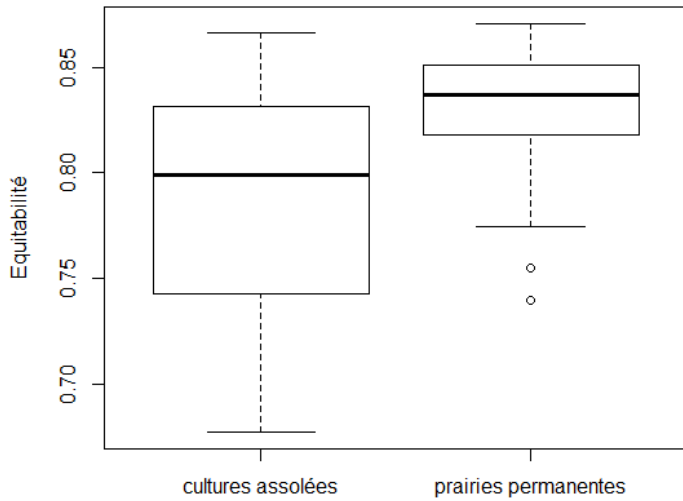


Figure 36. Equitabilité pour les bactéries selon le type de couvert

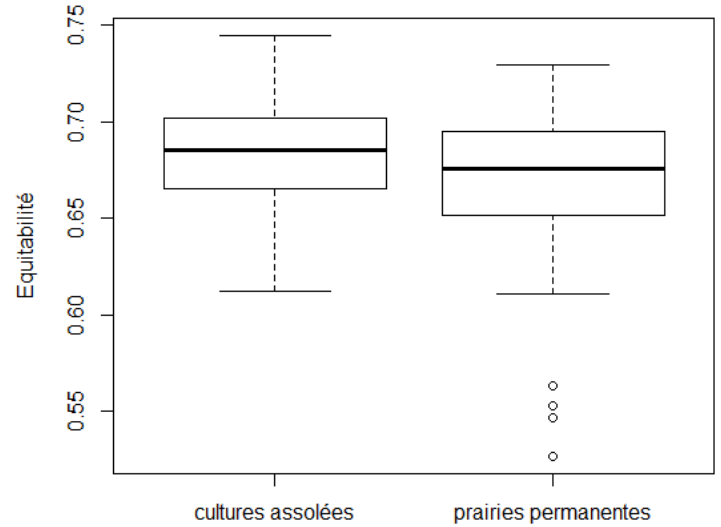


Figure 37. Equitabilité bactérienne selon le type de sol et de couvert

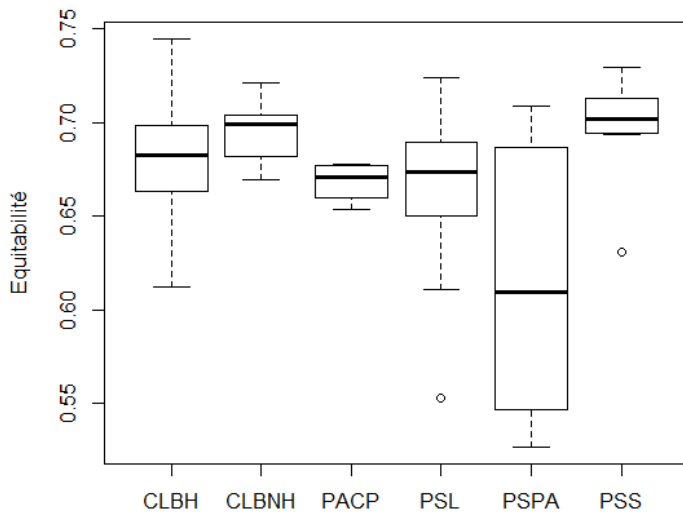


Figure 38. Equitabilité pour les champignons selon le type de couvert

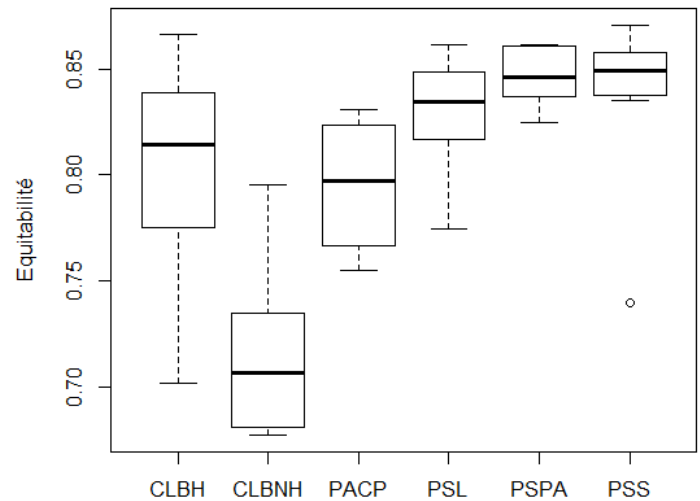


Figure 39. Equitabilité fongique selon le type de sol et de couvert

## Valorisation du projet

En 2015, le projet a été valorisé à diverses occasions et auprès de publics variés. En premier lieu, les agriculteurs mettant à disposition leurs parcelles reçoivent systématiquement les résultats obtenus sur leurs parcelles au niveau physico-chimique et biomasse moléculaire microbienne (en cours pour les prairies permanentes). Ils leur sont restitués sous forme de fiches sur le modèle présenté en Annexe 7. Ce type de restitution est entamé pour le rapport champignons / bactéries et est prévu dans le futur pour la diversité.

Il était également prévu d'organiser des ateliers de restitution à destination de ces agriculteurs. Pour valoriser au mieux ces événements il est fortement souhaitable de disposer de diagnostics de diversité, au moins pour quelques parcelles. Or il y a eu un retard dans la livraison des données 2015 du fait de problèmes techniques au niveau des laboratoires d'analyse. De plus, pour interpréter ces mesures il est nécessaire de disposer de la mesure du phosphore selon la méthode Olsen et de l'azote total pour calculer le C/N. Elles seront également nécessaires pour élaborer des référentiels départementaux pertinents pour la diversité. Or ces deux données sont manquantes car il n'avait pas été prévu de les acquérir avant 2015. Une solution a désormais été trouvée et l'ensemble des données sera prochainement disponible. Les ateliers sont donc reportés début 2016.

Trois articles ont été publiés dans le journal L'Exploitant Agricole de Saône-et-Loire dans lequel la Chambre d'Agriculture dispose d'une page dédiée (Annexe 8, Annexe 9 et Annexe 10) :

- Les microorganismes du sol, un patrimoine à préserver le 1<sup>er</sup> mai 2015,
- Référentiel départemental en microbiologie du sol, premiers résultats le 11 septembre 2015,
- Les sols : des milieux vivants piliers de la production agricole le 13 novembre 2015 dans le cadre d'un cycle d'articles du groupe régional sol des Chambres d'Agriculture et de l'année internationale des sols.

Un encadré sur le projet et l'interview d'un agriculteur qui y contribue ont été inclus dans un dossier sur la vie du sol du magazine Réussir Grandes cultures (Gloria, 2015).

Un poster a été présenté lors des 12èmes rencontres du COMIFER-GEMAS, colloque bisannuel national autour de la fertilisation et des analyses de sol (Annexe 11). La biologie des sols était l'un des thèmes de l'édition 2015 qui s'est tenue à Lyon les 18 et 19 novembre (plus de 400 participants). <http://www.comifer.asso.fr/index.php/fr/rencontres.html>

Le poster a également été présenté aux JIAG, Journées nationales de l'Innovation Agricole des 2 et 3 novembre 2015 à Angers (près de 300 participants). Une courte intervention a permis de présenter le projet à l'ensemble des participants lors d'une session intitulée «Les besoins et les projets du développement agricole sur la biologie des sols». [www.jiag.info](http://www.jiag.info)

Enfin, une réunion de restitution du projet à destination de financeurs, partenaires et agents de la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire s'est tenue le 3 décembre 2015 à Mâcon. Elle a réuni 14 participants dont 6 agents de la Chambre d'Agriculture, 3 élus agriculteurs, des représentants de l'ADEME, du Lycée agricole de Fontaines, et de la coopérative Bourgogne du Sud et 3 personnes de l'UMR Agroécologie de Dijon.

Les documents produits sont progressivement mis en ligne sur le site de la Chambre d'Agriculture.

## Perspectives à horizon 2017

### Aboutir à un jeu complet de référentiels

L'objectif du projet est de réunir suffisamment de données pour construire des référentiels d'interprétation pour les différents indicateurs. La mise au point en 2015 d'un premier modèle d'interprétation pour la biomasse moléculaire microbienne a démontré que l'opération est réalisable sur la base d'une centaine d'observations sur des parcelles uniques. Par contre, nous avons vu que la représentativité des types de sol est améliorable.

Il a été calculé qu'en réalisant encore 30 prélèvements sur les sols les moins représentés et en éliminant environ 40 du jeu de données servant à construire les modèles, on peut atteindre une très bonne représentativité des sols du département. On conserverait dans ce cas environ 140 observations. Ce compromis permettra de réaliser sur 2016 et 2017 les mesures de diversité sur ces mêmes observations. On disposera donc en 2017 des données nécessaires à la mise à jour du référentiel pour la BMM et à la construction des référentiels sur la diversité des bactéries et des champignons.

Il ne semble pas envisageable, étant donné le dimensionnement du projet, de réaliser les mesures de diversité sur l'ensemble des prélèvements dans ce cadre. Il est proposé d'étudier les possibilités de les financer dans le cadre d'un nouveau projet nommé REVA, dont l'enjeu essentiel est que les indicateurs soient utilisés par les agriculteurs et qui est présenté dans une section suivante.

### Poursuivre l'étude des données

Les suites du projet permettront de réaliser de nouvelles analyses statistiques sur un jeu de données croissant. L'objectif principal de ces études reste de comprendre les déterminismes des résultats observés, aussi bien physico-chimiques que liés aux pratiques agricoles. En cela, le projet contribue à identifier les leviers disponibles pour assurer la fertilité biologique des parcelles agricoles.

Les collaborateurs de la recherche suggèrent notamment l'emploi de la méthode de la partition de variance. Il semblerait également judicieux de vérifier la signification agronomique des groupes d'observation actuellement construits essentiellement sur des bases statistiques. On pourrait éventuellement constituer de nouveaux groupes à

dières d'experts. Il serait aussi possible de modifier le codage des pratiques et d'en inclure de nouvelles, par exemple en prenant en compte l'historique de fertilisation.

## Ateliers à destination des agriculteurs

Les ateliers initialement prévus en 2015 sont reportés en 2016. Il y aura un atelier en février destiné aux agriculteurs de la zone est du département et un autre en avril destiné à ceux de la zone ouest. Le principe est de donner des bases théoriques aux participants, de leur présenter le projet en cours, de leur restituer les résultats globaux, puis de leur proposer une restitution individuelle des diagnostics établis sur leurs parcelles via un échange avec les experts de la recherche.

Ce sera des occasions importantes de proposer le projet REVA. Il sera également essentiel, lors de ces événements, de collecter et de capitaliser les diagnostics qui seront établis par les échanges entre experts et agriculteurs. Ils peuvent aider à mieux cerner les mécanismes qui expliquent les niveaux des indicateurs.

## Former aussi les conseillers

Une formation interne sur la biologie des sols est prévue à l'automne 2016 à destination des agents de la Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire qui se porteront candidats. C'est un enjeu essentiel pour le développement de la prise en compte de la fertilité biologique des sols sur le terrain.

## Le projet REVA, pour REseau de Veille à l'innovation Agricole

Le projet REVA est porté par l'OFSV, Observatoire Français des Sols Vivants ([www.ofsv.org](http://www.ofsv.org)). Il fait suite au projet CASDAR Agrinnov et consiste en un réseau de projets régionaux. Dans chaque région où il est mis en œuvre, des groupes d'agriculteurs sont formés à la biologie des sols et à la mise en œuvre d'indicateurs opérationnels. Ils les appliquent ensuite sur le terrain pendant plusieurs années et en tiennent compte dans leurs pratiques.

L'objectif est donc de monter au moins un groupe d'agriculteurs en Saône-et-Loire qui serait partie prenante du projet avec d'autres groupes des autres départements de Bourgogne.

## Conclusion

Le dispositif pluriannuel mis en place a permis de mettre au point un premier modèle d'interprétation de la biomasse moléculaire microbienne. Il a également permis d'explorer la variabilité des indicateurs dans des situations variées du département. Les liens connus entre BMM et teneur en matière organique sont confirmés localement et expliquent les différences de potentiel entre cultures et prairies. Une proportion non négligeable d'observations présente des déséquilibres entre bactéries et champignons, en faveur de ces derniers sur des sols acides de prairies, et en faveur des bactéries dans un grand nombre de situations sans hypothèse pour l'expliquer. Les premiers résultats en termes de diversité semblent confirmer ce qui est généralement observé mais demandent à être complétés. Enfin, les effets des pratiques ne sont pas facilement mis en évidence par ce type de dispositif, mais quelques tendances ont pu être décelées (effets sur la BMM des cultures intermédiaires, du travail du sol et potentiellement du tassement).

Il est désormais envisagé de finaliser le projet en 2017. Les travaux qui seront réalisés d'ici là permettront d'améliorer l'échantillonnage pour obtenir les référentiels finaux (mise à jour pour la BMM et construction pour la diversité), de continuer à étudier les pratiques, et de se lancer dans le projet REVA qui aura vocation à diffuser les indicateurs sur le terrain.

## Bibliographie

- Dray, S., Dufour, A.B., 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *J. Stat. Softw.* 22, 1–20.
- GéoBourgogne - Portail de l'information géographique en Bourgogne - TypeSol [WWW Document], n.d. URL [http://www.geobourgogne.fr/accueil/projets\\_en\\_cours/typesol](http://www.geobourgogne.fr/accueil/projets_en_cours/typesol) (accessed 10.28.14).
- Gloria, C., 2015. Ces analyses nous servent de jauge. *Réussir Gd. Cult.* 28–29.
- Horrigue, W., Dequiedt, S., Chemidlin Prévost-Bouré, N., Jolivet, C., Saby, N.P., Arrouays, D., Bispo, A., Maron, P.-A., Ranjard, L., In Press. Predictive model of soil molecular microbial biomass. *Ecol. Indic.*
- Husson, F., Josse, J., Le, S., Mazet, J., 2015. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining.
- Longueville, P.-Y., 2011. Réflexion sur la structuration d'un référentiel régional sur la vie biologique des sols en Saône-et-Loire (Rapport de stage DUT). Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, IUT de Saint Etienne, Saint Etienne.
- Palabaud, A., 2012. Contribution à la construction d'un référentiel en biologie des sols en Saône-et-Loire (Mémoire de master II). Université de Bourgogne, AgroSup Dijon, INRA, CA71, Dijon.
- Ranjard, L., Dequiedt, S., Jolivet, C., Saby, N.P.A., Thioulouse, J., Harmand, J., Loisel, P., Rapaport, A., Fall, S., Simonet, P., Joffre, R., Bouré, N.C.-P., Maron, P.-A., Mougél, C., Martin, M.P., Toutain, B., Arrouays, D., Lemanceau, P., 2010. Biogeography of soil microbial communities : a review and a description of the ongoing french national initiative. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 359–365. doi:10.1051/agro/2009033
- R Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.



# ANNEXES

---

## Annexe 1

Code parcelle :

Projet de référentiel sur la Biologie des sols en Saône et Loire - 2015

### Fiche de renseignement parcellaire

Date de prélèvement : ...../...../2015 Préleveur(s) : .....

Nom de la parcelle : «nom\_de\_la\_parcelle»

Coordonnées de l'agriculteur :

**Prénom et nom :**

**Société :**

**Adresse :«Adresse»**

**Code postal et commune :**

Tél. :

portable :«portable»

#### Zone échantillonnée :

Description (topographie, **pente et relief**, **zone inondable**, nature du sol, couverture végétale, etc.) :

.....  
.....

**Couvert :**     absent     peu dense     moyennement dense     dense

#### Si un couvert est présent :

Culture au moment du prélèvement :.....

Stade de développement :.....

Degré de salissement en pourcent (cf. fiche de notation) :.....

Principales espèces adventices présentes :.....

#### Etat du sol :

Travail du sol au moment du prélèvement :

non travaillé     labouré     travail superficiel     semis effectué

Présence d'une croûte de battance :  oui     non

Proportion du sol couverte par des résidus de culture en % (cf fiche de notation) :.....

Le cas échéant, nature des résidus :.....

Présence de fumure organique :                     oui, nature :.....                     non

Présence de fumure minérale :                     oui, nature :.....                     non

Présence d'amendement minéral basique :  oui, nature :.....                     non

#### Prairies permanentes :

Présence d'animaux :  oui                     non

Si oui, nature et nombre :.....

Abreuvoir :                     oui                     non

Sources captées :                     oui                     non

Pierres de sel :  oui  non

**Autres** **remarques** :

.....  
.....  
.....

**Code parcelle :**

**Coordonnées GPS (Lambert II) du point central du prélèvement**

2012 : /                      2013 : /                      2014 : /  
2015 : .....

**Dessiner sur la carte de la parcelle un carré localisant la zone prélèvement.** (parcelle en violet)

→ Si pas de carte proposée, dessiner soi-même

**Numéroter les coins du carré dans l'ordre des prises de vue.**

**Ajouter sur la carte des éléments concernant l'environnement proche de la parcelle (s'ils n'y figurent pas déjà) :**

- Les habitats (en précisant s'il s'agit de maisons isolées, de fermes, des hameaux, des agglomérations,...)
- Les constructions professionnelles (en précisant s'il s'agit de bâtiments collectifs, agricoles [silo, hangar], commerciaux, industriels,...)
- La végétation (en précisant s'il s'agit de bois de feuillus ou de conifères, de haies, de prairies, de cultures,...)
- Les voies de communication (en précisant s'il s'agit de voies routière, ferroviaire, fluviale,...)
- Les réseaux hydrographiques (en précisant s'il s'agit de plans d'eau, de cours d'eau permanents ou secs, de mouillères,...)
- Tout autre élément intéressant pour l'analyse (poteau électrique, abreuvoir, pont, canal, fossé, zone drainée,...)

«titre» / Madame prénom Nom  
adresse  
code postal, commune

**Nom de la parcelle :**

Référence de la parcelle :

Date de prélèvement :

QUESTIONNAIRE PRAIRIES PERMANENTES 2015

1. Drainage de la parcelle : ..... (préciser si drain unique ou réseau de drains)

2. Ressuyage :  lent  moyen  rapide

3. Parcelle inondable :  non  oui

4. Si oui, temps de submersion annuel (ressuyage compris) : ..... semaines

5. Quelle est votre appréciation du fonctionnement du sol de cette parcelle (réchauffement, minéralisation, évolution des matières organiques, évolution de la structure) ? Sur quels critères ?

.....

6. La prairie est-elle bien permanente ?

Oui  Non ; année du dernier semis : .....

7. La parcelle est-elle déprimée ?

Oui  Non

8. Si oui, indiquez à quelle fréquence

Tous les ans  Régulièrement  Rarement

9. Le cas échéant, nombre de fauches par an : .....

10. La parcelle est-elle régulièrement pâturée ?

Si oui, indiquez le type d'animaux et leur nombre : .....

11. Indiquez les dates habituelles d'entrée et de sortie des animaux :

.....

12. La parcelle est-elle hersée ?

Oui, fréquence de hersage : .....  Non

13. A-t-elle été hersée en 2014/15 ?

Oui  Non

14. Les animaux qui ont pâturé sur cette parcelle ont-ils reçu des traitements antiparasitaires dans l'hiver ou à la mise au pâturage ?

Non  Oui Si oui, indiquez le ou les traitements : .....

.....

**15. Apports organiques entre juin 2014 et fin avril 2015<sup>1</sup> :**

Nature de l'apport	quantité	date

**16. Apports d'engrais minéraux entre juin 2014 et fin avril 2015<sup>1</sup> :**

Nature de l'apport	quantité	date

**17. Apports d'amendements minéraux basiques entre l'été 2014 et fin avril 2015<sup>1</sup> :**

Nature de l'apport	quantité	date

**Pour toute question, n'hésitez pas à contacter Julien Halska au 03 85 29 56 54**

<sup>1</sup> Merci de mentionner dans les questions 15, 16 ou 17 tout apport contenant des microorganismes ou des oligo-éléments.

«titre» / Madame prénom Nom  
 adresse  
 code postal, commune

**Nom de la parcelle :**

Référence de la parcelle :

Date de prélèvement :

**QUESTIONNAIRE CULTURES ASSOLEES 2015**

*N.B. : certaines réponses sont pré-remplies, merci de corriger si nécessaire.*

**Caractéristiques de la parcelle**

1. Drainage de la parcelle : ..... (préciser si drain unique ou réseau de drains)
2. Ressuyage :  lent       moyen       rapide
3. Parcelle inondable :  non  oui
4. Si oui, temps de submersion annuel (ressuyage compris) : ..... semaines
5. Quelle est votre appréciation du fonctionnement du sol de cette parcelle (réchauffement, minéralisation, évolution des matières organiques, évolution de la structure) ?

**Succession culturale**

6. Culture campagne 2014/2015 : .....
7. Précédent (récolté en 2014) : ..... ; Rendement du précédent : ..... q/ha
8. Résidus du précédent (récolte 2014) :  enfouis     laissés en surface     ramassés
9. Couvert d'interculture entre le précédent et la culture 2014/2015 :  Oui     Non
10. Le cas échéant, espèce(s) : .....
11. Mode de destruction :  mécanique       chimique       gel     autre : .....
12. Culture suivante envisagée en 2015/2016 : .....

**Travail du sol**

13. Nombre d'années depuis le dernier labour ou année du dernier labour : .....
14. Le cas échéant, nombre d'années en semis direct : .....
15. Opérations de travail du sol effectuées entre la récolte du précédent et le prélèvement (fin avril 2015), y compris travail du sol lié à l'interculture (exemple dans la première ligne du tableau).

Type de travail du sol (ex : superficiel)	Type d'outil (ex : cover-crop)	Date ou période

### Traitements

16. Traitements effectués entre la récolte du précédent et le prélèvement (fin mars 2014). Merci d'inclure les désherbages d'interculture et les régulateurs. Vous pouvez, si vous préférez, nous transmettre vos fiches de traçabilité.

Nom commercial du produit	Dose appliquée (kg/ha ou L/ha)	Proportion de surface traitée (si différent de 100%)	Date

### Apports organiques et minéraux

17. Apports organiques entre juin 2014 et fin avril 2015<sup>1</sup> :

Nature de l'apport	quantité	date

Nombre de campagnes avec apports sur les 5 dernières (depuis 2010-2011) : .....

18. Apports d'engrais minéraux entre juin 2014 et fin avril 2015<sup>1</sup> :

Nature de l'apport	quantité	date

Nombre de campagnes avec apports sur les 5 dernières (depuis 2010-2011) : .....5.....

19. Apports d'amendements minéraux basiques entre l'été 2014 et fin avril 2015<sup>1</sup> :

Nature de l'apport	quantité	date

Nombre de campagnes avec apports sur les 5 dernières (depuis 2010-2011) : .....

<sup>1</sup> Merci de mentionner dans les questions 10, 11 ou 12 tout apport contenant des microorganismes ou des oligo-éléments.



## Annexe 4

Liste des données mobilisées pour la conception du modèle d'interprétation sur la biomasse moléculaire microbienne.

code	culture ou prairie	date prélèvement	bmm mesurée µg/g
CAAA_10	culture assolée	16/04/2012	11
CAAA_111	culture assolée	17/04/2012	84
CAAA_11C	culture assolée	16/04/2012	17
CAAA_12	culture assolée	31/03/2014	93
CAAA_22	culture assolée	03/04/2013	49
CAAA_29	culture assolée	16/04/2012	15
CAAA_33	culture assolée	16/04/2012	48
CAAA_37	culture assolée	17/04/2012	51
CAAA_6C	culture assolée	09/04/2013	117
CAAA_chaintres	culture assolée	03/04/2013	46
CAAA_gasses	culture assolée	03/04/2013	40
CAAA_veuve_gros	culture assolée	03/04/2013	84
CAAC_37	culture assolée	02/04/2013	78
CAAC_8A	culture assolée	31/03/2014	39
CAAC_breuil	culture assolée	31/03/2014	62
CAAC_champagnole	culture assolée	31/03/2014	4
CAAC_chapot	culture assolée	31/03/2014	7
CAAC_chilley	culture assolée	31/03/2014	103
CAAC_perret	culture assolée	31/03/2014	28
CACP_45	culture assolée	17/04/2012	69
CACP_49	culture assolée	16/04/2012	13
CBTS_11	culture assolée	07/04/2014	7
CBTS_18	culture assolée	04/04/2013	9
CBTS_20	culture assolée	04/04/2013	16
CBTS_21	culture assolée	17/04/2012	33
CBTS_24	culture assolée	16/04/2012	19
CBTS_33	culture assolée	09/04/2013	20
CBTS_402	culture assolée	17/04/2012	34
CBTS_45	culture assolée	17/04/2012	24
CBTS_68	culture assolée	16/04/2012	28
CBTS_7a	culture assolée	04/04/2013	36
CBTS_9	culture assolée	04/04/2013	17
CLA_13	culture assolée	16/04/2012	33
CLA_14	culture assolée	01/04/2014	32
CLA_2	culture assolée	16/04/2012	52
CLA_23	culture assolée	16/04/2012	48
CLA_31	culture assolée	02/04/2013	65
CLA_41	culture assolée	02/04/2013	33
CLA_46	culture assolée	17/04/2012	31
CLA_6	culture assolée	16/04/2012	53
CLA_77	culture assolée	16/04/2012	39
CLBH_10	culture assolée	18/04/2012	22

code	culture ou prairie	date prélèvement	bmm mesurée µg/g
CLBH_11	culture assolée	04/04/2013	24
CLBH_11cb	culture assolée	17/04/2012	25
CLBH_12	culture assolée	16/04/2012	26
CLBH_12cp	culture assolée	17/04/2012	31
CLBH_13	culture assolée	17/04/2012	24
CLBH_15	culture assolée	18/04/2012	41
CLBH_15A	culture assolée	16/04/2012	35
CLBH_1b	culture assolée	16/04/2012	25
CLBH_1c	culture assolée	04/04/2013	30
CLBH_2	culture assolée	18/04/2012	37
CLBH_21	culture assolée	04/04/2013	12
CLBH_21b	culture assolée	17/04/2012	39
CLBH_21j	culture assolée	18/04/2012	44
CLBH_22B	culture assolée	17/04/2012	73
CLBH_26	culture assolée	17/04/2012	23
CLBH_30	culture assolée	17/04/2012	18
CLBH_30A	culture assolée	17/04/2012	52
CLBH_33C	culture assolée	16/04/2012	37
CLBH_35A	culture assolée	18/04/2012	31
CLBH_4	culture assolée	17/04/2012	8
CLBH_5B	culture assolée	17/04/2012	40
CLBH_6	culture assolée	01/04/2014	28
CLBH_61	culture assolée	17/04/2012	31
CLBH_9	culture assolée	17/04/2012	28
CLBNH_1A	culture assolée	16/04/2012	27
CLBNH_24D	culture assolée	16/04/2012	39
CLBNH_38	culture assolée	02/04/2013	26
CLBNH_53A	culture assolée	16/04/2012	18
CLBNH_54	culture assolée	02/04/2013	40
CLBNH_91	culture assolée	17/04/2012	52
PAAA_21c	prairie permanente	08/04/2013	94
PAAA_29a	prairie permanente	07/04/2014	93
PAAA_7_corette	prairie permanente	16/04/2012	43
PAAA_8	prairie permanente	08/04/2013	87
PAAC_10	prairie permanente	31/03/2014	107
PAAC_11	prairie permanente	16/04/2012	44
PAAC_12	prairie permanente	16/04/2012	22
PAAC_14	prairie permanente	16/04/2012	119
PAAC_19A	prairie permanente	31/03/2014	163
PAAC_25D	prairie permanente	31/03/2014	210
PACP_1a	prairie permanente	16/04/2012	92
PACP_2	prairie permanente	17/04/2012	179
PACP_4	prairie permanente	17/04/2012	183
PACP_6	prairie permanente	17/04/2012	190

code	culture ou prairie	date prélèvement	bmm mesurée µg/g
PSL_12a	prairie permanente	09/04/2013	100
PSL_13	prairie permanente	17/04/2012	72
PSL_14c	prairie permanente	16/04/2012	58
PSL_16l	prairie permanente	16/04/2012	74
PSL_18g	prairie permanente	16/04/2012	64
PSL_1f	prairie permanente	16/04/2012	100
PSL_26	prairie permanente	08/04/2013	114
PSL_3A	prairie permanente	16/04/2012	80
PSL_3c	prairie permanente	16/04/2012	180
PSL_3d	prairie permanente	16/04/2012	79
PSL_42	prairie permanente	08/04/2013	125
PSL_5	prairie permanente	08/04/2013	122
PSL_5f	prairie permanente	09/04/2013	81
PSL_6	prairie permanente	08/04/2013	48
PSL_6_P1	prairie permanente	04/04/2014	65
PSL_6_P2	prairie permanente	04/04/2014	85
PSL_6_P3	prairie permanente	04/04/2014	78
PSL_6A	prairie permanente	23/04/2012	10
PSL_6d	prairie permanente	09/04/2013	74
PSL_6j	prairie permanente	09/04/2013	48
PSL_7_tilleul	prairie permanente	08/04/2013	242
PSPA_14_P1	prairie permanente	01/04/2014	99
PSPA_14_P2	prairie permanente	01/04/2014	80
PSPA_15	prairie permanente	17/04/2012	40
PSPA_19	prairie permanente	08/04/2013	103
PSPA_20	prairie permanente	08/04/2013	112
PSPA_24_P1	prairie permanente	01/04/2014	71
PSPA_24_P2	prairie permanente	01/04/2014	58
PSPA_24_P3	prairie permanente	01/04/2014	58
PSPA_24_P4	prairie permanente	01/04/2014	70
PSPA_2c	prairie permanente	17/04/2012	30
PSPA_8PM	prairie permanente	17/04/2012	120
PSS_1	prairie permanente	08/04/2013	38
PSS_12	prairie permanente	23/04/2012	54
PSS_12_6	prairie permanente	08/04/2013	71
PSS_18_130	prairie permanente	08/04/2013	34
PSS_20a	prairie permanente	08/04/2013	103
PSS_2c18	prairie permanente	23/04/2012	13
PSS_4	prairie permanente	08/04/2013	95
PSS_8CE	prairie permanente	23/04/2012	36

## Annexe 5

Liste des données ayant bénéficié d'une mesure de diversité en 2014 ou 2015.

code	couvert	situation	Nombre de taxons champignons	Equitabilite champignons	Nombre de taxons bactéries	Equitabilité bactéries
CLBH_10_2012	cultures assolées	CLBH	361	0.676655	780	0.858788
CLBH_11_2012	cultures assolées	CLBH	387	0.699890	764	0.814924
CLBH_11cb_2012	cultures assolées	CLBH	352	0.696224	724	0.841349
CLBH_12_2012	cultures assolées	CLBH	369	0.686618	593	0.757902
CLBH_12cp_2012	cultures assolées	CLBH	363	0.672898	728	0.835988
CLBH_13_2012	cultures assolées	CLBH	412	0.694271	766	0.864976
CLBH_15_2012	cultures assolées	CLBH	412	0.703884	762	0.831707
CLBH_1b_2012	cultures assolées	CLBH	395	0.663838	717	0.802772
CLBH_1c_2013	cultures assolées	CLBH	391	0.684443	691	0.743121
CLBH_2_2012	cultures assolées	CLBH	325	0.638481	735	0.826522
CLBH_21_2012	cultures assolées	CLBH	449	0.710711	811	0.848333
CLBH_21b_2012	cultures assolées	CLBH	419	0.653225	805	0.830063
CLBH_21j_2012	cultures assolées	CLBH	534	0.744775	777	0.811153
CLBH_22B_2012	cultures assolées	CLBH	417	0.665165	764	0.795321
CLBH_26_2012	cultures assolées	CLBH	484	0.702213	755	0.813428
CLBH_30_2012	cultures assolées	CLBH	406	0.696751	585	0.702026
CLBH_30A_2012	cultures assolées	CLBH	446	0.693257	775	0.795787
CLBH_33C_2012	cultures assolées	CLBH	344	0.662246	606	0.757966
CLBH_35A_2012	cultures assolées	CLBH	334	0.680219	662	0.789814
CLBH_4_2012	cultures assolées	CLBH	343	0.639461	608	0.739142
CLBH_5B_2012	cultures assolées	CLBH	434	0.660894	747	0.845368
CLBH_6_2014	cultures assolées	CLBH	466	0.724692	868	0.866357
CLBH_61_2012	cultures assolées	CLBH	323	0.612449	706	0.817769
CLBH_9_2012	cultures assolées	CLBH	437	0.668997	664	0.760424
CLBNH_1A_2012	cultures assolées	CLBNH	412	0.695636	694	0.721463
CLBNH_24D_2012	cultures assolées	CLBNH	481	0.702075	732	0.795618
CLBNH_38_2013	cultures assolées	CLBNH	492	0.721154	653	0.681305
CLBNH_53A_2012	cultures assolées	CLBNH	427	0.669492	582	0.677531
CLBNH_54_2013	cultures assolées	CLBNH	475	0.681914	554	0.734720
CLBNH_91_2012	cultures assolées	CLBNH	431	0.703664	592	0.691625
PACP_1a_2012	prairies permanentes	PACP	445	0.677786	613	0.778742
PACP_2_2012	prairies permanentes	PACP	328	0.653283	611	0.831108
PACP_4_2012	prairies permanentes	PACP	343	0.675930	552	0.754948
PACP_6_2012	prairies permanentes	PACP	327	0.665825	520	0.815951
PSL_12a_2013	prairies permanentes	PSL	410	0.723841	752	0.851036
PSL_13_2012	prairies permanentes	PSL	398	0.674017	652	0.774564
PSL_14c_2012	prairies permanentes	PSL	533	0.705991	696	0.779172
PSL_1f_2012	prairies permanentes	PSL	308	0.651620	721	0.818097
PSL_26_2013	prairies permanentes	PSL	335	0.665400	644	0.831473
PSL_3c_2012	prairies permanentes	PSL	434	0.686838	716	0.843631
PSL_42_2013	prairies permanentes	PSL	408	0.686897	632	0.831951

code	couvert	situation	Nombre de taxons champignons	Equitabilite champignons	Nombre de taxons bactéries	Equitabilité bactéries
PSL_5_2013	prairies permanentes	PSL	404	0.648122	717	0.845633
PSL_5f_2013	prairies permanentes	PSL	378	0.610958	691	0.860135
PSL_6_2013	prairies permanentes	PSL	393	0.672696	699	0.836773
PSL_6A_2012	prairies permanentes	PSL	297	0.692593	708	0.815106
PSL_6d_2013	prairies permanentes	PSL	241	0.552538	739	0.861505
PSPA_15_2012	prairies permanentes	PSPA	280	0.563467	596	0.837076
PSPA_19_2013	prairies permanentes	PSPA	229	0.526611	526	0.824679
PSPA_20_2013	prairies permanentes	PSPA	478	0.686818	709	0.860508
PSPA_2c_2012	prairies permanentes	PSPA	317	0.654755	635	0.853401
PSPA_8PM_2012	prairies permanentes	PSPA	425	0.709008	685	0.838998
PSPA_8PM_2013	prairies permanentes	PSPA	323	0.546767	710	0.861088
PSS_1_2013	prairies permanentes	PSS	436	0.693442	695	0.739860
PSS_12_2012	prairies permanentes	PSS	525	0.729208	741	0.849422
PSS_12_6_2013	prairies permanentes	PSS	386	0.630810	874	0.865100
PSS_2c18_2012	prairies permanentes	PSS	480	0.695180	685	0.835021
PSS_4_2013	prairies permanentes	PSS	461	0.702012	753	0.850223
PSS_4maraudes_2014	prairies permanentes	PSS	512	0.703089	833	0.870607
PSS_8CE_2012	prairies permanentes	PSS	488	0.722574	659	0.840292

## Annexe 6

#### GUIDE D'UTILISATION DU MODELE INRA DE PREDICTION DE LA BIOMASSE MOLECULAIRE MICROBIENNE ####  
##### EN FONCTION DE PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES #####

Le modèle a été développé par Walid Horrigue, UMR Agroécologie, équipe BioCom (biologie des communautés), INRA, Dijon

Il s'agit d'un modèle statistique.

Le modèle repose sur deux scripts à utiliser avec le logiciel de statistiques R :

- Modele\_biomasse\_CA71.R
- Vectpred\_biomasse\_CA71.R

Pour effectuer une prédiction à partir d'analyses physico-chimiques de sol, suivre les étapes suivantes.

1. Exécuter le script Modele\_biomasse\_CA71.R

2. Exécuter le script Vectpred\_biomasse\_CA71.R

Pour cela, vérifier que le fichier contenant les données d'entrée est bien situé dans le répertoire de travail spécifié au début du script.

Vérifier également que les noms de variables sont orthographiés exactement comme dans le script (respecter la casse) et que les unités sont les bonnes :

- Clay : teneur en argile en g/kg
- carbone : teneur en carbone en g/kg
- ph\_eau : le pH eau
- x : la latitude en Lambert 2 étendu

Les décimales doivent être marquées par des virgules (,) et non pas des points (.).

3. Exécuter la commande : vectpred(n) avec n le nombre de valeurs à prédire. On peut exécuter la commande plusieurs fois sans exécuter à nouveau les deux scripts. Cependant à chaque exécution une nouvelle colonne de valeurs prédites sera ajoutée dans le tableau de sortie.

Ce dernier est créé automatiquement dans le répertoire de travail et nommé Predictions\_ + nom du fichier des données d'entrée.

Lors de l'exécution de la fonction Vectpred, les valeurs prédites sont affichées dans la console R. Il ne doit pas y avoir de valeurs négatives. Elles peuvent survenir dans les cas suivants :

- Valeurs extrêmes dans les données physico-chimiques (par rapport à celles utilisées pour la construction du modèle).
- Mauvaise mise en forme des données d'entrée (par exemple une mauvaise unité, % au lieu de g/kg).
- Si les valeurs négatives sont très proches de zéro, elles peuvent être considérées comme valides et égales à zéro.



## CONSTRUCTION D'UN REFERENTIEL DEPARTEMENTAL EN MICROBIOLOGIE DES SOLS

### Résultat d'analyses microbiologiques 2015 : biomasse moléculaire microbienne

/Monsieur et Madame /

Nom de la parcelle : / code parcelle : PAAA\_29a

Prélèvement effectué le : 21/04/2015

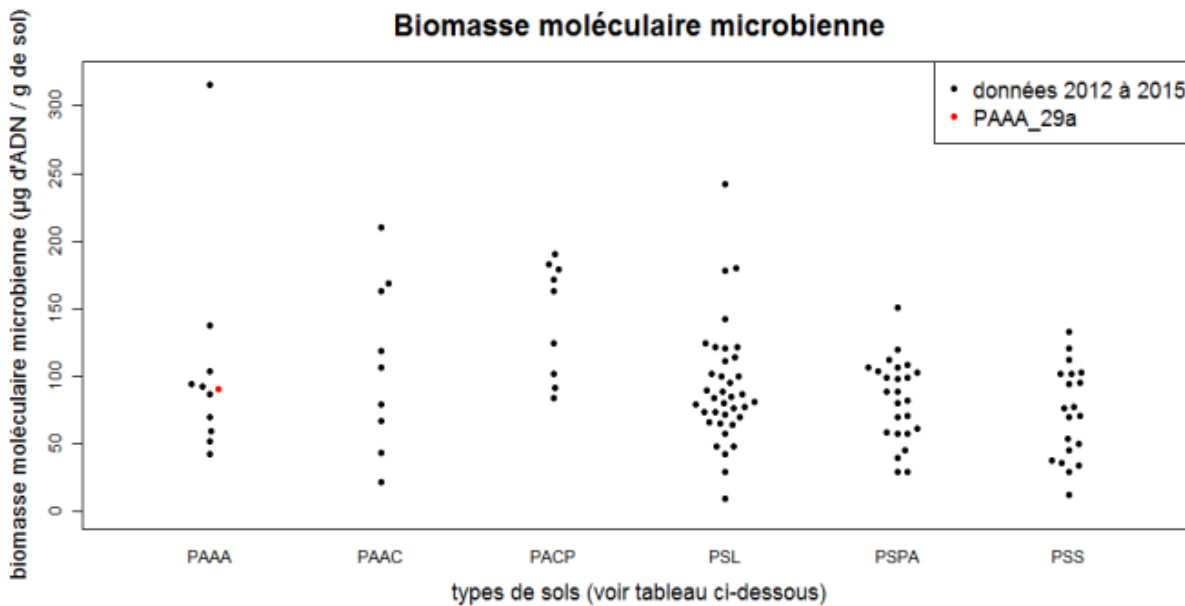
Date d'édition du document : 20 octobre 2015

**Biomasse moléculaire microbienne sur votre parcelle : 91 µg d'ADN / g de sol**

La biomasse microbienne correspond à l'abondance totale des microorganismes du sol. Elle est mesurée par la quantité d'ADN microbien extrait de votre échantillon de sol. C'est un indicateur d'impact de l'usage de votre sol. **L'interprétation est réalisée en comparant la valeur obtenue sur votre parcelle à celles obtenues sur le même type de sol dans d'autres parcelles à l'aide du graphique ci-dessous.**

Si la valeur obtenue sur votre parcelle est parmi les plus élevées pour le type de sols considéré, votre usage du sol augmente l'abondance des microorganismes. Cela indique que vos pratiques améliorent les habitats microbiens (état structural du sol et porosité) et/ou les ressources nutritives du sol (quantité et qualité de la matière organique). A l'inverse, si votre valeur est parmi les plus faibles, votre usage du sol ne permet pas un développement optimal des microorganismes en termes de quantité. Les habitats et/ou les ressources nutritives pourraient probablement être améliorés.

Les facteurs qui déterminent le niveau de biomasse atteint sur un type de sol donné ne sont pas encore parfaitement connus. Cette question fait l'objet de recherches dans le cadre du projet.



Code	Types de sol - prairies permanentes
PAAA	Alluvions argileuses acides
PAAC	Alluvions argileuses calcaires
PACP	Sols argilo-calcaires profonds
PSL	Sols limoneux
PSPA	Sains profonds acides
PSS	Sableux séchants superficiels

*N.B. : Pour un même type de sol, l'espacement horizontal entre les points améliore la lisibilité du graphique (il permet de voir tous les points sans qu'ils se chevauchent) mais n'a pas de signification particulière.*



## Les sols : des milieux vivants piliers de la production agricole

Les sols fournissent de nombreux services aux activités humaines comme l'épuration et le stockage de l'eau ou le stockage de carbone. Ils sont également le support des productions agricoles. Cela ne serait pas possible sans les millions d'espèces qu'ils abritent.

### 25% de la biodiversité terrestre mondiale abrités par les sols

Des êtres vivants nombreux et variés peuplent les sols. Leur masse totale représente 6 à 10 UGB et des millions d'espèces différentes sur un seul hectare ! Ils sont souvent classés en fonction de leur taille. La macrofaune et la méga-faune comprennent des organismes comme les vers de terre, les mille-pattes, des larves d'insectes, taupes, crapauds et serpents. À l'autre extrême, se situent les micro-organismes, bactéries et champignons. Entre les deux, on trouve des animaux microscopiques (on parle de microfaune) comme les protozoaires, ou les nématodes (dont une grande partie n'est pas pathogène pour les plantes !) ; et d'autres qui sont observables à l'œil nu ou presque comme les acariens, les collemboles ou les fourmis (c'est la mésofaune). Une majorité de cette diversité n'est pas encore connue.

### Les êtres vivants dans les sols remplissent des fonctions essentielles

Ils agissent en interaction et peuvent être classés selon les principales fonctions assurées. Voir graphique ci-contre.

### Comment établir des diagnostics et favoriser la vie des sols agricoles ?

Étant donné l'importance des êtres vivants des sols pour leur fonctionnement, il est pertinent d'étudier le statut biologique des sols. En agriculture, établir des diagnostics peut contribuer à améliorer la production et à garantir sa durabilité dans un contexte de réduction d'intrants. Le plus accessible est le test bêche, qui permet d'évaluer à la fois la structure du sol sur les 25 premiers

centimètres et l'activité des vers de terre. Malheureusement, une grande partie des êtres vivants des sols n'est pas visible à l'œil nu. Pour les étudier, on envoie donc des échantillons de sol à des laboratoires spécialisés capables d'observer par exemple les nématodes ou les micro-organismes. La Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire est porteuse d'un projet de construction d'un référentiel local d'interprétation des mesures de microbiologie des sols évoqué dans les numéros du 1<sup>er</sup> mai et du 11 septembre 2015. S'il reste encore beaucoup d'éléments à découvrir, on sait que les pratiques agricoles ont des effets importants. On peut retenir qu'il est nécessaire de fournir le gîte et le couvert. Le gîte, c'est un milieu qui n'est pas perturbé trop fortement ni trop fréquemment et dans lequel la porosité est maintenue. Le couvert, c'est de la matière organique à dégrader issue des effluents d'élevage ou des résidus de cultures ou de couverts végétaux.



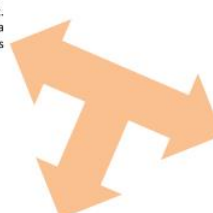
■ Formation d'un groupe d'agriculteurs au test bêche. J. Halska, CA 71.

**Ingénieurs physiques** : leur représentant emblématique est le lombric, qui enfouit la matière organique dans le sol, la mélange aux éléments minéraux et la rend accessible aux microorganismes. Son activité contribue à maintenir la porosité, essentielle à la circulation de l'eau et de l'air. Certains nématodes et acariens participent également à la fragmentation des débris végétaux. C'est la première étape de la dégradation des matières organiques et donc de leur recyclage.



Ver de terre. J. Halska CA 71

**Ingénieurs chimistes** : les microorganismes mais aussi les nématodes sont à l'origine de nombreuses réactions chimiques des cycles du carbone, de l'azote, du soufre et d'autres éléments. Ces processus produisent de la matière organique stable (humus) ou à l'inverse des substances minérales qui seront prélevées par les plantes (c'est la minéralisation). Les ingénieurs chimistes dégradent également les polluants comme les hydrocarbures et les pesticides et sécrètent des substances qui améliorent la cohésion des mottes de terre.



**Régulateurs** : par des relations de prédateurs, ils régulent les populations des autres espèces et notamment des microorganismes. Ce sont essentiellement des nématodes, des collemboles ou des acariens. Ils peuvent contribuer à limiter la propagation de pathogènes des cultures.



Nématode en consommant un autre. Wikimedia Commons



Collembola. Michel Vuillemin. CC BY-SA 3.0

### À vos côtés

La Chambre d'agriculture vous accompagne

Dans le cadre de formations :

• "Initiation à la biologie du sol en grandes cultures et prairies" à destination des agriculteurs ; contact Julien Halska, CA 71 : 03 85 29 56 54 jhalska@sl.chambagri.fr.

### Vos interlocuteurs du Groupe régional sol :

Bertrand Dury CA 71,  
Julien Halska CA 71,

Géraldine Ducellier CA 21,  
Valérie Duchenes CA 89,  
Arnaud Vautier CA 58.

### Pour aller plus loin

- La vie cachée des sols. Ademe, ministère en charge de l'Écologie. Octobre 2010. <http://www.gessol.fr/content/plaquette-la-vie-cach-e-des-sols>
- Projet Agrinnov : mise en œuvre d'indicateurs de biologie des sols avec et pour les agriculteurs. [www.osfv.org/rubrique/Actions/Agrinnov](http://www.osfv.org/rubrique/Actions/Agrinnov)
- Plaquette sur la construction d'un référentiel en microbiologie des sols en Saône-et-Loire : [http://www.sl.chambagri.fr/fileadmin/documents\\_ca71/03-espace-agriculteurs/vos-cultures-et-vos-prairies/2014\\_quatrepages\\_V02.pdf](http://www.sl.chambagri.fr/fileadmin/documents_ca71/03-espace-agriculteurs/vos-cultures-et-vos-prairies/2014_quatrepages_V02.pdf)

### Formation

### Réussir sa conversion en viticulture biologique



Vous vous interrogez sur la viticulture biologique : la maîtrise technique, les circuits de commercialisation, le cahier des charges et la certification...

Les Chambres d'agriculture du Rhône et de Saône-et-Loire vous proposent trois jours pour vous préparer à une conversion et répondre à vos interrogations.

Dates et lieu : les 10 décembre 2015, 25 janvier et 10 février 2016 à Chénas (69), Davayé et Romanèche-Thorins. Contact : Guillaume Paire ; tél. : 03.85.29.56.59 ; courriel : [gpaire@sl.chambagri.fr](mailto:gpaire@sl.chambagri.fr)

### CA 71, service Formation



Programme, tarifs, conditions générales envoyés sur demande. Toutes nos formations sur : [www.sl.chambagri.fr](http://www.sl.chambagri.fr)

### Agriculteurs, lancez-vous !

### Projet de reprise, préparation de cessation

La Chambre d'agriculture et ses partenaires vous accueillent le 16 novembre à Chalon-sur-Saône (Chambre de commerce et d'industrie), le 17 novembre à Chalon-sur-Saône (Chambre des métiers et de l'artisanat) et le 19 novembre à Mâcon (Chambre de commerce et d'industrie). Les experts MSA, Safer, JA et Point info installation vous accompagnent.

Ne manquez pas les ateliers thématiques : le 16 novembre "les types de sociétés agricoles", le 17 novembre "c'est quoi être chef d'entreprise", le 19 novembre "le statut du fermage".







# Complémentterres

Une publication de la Chambre d'agriculture

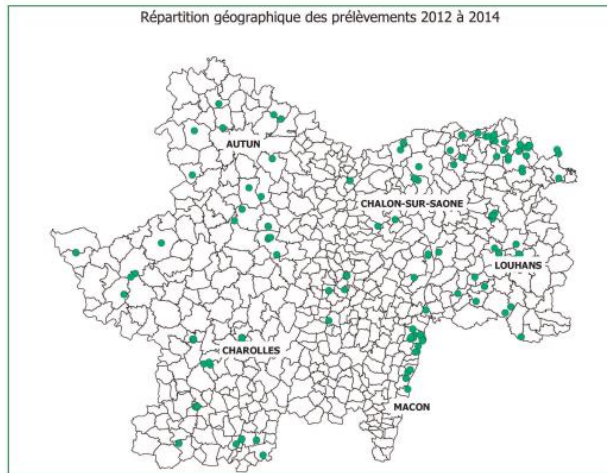
L'EXPLOITANT AGRICOLE DE SAÔNE-ET-LOIRE  
N° 2645 - VENDREDI 1<sup>er</sup> MAI 2015 18

## Les micro-organismes du sol, un patrimoine à préserver

Les scientifiques considèrent que la présence d'organismes vivants nombreux et variés dans les sols constitue une assurance face aux perturbations (changement de pratiques, variations du climat, etc.). Il est donc nécessaire de se doter d'outils pour préserver ce patrimoine.

Les vers de terre, les nématodes, les insectes et les micro-organismes du sol sont responsables de nombreux processus utiles à la production agricole : recyclage des matières organiques, amélioration de la structure du sol, barrière contre les pathogènes. Ils constituent donc un patrimoine essentiel à préserver, au même titre que le phosphore ou le pH. La Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire, en lien avec une équipe de recherche de Dijon, contribue à mettre au point des outils pour vous en donner les moyens.

Parmi les organismes vivant dans le sol, les micro-organismes jouent un rôle central car ils constituent une forte proportion de la biomasse, un important réservoir génétique et contribuent à des fonctions essentielles. 1g de sol contient en effet environ 1 million d'espèces de bactéries et 10.000 espèces de champignons !



### UN PARTENARIAT RECHERCHE - DÉVELOPPEMENT

Depuis 2011, un partenariat s'est mis en place entre la Chambre d'agriculture et l'Unité mixte de recherche agroécologie, qui réunit notamment l'INRA et Agrosup Dijon. L'objectif est d'acquies des références locales pour interpréter les mesures d'indicateurs mis au point par les scientifiques.

Ces indicateurs reposent sur l'étude de l'ADN des microorganismes :  
 ► la biomasse moléculaire microbienne représente la quantité de micro-organismes présents, que l'on souhaite maximiser ;  
 ► le rapport champignons/bactéries est équilibré entre 1 et 5 %. En dehors de ces bornes il traduit un problème de structure, de type de matière organique ou de pollution ;  
 ► la diversité des micro-organismes est étudiée par identification des espèces et par le calcul d'indices (richesse en espèces et équilibre des populations des différentes espèces,

appelé équitabilité). On cherche à maximiser la diversité sans certaines espèces ne dominent les autres.

### 250 PRÉLÈVEMENTS DANS TOUT LE DÉPARTEMENT

La démarche consiste à effectuer des prélèvements dans des situations représentatives des conditions du département : type de sol, couvert végétal et pratiques (travail du sol, amendements, mode d'exploitation des prairies, etc.). Depuis 2012 environ 250 prélèvements ont eu lieu dans 150 parcelles (voir carte).

On constate sur le graphique ci-dessous que plusieurs sols sont bien représentés dans l'échantillon actuel (alluvions argileuses acides, limons battants non hydromorphes), mais que certains sont sur-représentés et d'autres sous-représentés. Ces biais sont corrigés au fur et à mesure des campagnes annuelles de prélèvements.

La biomasse moléculaire microbienne et le rapport champignons/bactéries sont mesurés sur chaque échantillon, et une analyse de sol classique est réalisée en complément. Des données complémentaires sont collectées via des observations au moment du prélèvement et les pratiques de chaque parcelle sont recueillies auprès des agriculteurs concernés que nous remercions vivement.

Les résultats de ces travaux seront présentés dans un prochain article dans lequel nous verrons que vous pourrez bientôt réaliser des diagnostics sur votre exploitation. Projet bénéficiant du soutien financier du conseil général de Saône-et-Loire, de l'Ademe, du conseil régional de Bourgogne et du ministère en charge de l'agriculture.



**Julien Halska,**  
agronome,  
tél. : 03.85.29.56.54  
jhalska@sl.chambagri.fr

### Formation Communiquer pour coopérer

Nous communiquons sans cesse avec nos associés, notre conjoint, nos enfants, nos salariés, nos collègues, dans nos organismes professionnels, au conseil municipal, dans des associations... Il nous faut échanger des idées, faire valoir notre position, écouter celle des autres, trouver des terrains d'entente... Communiquer c'est indispensable, ça peut-être passionnant mais... pas toujours simple !

Nous pouvons nous améliorer ! Venez découvrir et mettre en application la méthode de "Communication non violente".

Intervenante : Éliane Regis, Concertience, Lyon.  
 Date et lieu : Montchanin les 22 et 23 juin (module 1).  
 Contact : Maud Gouy, tél. : 03.85.29.55.63 ; 06.75.35.19.37 ; courriel : mgouy@sl.chambagri.fr

### CA 71, service Formation

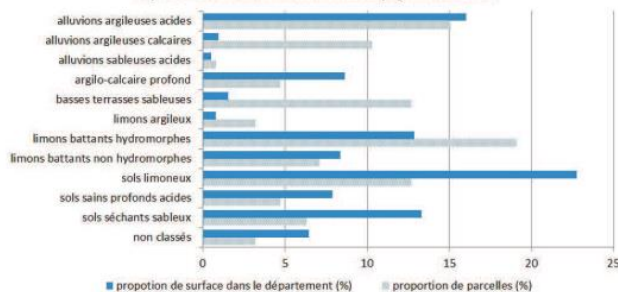
Programme, tarifs, conditions générales envoyés sur demande. Toutes nos formations sur : [www.sl.chambagri.fr](http://www.sl.chambagri.fr)

### Vigne Observations du mardi 28 avril

### Fermes gourmandes De mars à octobre

Portes ouvertes fermes gourmandes, p'tits marchés chez les adhérents Bienvenue à la Ferme. Programme sur [www.sl.chambagri.fr](http://www.sl.chambagri.fr) Édition papier envoyée sur demande au 03.85.29.55.20.

Représentativité des échantillons des campagnes 2012 à 2014





## Référentiel départemental en microbiologie du sol

### Premiers résultats

**L'activité des micro-organismes contribue fortement à la fertilité des sols. Depuis 2011, la Chambre d'agriculture et l'Inra de Dijon travaillent au déploiement sur le terrain d'indicateurs dans ce domaine (voir n° 2645 du 1<sup>er</sup> mai 2015, page 18).**

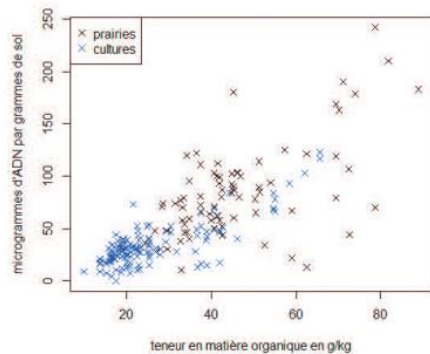
Les centaines d'analyses réalisées constituent des références spécifiques au département et permettent d'étudier les effets des pratiques agricoles sur les micro-organismes du sol. Voici les premiers résultats de ces travaux.

#### BIOMASSE MOLÉCULAIRE MICROBIENNE (BMM)

Cette mesure indique la quantité de microorganismes présents, que l'on recherche à maximiser. Elle est jusqu'à deux fois plus élevée dans les prairies permanentes que dans les cultures assolées. Ces dernières présentent des teneurs en matière organique généralement plus faibles, or on observe une relation entre cette teneur et la BMM (voir graphique). La relation est cependant imparfaite, ce qui implique que d'autres facteurs interviennent.

Les études en cours ne permettent cependant pas d'identifier de tendance significative liée aux pratiques pour les cultures assolées. Par contre, en tendance les prairies pâturées présentent des BMM plus faibles et moins variables que les parcelles de fauche.

Par ailleurs un modèle mathématique a été mis au point par l'Inra sur la base des mesures disponibles. Il permet de déterminer la BMM attendue en fonction des principaux paramètres physico-chimiques de la parcelle étudiée. On peut ainsi comparer une mesure sur cette parcelle à une valeur théorique. Si elle est supérieure, les pratiques sont favorables aux microorganismes, sinon, elles sont défavorables.



#### RATIO CHAMPIGNONS/BACTÉRIES

Le rapport champignons/bactéries est équilibré entre 1 et 5 %. En dehors de ces bornes il traduit un problème de structure, de type de matière organique ou de pollution. La majorité des échantillons étudiés présente un ratio équilibré (voir graphiques). Cependant, 41 échantillons présentent un ratio trop faible tandis qu'il est trop élevé pour 12 autres. Les valeurs élevées concernent quasi exclusivement des prairies en lien avec des pH acides (inférieurs à 6,2). Il est plus difficile de conclure pour les valeurs faibles. Il est possible que les prairies sans fertilisation minérale ou organique soient plus souvent concernées, mais aucun facteur explicatif n'a encore été identifié pour les cultures assolées.

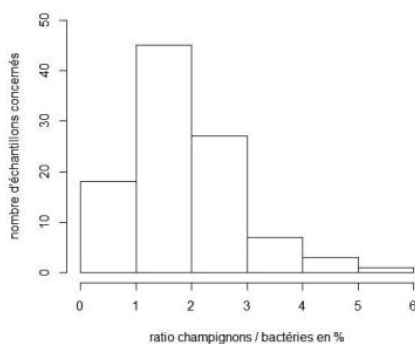
#### DIVERSITÉ MICROBIENNE

Quelques échantillons ont fait l'objet de mesures de diversité microbienne. À ce stade, nous constatons que la richesse mesurée (nombre de groupes d'espèces appelés taxons) est comparable à celle relevée au niveau national. Elle est plutôt plus faible sous les prairies permanentes. De plus, par rapport

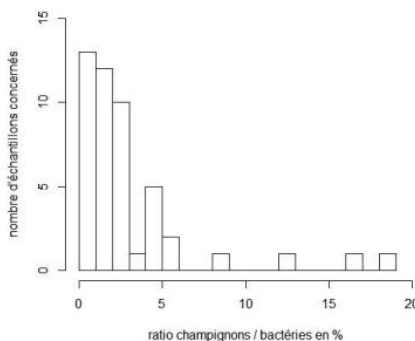
aux bactéries, les communautés de champignons comptent moins de taxons différents et plus d'espèces dominantes.

La Saône-et-Loire est actuellement le seul département à disposer de son propre référentiel d'interprétation des mesures de biomasse moléculaire microbienne. Or les indicateurs en microbiologie des sols peuvent contribuer à améliorer la durabilité de la production agricole. On constate effectivement que de nombreuses parcelles ne sont pas à l'optimum. Il reste donc à s'organiser pour que les analyses soient proposées directement aux agriculteurs, ce à quoi l'Inra travaille ; et à améliorer nos connaissances sur les liens entre pratiques et développement des microorganismes, que les travaux contribuent à explorer.

#### Cultures assolées



#### Prairies permanentes



**Julien Halska, agronome,**  
tél. : 03.85.29.56.54  
jhalska@sl.chambagri.fr

Projet bénéficiant du soutien financier du conseil Général de Saône-et-Loire, de l'Ademe, du conseil régional de Bourgogne et du ministère en charge de l'Agriculture.



#### Formation

### Fichier clients avec Excel : le créer et l'optimiser



Cette formation s'adresse à toutes les personnes qui vendent des produits et/ou des services en direct et veulent se faire connaître.

Vous pourrez :

- découvrir l'intérêt et l'usage d'un fichier client ;
- construire et expérimenter un fichier à partir du tableur Excel ;
- générer des tableaux de bord.

Vous expérimenterez directement en salle informatique. Dates et lieu : jeudi 21 et 28 janvier. Lieu à déterminer selon les stagiaires.

Contact : Laure Boisson, tél. : 03.85.29.55.20 ; courriel : lboisson@sl.chambagri.fr ou Maud Gouy, tél. : 03.85.29.55.63 ; courriel : mgouy@sl.chambagri.fr

#### CA 71, service Formation



Programme, tarifs, conditions générales envoyés sur demande. Toutes nos formations sur : [www.sl.chambagri.fr](http://www.sl.chambagri.fr)

### Concours général agricole

Le concours des produits du terroir est organisé en 23 catégories dont : apéritifs, bières, charcuteries, confitures, découpes de volailles, eaux-de-vie, huiles de noix, jus de fruits, miels et hydromels, produits issus de palmipèdes gras, produits laitiers, safran, vins de liqueur, volailles abattues... Vous êtes producteur (artisan, coopérative, viticulteur...) ou transformateur (affineur, artisan, industriel de première transformation...); vous souhaitez mettre en avant la qualité de vos produits et votre savoir-faire, participez au Concours général agricole ! <http://www.concours-agricole.com>



# Vers un conseil en microbiologie des sols

Halska J.<sup>1</sup>, Palabaud A.<sup>1</sup>, Moretty-Verdet P.<sup>1</sup>, Dequiedt S.<sup>2</sup>, Chemidlin Prévost-Bouré N.<sup>3</sup>, Horrigue W.<sup>2</sup>, Ranjard L.<sup>2</sup>  
 1. Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, jhalska@sl.chambagri.fr ; 2. INRA, UMR 1347 Agroécologie ; 3. AgroSup Dijon, UMR 1347 Agroécologie

## Rôle central des micro-organismes du sol

- Responsables de nombreux processus : cycles des nutriments, maintien de la structure, régulation des populations
- Forte proportion de la biomasse du sol
- Important réservoir génétique
- En lien étroit avec les cultures



- Un patrimoine essentiel à préserver !
- Intérêt de diagnostics en parcelles agricoles
- Sensibilité aux pratiques culturales
- Nécessité d'indicateurs et de référentiels d'interprétation adaptés à l'échelle du conseil (locale)

### Indicateurs disponibles

- **Biomasse moléculaire microbienne** : quantité de micro-organismes, Que l'on cherche à maximiser.
- **Rapport champignons / bactéries** : équilibré entre 1 et 5 %.
- **Diversité** (richesse en espèces, équitabilité), à maximiser



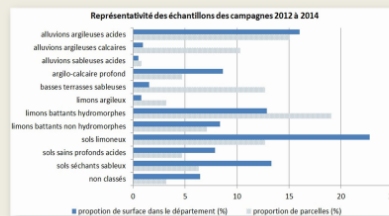
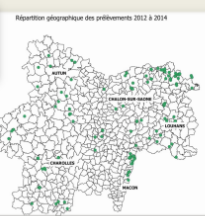
- Un référentiel national existant basé sur le RMQS (GIS Sol, 2200 sites répartis uniformément à l'échelle nationale)
- **Le projet : construction d'un référentiel départemental pour affiner les diagnostics**

## Un échantillonnage départemental pluriannuel ⇒ 218 mesures sur 126 parcelles différentes

### Entre 2012 et 2014 :

3 campagnes de prélèvements dans des situations représentatives des conditions du département : type de sol, couvert végétal et pratiques (travail du sol, amendements, mode d'exploitation des prairies, etc.).

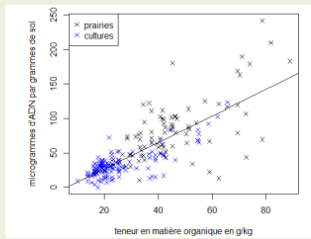
→ suivi de la microbiologie, de la physico-chimie et des pratiques.



## Effet marqué de la teneur en matière organique sur la biomasse microbienne

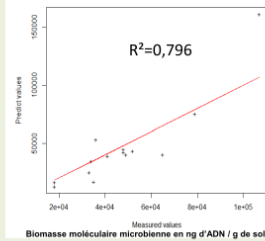
### Un potentiel environ deux fois plus élevé pour les prairies.

Une relation avec la teneur en matière organique :  $R^2=0,6$ . Et une tendance à des biomasses supérieures pour les sols à texture fine (habitats et nutriments favorisant l'abondance des organismes).

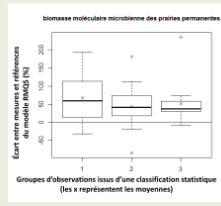
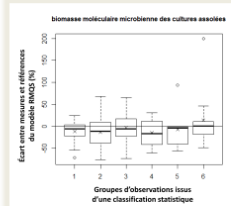


## Un modèle statistique départemental pour la biomasse

- Méthodologie similaire à celle utilisée sur les données nationales (modèles polynomiaux paramétriques).
- Paramètres physico-chimiques en entrée : teneur en carbone et en argile, pH et latitude (rend compte de la variabilité climatique).
- Un modèle adapté aux systèmes de production locaux pour un meilleur diagnostic.



## Influence des pratiques : tendances



Etude par classification statistique des échantillons en fonction des pratiques culturales (fertilisation, traitements, pâturage, succession culturale, etc.)

### Cultures :

Moyennes de biomasse microbienne proches du référentiel national à légèrement inférieures.

Quelques tendances entre groupes :

- Plus forte variabilité du **maïs sans CI** (Culture Intermédiaire) par rapport au **maïs avec CI**.
- Idem pour les **céréales avec travail superficiel**, légèrement plus favorables.

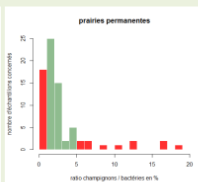
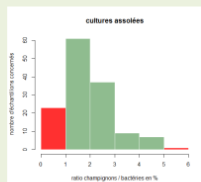
### Prairies permanentes :

Valeurs de biomasse microbienne pour la grande majorité nettement supérieures aux références nationales.

- Biomasse moléculaire microbienne plus faible pour les **prairies pâturées** : effet défavorable du tassement ?
- Variabilité intermédiaire des valeurs sous prairies sans fertilisation minérale.

## Ratio champignons / bactéries : on constate des déséquilibres

- Cultures assolées : 1 seule observation > 5%
- Prairies permanentes : 11 observations > 5% toutes avec des pH acides (entre 5 et 6,2)



- 41 observations < 1% : déséquilibre fréquent qui touche aussi bien des cultures assolées que des prairies permanentes et tous les types de sols.

## Conclusion et perspectives

- Disponibilité d'un modèle départemental pour l'interprétation des mesures de biomasse moléculaire microbienne.
- Identification de situations à améliorer : intérêt des travaux.
- Nécessité de mieux identifier les leviers mobilisables pour construire le conseil.
- Sensibiliser et former agriculteurs et conseillers.
- Approfondir les diagnostics par l'étude de la diversité microbienne.
- Formaliser la chaîne de diagnostic / conseil