

## **RAPPORT DE STAGE**

# **Diagnostics de sols en agriculture, réalisation d'une fiche de codification des observations sur le terrain et analyse de plusieurs scénarios de bilan humique, notamment pour des projets de méthanisation**



*11 avril au 15 juin 2016*

**SCHERER Aurélie**  
**M1 Sciences de l'Environnement**  
**2015-2016**

**Maître de stage :**  
**BARBOT Christophe**



## SOMMAIRE

---

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Glossaire

Liste des abréviations

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Contexte et cadre de l'étude.....</b>	<b>2</b>
1.1 Présentation de la structure d'accueil : la chambre d'Agriculture d'Alsace .....	2
1.2 Contexte régional alsacien.....	3
1.2.1 <i>Présentation de la géologie.....</i>	3
1.2.2 <i>Les principaux types de sols en Alsace .....</i>	3
1.2.3 <i>Contexte agricole .....</i>	4
1.3 L'importance du système sol pour l'agriculture.....	5
1.3.1 <i>La matière organique des sols .....</i>	5
1.3.2 <i>Influence des pratiques agricoles sur les sols.....</i>	6
1.4 Le bilan humique.....	7
<b>2. Matériels et méthodes .....</b>	<b>8</b>
2.1 Mise en place d'une codification des diagnostics de sols .....	8
2.2 Les mesures de laboratoires .....	8
2.3 Bilan humique .....	9
2.3.1 <i>Principe de fonctionnement du modèle AMG .....</i>	9
2.3.2 <i>Les paramètres utilisés pour la réalisation des bilans humiques .....</i>	11
2.3.3 <i>Comparaison avec le système allemand de bilan humique.....</i>	14
<b>3. Résultats et discussions.....</b>	<b>15</b>
3.1 Diagnostic de sol .....	15
3.1.1 <i>La fiche de description.....</i>	15
3.1.2 <i>Quelles pratiques culturales mettre en œuvre, en lien avec les observations.....</i>	17
3.1.3 <i>Exemple des deux parcelles (Stoeck et Huettmatt à Sundhouse).....</i>	18
3.2 Bilan humique .....	20
3.2.1 <i>Effet de la conduite culturale .....</i>	20
3.2.2 <i>Effet de la teneur initiale en carbone organique .....</i>	22
3.2.3 <i>Impact du type de sol .....</i>	24
3.2.4 <i>Exemple de l'Earl Fritsch à Frisenheim.....</i>	25
3.2.5 <i>Résultats des bilans humiques avec le système allemand.....</i>	26
<b>Conclusion.....</b>	<b>27</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>28</b>
<b>Webographie.....</b>	<b>29</b>
<b>Sommaire des annexes .....</b>	<b>30</b>



## REMERCIEMENTS

---

Je tiens tout d'abord à remercier Christophe BARBOT, mon maître de stage, pour le temps qu'il m'a consacré, les documents et les explications qu'il m'a donné et de m'avoir permis d'effectuer ce stage qui correspond parfaitement à mon projet.

Je tiens d'autre part à remercier Paul VAN DIJK, pour m'avoir donné de précieuses informations sur les paramètres du logiciel, et pour la mise à disposition de ce dernier.

Je voudrais également remercier Christophe GINZ et Régis HUSS pour les informations qu'ils m'ont données sur les digestats et sur l'établissement des scénarios, ainsi que Léa DECKERT pour l'envoi des courriers et pour sa gentillesse.

Je souhaite remercier Vincent TOMIS, Sabine HOUOT et Gerd REINHOLD pour les précisions qu'ils m'ont données sur les digestats.

Je remercie aussi Christiane SCHAUB de m'avoir emmené pour découvrir le comptage de vers de terre.

Et un grand merci à toutes les personnes présentes que j'ai rencontré pendant ce stage, pour m'avoir permis de travailler dans la bonne humeur et la convivialité.



## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 1</b> : Localisation du site de Schiltigheim.....	2
<b>Figure 2</b> : Petites régions agricoles alsaciennes .....	4
<b>Figure 3</b> : Les fonctions de la matière organique dans les sols agricoles .....	6
<b>Figure 4</b> : Schéma du fonctionnement et des différents paramètres du modèle AMG .....	10
<b>Figure 5</b> : Calcul du bilan humique en Allemagne .....	14
<b>Figure 6</b> : Fiche de description de sol .....	16
<b>Figure 7</b> : Test du crayon .....	18
<b>Figure 8</b> : Comparaison des scénarios Céréaliier .....	20
<b>Figure 9</b> : Comparaison des scénarios d'élevage.....	21
<b>Figure 10</b> : Comparaison des scénarios de méthanisation .....	21
<b>Figure 11</b> : Evolution de la teneur en carbone organique en fonction du temps avec 2 variantes du scénario 3b .....	22
<b>Figure 12</b> : Comparaison de l'ensemble des scénarios sur Loess moyens du Kochersberg avec une teneur initiale en carbone organique de 12,5 g/kg .....	23
<b>Figure 13</b> : Impact du type de sol.....	24
<b>Figure 14</b> : Evolution du stock de C <sub>org</sub> sur 0-30 cm pour les différents types de sol.....	25
<b>Figure 15</b> : Evolution de la teneur en carbone organique sur 0-30 cm en fonction du temps, pour les 3 scénarios de l'Earl Fritsch.....	25
<b>Figure 16</b> : Résultats des bilans humiques pour l'Allemagne.....	26

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau 1</b> : Rendements moyens pour les cultures utilisées hors maïs grain et blé d'hiver en Alsace .....	11
<b>Tableau 2</b> : Type de sols utilisés, avec les différents paramètres à entrer dans le logiciel et les rendements en maïs grain et blé d'hiver en Alsace pour ces derniers .....	11
<b>Tableau 3</b> : Liste des différents scénarios.....	12
<b>Tableau 4</b> : Liste des différents scénarios de l'EARL Fritsch .....	13
<b>Tableau 5</b> : Type de sol de l'exploitation de l'Earl Fritsch.....	13
<b>Tableau 6</b> : Evaluation du bilan humique en Allemagne .....	14
<b>Tableau 7</b> : Pratiques culturales à mettre en œuvre en lien avec les observations, sur le court et long terme.....	17
<b>Tableau 8</b> : Effet de la teneur en carbone organique sur les scénarios .....	24

## GLOSSAIRE

---

**Battance** : c'est la croûte superficielle compacte formée par l'action des gouttes de pluie et le fractionnement des agrégats à la surface du sol (UVED [en ligne]).

**Cultures associées** : il s'agit de la culture simultanée de deux espèces ou plus, sur la même surface, pendant une période significative de leur cycle de croissance (PerfCom-ANR, 2012).

**Culture dérobée** : culture implantée durant l'interculture et destinée à être récoltée (récolte pour la graine ou récolte plante entière pour les fourrages ou culture intermédiaire à vocation énergétique (CIVE)) (Simeos-AMG [en ligne]).

**Culture intermédiaire** : culture implantée durant l'interculture et destinée à être restituée au sol (Simeos-AMG [en ligne]).

**Digestats** : ce sont les résidus, ou déchets « digérés », issus de la méthanisation des déchets organiques (Actu-environnement [en ligne]).

**Gley** : désigne un matériau plus ou moins compact, gris avec des nuances verdâtres (réduction des composés ferriques en composés ferreux), qui apparaît sous l'effet d'un excès d'eau (engorgement permanent) (AFES, 2008).

**Loess** : sédiments détritiques, de la taille des limons, carbonatés, d'origine éolienne (ENS [en ligne]).

**Mulch** : ou paillis, désigne tout matériau, tel que de la paille, des résidus végétaux, des écorces ou des feuilles, placés à la surface du sol afin de réduire l'évaporation et l'érosion, limiter les adventices et enrichir le sol en se décomposant (Aquaportail [en ligne]).

**Ried** : dérivé de l'alémanique "Rieth" qui signifie jonc (roseau). "Ried" s'applique par extension aux paysages de prés inondables et de forêts à la végétation luxuriante (Le Grand Ried [en ligne]).

**Strip-till** : le Strip-till (ou travail du sol en bandes) est une façon culturale qui consiste à planter les cultures dans une bande de terre travaillée, en laissant l'interligne intacte et couverte soit par des résidus végétaux, soit par un couvert vivant (FUGEA [en ligne]).



## LISTE DES ABREVIATIONS

---

**AOC** : Appellation d'Origine Contrôlée

**ARAA** : Association pour la Relance Agronomique en Alsace

**BCAE** : Bonnes Conditions Agro-Environnementales

**CAA** : Chambre d'Agriculture d'Alsace

**CEC** : Capacité d'Echange Cationique

**CIVE** : Culture Intermédiaire à Vocation Energétique

**C/N** : rapport carbone sur azote

**C<sub>org</sub>** : carbone organique

**ETP** : EvapoTranspiration Potentielle

**INRA** : Institut National de Recherche Agronomique

**KCl** : chlorure de potassium

**q** : quintal (1 quintal = 100 kilogrammes)

**GEPPA** : Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée

**ha** : hectare

**Ma** : Millions d'années

**MO** : Matière Organique

**MOS** : Matières Organiques du Sol

**MS** : Matière Sèche

**pH** : potentiel Hydrogène

**SAU** : Surface Agricole Utile

**SD** : Semis Direct

**Simeos-AMG** : Simeos : SIMulation de l'Evolution de l'état Organique du Sol et AMG : Andriulo, Mary, Guérif

**PAC** : Politique Agricole Commune

**PRO** : Produits Organiques Résiduaux

**t** : tonne

**TCS** : Technique culturale simplifiée



## INTRODUCTION

---

La pédologie est un domaine complexe qui prend en compte les composantes biologiques, chimiques et physiques du sol (Shepherd, 2000). En agriculture, bien souvent seule la composante chimique est prise en compte avec l'analyse de terre, son objectif principal est d'estimer la disponibilité des éléments présents dans la solution du sol (Massenot, 2000), alors que la fertilité du sol ne représente pas que les éléments fertilisants. De plus l'agriculture moderne avec un travail du sol agressif, des monocultures importantes, et des couverts végétaux peu importants, éclipse le fonctionnement biologique et la matière organique du sol. Pour entretenir la performance du milieu, il faut donc alimenter l'ensemble des constituants physiques, biologiques et chimiques (Huber et Schaub, 2013).

Il est donc important de mettre en place des méthodes simples et rapides pour évaluer et suivre les effets de l'agriculture et des pratiques culturales sur les sols, dans le but d'identifier les problèmes et de trouver des solutions à mettre en œuvre. C'est dans ce cadre que s'intègre la mise en place d'une fiche de codification des observations de sol. En effet, celle-ci, couplée à des analyses de sols avec des paramètres de dynamique des matières organiques et de biologie des sols, permet d'observer le sol, afin d'y identifier les problèmes majeurs.

Les matières organiques jouent un rôle essentiel dans le sol, il est donc important de suivre leurs évolutions dans le temps, et de voir si les pratiques culturales diminuent ou augmentent l'humus du sol. Le bilan humique permet de répondre à cette question en évaluant différents scénarios, afin de voir lesquels sont les plus favorables pour la matière organique du sol.

Les objectifs de ce stage sont :

- De réaliser une fiche de codification des observations de sols
- De lister des pratiques agricoles améliorantes pour le sol
- De réaliser des bilans humiques et de chiffrer plusieurs scénarios, notamment de méthanisation

Dans un premier temps, le contexte et cadre de l'étude sera présenté, avec la présentation de la structure d'accueil, le contexte géologique, pédologique et agricole alsacien, l'importance du système sol en agriculture ainsi que le bilan humique. Une deuxième partie permettra de décrire la démarche suivie pour la réalisation de la fiche de description de sol et le bilan humique. Troisièmement les résultats et leurs discussions seront exposés.

## 1. CONTEXTE ET CADRE DE L'ETUDE

### 1.1 Présentation de la structure d'accueil : la chambre d'Agriculture d'Alsace

Ce stage a été effectué à la Chambre d'Agriculture d'Alsace (CAA) au siège du Bas-Rhin à Schiltigheim (figure 1) dans le service Environnement et Innovation, avec pour maître de stage Christophe BARBOT, chargé de la mission déchets et matières organiques et du développement des connaissances sur les sols en agriculture.



**Figure 1 : Localisation du site de Schiltigheim**  
(<http://www.alsace.chambagri.fr/menu-horizontal/cara/services.html>)

La CAA remplace les Chambres départementales du Bas-Rhin et du Haut-Rhin et la Chambre régionale depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2013. Elle est composée par une assemblée professionnelle de 93 membres élus tous les 6 ans, au suffrage universel, par tous les acteurs de l'agriculture : exploitants agricoles, salariés, propriétaires agricoles et forestiers, anciens exploitants, syndicats agricoles, coopératives, crédit agricole et mutualité. Cette assemblée désigne un bureau de 22 membres, chargé de la gestion courante de la CAA, et compte plus de 200 salariés (CAA, 2014).

Elle fait partie du réseau public Chambres d'Agriculture créée en 1920 pour représenter l'agriculture sur un territoire donné, servir d'interlocuteur aux pouvoirs publics, aux collectivités locales, et être le porte-parole des agriculteurs. Avec différents acteurs, la Chambre d'agriculture initie, coordonne et applique sur le terrain des programmes de développement agricole et rural qui répondent aux enjeux économiques, territoriaux, environnementaux et sociétaux alsaciens (CAA, 2014).

Le service Environnement et Innovation s'occupe des thématiques de protection des eaux et des milieux, d'accompagnement de projets d'énergies renouvelables (méthanisation), de conseil en agriculture biologique, de qualité des sols, de suivi de l'épandage de déchets organiques ou encore sur le développement des échanges transfrontaliers en matière d'agriculture durable (CAA, 2016). C'est dans l'axe connaissance des sols que s'intègre ce stage.

## 1.2 Contexte régional alsacien

L'Alsace fait partie de la région Grand Est et se compose des départements du Bas-Rhin au nord et du Haut-Rhin au sud. Elle est encadrée à l'est par le Rhin, frontière entre la France et l'Allemagne, et à l'ouest par le massif des Vosges. La population alsacienne totale s'élève à plus de 1,8 millions d'habitants, avec une densité de 221 habitants au km<sup>2</sup>, ce qui est pratiquement le double de la moyenne de densité pour la France (113 habitants au km<sup>2</sup>) (CAA, 2012).

### 1.2.1 Présentation de la géologie

Le massif des Vosges s'est formé au Carbonifère (-360 à -295 Ma) et fait partie de la chaîne hercynienne. Le massif vosgien est recouvert par des couches détritiques de sédiments triasiques (grès roses), très épaisses pouvant atteindre 300 mètres d'épaisseur, et qui composent actuellement les Vosges du Nord (Vosges gréseuses). Au milieu du Trias (-245 Ma à -205 Ma), une transgression marine recouvre toute la région et a permis le dépôt de calcaire. Au Jurassique (-205 Ma à -135 Ma), après une transgression, la mer revient et dépose des calcaires et des marnes, puis celle-ci se retire au Crétacé (-145 Ma à -65 Ma) (Vins, Vignes, Vignerons [en ligne]).

Au Cénozoïque (vers -53 Ma), l'ouverture de l'océan Atlantique et la collision alpine engendrent l'effondrement du fossé rhénan le long d'un jeu de failles, et donc la séparation du Massif des Vosges et de la Forêt Noire qui avant étaient unis. Dans le fossé rhénan s'accumulent des sédiments essentiellement marins (calcaires) durant l'Oligocène (-35 Ma à -23,5 Ma), puis fluviatiles au Miocène (-23 Ma à -5 Ma), formant ainsi la plaine d'Alsace. C'est aussi à cette époque que se mettent en place des laves volcaniques sur la rive allemande, comme le Kaiserstuhl par exemple (Vins, Vignes, Vignerons [en ligne] et ENS [en ligne]).

Au Quaternaire, les glaciers couvrent principalement les Vosges du Sud érodant les couches sédimentaires pour faire apparaître le socle ancien (granite, gneiss). De plus, des dépôts éoliens de loess se mettent en place durant cette période dans la plaine d'Alsace (ENS [en ligne]).

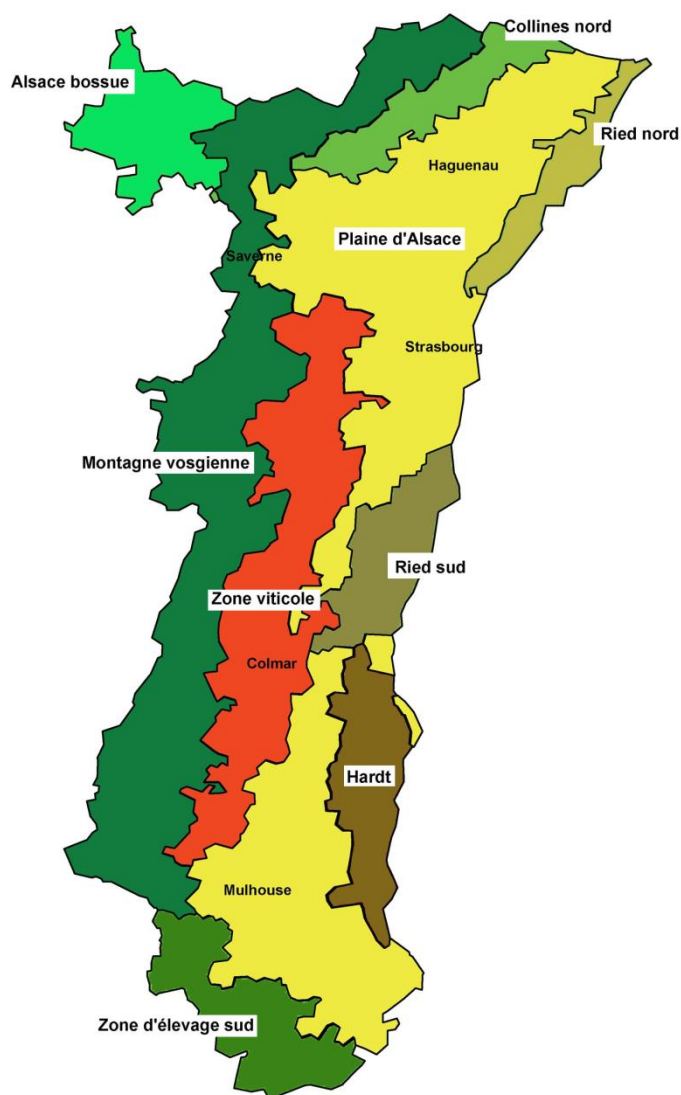
### 1.2.2 Les principaux types de sols en Alsace

L'Alsace compte une diversité de sols très importante, en effet l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) a décrit 80 unités cartographiques et 300 types de sols (Sauter, 2012).

Cependant les sols alsaciens peuvent être regroupés en grandes familles par rapport à leurs potentialités agricoles. Les loess ont une forte valeur agronomique et couvrent une grande partie de la plaine. Les sols de la plaine alluviale (sols sableux et caillouteux du Rhin, limons de l'Ill, sables de la Moder, ...) possèdent des contraintes fortes, dues soit à un excès d'eau soit à des réserves en eau utile faibles. Mais le potentiel agronomique de ces sols peut-être amélioré grâce à l'irrigation. Les sols des collines sous vosgiennes du vignoble présentent une forte diversité et des terroirs marqués. L'Alsace possède également des sols à potentiel plus limité pour l'agriculture, ces sols se sont soit formés sur des roches sédimentaires anciennes (marnes, calcaires, grès) en Alsace Bossue et dans les collines sous-vosgiennes du nord de la région, soit sur des limons lessivés dans le sud ouest de la région et dans les collines sous-vosgiennes du nord (Profil environnemental de l'Alsace [en ligne]).

### 1.2.3 Contexte agricole

L'agriculture est très importante en Alsace, en effet la surface agricole utile (SAU) est de 335 700 ha, soit 40% de la surface totale de la région (CAA, 2012). Le maïs grain est la culture la plus répandue, et représente 39% de la SAU, 28% est recouverte par de la prairie, 14% par du blé et 5% par des vignes. L'Alsace possède également des cultures plus spécifiques de la région telles que le chou à choucroute, le tabac ou encore le houblon (CAA, 2012). La figure 2 présente les petites régions agricoles alsaciennes.



**Figure 2 : Petites régions agricoles alsaciennes**  
(DREAL Alsace et Bonneaud, 2015 modifié)

Les différentes régions possèdent des pratiques agricoles différentes :

- **Alsace bossue** : zone à vocation herbagère essentiellement, élevage laitier et viande à l'herbe.
- **Collines nord** : élevage à herbe, vergers.
- **Ried nord** : maïs dominant, herbages plus localisés, proximité des forêts de la bande rhénane.

- **Montagne vosgienne** : principale zone de production forestière (taux de boisement supérieur à 70%), élevage.
- **Plaine d'Alsace** : zone à plus grand potentiel agronomique, maïsiculture dominante, existence de cultures spécifiques (tabac, houblon, betteraves, horticulture, maraîchage, arboriculture,...), élevages porcins et avicoles hors-sol.
- **Zone viticole** : prédominance de la viticulture AOC (Appellation d'Origine Contrôlée) sur les coteaux, boisement sur les parties les plus élevées.
- **Ried sud** : caractéristiques identiques que le Ried nord avec en plus des élevages bovins et herbages plus importants.
- **Hardt** : maïsiculture dominante, avec irrigation, cultures légumières de plein champ, élevages porcins et cunicoles hors-sol (DREAL Alsace et Bonneaud, 2015).

L'agriculture est performante en Alsace, avec des cultures à forte valeur ajoutée et des rendements élevés, cela grâce à la présence de la nappe phréatique et la diversité et qualité des sols. Cependant l'intensification des pratiques agricoles engendrent des problèmes de pollutions des eaux et de baisse de la qualité des sols. L'amélioration des pratiques agricoles constitue un des enjeux de l'agriculture en Alsace (CAA, 2012). C'est dans cette thématique que s'intègre l'agriculture de conservation. Celle-ci repose sur trois piliers, la diminution ou suppression du travail du sol, un allongement et une diversification des rotations et la couverture maximale des sols (FAO [en ligne]). L'agriculture de conservation ne représente qu'une petite proportion des exploitations agricoles de la région (environ 3%), cependant de plus en plus d'agriculteurs mettent en place des couverts végétaux et pratiquent le non labour de façon ponctuel ou plus couramment.

### 1.3 L'importance du système sol pour l'agriculture

#### 1.3.1 La matière organique des sols

Le sol se compose à 50% de fraction solide, en majorité des composés minéraux et 1 à 10% de matières organiques, les 50% restant se partage entre la fraction liquide et gazeuse (Moebius-Clune *et al.*, 2016). Les matières organiques subissent un processus d'intégration qui est l'humification. Il existe quatre grandes fractions de matières organiques dans les sols : les matières organiques vivantes, fraîches, transitoires et stables. Elles ont des temps de résidence variables dans le sol, de quelques jours à 1-2 ans pour les matières organiques fraîches, 15 à 30 ans pour les matières organiques transitoires et de 30 à 1000 et plus pour les matières organiques stables (Duparque *et al.*, 2011<sup>1</sup>).

La matière organique vivante se compose de microorganismes, végétaux et animaux vivants, elle participe à court terme à la stabilité structurale notamment grâce aux racines et aux mycéliums des champignons. Les macro-organismes, tels que les vers de terre, ont également un rôle important de mélange du sol tout en créant de la porosité (Duparque *et al.*, 2011<sup>1</sup>).

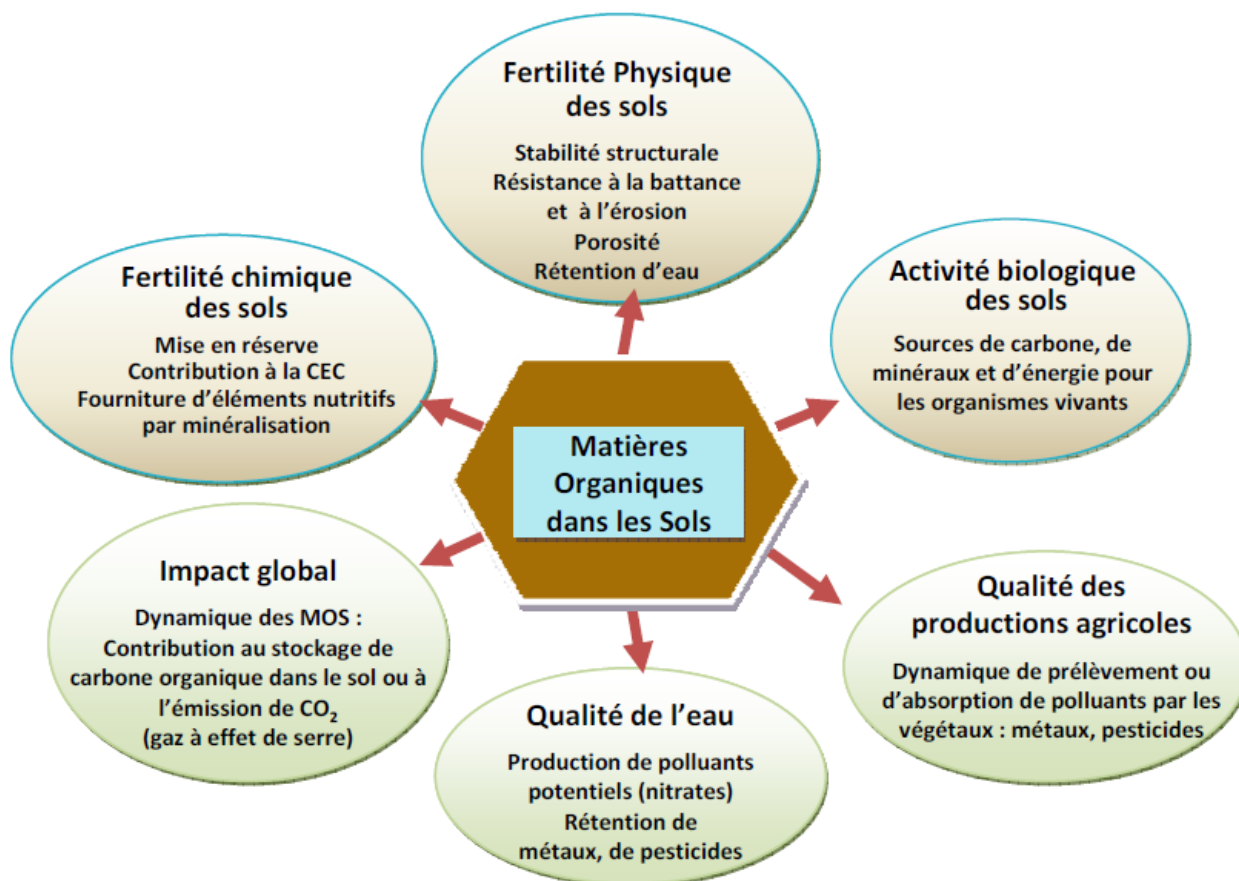
La matière organique fraîche est constituée des débris de végétaux (feuilles et racines mortes, résidus de récolte) et animaux (cadavres, déjections) et de cellules microbiennes mortes. Elle constitue une source d'énergie et de minéraux potentiels pour les espèces qui la consomment (substrat énergétique et fertilité chimique) (Duparque *et al.*, 2011<sup>1</sup> et Huber et Schaub, 2013).

La matière organique transitoire (glucides simples, acides aminés, ...) regroupe l'ensemble des composés organiques issus des matières organiques fraîches en cours de décomposition et

d'humification. Elle participe à la structuration du sol (fertilité physique) et c'est un substrat énergétique.

Les matières organiques stables ou humus sont des matières organiques finement décomposées et réactives chimiquement. En effet, elles interagissent dans le sol avec la surface des minéraux, les éléments nutritifs, ou encore avec des polluants organiques ou métalliques. L'humus participe à la stabilité à long terme du sol, notamment par le complexe argilo-humique et représente entre 70 et 90% du total des matières organiques (Duparque *et al.*, 2011<sup>1</sup>).

Les matières organiques jouent un rôle important dans le sol, les différentes fonctions de la matière organique sont synthétisées dans la figure 3.



*Figure 3 : Les fonctions de la matière organique dans les sols agricoles (Duparque et al., 2011<sup>1</sup>)*

### **1.3.2 Influence des pratiques agricoles sur les sols**

Les usages du sol modifient les entrées de matières organiques et les pertes par minéralisation. En effet une parcelle en forêt ou en prairie permanente aura tendance à stocker plus de matières organiques qu'une parcelle cultivée. Pour les parcelles cultivées, les pratiques agricoles modifient la production de biomasse par le choix de la rotation culturale, par la fertilisation, par la production ou encore par l'irrigation. Cela modifie la masse des racines et des résidus aériens qui sont restitués au sol. Le travail du sol augmente la perte de matière organique en augmentant la minéralisation. La profondeur de celui-ci a également un impact, en effet le labour profond dilue la matière organique sur la couche travaillée, alors que le travail du sol superficiel concentre la matière organique sur la couche superficielle, ce qui est encore plus le cas pour le semis direct (Duparque *et al.*, 2011<sup>1</sup>). Les pratiques agricoles peuvent également entraîner des problèmes de compaction du sol, par le passage



d'engins ou le labour en condition humide et par le passage d'équipements et charges lourdes. La compaction peut entraîner la diminution de la croissance des racines ou encore de l'infiltration de l'eau (ruissellement, érosion et diminution de l'aération). Un labour intensif, un usage limité de couverts végétaux et d'apports organiques et des densités de racines faibles entraînent une diminution de l'agrégation des sols (Moebius-Clune *et al.*, 2016).

De nombreux projets de méthanisation se développent en Alsace (8 unités de méthanisation agricoles en Alsace) avec comme intrants dans les méthaniseurs des résidus de cultures tels que des pailles de maïs, des cultures intermédiaires à vocation énergétique ou encore des effluents d'élevage. La question que posent les projets de méthanisation : la non restitution des pailles et des couverts végétaux est-elle contrebalancée par les apports de digestats ; c'est en cela que le bilan humique peut apporter des réponses.

#### **1.4 Le bilan humique**

Le bilan humique consiste à comparer les entrées et les sorties d'humus par rapport au pool de matières organiques humifiées du sol sur une période donnée. Les quantités d'humus entrantes proviennent des processus d'humification des matières organiques apportées ou restituées (amendements organiques, résidus de culture, engrais verts, système racinaire,...), en soustrayant les exportations et la consommation par les organismes du sol et les plantes. Les quantités sortantes proviennent de la minéralisation, celle-ci dépend de la température, de l'humidité, du type de sol et du travail du sol (Duparque *et al.*, 2011<sup>1</sup>). En effet, les sols argileux peuvent contenir plus de matières organiques que les sols sableux, car les argiles forment des liaisons avec les composés organiques, les stabilisant et les protégeant de l'action des micro-organismes, car à l'intérieur des agrégats le renouvellement de l'oxygène est faible (Duparque *et al.*, 2011<sup>1</sup>). La présence de calcium, qui forme des liaisons entre l'argile et l'humus, favorise également l'humification. Au contraire, des températures élevées accélèrent la dégradation des matières organiques (Huber et Schaub, 2013).

## 2. MATERIELS ET METHODES

---

### 2.1 Mise en place d'une codification des diagnostics de sols

Afin d'observer le sol, il existe une multitude de méthodes. Parmi ces méthodes, il existe le test bêche, celui-ci permet de qualifier la qualité de la fertilité physique et biologique du sol. Un bloc de sol de 20 par 20 sur 40 cm de profondeur est extrait du sol à l'aide d'une bêche. Cette méthode présente l'avantage d'être rapide et facile de mise en place (Barbot, 2012).

Une autre méthode d'observation du sol est le profil cultural, il est assez semblable à la fosse pédologique, sauf que l'objectif est plutôt de comprendre le comportement de la culture en réaction à l'état physique, chimique et biologique du sol. Il permet de comprendre les effets du travail du sol et du passage d'engins sur la structure et le tassement du sol par exemple (ARAA [en ligne]).

Il y a également une méthode développée par Graham Shepherd (Shepherd, 2000) : l'Evaluation Visuelle du sol (EVS) qui comprend un test bêche et un test du lâcher (ou « drop test »), celle-ci consiste à faire tomber un bloc de sol, au maximum trois fois, d'environ 1 mètre de hauteur sur une surface dure. Ensuite les mottes sont classées par taille afin d'évaluer la structure du sol en comparaison à des photos. Cette méthode comprend une grille de notation des différents paramètres observés (texture, structure, porosité, hydromorphie, couleur, vers de terre, odeur, battance, ...).

Ces deux méthodes doivent s'effectuer sur un sol ni trop sec, ni trop humide avec une plante en place pour pouvoir observer les racines.

La méthode retenue pour l'observation du sol est le mini profil cultural sur 50 par 50 sur environ 50 cm de profondeur, puis la tarière est utilisée afin de descendre en dessous de 50 cm. A partir des documents sur les observations de sol, une fiche de description de celui-ci ainsi que de l'état de surface a été mise en place dans le but de simplifier et de formaliser l'observation du sol. A partir de la fiche de description du sol, un fichier texte qui reprend les observations de terrain est également formalisé avec la mise en place de liste déroulante pour les différents paramètres observés.

Plusieurs descriptions de sols ont été effectuées afin d'améliorer la fiche de description de sol. Deux parcelles (Stoeck et Huettmatt) à Sundhouse ont été décrites et des échantillons ont été envoyés au laboratoire pour analyse. Seules ces deux parcelles sont décrites dans ce rapport, car pour les autres parcelles les analyses de sol sont en cours de réalisation par le laboratoire.

### 2.2 Les mesures de laboratoires

Après le prélèvement des échantillons sur l'horizon de surface (0-20 cm), ces derniers sont envoyés au laboratoire Celesta-lab pour analyse. Avec l'envoi des échantillons de terre, doit être renseignée une fiche de description (annexe 1 et 2) qui reprend les coordonnées du demandeur et de l'intermédiaire, des informations sur le prélèvement tel que le nom de la parcelle, la date, la profondeur du sol et les coordonnées GPS du point de prélèvement. Des informations sur la parcelle (surface, altitude, pente, vitesse de réessuyage, profondeur de sol et pourcentage de cailloux) sont également demandées ainsi que des informations sur la culture (rotation, rendement, restitution des résidus, la pression des maladies et adventices), des informations sur le travail du sol, sur la fertilisation organique (type, fréquence, quantité), et sur la fertilisation minérale.

Le laboratoire détermine, dans un premier temps, l'état physico-chimique du sol : la texture avec la proportion d'argiles, de limons et de sables ainsi que la matière organique. Les teneurs en carbone organique et en azote total permettent de calculer le rapport carbone sur azote (C/N). Le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , le calcaire total et actif et la capacité d'échange cationique (CEC) sont également mesurés. Le pentoxyde de phosphore ( $\text{P}_2\text{O}_5$  avec la méthode de Joret Hébert ou Dyer), et les bases échangeables (oxyde de potassium, oxyde de magnésium, oxyde de calcium et oxyde de sodium) sont évalués par le laboratoire, ces différents éléments ainsi que la teneur en azote et le rapport oxyde de potassium sur oxyde de magnésium sont classés de très faible à très élevée en fonction des résultats obtenus (Celesta-lab, 2003).

Dans un deuxième temps la matière organique des sols est caractérisée, pour cela celle-ci est divisée en deux fractions : la matière organique grossière dont le diamètre est supérieur à 50  $\mu\text{m}$  et l'autre dont la taille est inférieure à 50  $\mu\text{m}$ . Le rapport C/N de ces deux fractions est également déterminé. La fraction supérieure à 50  $\mu\text{m}$  correspond à la matière organique jeune ou libre qui est facilement minéralisable, avec un rapport C/N élevé compris entre 12 et 30 (Celesta-lab, 2003). Elle a un rôle de fertilisation biologique des sols, de nutrition des plantes, de stabilité à court terme et de résistance face au tassement (Salducci, 2015). La matière organique fine (inférieure à 50  $\mu\text{m}$ ) réfère à la matière organique vieille, liée ou humifiée qui est stabilisée avec un rapport carbone sur azote inférieur à 10. Elle possède des propriétés structurantes et de stabilisation des sols sur des temps longs, des propriétés d'échanges supérieures que la matière organique libre et un stock d'azote minéralisable à long terme (Salducci, 2015).

Troisièmement, la biomasse microbienne est déterminée par fumigation-extraction, c'est-à-dire la quantité de carbone vivant contenue dans les microorganismes du sol. Celle-ci varie entre 0 et 800 mg de C/kg de terre dans les sols agricoles et elle dépend de la température, de l'humidité, des réserves en matières organiques, de la structure, de la porosité et de la chimie du sol (CEC, pH, calcium). Elle est également liée au type de sol, au type de culture et aux techniques culturales. A partir de la biomasse microbienne un rapport de celle-ci sur le carbone du sol est calculé, celui-ci est habituellement compris entre 0 et 5%. Des valeurs faibles signifient que l'environnement physique est défavorable (compaction, hydromorphie), et/ou que l'environnement chimique est défavorable (pH acide, déficit en calcium, toxicité d'un élément comme le cuivre par exemple,...) et/ou encore qu'il manque des restitutions organiques (Celesta-lab, 2003).

Dans un quatrième temps, la minéralisation du carbone et de l'azote est appréciée par incubation à 28°C pendant 28 jours d'un échantillon de sol. Cette mesure permet d'estimer les réserves en matières organiques potentiellement dégradables du sol, c'est-à-dire les réserves facilement accessibles. Ces deux paramètres sont classés de très faible à fort (Celesta-lab, 2003).

## **2.3 Bilan humique**

La simulation de bilan humique avec différents scénarios est réalisée à l'aide du logiciel SIMEOS-AMG, SIMEOS pour SIMulation de l'Evolution de l'état Organique du Sol et AMG du nom des auteurs du modèle Andriulo, Mary, Guérif (Duparque *et al.*, 2011<sup>2</sup>). De plus une comparaison avec le système allemand de bilan humique est réalisée.

### **2.3.1 Principe de fonctionnement du modèle AMG**

Le modèle AMG, dérive du modèle Hénin et Dupuis (considère un compartiment unique de matières organiques), en divisant le compartiment humus du sol en deux parties. Le premier

réservoir se constitue du carbone stable avec des temps de résidence d'environ 1000 ans, et l'autre compartiment du carbone actif qui est alimenté par les apports de carbone humifié et diminué par la minéralisation annuelle (Duparque *et al.*, 2011<sup>2</sup>). Le modèle prend en compte trois coefficients principaux :

- Le coefficient isohumique  $K_1$  qui varie en fonction de la nature des résidus végétaux ou du type d'amendement organique. Ce coefficient correspond à la part d'humus formée dans le sol par rapport à la quantité de produit organique apportée au sol.

- La vitesse de minéralisation annuelle du carbone actif dans le sol ( $k$ ), qui est fonction du type de sol (teneur en argile, en calcaire, en cailloux et en carbone organique), du climat (température moyenne annuelle, précipitations et évapotranspirations), de l'irrigation et du travail du sol (fréquence et profondeur de labour) (Duparque *et al.*, 2011<sup>2</sup>). Il varie entre 0,02 et 0,06 (Houot *et al.*, 2016).

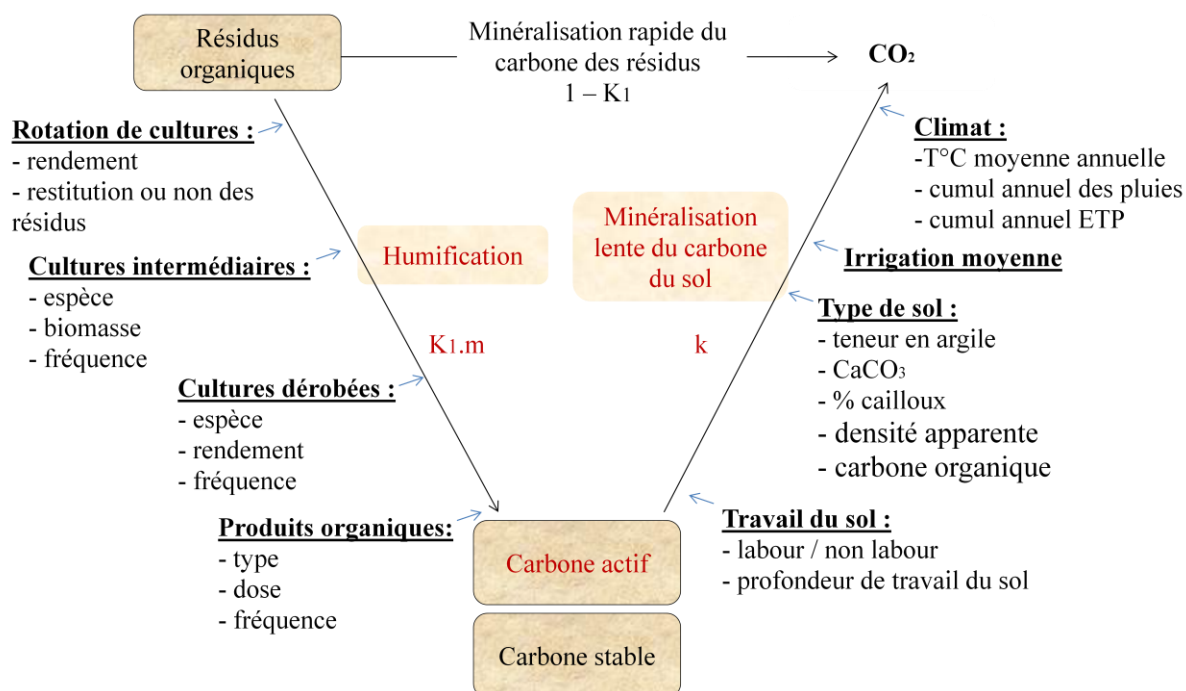
- La part de carbone organique stable qui est exprimée en fonction du carbone organique total du sol, cette fraction représente environ 33% du carbone organique total du sol (Houot *et al.*, 2016).

Les entrées annuelles de carbone organique humifié correspondent à la somme des masses de carbone frais des résidus de culture  $i$  (parties racinaires et/ou aériennes) ou amendement  $i$  ( $m_i$ ) multipliée par le coefficient isohumique de la source de carbone frais  $i$ . Les sorties annuelles de carbone organique humifié sont égales au stock de carbone actif ( $C_a$ ) du sol multiplié par le coefficient de minéralisation ( $k$ ). La variation du stock de carbone organique s'exprime par la formule suivante :  $dC/dt = \sum m_i.K1_i - k.C_a$ . Lorsque cette formule est intégrée dans le temps, l'équation permet de calculer le stock de carbone organique du sol au temps  $t$  ( $C_t$ ).

$$C_t = C_s + (C_0 - C_s).e^{-k.t} + (\sum m_i.K1_i) / k. (1 - e^{-k.t})$$

avec  $C_s$  le stock de carbone stable du sol et  $C_0$  le stock de carbone total du sol au temps  $t=0$  (Duparque *et al.*, 2011<sup>2</sup>).

La figure 4 présente les différents paramètres à entrer dans le logiciel.



**Figure 4 : Schéma du fonctionnement et des différents paramètres du modèle AMG (Duparque *et al.*, 2011<sup>2</sup> modifié)**

### 2.3.2 Les paramètres utilisés pour la réalisation des bilans humiques

Dix-huit scénarios ont été testés afin de voir l'impact de différents paramètres sur le carbone organique, et de les classer du plus favorables au moins favorables.

Une première série de scénarios correspond à des exploitations céréalières (1a à 1g), puis de 2a à 2c des scénarios élevages. Les scénarios de 3a à 3f permettent de comparer les effets d'apport de digestat et d'exportation des pailles sur le carbone organique du sol (méthanisation). Les scénarios 4a et 4b correspondent à une exploitation des sols en agriculture de conservation. Les scénarios sont répertoriés dans le tableau 3.

Les rendements des différentes cultures sont présentés dans le tableau 1, pour le maïs grain et le blé d'hiver ces derniers sont adaptés en fonction du type de sol (tableau 2). Pour la biomasse des cultures intermédiaires, une valeur moyenne supérieure a été utilisée, soit 2 à 3 tonnes de matière sèche par hectare.

**Tableau 1 : Rendements moyens pour les cultures utilisées hors maïs grain et blé d'hiver en Alsace (CAA, 2015<sup>1</sup> et CAA, 2015<sup>2</sup>)**

Culture	Orge hiver	Colza hiver	Betteraves sucrières	Betteraves fourragères	Maïs fourrage	Pois protéagineux	Tournesol	Féverole	Luzerne
Unité	q/ha	q/ha	t/ha	t/ha	t/ha	q/ha	q/ha	q/ha	t MS/ha
Rendement	65	45	92	80	18	45	30	40	12

Afin de comparer les effets du type de sol sur le stockage du carbone dans le sol, différents types de sols sont testés (tableau 2). Les données concernant les types de sols sont issues des 10 guides des sols réalisé par l'ARAA et éditée par la région Alsace entre 1999 et 2008. Ces derniers sont sélectionnés en fonction de leur différence et leur surface estimée sur la région afin d'être représentatif des sols alsaciens. Pour les scénarios avec irrigation, seul le maïs grain et le blé sont irrigués à hauteur de 50 mm/ha/an pour le blé et 120 mm/ha/an pour le maïs grain.

**Tableau 2 : Type de sols utilisés, avec les différents paramètres à entrer dans le logiciel et les rendements en maïs grain et blé d'hiver en Alsace pour ces derniers (CAA, 2015<sup>1</sup>)**  
(Da : densité apparente, Rdt : rendement)

Nom	Guide des sols n° fiche	Argile (g/kg)	CaCO <sub>3</sub> (g/kg)	Cailloux (%)	Da	Rdt Maïs (q/ha)	Rdt Blé (q/ha)	Irrigation
<b>Ried brun caillouteux</b>	Plaine Centre Alsace fiche 16	311	186	37	1,3	127	87	oui
<b>Limons lœssiques</b>	Piémont Bas-Rhinois fiche 1	245	137	0	1,4	120	90	non
<b>Loess moyens</b>	Kochersberg fiche 1	247	0	0	1,2	115	87	non
<b>Ried gris</b>	Ried Nord fiche 5	266	0	20	1,3	117	82	non
<b>Sol lessivé</b>	Sundgau fiche 14	180	0	0	1,4	97	82	non
<b>Sol de basse plaine rhénane</b>	Plaine Sud Alsace fiche 11	187	271	0	1,3	127	87	oui
<b>Alluvions des rivières vosgiennes</b>	Piémont Haut-Rhinois fiche 3	148	0	15	1,3	117	80	oui

**Tableau 3 : Liste des différents scénarios**

(E : résidus exportés, R : résidus resitués, 3M : 3 Maïs, D0 : pas de digestat, D15 : 15 m3/ha de digestat, D50 : 50 m3/ha de digestat, TCS : technique culturale simplifiée, SD : semis direct, CIVE : culture intermédiaire à vocation énergétique, AC : agriculture de conservation).

<p><b>Scénario 1a : Céréaliier blé-2 maïs</b> Blé d'hiver E / Maïs grain R / Maïs grain R Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 3</p>	<p><b>Scénario 1b : Céréaliier TCS</b> Blé d'hiver E / Maïs grain R / Maïs grain R Non labour (travail du sol à 10 cm) Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 3</p>
<p><b>Scénario 1c : Céréaliier SD</b> Blé d'hiver E / Maïs grain R / Maïs grain R Non labour et semis direct Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 3</p>	<p><b>Scénario 1d : Céréaliier moutarde</b> Blé d'hiver E / Maïs grain R / Maïs grain R Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : moutarde 1 an sur 3</p>
<p><b>Scénario 1e : Céréaliier variante 1 orge</b> Orge hiver E / Blé d'hiver E / Maïs grain R Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 3</p>	<p><b>Scénario 1f : Céréaliier variante 2 colza</b> Colza hiver R / Blé d'hiver E / Maïs grain R Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 3</p>
<p><b>Scénario 1g : Céréaliier boues</b> Blé d'hiver E / Maïs grain R / Maïs grain R Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 3 Boue urbaine liquide (60 t/ha) 1 an sur 3</p>	<p><b>Scénario 2a : Eleveur bovin lisier</b> Blé d'hiver E / Betteraves fourragères R / Maïs fourrage E / Maïs fourrage E Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 4 Lisier de bovin (30 m3/ha) 1 an sur 2</p>
<p><b>Scénario 2b : Eleveur bovin fumier</b> Blé d'hiver E / Betteraves fourragères R / Maïs fourrage E / Maïs fourrage E Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 4 Fumier de bovin (40 t/ha) 1 an sur 2</p>	<p><b>Scénario 2c : Eleveur bovin 2<sup>ème</sup> couvert fumier</b> Blé d'hiver E / Maïs fourrage E Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 2 Fumier de bovin (40 t/ha) 1 an sur 2</p>
<p><b>Scénario 3a : Céréaliier 3M canne E D15</b> Maïs grain E / Blé d'hiver E / Maïs grain E / Maïs grain E Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 4 Digestat (15 m3/ha) 3 ans sur 4</p>	<p><b>Scénario 3b : Céréaliier 3M canne E D15 CIVE</b> Maïs grain E / Blé d'hiver E / Maïs grain E / Maïs grain E Labour à 25 cm Cultures dérobées : mélange d'espèces (5 t MS/ha) 1 an sur 4 Digestat (15 m3/ha) 3 ans sur 4</p>
<p><b>Scénario 3c : Céréaliier 3M canne R D0</b> Maïs grain R / Blé d'hiver E / Maïs grain R / Maïs grain R Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 4</p>	<p><b>Scénario 3d : Céréaliier 3M canne R D15</b> Maïs grain R / Blé d'hiver E / Maïs grain R / Maïs grain R Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 4 Digestat (15 m3/ha) 3 ans sur 4</p>
<p><b>Scénario 3e : Betteravier 3M canne E D15</b> Betteraves sucrières R / Maïs grain E / Maïs grain E / Maïs grain E Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 4 Digestat (15 m3/ha) 3 ans sur 4</p>	<p><b>Scénario 3f : Céréaliier 3M canne E D50</b> Maïs grain E / Blé d'hiver E / Maïs grain E / Maïs grain E Labour à 25 cm Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 4 Digestat (50 m3/ha) 3 ans sur 4</p>
<p><b>Scénario 4a : Céréaliier AC</b> Colza d'hiver R / Blé d'hiver E / Orge hiver E / Pois protéagineux R / Tournesol R / Maïs grain R / Féverole R Non labour et semis direct Cultures intermédiaires : espèces multiples tous les ans</p>	<p><b>Scénario 4b : Eleveur AC</b> Colza d'hiver R / Blé d'hiver E / Orge hiver E / Pois protéagineux R / Tournesol R / Luzerne E / Luzerne E Non labour et semis direct Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 2 Fumier de bovin (40 t/ha) 1 an sur 2</p>

Le logiciel Simeos-AMG est paramétré pour l'ensemble des éléments, sauf pour les digestats. Cependant il est possible de rattacher ces derniers à des produits organiques résiduels (PRO) prévus pour des produits non répertoriés dans la liste. Le rattachement se fait par la valeur du coefficient isohumique ( $K_1$ ) qui peut soit être égale à 0,15 (-), 0,3 (=) ou 0,5 (+) et des teneurs en carbone organique dans le produit organique frais (100 (-), 200 (=) ou 300 (+) g/kg de carbone organique). Le  $K_1$  des digestats est estimé à 0,6 par l'INRA de Grignon, et d'après des analyses de digestat les teneurs en carbone sont très faibles de l'ordre de 28 g/kg dans la matière fraîche. Donc  $0,6 \times 28 = 16,8$ , le produit résiduel organique du logiciel à lequel les digestats peuvent être rattaché est le PRO K1-C-, c'est-à-dire avec  $K_1=0,15$  et  $C_{org} = 100$  g/kg dans la matière fraîche, car  $0,15 \times 100 = 15$ , ce qui est relativement proche de 16,8.

Les scénarios sont comparés, en utilisant un type de sol, les lœss moyens à une teneur en carbone organique initiale de 12,5 g/kg (soit 2,2% de matières organiques), car ils sont assez représentatif de la région. De plus pour apprécier l'effet de la teneur initiale en carbone organique, les scénarios sont testés avec des valeurs initiales différentes allant de 7,5 à 25 g/kg (soit de 1,3 à 4,3% de MO). La comparaison de l'effet du type de sol a été réalisée avec le scénario céréalier blé-2 maïs (1a) avec une teneur en carbone organique initiale dans les sols identiques et égale à 15 g/kg.

De plus, un cas réel de méthanisation a été testé. Il correspond à l'exploitation porcine de l'Earl Fritsch à Friesenheim (Bas-Rhin). Les entrées dans le méthaniseur se composent à 60% de lisiers de porcs, à 15-20% de maïs plante entière ou seigle ensilé, le reste provient des déchets agro-industriels. Trois scénarios des pratiques actuelles de l'exploitation sont testés et présentés dans le tableau 4. Le type de sol de l'exploitation, ainsi que ses caractéristiques sont présentés dans le tableau 5.

**Tableau 4 : Liste des différents scénarios de l'EARL Fritsch**  
(E : résidus exportés, R : résidus resitués, rdt : rendement).

<p><b>Scénario 1 Earl Fritsch :</b> Maïs fourrage E (rdt : 20 tMS/ha) Labour à 25 cm Irrigation : 120 mm/ha/an Culture dérobée : seigle (6 tMS/ha) tous les ans Digestat (30 m<sup>3</sup>/ha) tous les ans</p>	<p><b>Scénario 2 Earl Fritsch :</b> Maïs fourrage E (rdt : 20 tMS/ha) / blé d'hiver E tous les 6 ans (rdt : 85 q/ha) Labour à 25 cm Irrigation du maïs fourrage : 120 mm/ha/an Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 6 Digestat (30 m<sup>3</sup>/ha) tous les ans</p>
<p><b>Scénario 3 Earl Fritsch :</b> Maïs fourrage E (rdt : 20 tMS/ha) / blé d'hiver E tous les 6 ans (rdt : 85 q/ha) Labour à 25 cm Sans irrigation Cultures intermédiaires : espèces multiples 1 an sur 6 Digestat (30 m<sup>3</sup>/ha) tous les ans</p>	

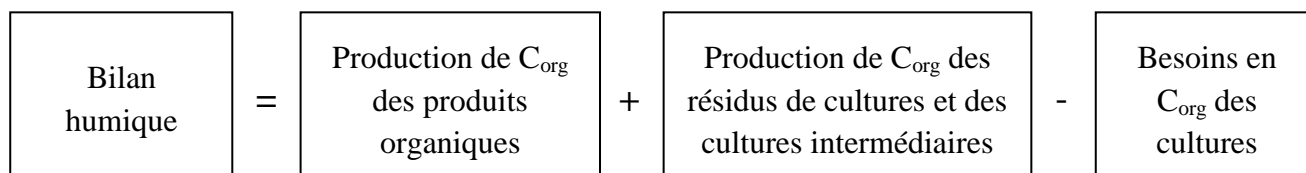
**Tableau 5 : Type de sol de l'exploitation de l'Earl Fritsch**  
(issu du guide des sols de la plaine de centre Alsace fiche 18 complété par des analyses de sols de l'exploitation)

Sable à sable argilo-limoneux, profond, calcaire, sur alluvions sableuses du Rhin					
Guide des sols n° fiche	Argile (g/kg)	CaCO <sub>3</sub> (g/kg)	Cailloux (%)	Da	Corg (g/kg)
Plaine Centre Alsace fiche 18	161	620	0	1,2	18

### 2.3.3 Comparaison avec le système allemand de bilan humique

En Allemagne, le bilan humique est obligatoire et doit se faire tous les ans avec une moyenne mobile sur 3 ans lors de la déclaration PAC (Politique Agricole Commune) en février de chaque année. La moyenne sur 3 ans ne doit pas être inférieure à -75 kg de carbone organique par hectare et par an. Si les valeurs de bilan humique sont trop faibles, les aides peuvent être diminuées. A moins que l'agriculteur ne présente des analyses de sol avec des teneurs en matières organiques suffisantes (supérieures à 1% si la teneur en argile est inférieure à 13% et si la teneur en argile est supérieure à 13% le pourcentage de matières organiques doit-être supérieur à 1,5%). Les sanctions BCAE (Bonnes Conditions Agro-Environnementales) peuvent aller de -10% à -3% des aides PAC aux agriculteurs. Le bilan humique (ou « Humusbilanz ») tient compte de la succession de culture, de la restitution des pailles, des cultures intermédiaires ou dérobées et des apports de produits organiques. Cependant dans ce système, le type de sol, le climat et le travail du sol ne sont pas intégrés dans le bilan humique, les pertes par minéralisation du sol ne sont donc pas prise en compte. Les paramètres utilisés sont issus d'essais aux champs sur le long terme, avec différents apports de fertilisants organiques et minérales, des rotations variées et des sols différents (VDLUFA, 2014).

Le calcul du bilan humique est présenté sur la figure 5.



**Figure 5 : Calcul du bilan humique en Allemagne**  
(VDLUFA, 2014)

Les valeurs obtenues sont exprimées en kilogrammes de carbone organique par hectare et par an ( $\text{kg } C_{\text{org}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ). Cette valeur est ensuite mise en classe allant de très faible à très élevée selon la valeur de bilan humique obtenue (tableau 6). L'ensemble des scénarios sont testés sauf les scénarios Céréaliier TCS (1b) et Céréaliier SD (1c), étant donné que les bilans humiques allemands ne prennent pas en compte le travail du sol, le scénario Céréaliier moutarde (1d) n'est également pas testé. Il n'est pas facile de comparer les valeurs de bilans humiques issues du logiciel Simeos-AMG et du modèle allemand, puisqu'en Allemagne la minéralisation du carbone organique n'entre pas dans le bilan humique. Cependant il est possible de comparer l'ordre des scénarios.

**Tableau 6 : Evaluation du bilan humique en Allemagne**  
(VDLUFA, 2014)

$\text{kg } C_{\text{org}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$	Classe	Evaluation
<-200	A	Très faible
-200 à -76	B	Faible
-75 à 100	C	Equilibré
101 à 300	D	Elevé
> 300	E	Très élevé



### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

---

#### 3.1 Diagnostic de sol

##### 3.1.1 La fiche de description

Afin de simplifier la prise de notes sur le terrain, de ne pas oublier d'éléments à observer et de formaliser l'observation, une grille d'observation du sol a été mise en place. Celle-ci est présentée dans la figure 6.

Différents paramètres sont observés, dans un premier temps des informations générales sur la parcelle tels que le nom du client, l'adresse ainsi que la localisation, le nom, l'occupation et la pente de la parcelle et la topographie. Les paramètres concernant la profondeur du profil cultural, du profil à la tarière, le nombre d'horizons, le nombre et les numéros des photos doivent également être renseignés.

Dans un deuxième temps, les caractéristiques de la surface sont relevées. La battance est décrite selon 4 niveaux (nulle, faible, moyenne et forte). La présence de fissures en surface ainsi que la présence de turricules de vers de terre sont déterminées avec la même échelle (nulle, faible, moyenne et forte). De plus, le pourcentage de cailloux visible en surface est estimé selon une gamme allant de 0-5% à supérieur à 50% grâce à l'estimateur de la proportion d'éléments (annexe 3). Le taux de couverture de la surface est également observé.

Dans un troisième temps, les différents horizons sont délimités et décrits séparément. Pour chaque horizon la texture est décrite selon la méthode du boudin et de l'anneau (annexe 4) et regroupée en différentes classes de texture selon le triangle des textures du GEPPA (Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée) (annexe 5). La couleur est caractérisée d'après une gamme de couleur. Les carbonates sont mesurés grâce à l'effervescence produite par de l'acide chlorhydrique sur le sol. Les classes de carbonates sont de 5 : 0 pour une effervescence nulle, 1 pour un crépitement, 2 pour une réaction faible, 3 pour une réaction forte et 4 pour une réaction très forte. La forme des agrégats est appréciée ainsi que la taille des agrégats allant d'inférieure à 2 mm à supérieure à 100 mm (annexe 6). Le pourcentage de cailloux, leur nature et leur taille sont également décrits. L'humidité du sol est classée avec différentes catégories (sec, frais, humide, très humide, noyé). L'hydromorphie est estimée selon la présence de traces de rouille et de concrétions ferro-manganiques (annexe 3). La compacité est également déterminée à l'aide du test au couteau, en fonction de son enfoncement dans le profil de sol (annexe 7). La présence ainsi que la taille des pores sont estimées, de même que l'abondance de vers de terre sur un cube de 20 cm de sol. L'abondance et la forme des racines (annexe 8) sont notées, ainsi que l'odeur du sol.

A partir de la fiche de description de sol, un fichier texte permet de collecter les informations et de les transmettre au secrétariat pour mise en paragraphes de texte et former le diagnostic de sol à communiquer à l'agriculteur. Ce document comprend les mêmes informations que la fiche de description, illustré de photos et de figures, notamment de la localisation de la parcelle, de l'état de surface, du profil cultural et du profil à la tarière. Il contient également un résumé rapide de l'observation de sol.

## Fiche de description de sols

Date de réalisation du profil de sol : .....

Nom du client : ..... Localisation de la parcelle : .....

Adresse : ..... Nom de la parcelle : .....

Occupation du sol : ..... Pente :  nulle  faible  moyenne  forte

Topographie :  plateau  plaine  fond de vallée  haut de pente  mi-pente  bas de pente

Profondeur du profil : ..... Profondeur tarière (réelle): ..... Taille profil tarière : ..... Prise d'échantillon :  oui  non

Nombre d'horizons : ..... Photos (état de surface, profil, tarière) :  Nombres : ..... Numéro : .....

### Description de la surface

**Battance** :  nulle  faible  moyenne  forte

**Présence de fissures** :  absence  faible  moyenne  forte

**Présence de turricules de vers de terre** :  absence  faible  moyenne  forte

**% Cailloux en surface** :  0-5  5-10  10-20  20-30  30-40  40-50  >50

**Taux de couverture de la surface** :  nul  faible (<30%)  moyen (30-70%)  fort (>70%)

Autres :  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**Horizon** ..... : .....- ..... **cm** **Référence parcelle** : .....

**Texture** :  SS  S  Sa  SI  Sal  Ls  Lsa  LAS  LL  L  La  AS  As  Als  AI  A  AA

**Couleur** :  noir  brun-noir  brun foncé  brun  brun clair  brun-jaune  jaune  brun-rouge  ocre-jaune  
 rouge  brun-gris  gris clair  gris foncé  beige  blanc  gris-bleu  gris verdâtre  verdâtre  bleuâtre

**Carbonates** :  0 (rien)  1 (crépitements)  2 (faible)  3 (fort)  4 (très fort)

**Forme des agrégats** :  particulaire  grenue  grumeleuse  polyédrique sub-anguleuse  polyédrique anguleuse  
 cubique  prismatique  colonnaire  en feuillets  massive  présence de peu de terre fine

**Taille des agrégats** :  <2 mm  2-5 mm  5-20 mm  20-50 mm  50-100 mm  >100 mm

**% Cailloux** :  0-5  5-10  10-20  20-30  30-40  40-50  >50

**Nature des cailloux** :  galets ronds  graviers  schistes  quartz  calcaires  granites  basaltes

**Taille des cailloux** :  2-5 cm  5-10 cm  10-20 cm  >20 cm

**Humidité** :  sec  frais  humide  très humide  noyé

**Hydromorphie** :  absence  traces (<20%)  régulières (20-40%)  forte densité (>40%)  gley

**Compacité** :  très compact  compact  peu compact  meuble  très meuble

**Pores** :  absence  peu  moyen  beaucoup

**Taille des pores** :  absence  petits (0,1-0,3 mm)  moyens (0,4-0,7 mm)  grands (>0,8 mm)

**Abondance de vers de terre (par cube de 20 cm de sol)** :  absence  faible (1-5)  moyenne (6-20)  forte (>20)

**Présence de racines** :  absence  faible (tous les 10 cm)  moyenne (tous les 1-10 cm)  forte (tous les 1 cm)

**Forme des racines** :  absence  normales  rétrécies  coudées  arêtes de poisson  chevelues  fils

**Litière organique** :  absence  traces  paquets  matelas  forte accumulation

**Odeur** :  terre  vaseuse faible  vaseuse forte

### *Figure 6 : Fiche de description de sol*

*(la page 1 correspond aux informations générales et à la description de l'état de surface et la page 2 à la description d'un horizon, celle-ci peut-être déclinée en fonction du nombre d'horizons)*

### 3.1.2 Quelles pratiques culturales mettre en œuvre, en lien avec les observations

Les observations de sols permettent de mettre en lumière des problèmes concernant le fonctionnement du sol, celui-ci peut-être amélioré en adaptant les pratiques culturales. De manière générale, l’allongement des rotations, l’implantation de couverts végétaux, la diminution du travail du sol et l’apport de fumier ou compost permet de préserver l’équilibre du sol. Les pratiques à mettre en œuvre en lien avec des problèmes physiques et biologiques observés dans le sol sont synthétisés dans le tableau 7.

Si au test à l’acide, celui-ci ne réagit pas du tout (même pas de crépitement) il faut envisager de chauler la parcelle. Afin de réaliser cet apport d’amendement basique, des produits à base de calcaires crus de carrière ( $\text{CaCO}_3$ ) en petits cailloux sont préférables à des produits micronisés et poudreux, car ils ont un effet sur le plus long terme et ne seront pas soumis au lessivage des carbonates en hiver. De plus, la chaux vive issue des fours à chaux (traités à  $850^\circ\text{C}$  et riche en oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ )) est aussi à éviter car elle a un effet violent et « stérilisateur » pour le sol, avec une dépression de l’activité biologique durant plusieurs mois. Un chaulage d’entretien ( $200$  à  $400 \text{ kg de CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ) ainsi que de nombreux couverts d’engrais verts permettent de diminuer la battance.

**Tableau 7 : Pratiques culturales à mettre en œuvre en lien avec les observations, sur le court et long terme (Moebius-Clune et al., 2016)**

Problèmes Solutions	Propriétés physiques			Propriétés biologiques		
	Forte dureté du sol	Faible stabilité des agrégats	Faible stockage d’eau disponible	Faible taux de matières organiques	Faible quantité de carbone actif	Faible quantité d’azote minéralisable
Couverts végétaux (engrais verts)	Court et long terme	Court terme	Court et long terme	Court et long terme	Court et long terme	Court et long terme (légumineuses)
Allongement des rotations		Court terme				
Ajout de fumier, compost, mulch		Court et long terme	Court terme	Court terme	Court terme	Court terme
Diminution du labour	Long terme	Long terme	Long terme	Long terme	Long terme	Long terme
Travail du sol ciblé (fissuration mécanique du sol)	Court terme					
Rotation avec de la prairie semée		Long terme	Long terme	Long terme	Long terme	
Eviter de circuler sur sol mouillé et avec des machines lourdes	Long terme					
Utilisée des cultures associées	Court terme					

### 3.1.3 Exemple des deux parcelles (Stoeck et Huettmatt à Sundhouse)

Les deux parcelles se situent à proximité de Sundhouse. La parcelle Huettmatt se trouve sur un sol limono-argileux légèrement caillouteux sur limons du Rhin (annexe 9) et occupé de betteraves sucrières lors du diagnostic de sol. Elle est en non labour depuis 10 ans (annexe 13). L'état de surface du sol est très bon avec la présence importante de turricules de vers de terre et un sol non battant. Le sol est peu carbonaté en surface, mais après 50 cm les carbonates sont très importants. Le sol est meuble en surface (0-10 cm) avec de nombreux pores, des agrégats grumeleux et des vers de terre assez présents. Une zone compacte vers 25-35 cm est observée avec des agrégats polyédriques anguleux et des pores peu présents. Après 50 cm le sol présente des traces d'hydromorphie. Le risque de tassement peut être important, il faut donc éviter de circuler dans la parcelle en condition humide. La fertilisation en azote doit se faire de façon fractionnée pour éviter les pertes par lessivage.

Les résultats du laboratoire (annexe 10) montrent que l'horizon de surface (0-20 cm) est très argileux et un peu acide ( $\text{pH}_{\text{eau}} = 6,1$ ), c'est donc un sol plutôt lourd. La quantité de matière organique est trop importante (12,6%). De plus, le compartiment lié est très important et le rapport carbone sur azote de ce compartiment est élevé. La matière organique est très élevée mais elle n'est pas disponible (« humus fossile ») et évolue lentement. La biomasse microbienne est importante, mais par rapport à la quantité de carbone organique celle-ci est faible, cela montre également que la MO de ce sol est inerte. De plus, la quantité de carbone minéralisable est faible, la biomasse microbienne est importante mais elle n'est pas active. Cela peut s'expliquer par le pH qui est assez faible et la MO non disponible. La minéralisation de l'azote est meilleure mais elle devrait être plus importante. Ce sol présente donc une grande part de matière organique inerte et manque de matières organiques fraîches. Il faudrait donc implanter des couverts végétaux pour apporter la matière organique fraîche.

La parcelle Stoeck se situe sur un sol limono-argileux sur alluvions sablo-limoneuses du Rhin. Elle se situe en plaine proche du Rhin (annexe 11) et lors du diagnostic de sol était occupée de féveroles. Elle est en non labour depuis 3 ans (annexe 13). Le sol est fortement carbonaté de la surface jusqu'à 80 cm puis très fortement au-delà. Il n'y a pas de problème majeur pour le sol concernant les paramètres de tassement (sol peu compact), avec des pores, des racines et des vers de terre moyennement présents pour l'horizon de surface (0-20 cm). Le deuxième horizon (20-35 cm) présente peu de racines et de pores. Le problème majeur de la parcelle est la présence d'un gley à partir de 80 cm avec un sol qui sent légèrement la vase. Cette parcelle est plus sensible aux tassements car il y a plus de limons en surface, il faut donc bien attendre que la parcelle soit



Figure 7 : Test du crayon  
(Shepherd, 2000)

ressuyée avant de circuler dessus. Cela peut notamment se faire avec le test du crayon (figure 7). Les préconisations concernant les apports en azote sont similaires à la première parcelle.

Un système avec enherbement permanent avec des graminées tolérantes à l'excès d'eau (fétuque roseau ou fétuque élevée) et du strip-till pour implanter une culture d'été (maïs, soja, betterave) peut s'envisager mais les techniques de conduite de tel couverts hivernaux et de mode d'implantation de la culture d'été sont exigeantes en matériels et en réglages des semoirs pour une bonne levée homogène de la culture principale d'été.

Seule la texture, la biomasse microbienne et la minéralisation du carbone et de l'azote sont disponibles pour cette parcelle, les autres paramètres sont en cours de réalisation par le laboratoire (annexe 12). La biomasse microbienne est très importante (778 mg/kg), elle atteint pratiquement le maximum pour des sols de grandes cultures. Et l'activité biologique de cette biomasse microbienne est très bonne, en effet la minéralisation du carbone est deux fois plus importante que pour la parcelle Huettmatt. La minéralisation de l'azote est également très forte, en effet elle fournit tous les ans 183 unités d'azote. Ce sol fonctionne bien biologiquement, et si des apports organiques sont effectués, il y aura une bonne rentabilité de ces derniers. Cependant, il faudra également prendre en compte les autres paramètres.

## 3.2 Bilan humique

### 3.2.1 Effet de la conduite culturale

Afin de comparer les effets des différents paramètres de conduite culturale, le type de sol choisit correspond au Loess moyens du Kochersberg avec une teneur initiale en carbone organique de 12,5 g/kg. Les tendances sont similaires en fonction du type de sol, seul les valeurs changent.

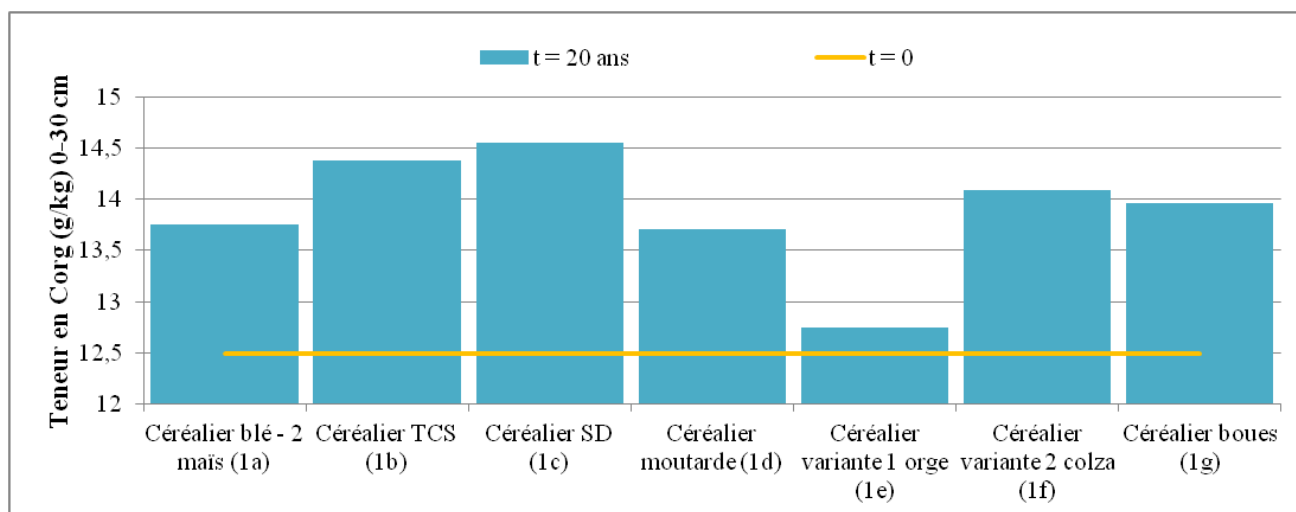


Figure 8 : Comparaison des scénarios Céréaliier

#### ▪ Travail du sol

Lorsque le travail du sol est réduit la teneur en carbone organique après 20 ans est supérieure pour la même rotation (figure 8). De plus en semis direct cette tendance est encore accentuée, en effet il y a une augmentation de 16% en 20 ans de la teneur en carbone organique contre 10% avec travail du sol. Ce dernier augmente la minéralisation, ce qui diminue la teneur de carbone organique dans le sol.

#### ▪ Culture intermédiaire

Le remplacement d'une culture intermédiaire composée d'un mélange d'espèce par une culture de moutarde ne change pas significativement le bilan humique (figure 8).

#### ▪ Rotation culturale

Le remplacement d'un maïs grain par une orge d'hiver avec exportation des pailles d'orge impacte fortement le bilan humique (figure 8). Au contraire si le maïs est remplacé par un colza avec restitution des pailles (1f), l'augmentation de la teneur en carbone organique est plus importante que pour le scénario céréaliier blé-2 maïs (1a). Les pailles de colza apportent donc plus de carbone au sol que les pailles de maïs.

#### ▪ Ajout de boues de station d'épuration

Lorsque des boues de station d'épuration sont ajoutées 1 an sur 3, la teneur en carbone organique n'est que peu augmentée, effectivement avec ajout de boue l'augmentation de la teneur en  $C_{org}$  à 20 ans est de 12% contre 10% sans ajout de boues (figure 8). Ces dernières apportent relativement peu de carbone au sol, elles sont plutôt riches en azote (rapport C/N de l'ordre de 5 (CRALR, 2011)), en phosphore et en potassium.

- Comparaison des scénarios d'élevage

L'apport de lisier ne compense pas les pertes de carbone (figure 9). Après 20 ans la teneur en carbone organique dans le sol diminue de près de 2%. Les lisiers sont pauvres en matière organique avec des rapports C/N de l'ordre de 11 et des valeurs de carbone organique de 5% dans la matière sèche (CRALR, 2011). Au contraire l'apport de fumier permet de combler les pertes en carbone (figure 9) et d'augmenter la teneur en carbone organique dans le sol (plus 18% en 20 ans). Le fumier présente des teneurs similaires en carbone organique que le lisier, mais son coefficient isohumique est beaucoup plus élevé, il forme donc plus d'humus. L'implantation d'un deuxième couvert améliore légèrement le bilan humique (figure 9).

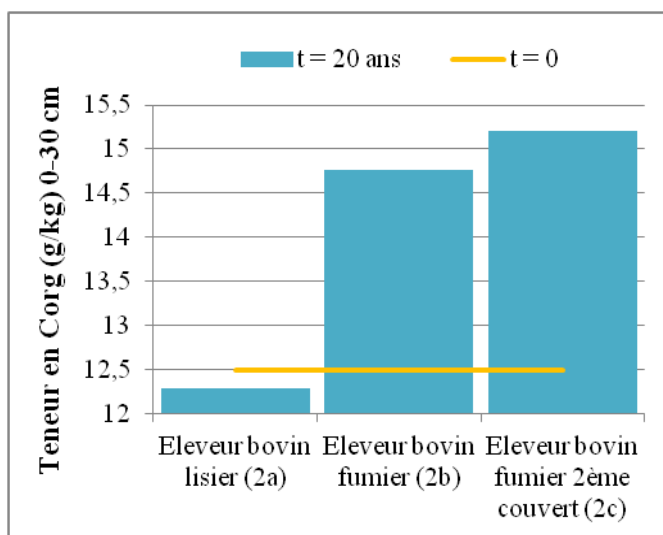


Figure 9 : Comparaison des scénarios d'élevage

- Comparaison des scénarios de méthanisation

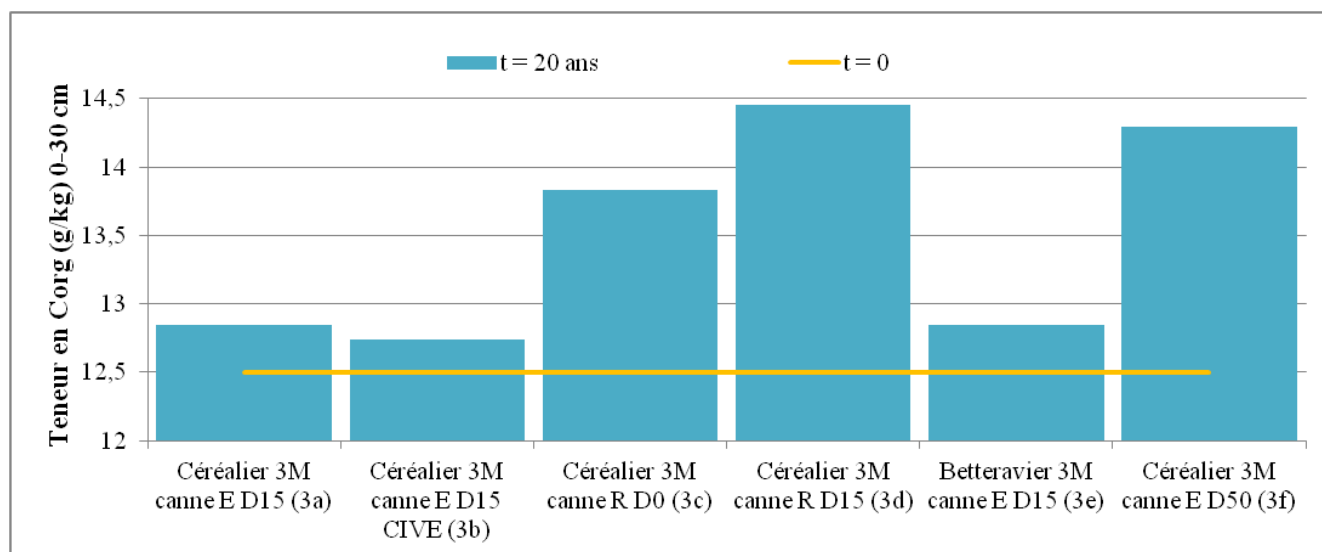
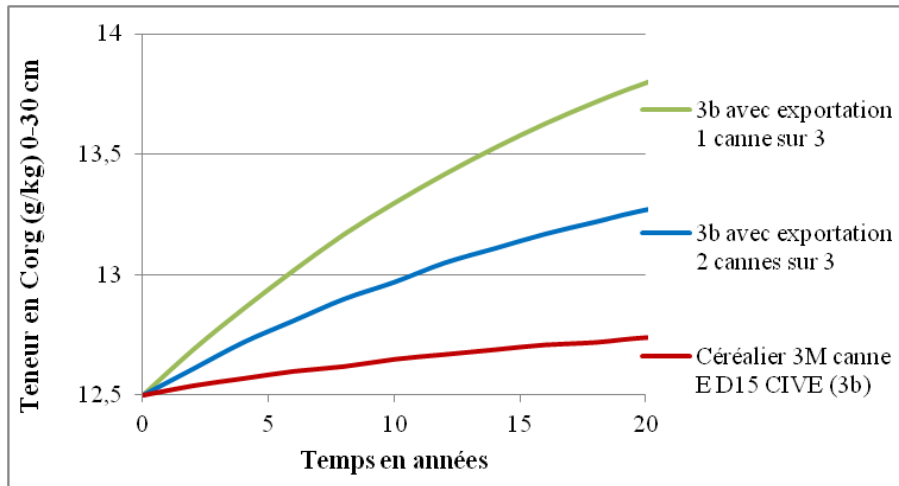


Figure 10 : Comparaison des scénarios de méthanisation

Le remplacement d'un blé (3a) par une betterave (3e) ne change pas le résultat du bilan humique (figure 10). La mise en place d'une culture intermédiaire à vocation énergétique (3b) à la place d'une culture intermédiaire (3a), ne fait diminuer que de très peu la teneur en carbone organique du sol (figure 10). Malgré cela, ces trois scénarios (3a, 3b, 3e) présentent des augmentations très faibles du bilan humique, en effet la teneur en  $C_{org}$  augmente de 2% en 20 ans. Le scénario 3c avec restitution des pailles de maïs et sans apport de digestat montre que les restitutions de pailles permettent de rendre le scénario plus favorable (figure 10). L'apport de digestat dans un système avec restitution des pailles (3d) augmente fortement le bilan humique (plus 15% en 20 ans). L'apport d'une plus grande quantité de digestat permettrait de compenser les pertes par exportation (figure 10), mais cela entraîne un apport trop important d'azote, surtout dans les zones vulnérables de la Directive Nitrates comme la plaine d'Alsace.





**Figure 11 : Evolution de la teneur en carbone organique en fonction du temps avec 2 variantes du scénario 3b**

Une solution serait d'exporter que 1 paille de maïs sur 3 afin de rendre le bilan humique plus favorable (figure 11). La teneur en carbone organique dans le sol serait de 13,8 g/kg, soit une augmentation de 10% en 20 ans. Avec l'exportation de 2 pailles de maïs sur 3, la teneur augmente de 6% en 20 ans.

- Agriculture de conservation

Le scénario le plus favorable correspond au scénario éleveur agriculture de conservation (4b), en effet le non travail du sol, ainsi que des rotations plus longues avec des restitutions des résidus de cultures fréquentes, des cultures intermédiaires 1 an sur 2, ainsi que l'apport de fumier permet une augmentation de la teneur en carbone organique de 36% en 20 ans (figure 12). Le scénario céréalière agriculture de conservation (4a) fait parti des scénarios les plus favorables, en effet il arrive en quatrième position (figure 12).

- Comparaison de tous les scénarios

La figure 12 permet de classer les scénarios, du plus au moins favorable. Les scénarios éleveurs avec apport de fumier apparaissent comme les plus favorables. La réduction du travail du sol permet également d'augmenter le bilan humique. Au contraire les modes de culture avec des exportations importantes de pailles apparaissent comme moins favorables (1e, 3a, 3b, 3e), ainsi que le scénario avec apport de lisier (2a).

### 3.2.2 Effet de la teneur initiale en carbone organique

Plus la teneur en carbone organique de départ est élevée, plus il est difficile de maintenir la réserve en carbone organique dans le sol (tableau 8). Les sols à plus faible teneur en carbone organique initiale, présentent des scénarios plus favorables, en effet quand les teneurs sont plus faibles la minéralisation du carbone est diminuée. Cependant pour des sols avec des teneurs en  $C_{org}$  de 10 g/kg (soit 1,7% de MO), il faudra du temps pour atteindre le niveau optimal de matière organique de 2,5% dans des limons. Afin de voir si le scénario est réellement favorable, il faut donc bien considérer la teneur de départ en carbone dans le sol, avec une analyse de sol récente. De plus l'ordre des scénarios est quelque peu modifié par les valeurs initiales en  $C_{org}$ , même si les tendances sont similaires. En effet les scénarios 1b, 1c et 4a sont plus favorables quand le taux de matière organique est important dans le sol, en effet ces trois scénarios sont en non labour, la minéralisation de la matière organique est moins importante. Au contraire les scénarios 3f, 3d, 2b et 2c sont moins favorables quand la teneur initiale en carbone organique est plus importante.



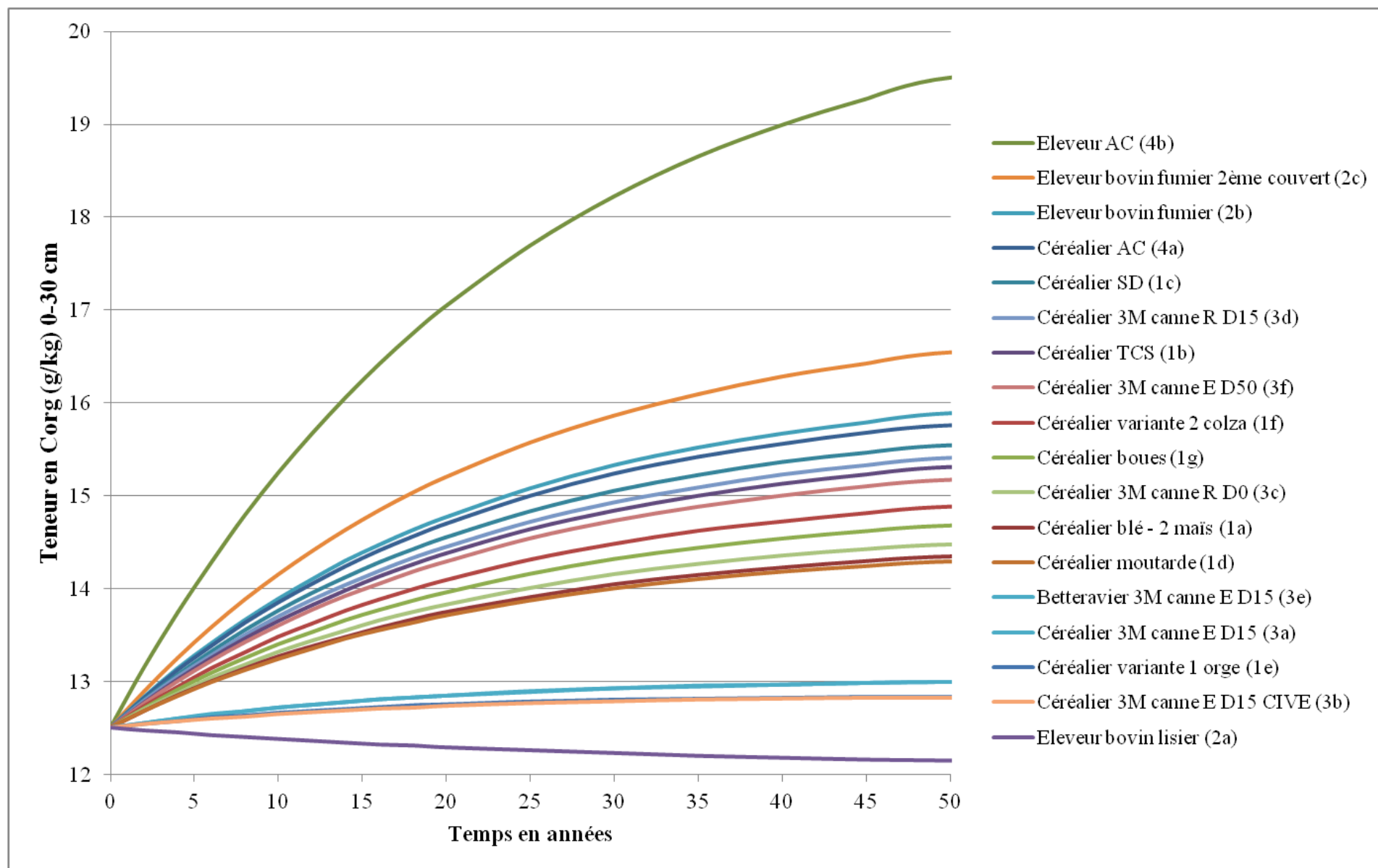


Figure 12 : Comparaison de l'ensemble des scénarios sur Loess moyens du Kochersberg avec une teneur initiale en carbone organique de 12,5 g/kg (les scénarios sont classés en fonction de leur ordre d'apparition)

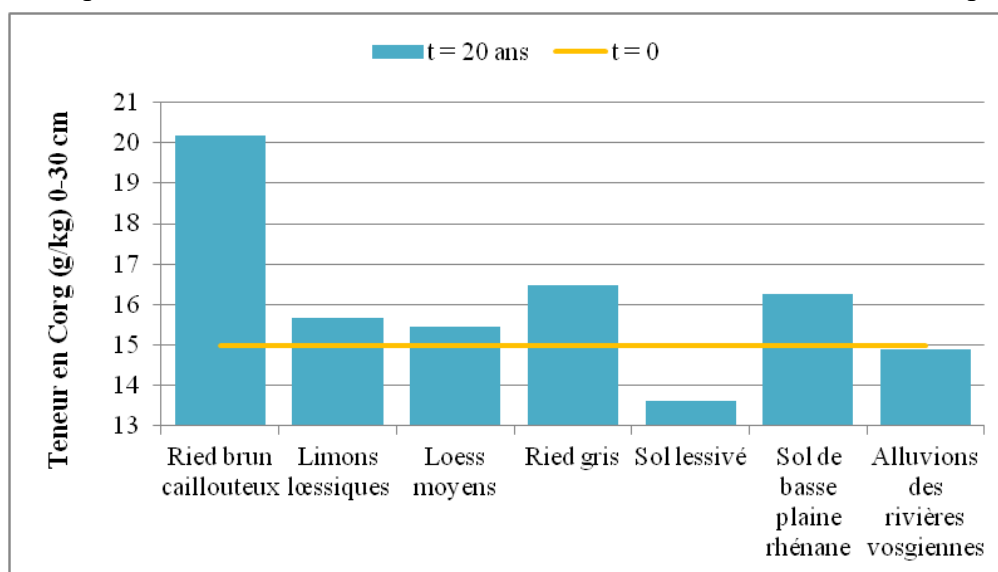
**Tableau 8 : Effet de la teneur en carbone organique sur les scénarios**

(Variation de la teneur en carbone organique à 20 ans en % pour les différents scénarios avec des valeurs en  $C_{org}$  initiales différentes, les couleurs correspondent à la favorabilité des scénarios. Les valeurs pour définir les couleurs sont choisies par rapport au programme « 4 pour 1000 » lancé par le ministre de l'agriculture en 2015, une augmentation de 4 pour 1000 de la teneur en carbone organique correspond à 8% en 20 ans)

	Variation de la teneur en Corg à t = 20 ans en %	Teneur initiale en Corg (g/kg)								
		7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	
S c é n a r i o s	Eleveur AC (4b)	74	51	36	26	19	13	8	4	Très favorable supérieur à 16%
	Eleveur bovin fumier 2ème couvert (2c)	54	34	22	13	6	1	-4	-8	
	Céréalié AC (4a)	43	28	18	11	5	1	-2	-5	Favorable 8 à 16%
	Eleveur bovin fumier (2b)	48	30	18	10	4	-1	-6	-9	
	Céréalié SD (1c)	41	26	16	10	4	0	-3	-6	Peu favorable 0 à 8 %
	Céréalié TCS (1b)	40	25	15	8	3	-1	-5	-8	
	Céréalié 3M canne R D15 (3d)	44	27	16	8	2	-3	-7	-11	Peu défavorable 0 à -8%
	Céréalié 3M canne E D50 (3f)	42	25	14	7	1	-4	-8	-11	
	Céréalié variante 2 colza (1f)	39	23	13	5	0	-5	-9	-12	Défavorable -8 à -16%
	Céréalié boues (1g)	37	22	12	5	-1	-6	-9	-12	
	Céréalié 3M canne R D0 (3c)	36	20	11	4	-2	-6	-10	-13	Très défavorable inférieur à -16%
	Céréalié blé - 2 maïs (1a)	34	20	10	3	-2	-7	-10	-13	
	Céréalié moutarde (1d)	34	19	10	3	-2	-7	-10	-13	
	Céréalié 3M canne E D15 (3a)	23	11	3	-3	-7	-11	-14	-17	
	Betteravier 3M canne E D15 (3e)	23	11	3	-3	-7	-11	-14	-17	
	Céréalié variante 1 orge (1e)	21	10	2	-4	-8	-12	-15	-17	
Céréalié 3M canne E D15 CIVE (3b)	21	9	2	-4	-8	-12	-15	-17		
Eleveur bovin lisier (2a)	15	5	-2	-7	-11	-14	-17	-19		

### 3.2.3 Impact du type de sol

Le type de sol influe beaucoup la dynamique des matières organiques dans le sol. La figure 13 présente les valeurs de carbone organique à 20 ans dans le sol pour différents types de sol. La présence de cailloux dans un sol fait diminuer la quantité de terre fine, donc pour une même teneur en carbone dans le sol, il y aura moins de stock de carbone (stock = teneur x masse de terre fine). En effet, la figure 14 montre que le stock en carbone des Ried brun caillouteux est faible mais l'évolution est importante car comme le stock est faible au début, la minéralisation est plus faible.



**Figure 13 : Impact du type de sol**

(modification du type de sol pour le scénario céréalié blé-2 maïs (1a), avec une teneur initiale en carbone organique de 15 g/kg)

Les sols avec peu d'argile et absence de carbonate, tels que les sols lessivés, présentent une diminution du stock de carbone organique, en effet les argiles et les carbonates participent à la diminution de la minéralisation de la matière organique fraîche en protégeant cette dernière, ce qui entraîne une augmentation de l'humification (figure 12 et 13). Au contraire un sol avec beaucoup d'argile et de carbonates (limons lœssiques) montre une tendance positive.

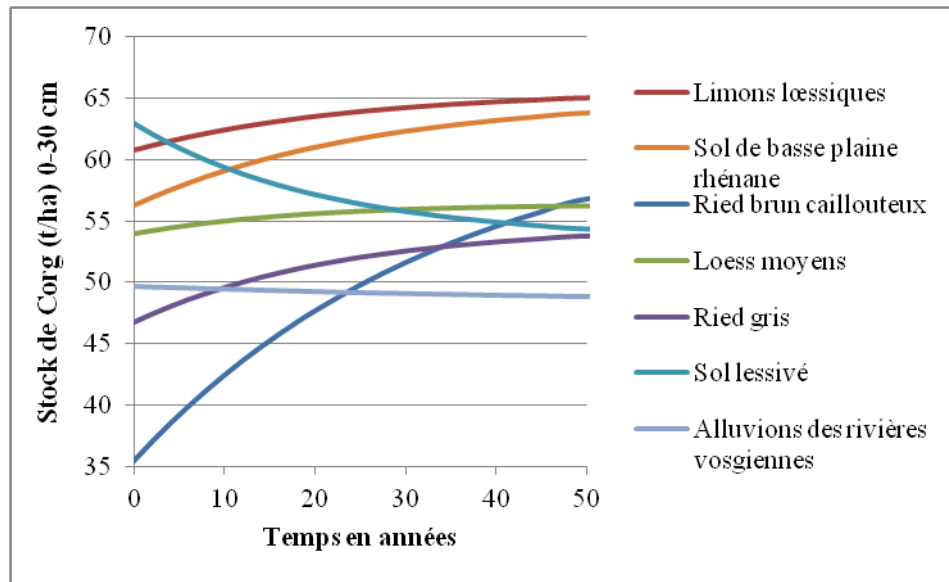


Figure 14 : Evolution du stock de  $C_{org}$  sur 0-30 cm pour les différents types de sol

### 3.2.4 Exemple de l'Earl Fritsch à Frisenheim

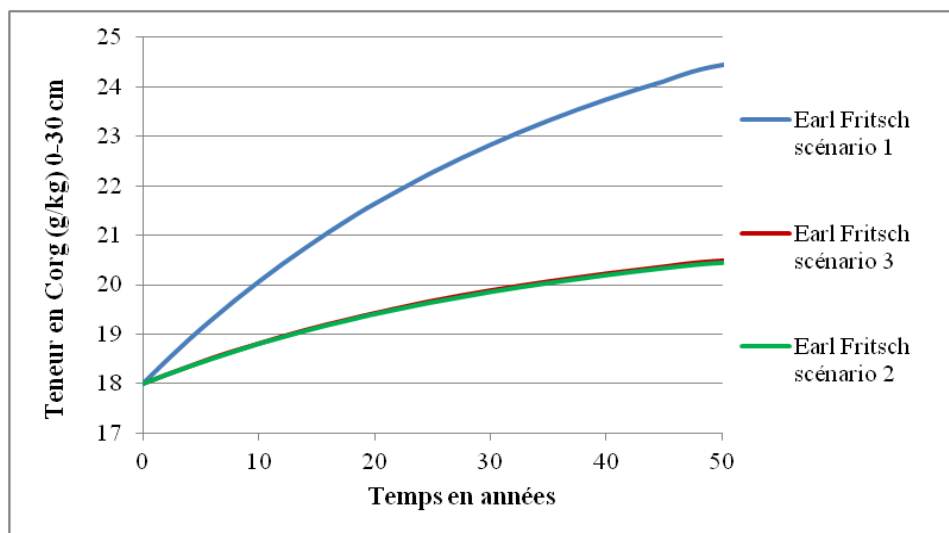
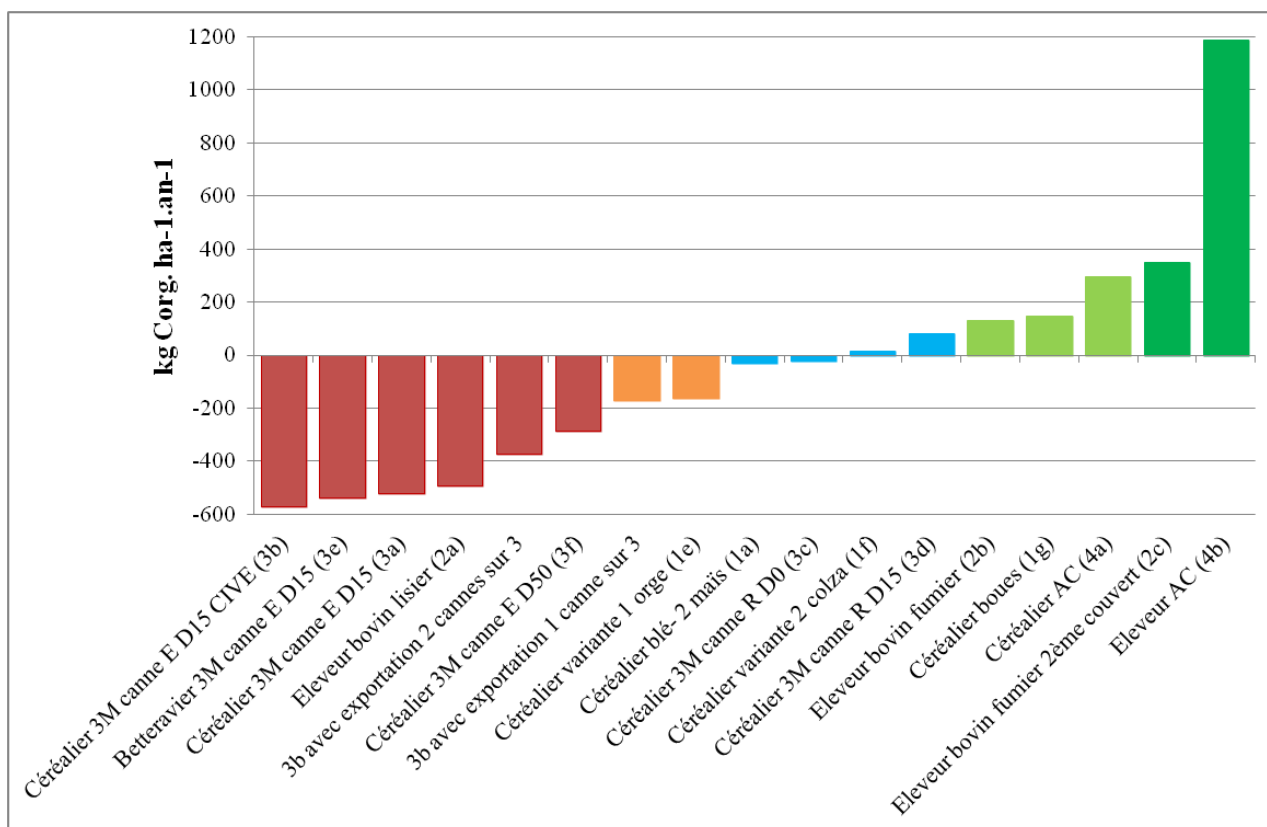


Figure 15 : Evolution de la teneur en carbone organique sur 0-30 cm en fonction du temps, pour les 3 scénarios de l'Earl Fritsch

Les résultats des trois scénarios de l'Earl Fritsch sont présentés sur la figure 15. Les trois scénarios sont favorables. Les scénarios 2 et 3 voient leur teneur en carbone organique passer de 18 g/kg à 20,5 g/kg en 50 ans et une augmentation de 8% en 20 ans. Cependant les différences entre ces deux scénarios sont faibles, l'irrigation (scénario 2) fait très légèrement diminuer le bilan humique (augmentation de la minéralisation). Le scénario 1 est quant à lui très favorable, en 20 ans il y a une augmentation de 20% de la teneur en carbone organique.

### 3.2.5 Résultats des bilans humiques avec le système allemand



**Figure 16 : Résultats des bilans humiques pour l'Allemagne (kg de carbone organique par hectare et par an pour les différents scénarios)**

(les couleurs représentent les classes d'évolution d'après le tableau 6, en rouge : très faible (A), en orange : faible (B), en bleu : équilibré (C), en vert clair : élevé (D) et en vert foncé : très élevé (E))

Le scénario avec apport de boue (Céréaliier Boues : 1g) est plus favorable en Allemagne que le modèle Simeos-AMG (figure 16), cela peut s'expliquer par une différence de paramétrage de la quantité d'humus produite. Excepté ce dernier, l'ordre des scénarios du modèle allemand est similaire au modèle Simeos-AMG pour pratiquement l'ensemble des scénarios lorsque les scénarios méthanisation sont enlevés (3a à 3f) (figure 16). La grande différence entre les deux modèles se fait donc au niveau des scénarios avec apports de digestats. En effet, avec le modèle allemand, les scénarios avec apport de digestats sont plus défavorables qu'avec le logiciel Simeos-AMG. Les coefficients isohumiques utilisés en Allemagne sont de 0,28 pour les digestats avec 30 g/kg de carbone organique dans la matière fraîche. La production d'humus par les digestats dans le modèle allemand est donc deux fois moins importante que dans le modèle Simeos-AMG. Une meilleure connaissance des digestats serait donc nécessaire, ainsi qu'un paramétrage plus fin dans le logiciel Simeos-AMG.

## CONCLUSION

---

Ce travail a permis de réaliser une fiche de codification des observations de sol en agriculture afin de formaliser et simplifier l'observation. De plus, des pratiques améliorantes, en fonction des problèmes qui peuvent être diagnostiqués, ont été décrites.

La réalisation de bilans humiques avec différents scénarios a permis de classer 18 scénarios, du plus au moins favorable. Les plus favorables correspondent aux scénarios avec apport de fumier, la réduction du travail du sol améliore également le bilan humique. Cependant les scénarios avec des exportations importantes des résidus de cultures et apport de lisier sont peu favorables en termes d'équilibre humique. Il a également été montré que la valeur initiale en carbone organique dans le sol est très importante, si celle-ci est faible les scénarios sont plus facilement favorables et inversement quand la teneur initiale en carbone organique est forte. Le type de sol influence également le bilan humique, si la teneur en argile et en calcium est importante dans le sol, celui-ci stockera plus de matière organique. Et si les cailloux sont importants, la quantité de terre fine diminue, le stock de carbone initial est donc plus faible pour une même teneur en carbone organique initiale, mais la progression dans le temps va être plus importante. La comparaison avec le système allemand de bilan humique montre que le classement des scénarios est assez similaire sauf pour les scénarios avec apports de digestats. Ces derniers sont plus défavorables en Allemagne, à cause d'un coefficient isohumique moins élevé.

Néanmoins d'autres possibilités pour l'observation du sol, et en particulier de son activité biologique, seraient envisageables. Il existe par exemple, le Tea Bag Index (enfouissement de deux variétés de thé, un qui correspond à la matière organique facilement dégradable et l'autre à la matière organique stable), l'enfouissement de pailles normées dans le sol, ou encore une méthode plus « amusante » tel que le programme #SoilYourUndies qui consiste à enterrer des sous-vêtements standard et à comparer l'état de dégradation après deux mois dans le sol.

Concernant les bilans humiques, une meilleure connaissance des paramètres de coefficients isohumiques et de quantités de carbone organique des digestats permettrait d'adapter ces deux valeurs en fonction du type d'intrants dans les digestats. Et cela permettrait également de mieux comprendre les différences entre le modèle allemand « Humusbilanz » et Simeos-AMG.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- AFES (Association Française pour l'Etude du Sol), 2008. Référentiel pédologique. Éditions Quæ. 435p.
- Barbot C., 2003. Grille d'évaluation des agrégats au champ (Test à la bêche selon Görbing). 1p.
- Barbot C., 2012. Test à la bêche et le profil rapide sur culture ou couvert en place. Observer la structure de son sol. 4p.
- CAA, 2012. Les grands enjeux de l'agriculture régionale. 42p.
- CAA, 2014. La Chambre d'Agriculture de Région Alsace. 2p.
- CAA, 2015<sup>1</sup>. Fertilisation des grandes cultures. Guide technique. 32p.
- CAA, 2015<sup>2</sup>. Terres d'Alsace, Economie et conjoncture agricole 2015. 40p.
- CAA, 2016. Service environnement et innovation. 3p.
- Celesta-lab, 2003. Biologie du sol. 7p.
- CRALR (Chambre Régionale d'Agriculture du Languedoc-Roussillon), 2011. Les produits organiques utilisables en agriculture en Languedoc-Roussillon. Guide technique : tome 1 et 2. 326p.
- Delaunois A., 2006. Guide simplifié pour la description des sols. Chambre d'Agriculture Tarn. 37p.
- DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) Alsace, Bonneaud F., 2015. Découvrir les paysages alsaciens. Atlas des paysages d'Alsace. 96p.
- Duparque A., Tomis V., Desheulles F., 2011<sup>1</sup>. Gérer l'état organique des sols dans les exploitations agricoles. Agro-Transfert Ressources et Territoires. 58p.
- Duparque A., Tomis V., Mary B., Boizard H., Damay N., 2011<sup>2</sup>. Le bilan humique AMG pour une démarche de conseil fondée sur des cas-types régionaux. 16p.
- Houot S., Jimenez J., Patureau D., 2016. Quelle place pour la méthanisation dans la gestion de la matière organique à l'échelle de l'agrosystème ?. JRI biogaz méthanisation. 23p.
- Huber G., Schaub C., 2013. La fertilité des sols : l'importance de la matière organique. Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin. 42p.
- Massenot D., 2000. Les bases de la méthode Hérody. BRDA Editions. 36p.
- Moebius-Clune B.N., Moebius-Clune D.J., Gugino B.K., Idowu O.J., Schindelbeck R.R, Ristow A.J., Van Es H.M., Thies J.E., Shayler H.A., McBride M.B., Wolfe D.W., Abawi G.S., 2016. Comprehensive Assessment of Soil Health. Cornell University. 126p.
- PerfCom-ANR, 2012. Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse, en agriculture «bas intrants» dans le Sud de la France. 28p.
- Salducci X., 2015. Les Matières Organiques et la fertilité Biologique des Sols. Celesta-lab. 116p.
- Sauter J., 2012. Les sols plus qu'un outil de production. ARAA. 94p.
- Shepherd T.G., 2000. Visual Soil Assessment. horizons.mw & Landcare Research, Palmerston North. 90p.
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 2014. Humusbilanzierung : Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. 20p.

## WEBOGRAPHIE

---

Actu-environnement. Dictionnaire de l'environnement [en ligne]. [http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/digestat.php4](http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/digestat.php4) (consulté le 27/05/2016)

Aquaportail. Mulch [en ligne]. <http://www.aquaportail.com/definition-5500-mulch.html> (consulté le 30/05/2016)

ARAA (Association pour la Relance Agronomique en Alsace). Profils cultureux [en ligne]. <http://www.araa-agronomie.org/competences/profils-cultureux.html> (consulté le 24/05/2016)

Ecole Normale Supérieure (ENS). Formation et structure du massif [en ligne]. <http://www.geographie.ens.fr/Massif-vosgien-et-fosse-rhenan.html> (consulté le 03/05/2016)

FAO (Food and Agriculture Organization). Agriculture de conservation [en ligne]. <http://www.fao.org/ag/ca/fr/> (consulté le 20/05/2016)

FUGEA (Fédération Unie de Groupements d'Éleveurs et d'Agriculteurs). Le strip-till [en ligne]. <http://www.fugea.be/j/articles-lp/conservation-des-sols/371-le-strip-till-travail-du-sol-en-bandes-une-methode-culturelle-hybride-entre-le-travail-du-sol-classique-et-le-semis-direct-sous-couvert-vegetal> (consulté le 02/06/2016)

Le Grand Ried [en ligne] <http://grandried.fr/> (consulté le 23/05/2016)

Profil environnemental de l'Alsace, 2011. Le sol, un support de production agricole et sylvicole [en ligne] [http://www.per.alsace.developpement-durable.gouv.fr/accueil/thematiques\\_environnementales/sols\\_et\\_sous\\_sols/le\\_sol\\_un\\_support\\_de\\_production\\_agricole](http://www.per.alsace.developpement-durable.gouv.fr/accueil/thematiques_environnementales/sols_et_sous_sols/le_sol_un_support_de_production_agricole) (consulté le 20/05/2016)

SIMEOS-AMG. Agro-Transfert Ressources et Territoires & INRA [en ligne] <http://www.simeos-amg.org/> (consulté le 23/05/2016)

UVED (Université Virtuelle Environnement et Développement durable). La battance [en ligne] <http://www.supagro.fr/ress-pegpites/processusecologiques/co/Battance.html> (consulté le 23/05/2016)

Vins, Vignes, Vignerons. Histoire géologique de la région Vosges – Alsace [en ligne]. <http://www.vinsvignesvignerons.com/Geologie/Geologie/L-Alsace> (consulté le 03/05/2016)





## SOMMAIRE DES ANNEXES

---

<b>ANNEXE 1</b> : Première page de la fiche de renseignements pour les analyses de sol du laboratoire Celesta-lab.....	31
<b>ANNEXE 2</b> : Deuxième page de la fiche de renseignements pour les analyses de sol du laboratoire Celesta-lab.....	32
<b>ANNEXE 3</b> : Estimation de la proportion de cailloux, du taux de couverture de la surface et des traces d'hydromorphie.....	33
<b>ANNEXE 4</b> : test du boudin et de l'anneau .....	33
<b>ANNEXE 5</b> : Triangle des textures .....	34
<b>ANNEXE 6</b> : Forme des agrégats.....	35
<b>ANNEXE 7</b> : test du couteau pour estimer la compacité du sol.....	35
<b>ANNEXE 8</b> : Formes des racines .....	36
<b>ANNEXE 9</b> : Compte rendu du diagnostic de sol à Sundhouse sur la parcelle Huettmatt .....	37
<b>ANNEXE 10</b> : Résultats du laboratoire pour la parcelle Huettmatt.....	40
<b>ANNEXE 11</b> : Compte rendu du diagnostic de sol à Sundhouse sur la parcelle Stoeck .....	43
<b>ANNEXE 12</b> : Résultats du laboratoire pour la parcelle Stoeck .....	46
<b>ANNEXE 13</b> : Pratiques culturales des parcelles Stoeck et Huettmatt à Sundhouse.....	49

**ANNEXE 1 : Première page de la fiche de renseignements pour les analyses de sol du laboratoire Celesta-lab**



**FICHE DE RENSEIGNEMENTS ANALYSE DE SOL**  
à retourner avec l'échantillon prélevé

Champs réservés au

Numéro de devis

date d'arrivée de l'échantillon

Num LABO

**Demandeur (exploitant)**

Demandeur

TVA intracom

Adresse

Code postal

Commune

Fixe

Portable

Email

**Intermédiaire**

Organisme

TVA intracom

Adresse

Code postal

Commune

Fixe

Portable

Email

Envoi des résultats  Demandeur  Intermédiaire

Facturer à  Demandeur  Intermédiaire

**Informations sur le prélèvement**

Nom de la parcelle (ou de l'échantillon)

Date du prélèvement (JJ/MM/AAAA)

Commune de la parcelle :

Code postal de la parcelle

Profondeur de prélèvement de  cm à  cm  
*(0-20cm recommandé pour analyses biologiques)*

Coordonnées GPS X  Y   
*(WGS ou Lambert, rayer mention inutile)*

**Informations sur la parcelle**

Surface de la parcelle en ha  ha      Altitude de la parcelle  m

Agriculture biologique  oui  non

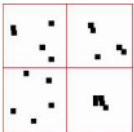
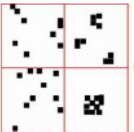
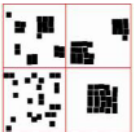
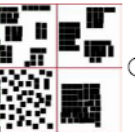
Si oui, nombre d'années en AB  ans

Vitesse de réessuyage?  lente  moyenne  rapide

la pente de la parcelle est-elle?  faible  moyenne  forte

Quelle est la profondeur du sol  très superficiel (< 20 cm)  superficiel (20-40 cm)  moyen (40-60 cm)  profond (>60cm)

Quelle est le pourcentage de cailloux (évaluer sur la profondeur de prélèvement) ?

aucun   faible   moyen   fort   très fort

**ANNEXE 2 : Deuxième page de la fiche de renseignements pour les analyses de sol du laboratoire Celesta-lab**

**Informations sur la Culture**

	actuelle	+1	+2
Cultures /couvert			
Rendement			

*indiquer NR si non récolté      rendement visé      rendement visé*

Résidus restitués  oui  non     oui  non     oui  non

Quelle est la pression des maladies ?  faible     moyenne     forte

Quelle est la pression des adventices ?  faible     moyenne     forte

Adventices les plus problématiques ?

**Etes vous satisfait par :**

La qualité de la production <input type="radio"/> pas du tout satisfait <input type="radio"/> pas vraiment satisfait <input type="radio"/> plutôt satisfait <input type="radio"/> tout à fait satisfait	Le rendement ? <input type="radio"/> pas du tout satisfait <input type="radio"/> pas vraiment satisfait <input type="radio"/> plutôt satisfait <input type="radio"/> tout à fait satisfait
---	--

**Gestion du sol dans l'année**

Décompactage / sous-solage  oui     non

Déchaumage  oui     non

Labour  oui     non

Binage  oui     non

Hersage / griffage  oui     non

**Fertilisation Organique**

Année	Type d'amendement organique	Fréquence <i>(tous les X)</i>	Quantité à l'hectare	Formule de l'amendement				
				MO (%)	MS (%)	N	P	K

Amendement organique envisagé:

--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Fertilisation minérale**

Date du dernier apport (JJ/MM/AAAA)	Quantité (kg/ha)	Formule				Chaulage <input type="text"/> kg/ha
		N	P	K	Mg	

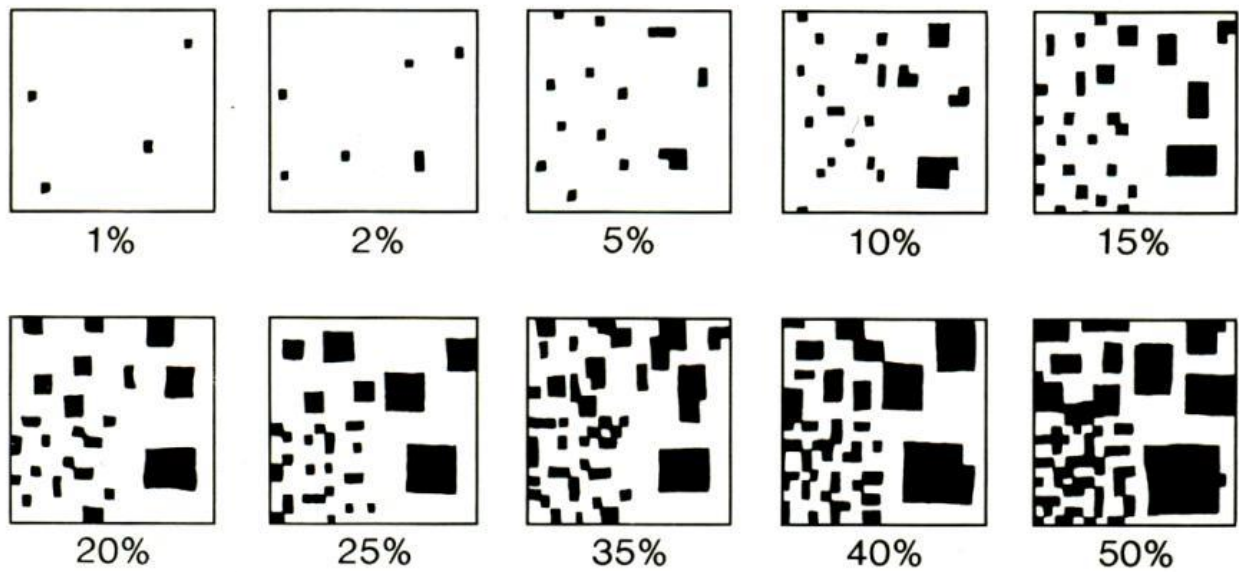
type de produit

**Interprétation des analyses**

Quel est l'objectif de cette analyse de terre ?

Type d'interprétation  START     ELITE     ETUDEMULTI

**ANNEXE 3 : Estimation de la proportion de cailloux, du taux de couverture de la surface et des traces d'hydromorphie**  
(Shepherd, 2000)



**ANNEXE 4 : test du boudin et de l'anneau**  
(Delaunois, 2006)

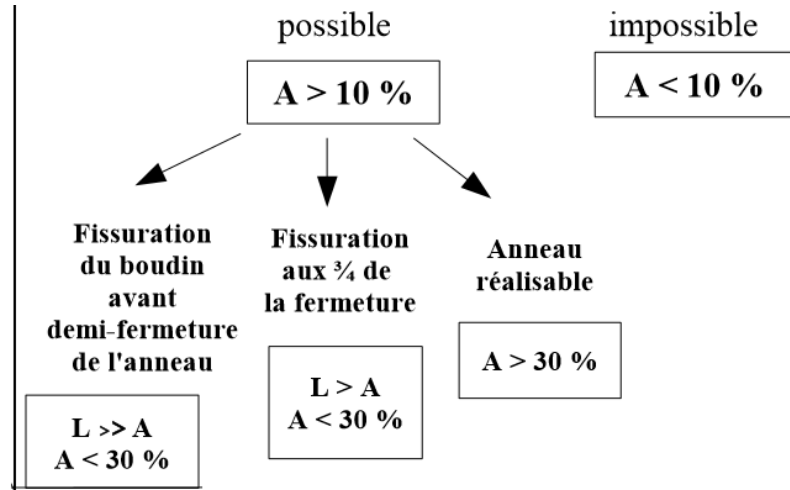
Détermination de la texture au terrain :

➤ Les sables : son de grattement quand on les frotte

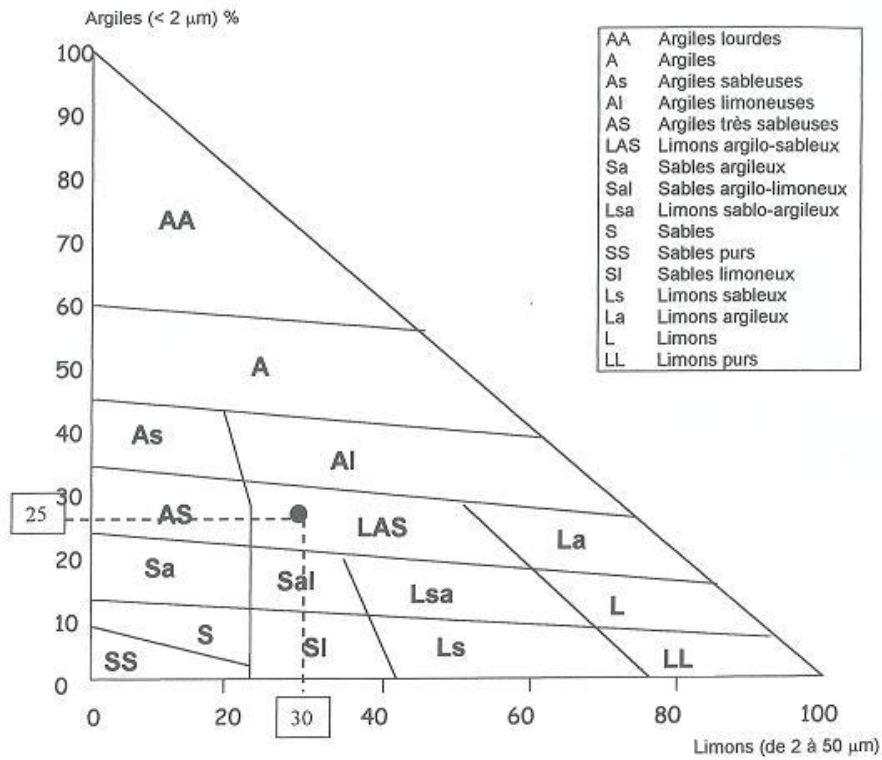
➤ Réalisation d'un boudin de terre humide

➤ Réalisation d'un anneau avec le boudin de terre

➤ Faire une boule avec le sol, puis y faire une empreinte avec le doigt, si l'empreinte est bien visible alors la quantité de limon est importante.

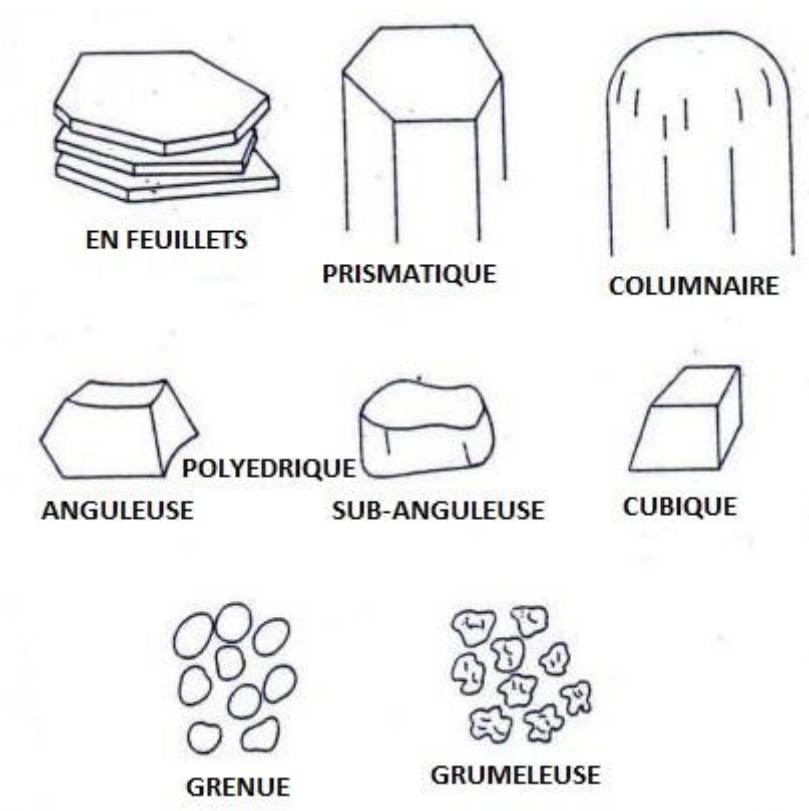


**ANNEXE 5 : Triangle des textures**  
 (GEPPA : Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée)



*ANNEXE 6 : Forme des agrégats*  
(Delaunois, 2006)

- **Structure particulière** : horizon non cohérent
- **Structure massive** : horizon cohérent



*ANNEXE 7 : test du couteau pour estimer la compacité du sol*  
(Delaunois, 2006)

- **Très meuble** : matériau non cohérent, le couteau pénètre très facilement dans l'horizon testé
- **Meuble** : le couteau pénètre facilement dans l'horizon testé
- **Peu compact** : un léger effort est nécessaire pour enfoncer le couteau dans l'horizon testé, il s'enfonce jusqu'à la garde
- **Compact** : le couteau ne pénètre qu'incomplètement, même sous un effort important
- **Très compact** : il est impossible d'enfoncer le couteau de plus de quelques millimètres

*ANNEXE 8 : Formes des racines*  
(Gerhard Hasinger repris par C.Barbot, 2003)

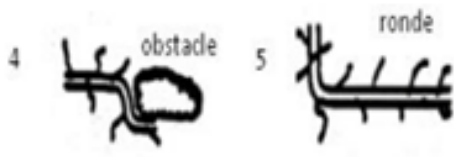
**Racines**



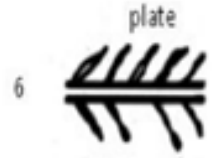
1 Racines lisses en forme de fils => zones avec des manques d'oxygène



2,3 Racines (nouées) rétrécies => motte compactée dans le profil, nécroses, attaques par des parasites



4,5 Racines coudées => croissance autour d'une pierre ou d'une motte compactée



6 Racines avec des formes d'arêtes de poisson => forme des racines dans les fissures des sols compactés



7 Racines fortement chevelues => se forment dans les grosses cavités




8 Epaissement des racines => Lors de manque d'air et de décomposition perturbée des matières organiques, attaque par des maladies parasites

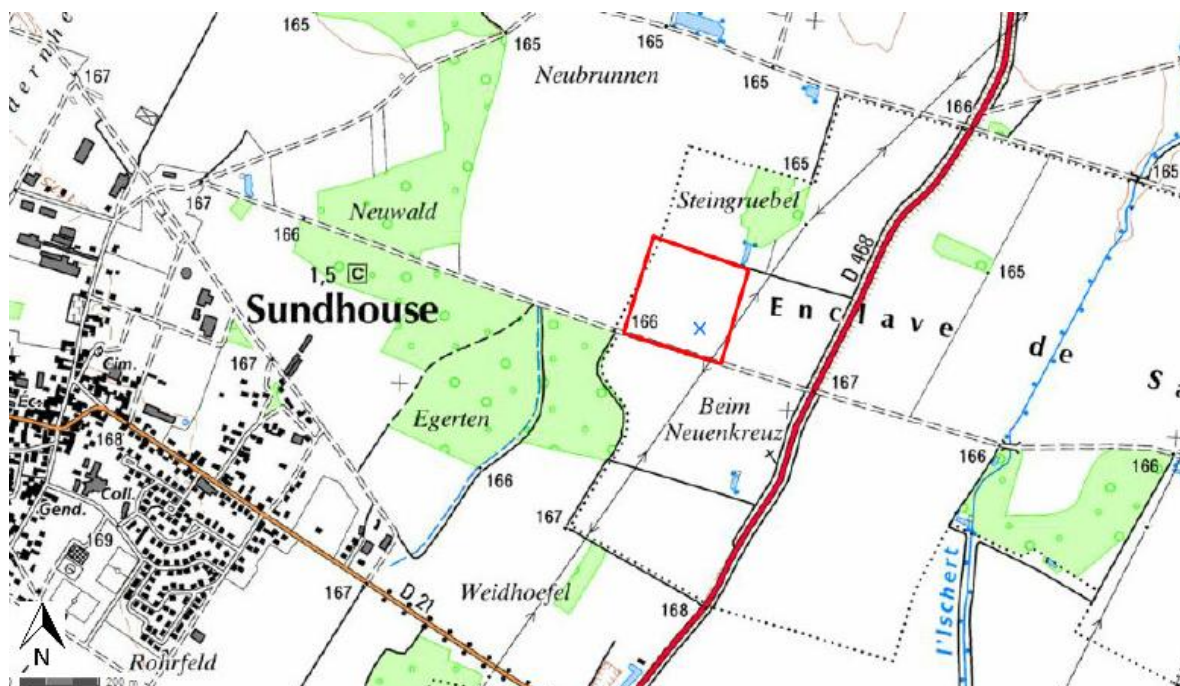


**ANNEXE 9 : Compte rendu du diagnostic de sol à Sundhouse sur la parcelle Huettmatt**

**COMPTE-RENDU DE CONSEIL DIAGNOSTIC PARCELLAIRE**

	Nom du client : xxx	
	Adresse : xxx	
	CP : 67920	Commune : SUNDHOUSE
	Nom de la parcelle : Steingruebel (Huettmatt)	
	Coordonnées GPS du point de prélèvement (Lambert 93): X= 1 045 834 m    Y= 6 804 924 m    Altitude : 166 m	
	Pente de la parcelle : nulle	
	Topographie de la parcelle : plaine	
	Date de réalisation du profil de sol : 20/04/2016	

Occupation du sol : betteraves



**Figure 1 : localisation générale de la parcelle et du point de prélèvement**



**Figure 2 : photo aérienne de la parcelle**



**Figure 3 : photo de l'état de surface**



### **Etat de surface :**

Sol non battant, présence forte de fissures en surface, présence forte de turricules de vers de terre et la proportion de cailloux est de 0-5% en surface. Le taux de couverture de la surface est faible (<30%).

Profondeur du profil : 50 cm

Profondeur tarière : 100 cm (Taille profil tarière : 130 cm)

### **Horizon 1 : 0-10 cm**

Sol limono-argileux (La), de couleur brun foncé, la présence de carbonates est très faible (1). Les agrégats sont grumeleux de taille comprise entre 2 et 5 mm. La proportion de cailloux (galets ronds de granite) est de 5-10% de taille comprise entre 2-10 cm. Le sol est frais avec absence de traces d'hydromorphie. Il est meuble, les pores sont moyens (0,4-0,7 mm) et fortement présents. Les vers de terre sont moyennement présents (6-20) sur un cube de 20 cm de sol. Les racines sont peu présentes (tous les 10 cm) et elles sont normales. La litière organique est présente en traces. Le sol sent la terre.

### **Horizon 2 : 10-50 cm**

Sol limono-argileux (La), de couleur brun foncé, la présence de carbonates est faible (2). Les agrégats sont polyédriques anguleux de taille comprise entre 2 et 20 mm. La proportion de cailloux (galets ronds de granite) est de 5-10% de taille comprise entre 2-10 cm. Le sol est frais à humide (surtout 25-35 cm) avec absence de traces d'hydromorphie. Il est compact, les pores sont petits (0,1-0,3 mm) et peu présents. Les vers de terre sont moyennement présents (6-20) sur un cube de 20 cm de sol. Les racines sont peu présentes (tous les 10 cm) et elles sont coudées et en arêtes de poisson. La litière organique est absente. Le sol sent la terre.

### **Horizon 3 : 50-100 cm**

Sol limoneux (L), de couleur brun-jaune (mélange de couleur entre 75 et 95 cm), la présence de carbonates est très forte (4). La proportion de cailloux (calcaires) est de 0-5% de taille comprise entre 2-5 cm. Le sol est frais avec présence régulière de traces d'hydromorphie (20-40%).

### **En résumé :**

Limon argileux (organique) légèrement caillouteux sur limons du Rhin

1 zone un peu compacte vers 25-35 cm



*Figure 4 : photo du profil de sol*



*Figure 5 : photo du profil à la tarière*



Laboratoire d'analyse, d'étude et de conseil en  
biologie des sols et valorisation des produits  
organiques

CLIENT

Chambre d'Agriculture region Alsace

2 rue de Rome - CS 30022 SCHILTIGHEIM

67013 STRASBOURG

Intermédiaire

1876

## Diagnostic agronomique - Biologie du sol -

Votre parcelle: HUETTMAT SUNDHOUSE



ECHANTILLON

N° de laboratoire: 1616-064

Date de réception: 22/04/2016

Commune: 67 SUNDHOUSE

RENSEIGNEMENTS

Profondeur de prélèvement: 0-20 cm

Culture: Grande Culture

Charge en cailloux 5 %

Masse de terre fine par ha (T/ha) 2375

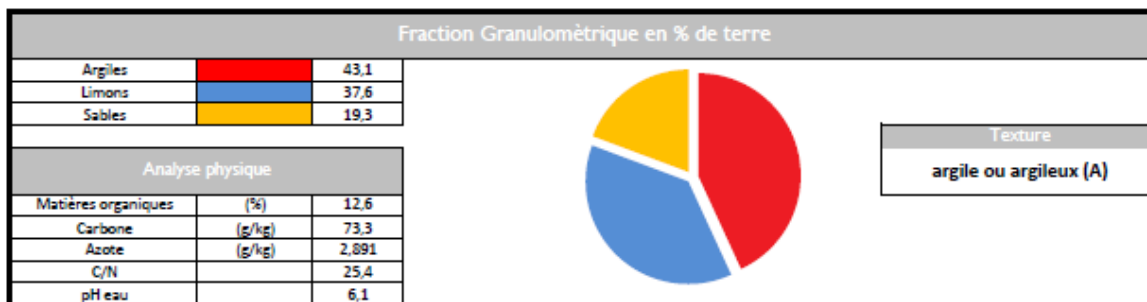
Densité apparente (T/m<sup>3</sup>) 1,25



Numéro Labo 1616-064

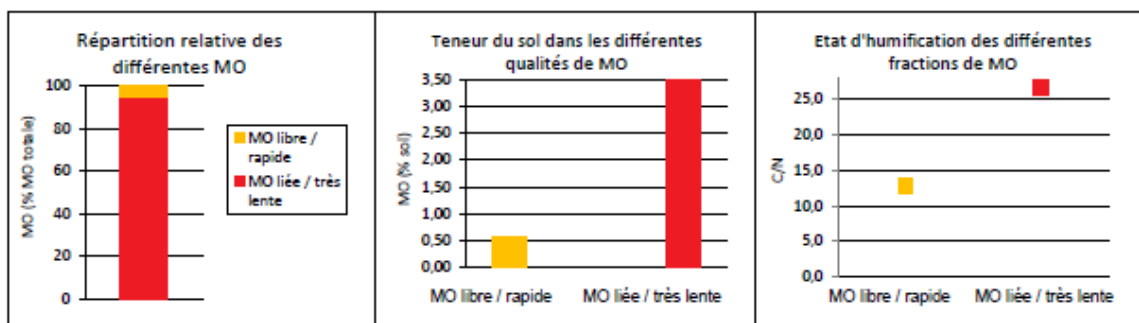
CARACTÉRISATION PHYSICO CHIMIQUE

## CARACTERISATION PHYSICO-CHEMIQUE



## CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL

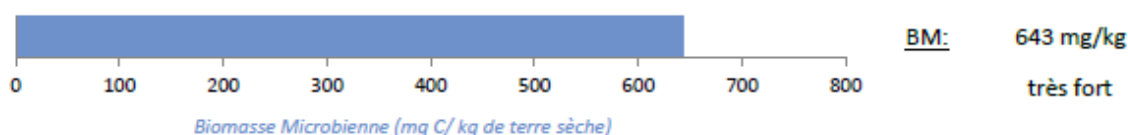
FRACTION / Dégradabilité	Granulométrie %	Carbone			MO %	Azote			C/N
		mg/g fraction	mg/g sol	%C total		mg/g fraction	mg/g sol	%N total	
MO libre / rapide	19,3	17,2	3,3	5	0,57	1,342	0,259	9,0	12,8
MO liée / très lente	80,7	86,7	70,0	95	12,04	3,262	2,632	91,0	26,6
MO totale	100		73,3		12,61		2,891		25,4



## COMPARTIMENT VIVANT: BIOMASSE MICROBIENNE

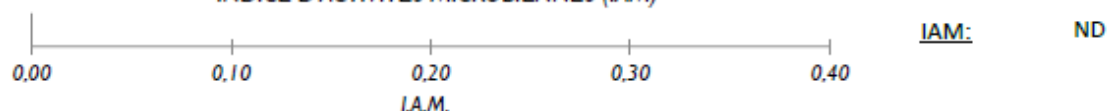
Numéro Labo 1616-064

Carbone g/kg terre	Biomasse Microbienne (BM)		Éléments minéraux stockés dans la BM (calculés en kg/ha)				
	mgC/kg terre	en % C	N	P	K	Ca	Mg
73,3	643	0,9	229	177	150	21	21
très fort	très fort	très faible					

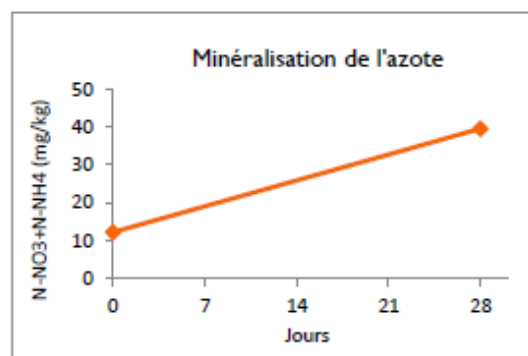
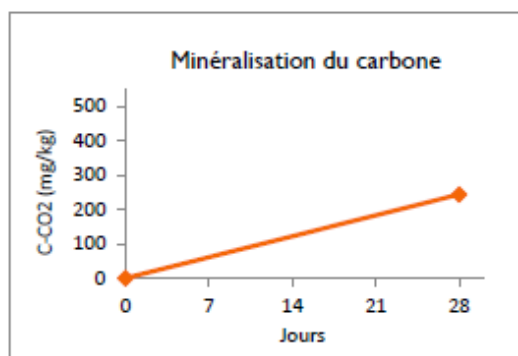


## COMPARTIMENT VIVANT: ACTIVITES MICROBIENNES

✓ **INDICE D'ACTIVITÉS MICROBIENNES (IAM)**



✓ **ACTIVITÉS MICROBIOLOGIQUES MINÉRALISATRICES DE C et N : dégradabilité de la MO**




BILAN DES ÉLÉMENTS MINÉRALISÉS							
CARBONE				AZOTE			
C organique (g/kg TS)	C minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%)	Cm/BM	N total (g/kg)	N minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%)	Fourniture annuelle N (U)
73,3	243,8	0,3	13,5	2,9	27,4	0,9	97,6
très fort	faible	très faible			satisfaisant	très faible	

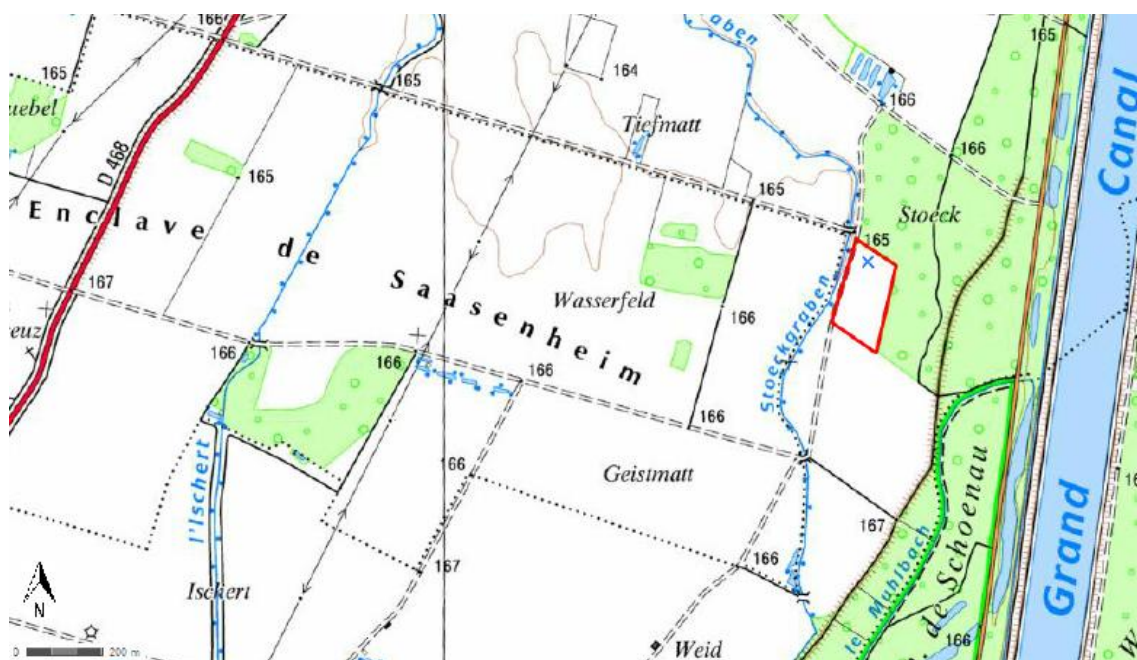
Mauguio, le 03/06/16  
Thibaut Déplanche  
Ingénieur Agronome Conseil



**ANNEXE 11 : Compte rendu du diagnostic de sol à Sundhouse sur la parcelle Stoeck**

**COMPTE-RENDU DE CONSEIL DIAGNOSTIC PARCELLAIRE**

	Nom du client : xxx	
	Adresse : xxx	
	CP : 67920	Commune : SUNDHOUSE
	Nom de la parcelle : Stoeck	
	Coordonnées GPS du point de prélèvement (Lambert 93): X= 1 043 408 m    Y= 6 804 851 m    Altitude : 165 m	
	Pente de la parcelle : nulle	
	Topographie de la parcelle : plaine en bordure de forêt Date de réalisation du profil de sol : 20/04/2016 Occupation du sol : féveroles	



*Figure 1 : localisation générale de la parcelle et du point de prélèvement*



*Figure 2 : photo aérienne de la parcelle*



*Figure 3 : photo de l'état de surface*

### **Etat de surface :**

Sol non battant, présence faible de fissures en surface, présence moyenne de turricules de vers de terre et la proportion de cailloux est de 0-5% en surface. Le taux de couverture de la surface est fort (>70%).

Profondeur du profil : 50 cm

Profondeur tarière : 115 cm (Taille profil tarière : 150 cm)

### **Horizon 1 : 0-20 cm**

Sol limono-argileux (La), de couleur brun foncé, la présence de carbonates est forte (3). Les agrégats sont grumeleux et polyédriques sub-anguleux de taille comprise entre 2 et 5 mm. La proportion de cailloux (calcaires) est de 0-5% de taille comprise entre 2-5 cm. Le sol est sec avec absence de traces d'hydromorphie. Il est peu compact, les pores sont petits (0,1-0,3 mm) et moyennement présents. Les vers de terre sont moyennement présents (6-20) sur un cube de 20 cm de sol. Les racines sont moyennement présentes (tous les 1-10 cm) et elles sont normales et rétrécies. La litière organique est présente en paquets ou en matelas à certains endroits. Le sol sent la terre.

### **Horizon 2 : 20-35 cm**

Sol limono-argileux (La), de couleur brun à brun-gris, la présence de carbonates est forte (3). Les agrégats sont polyédriques sub-anguleux de taille comprise entre 2 et 5 mm. La proportion de cailloux (calcaires) est de 0-5% de taille comprise entre 2-5 cm. Le sol est frais avec absence de traces d'hydromorphie. Il est peu compact, les pores sont petits (0,1-0,3 mm) et peu présents. Les vers de terre sont moyennement présents (6-20) sur un cube de 20 cm de sol. Les racines sont peu présentes (tous les 10 cm) et elles sont normales et coudées. La litière organique est absente. Le sol sent la terre.

### **Horizon 3 : 35-80 cm**

Sol limono-argileux (La), de couleur brun-gris, la présence de carbonates est forte (3). Les agrégats sont massifs. La proportion de cailloux (calcaires) est de 0-5% de taille comprise entre 2-5 cm. Le sol est humide avec présence régulière de traces d'hydromorphie (20-40%). Il est meuble, les pores sont petits (0,1-0,3 mm) et moyennement présents. Les racines sont absentes. Le sol sent légèrement la vase.

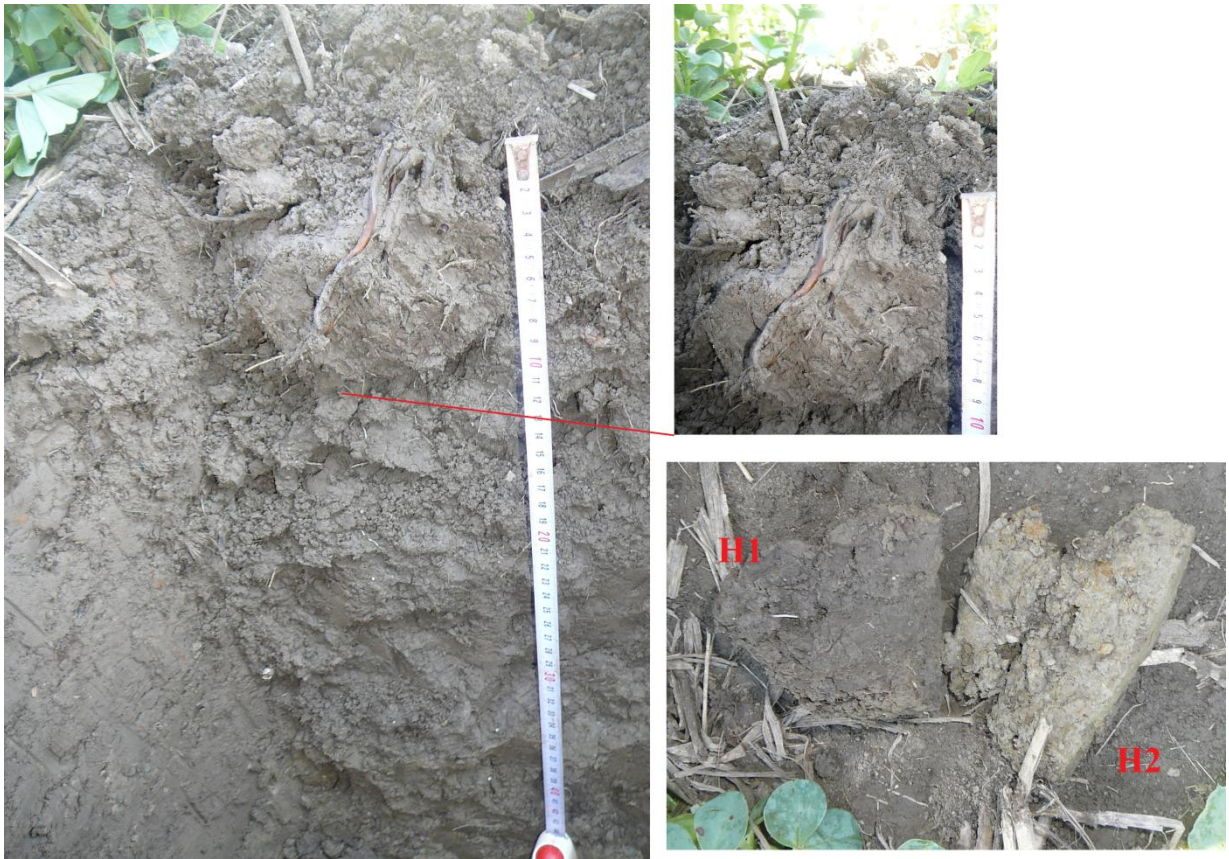
### **Horizon 4 : 80-115 cm**

Sol sablo-limoneux (Sl), de couleur gris clair, la présence de carbonates est très forte (4). Les agrégats sont particuliers. La proportion de cailloux (calcaires) est de 0-5% de taille comprise entre 2-5 cm. Le sol est très humide avec une couleur gris-bleu (gley). Il est très meuble. Les racines sont absentes. Le sol sent légèrement la vase.

### **En résumé :**

Sol limono-argileux calcaire sur alluvions sablo limoneuses du Rhin.





*Figure 4 : photo du profil de sol*



*Figure 5 : photo du profil à la tarière*





Laboratoire d'analyse, d'étude et de conseil en  
biologie des sols et valorisation des produits  
organiques

CLIENT

Chambre d'Agriculture region Alsace

2 rue de Rome - CS 30022 SCHILTIGHEIM

67013 STRASBOURG

Intermédiaire

1877

## Diagnostic agronomique - Biologie du sol -

Votre parcelle: STOECK SUNDHOUSE

ECHANTILLON

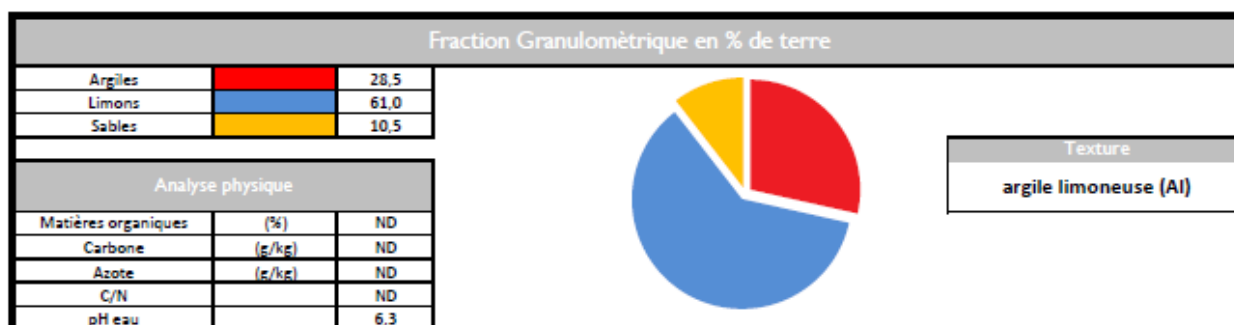
N° de laboratoire: 1616-065  
Date de réception: 22/04/2016  
Commune: 67 SUNDHOUSE



RENSEIGNEMENTS

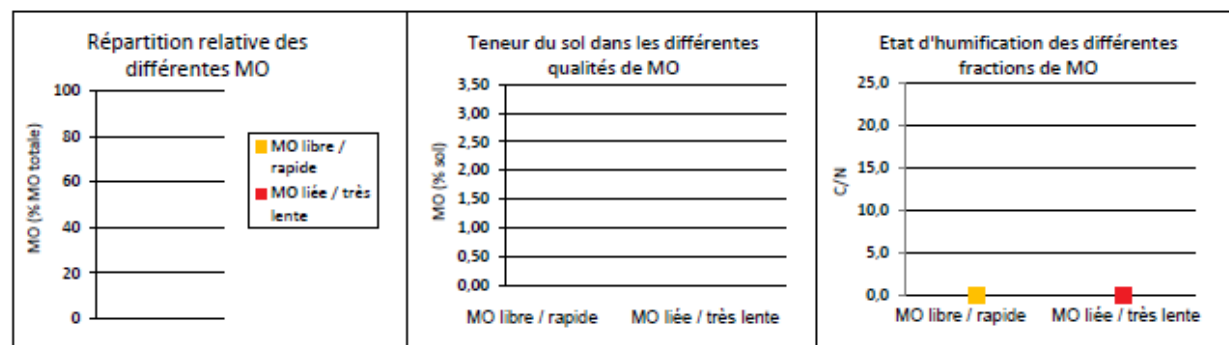
Profondeur de prélèvement: 0-20 cm  
Culture: Grande Culture  
Charge en cailloux: 5 %  
Masse de terre fine par ha (T/ha): 2375  
Densité apparente (T/m3): 1,25

## CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE



## CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL

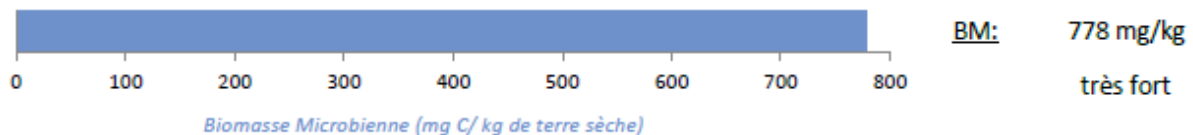
FRACTION / Dégradabilité	Granulométrie %	Carbone			MO %	Azote			C/N
		mg/g fraction	mg/g sol	%C total		mg/g fraction	mg/g sol	%N total	
MO libre / rapide	10,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MO liée / très lente	89,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
MO totale	100		ND		ND		ND		ND



## COMPARTIMENT VIVANT: BIOMASSE MICROBIENNE

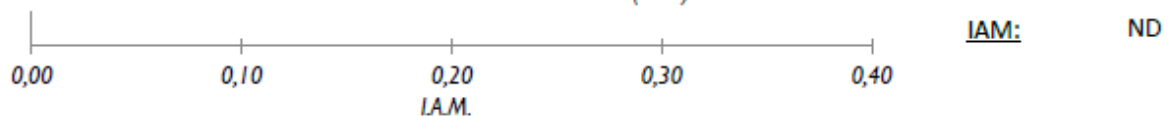
Numéro Labo 1616-065

Carbone g/kg terre	Biomasse Microbienne (BM)		Éléments minéraux stockés dans la BM (calculés en kg/ha)				
	mgC/kg terre	en % C	N	P	K	Ca	Mg
ND	778 très fort	ND	277	214	181	26	26

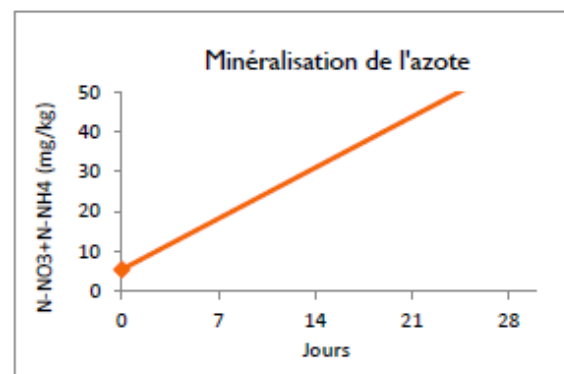
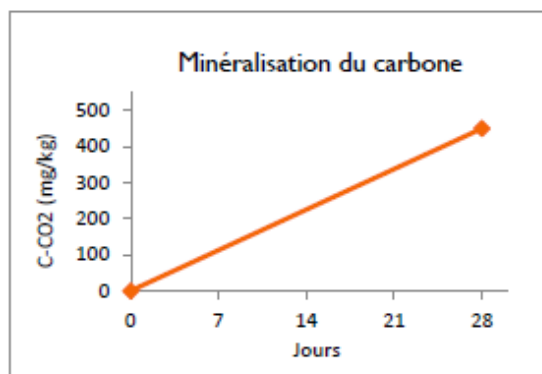


## COMPARTIMENT VIVANT: ACTIVITES MICROBIENNES

### ✓ INDICE D'ACTIVITÉS MICROBIENNES (IAM)



### ✓ ACTIVITÉS MICROBIOLOGIQUES MINÉRALISATRICES DE C et N : dégradabilité de la MO



BILAN DES ÉLÉMENTS MINÉRALISÉS							
CARBONE				AZOTE			
C organique (g/kg TS)	C minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%)	Cm/BM	N total (g/kg)	N minéralisé (mg/kg/28j)	Indice de minéralisation (%)	Fourniture annuelle N (U)
ND	450,0	ND	20,7	ND	51,3	ND	182,8
	fort				très fort		

Mauguio, le 03/06/16  
Thibaut Déplanche  
Ingénieur Agronome Conseil

*sp. planche*

**ANNEXE 13 : Pratiques culturales des parcelles Stoeck et Huettmatt à Sundhouse**

*(DAP : Phosphate Diammonique, SKO2 : sulfate de potassium, Nitrate K. : nitrate de potassium, KCl : chlorure de potassium, Ammo. 33 : ammo ntrate 33)*

<b>Parcelle</b>	<b>Stoeck</b>	<b>Taille (ha)</b>	<b>2,55</b>			
Année	Cultures	Rendement	Fertilisation		Apport MO	
			Produit	Dose (kg/ha)	Type	Dose (t/ha)
2013	Betteraves	90 t/ha				
2014	Poireaux	50 t/ha	DAP	200	fumier bovin	40
			SKO2	600		
			Nitrate K.	200		
2015	Maïs grain	100 q/ha				
2016	Féverole				fumier bovin	25
Non labour depuis 3 ans						

<b>Parcelle</b>	<b>Huettmatt</b>	<b>Taille (ha)</b>	<b>13,7</b>			
Année	Cultures	Rendement	Fertilisation		Apport MO	
			Produit	Dose (kg/ha)	Type	Dose (t/ha)
2013	Betteraves	90 t/ha	potasse	180	fumier bovin	30
2014	Maïs grain	100 q/ha	urée	250	fumier bovin	30
			KCl	300		
			DAP	300		
2015	Méteil (Triticale/orge/poids/blé/avoine/seigle)	70 q/ha	Ammo. 33	200		
2016	Betteraves				fumier bovin	30
Non labour depuis 10 ans						



Année : 2015/2016  
SCHERER Aurélie

M1 Sciences de l'environnement  
Université de Bourgogne  
UFR Sciences de la Terre et de l'Environnement  
6 Bd Gabriel 21000 DIJON

**TITRE :**

Diagnostics de sols en agriculture, réalisation d'une fiche de codification des observations sur le terrain et analyse de plusieurs scénarios de bilan humique, notamment pour des projets de méthanisation.

**RESUME :**

Ce travail se penche sur la codification des observations de sols sur le terrain, et à pour but la réalisation d'une fiche de prise de notes sur le terrain. Cette étude compare également différents scénarios de cultures (rotations culturales, travail du sol, apport de produits organiques résiduels, couverts végétaux,...) avec des scénarios céréaliers, élevages, méthanisations ou encore agricultures de conservation. Les chiffrages des bilans humiques ont été réalisés avec le logiciel Simeos-AMG. De plus, l'effet de la teneur en carbone initial dans les sols et le type de sols sur le bilan humique sont également observés. La différence entre le modèle réglementaire allemand et Simeos-AMG a été réalisée. Plusieurs méthodes d'observations de sols ont été compilées, et des observations sur le terrain ont été réalisées afin d'améliorer la fiche de description de sol. Quelques pratiques culturales améliorantes ont également été listées. Les résultats des simulations montrent que les scénarios les plus favorables correspondent aux scénarios avec apport de fumier et réduction du travail du sol. Au contraire les scénarios avec des exportations importantes de résidus de cultures et apport de lisier sont peu favorables. La valeur initiale en carbone organique et le type de sol jouent un rôle majeur dans les résultats des bilans humiques, en effet en changeant ces paramètres un scénario positif en termes de bilan humique peut devenir négatif. Cependant l'ordre des scénarios restent similaires. Le modèle allemand est plus défavorable pour les scénarios avec des apports de digestats.

**MOTS CLES :** diagnostics de sols, bilan humique, agriculture, carbone organique, digestat

**ORGANISME D'ACCUEIL :**

Chambre d'Agriculture de Région Alsace  
Espace Européen de l'Entreprise  
2 rue de Rome  
Schiltigheim – CS 30022  
67 013 Strasbourg Cedex

**MAITRE DE STAGE :**

BARBOT Christophe