



Statut organique et potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote des sols en agriculture biologique

Brieuc Hardy, CRA-W/CtRAB

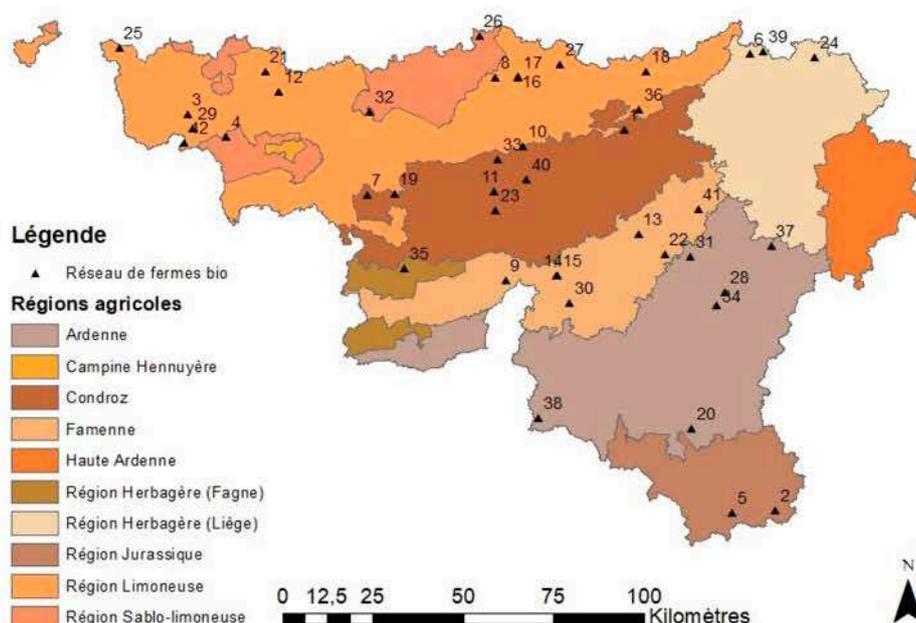
La conversion vers l'agriculture biologique (AB) entraîne des modifications de pratiques agricoles susceptibles d'influencer les teneurs en matière organique ainsi que le fonctionnement biologique des sols. Au cours des années 2014 et 2015, la teneur en carbone organique total (COT), l'activité biologique globale et le potentiel de fourniture en azote (N) ont été déterminés pour les sols d'une quarantaine de parcelles dans un réseau de fermes en agriculture biologique, en région wallonne.

Contexte et objectifs de l'étude

L'abolition des produits phytopharmaceutiques et engrais de synthèse représente la principale différence entre l'agriculture biologique (AB) et l'agriculture conventionnelle. Ces restrictions impliquent une gestion différenciée de la fertilité et de la lutte contre les adventices et les ravageurs des cultures qui se traduit généralement par des successions culturales et des itinéraires techniques adaptés ainsi qu'une fertilisation essentiellement organique. Ces modifications de pratiques sont susceptibles d'influencer les teneurs en matière organique ainsi que le fonctionnement biologique des sols agricoles.

Au cours des années 2014 et 2015, la teneur en matière organique, l'activité biologique globale et le potentiel de fourniture en N ont été déterminés pour 42 parcelles en AB réparties sur l'ensemble du territoire wallon (Figure 1). L'objectif poursuivi était d'établir un référentiel pour l'AB en région wallonne pour ces trois variables d'intérêt. Les résultats obtenus ont été analysés selon l'antécédent cultural, le temps de conversion des parcelles vers l'AB et le type de ferme, la classe texturale du sol et la région agricole. Ils ont également été comparés aux tendances régionales afin d'évaluer si la conversion vers l'AB entraîne un effet sur ces paramètres.

Figure 1. Localisation des parcelles échantillonnées sur la carte des régions agricoles



Description des parcelles

Les principales caractéristiques des parcelles d'études sont reprises dans la *Table 1*. Les 42 parcelles couvrent l'ensemble des régions agricoles de Wallonie, à l'exception de la Campine hennuyère et de la haute Ardenne. La région limoneuse est la plus représentée avec 14 parcelles, suivie par la région Fagnes et Famenne (8 parcelles), le Condroz (7 parcelles) et l'Ardenne (6 parcelles). Les régions herbagères (3 parcelles), sablo-limoneuse (2 parcelles) et jurassique (2 parcelles) sont moins bien représentées. Selon la carte numérique des sols de Wallonie (CNSW), la majorité des sols des parcelles cultivées sont de texture limoneuse (21 parcelles) ou limono-caillouteuse (17 parcelles). Les sols ardennais sont exclusivement limono-caillouteux, tout comme les sols de Famenne et Fagnes à une exception près. Trois des sept sols condruziens étaient limono-caillouteux. On dénombre deux sols de texture limono-sableuse et deux de type argile légère, ces derniers localisés en région jurassique. Sauf quelques rares exceptions, les sols des parcelles d'étude ont un drainage favorable. Au niveau des cultures principales enregistrées dans les déclarations de superficie de 2014 et 2015, on dénombre de nombreuses céréales d'hiver (épeautre, triticale, froment, seigle ...), des céréales en association avec des légumineuses, des cultures de légumineuses pures et quelques céréales de printemps (avoine, froment, orge). On compte plusieurs cultures de légumes (carottes, poireaux, endives, courges), une culture de lin textile, une culture de quinoa, un maïs ensilage et une culture de pommes de terre. Quatre parcelles étaient en verger au cours des deux années de suivi. On dénombre également plusieurs prairies temporaires.

Table 1. Cultures principales et teneurs en carbone organique total (COT) des 42 parcelles d'étude du réseau de fermes en agriculture biologique pour les années 2014 et 2015.

N°	Localité	Cultures 2014	Cultures 2015	COT 2014 (%)	COT 2015 (%)
1	Antheit	Épeautre	Triticale d'hiver	1,537	1,568
2	Aubange	Céréale et légumineuse	Protéagineux et céréale	1,931	2,11
3	Barry	-	Fèves et Féveroles	-	1,36
4	Beloeil	Céréale d'hiver	Mélange de céréales	0,921	0,948
5	Bleid	Prairie temporaire	Protéagineux et céréale	1,553	1,646
6	Bombaye	Verger	Verger	2,43	1,787
7	Buvrines	Céréale et légumineuse	Endives	1,326	1,591
8	Chaumont	Carottes	Poireaux	1,609	1,088
9	Doische	Céréale et légumineuse	Céréale et légumineuse	1,985	2,106
10	Emines	Triticale	Quinoa	1,023	1,008
11	Fosses-la-ville	Prairie temporaire	Prairie temporaire	1,486	1,281
12	Gibecq	Céréale d'hiver	Escourgeon	2,225	2,156
13	Heure	Prairie temporaire	Épeautre	2,711	2,63
14	Houyet A	Froment de printemps	Triticale d'hiver	2,536	2,214
15	Houyet B	Épeautre	Triticale d'hiver	2,083	2,004
16	Incourt A	Froment d'hiver	Froment d'hiver	0,926	0,901
17	Incourt B	Lin textile	Froment d'hiver	1,123	1,491
18	Lamine	Orge de printemps	Poireaux	1,300	1,205
19	Leernes	Froment de printemps	Seigle d'hiver	1,252	1,169
20	Léglise	Épeautre	Épeautre	4,983	4,62
21	Lessines	Verger	Verger	2,774	2,593
22	Marche	Céréale et légumineuse	Céréale et légumineuse	3,252	3,005
23	Mettet	Céréale et légumineuse	Protéagineux et céréale	2,992	2,233
24	Montzen	Céréale et légumineuse	Prairie temporaire	2,416	2,401
25	Mouscron	Pomme de terre	Poireaux	1,61	1,704
26	Nethen	Prairie temporaire	Prairie temporaire	0,802	0,956
27	Orp	Carottes	Froment d'hiver	0,964	0,991
28	Ortho	Épeautre	Protéagineux et céréale	2,906	2,925
29	Peruwelz	Légumineuse	Céréale et légumineuse	0,982	0,945
30	Pondrôme	Céréale et légumineuse	Céréale et légumineuse	3,348	3,366
31	Rendeux	Triticale	Fèves et Féveroles	3,131	2,929
32	Seneffe	Céréale et légumineuse	Céréale et légumineuse	1,284	1,224
33	Temploux	Verger	Verger	1,892	2,105
34	Tenneville	Triticale	Orge d'hiver	3,08	2,847
35	Vergnies	Betterave fourragère	Maïs ensilage	2,639	2,327
36	Verlaine	Épeautre	Autre légume	1,186	1,163
37	Vielsalm	Épeautre	Avoine de printemps	3,918	3,614
38	Vresse	Céréale et légumineuse	Céréale et légumineuse	2,81	2,737
39	Warsage	Verger	Verger	1,769	1,493
40	Wépion	Carottes	Courges	4,513	2,682
41	Weris	Céréale et légumineuse	Triticale d'hiver	2,086	1,849
42	Wiers	-	Fèves et Féveroles	-	1,165

Statut organique des sols en AB

CARBONE ORGANIQUE ET MATIÈRE ORGANIQUE

La matière organique (MO) du sol comprend tout type de matières d'origine végétale, animale ou bactérienne plus ou moins décomposées et transformées au sein du sol. Elle est estimée en laboratoire à partir de la mesure du carbone organique total (COT), le carbone étant le principal constituant de la MO : $MO = COT \cdot 2$

Dans le présent article, nous utilisons les teneurs en carbone organique total du sol (plus objectives car directement mesurées) pour appréhender le statut organique du sol.

Les teneurs en carbone organique total (COT) varient entre 0,80 et 4,98 % pour l'année 2014 pour une valeur moyenne de 2,13 % et entre 0,90 et 4,62 % pour l'année 2015, pour une valeur moyenne de 1,99 % (Table 1). Cette large gamme de valeurs s'explique notamment par la diversité de situations rencontrées en termes d'affectation des sols (grandes cultures, maraîchage, prairies temporaires, vergers), de types de sols et de régions agricoles.

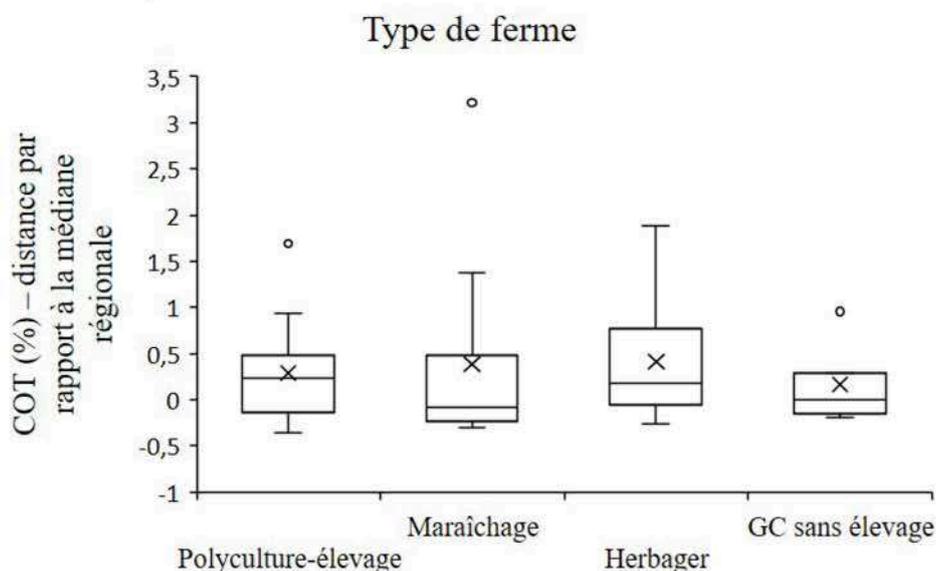
Afin d'évaluer si la conversion vers l'AB influence le statut organique des sols agricoles, les teneurs en carbone organique total des parcelles du réseau de fermes en AB ont été comparées aux valeurs médiane et moyenne des régions agricoles de Wallonie, calculées à partir de la base de données REQUASUD¹. De l'analyse des résultats, il ressort que le statut organique des parcelles en AB est supérieur aux

valeurs médianes des régions agricoles dans environ 60 % des cas. Néanmoins, les résultats varient en fonction de la région agricole et du type de ferme. Au regard des résultats par type d'exploitation, on peut constater que les fermes à dominance herbagère et en polyculture-élevage possèdent des teneurs en COT en moyenne supérieures de respectivement 0,17 et 0,28 % aux fermes de grandes cultures sans élevage (Figure 2). Ce résultat pourrait être le reflet d'un accès privilégié aux engrais de ferme ou de l'influence positive de la prairie temporaire sur le statut organique des sols. En effet, la prairie est connue pour exercer un impact particulièrement positif sur le statut organique des sols². L'hétérogénéité des résultats au sein d'un type d'exploitation souligne que les teneurs en matière organique des sols dépendent de nombreux facteurs, tant au niveau du mode de gestion (historique

cultural, rotation, pratiques agricoles, ...) que de l'environnement de la parcelle (type de sol, climat, ...). Contrairement à la tendance générale, une majorité de parcelles en région limoneuse possède une teneur en COT légèrement inférieure à la moyenne régionale. Ce résultat pourrait s'expliquer notamment par un manque d'accès aux engrais de ferme. En effet, seules deux des 14 exploitations concernées sont des fermes en polyculture-élevage, pour une majorité de fermes en grande culture sans élevage.

A l'opposé, les parcelles de Famenne appartiennent toutes sans exception à des fermes herbagères ou en polyculture-élevage et possèdent toutes des teneurs en COT supérieures à la médiane régionale. Certains taux de COT très élevés peuvent également être le reflet de la destruction récente d'une prairie permanente pour sa mise en culture, notamment en maraîchage³.

Figure 2. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des teneurs en carbone organique total (COT) par type de ferme. Les valeurs de COT ont été normalisées par rapport aux valeurs médianes des régions agricoles respectives. Les exploitations en arboriculture ont été exclues de l'analyse.



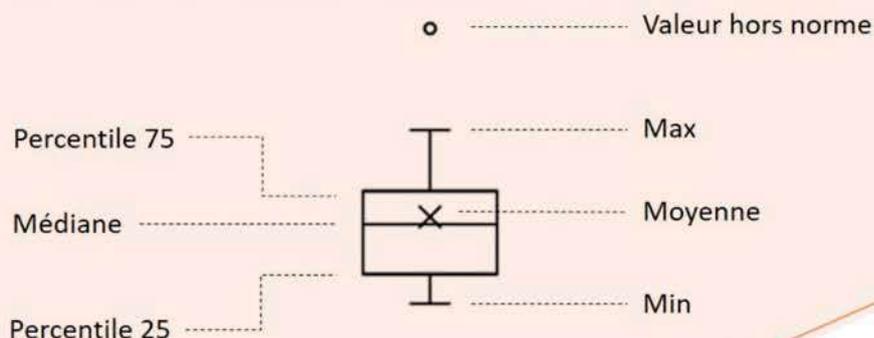
¹ http://www.requaconsult.be/requaconsult_sol

² Velthof, G. L., and Oenema, O. (2001) Effects of ageing and cultivation of grassland on soil nitrogen. Alterra, Green World Res., 56 pp.

³ Hardy, B., Godden, B., 2018. Cultures maraîchères après destruction de prairies permanentes : risques environnementaux et intérêts agronomiques. Convention BIO2020, Centre. Wallon de Recherches Agronomiques.

LES GRAPHES EN BOÎTES À MOUSTACHES

Les graphes en boîtes à moustaches permettent de représenter visuellement la distribution des individus (c'est-à-dire les différentes parcelles) d'une population (par exemple, les fermes de polyculture-élevage). La croix représente la moyenne de la population. La ligne qui sépare la boîte en deux représente la médiane de la distribution, c'est-à-dire la valeur qui sépare la population en deux groupes contenant le même nombre d'individus. La boîte est délimitée par les percentiles 25 et 75 de la distribution, c'est-à-dire qu'elle contient 50 % des valeurs autour de la médiane. Les moustaches s'étendent jusqu'aux valeurs minimales et maximales de la distribution, à l'exception des valeurs hors normes, représentées par des points.



Les teneurs en COT ont également été mises en regard du temps de conversion des parcelles vers l'AB après normalisation par rapport aux valeurs médianes de COT de leurs régions agricoles respectives. N'ayant accès qu'à l'historique récent des parcelles (maximum 5 années avant le prélèvement), l'analyse a été effectuée en séparant les parcelles en deux groupes relativement homogènes en termes de nombre, à savoir les conversions récentes à l'AB (moins de 5 ans) et les conversions plus anciennes (5 ans et plus) (Figure 3). D'après l'analyse statistique, le temps de conversion à l'AB n'induit

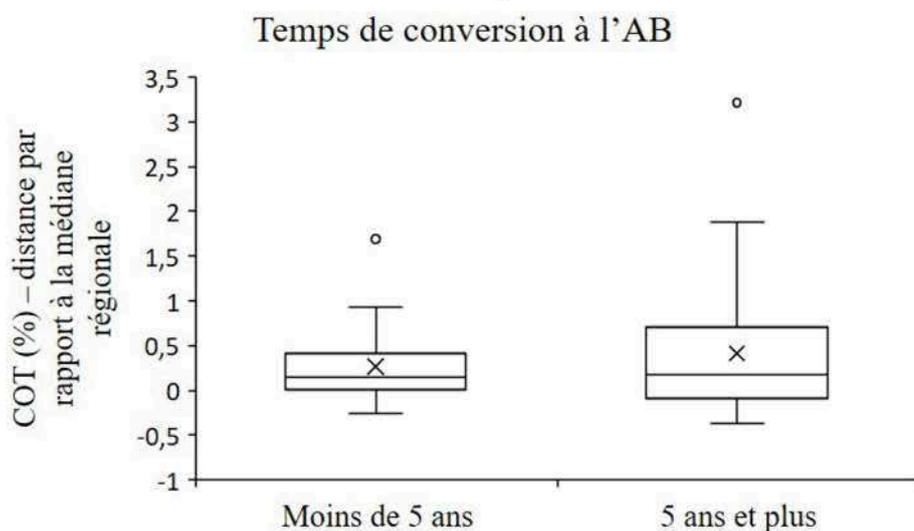
aucune différence significative ($P=0.396$). Cependant, les parcelles converties à l'AB il y a 5 ans ou plus possèdent une teneur en COT en moyenne de 0.14 % supérieure à celles converties à l'AB plus récemment.

En regard de la Figure 3, cette différence semble s'expliquer par un nombre plus important de parcelles avec des valeurs élevées par rapport à la médiane régionale, ce qui concorde avec les résultats d'une étude comparable en Flandres⁴. Il faut toutefois souligner que l'atteinte d'un nouvel état d'équilibre pour le statut organique d'une

parcelle suite à un changement de pratique peut prendre plusieurs dizaines d'années, comme en attestent les résultats des essais longue durée du CRA-W⁵.

Dès lors, il est probable que le statut organique actuel des parcelles étudiées reflète plus les pratiques agricoles en amont de la conversion à l'AB que des pratiques actuelles, en tout cas pour les conversions récentes.

Figure 3. Représentation en boîtes à moustaches de la distribution des teneurs en carbone organique total (COT) en fonction de leur temps de conversion vers l'AB. Les valeurs de COT ont été normalisées par rapport aux valeurs médianes des régions agricoles respectives. Les exploitations en arboriculture ont été exclues de l'analyse.



⁴ De Neve, S., Van Den Bossche, A., Sleutel, S., and Hofman, G. (2006). Soil phosphorus status of organic farming in Flanders: an overview and comparison with the conventional management. *Biol. Agric. Hortic.* 24, 217–235. doi:10.1079/SUM2005355.

⁵ Trois essais de longue durée sont en cours sur le domaine du CRA-W : un essai « matières organiques » mis en place en 1959, un essai « fumures minérales P et K » mis en place en 1967 et un essai « travail du sol » mis en place en 2003. Ces essais permettent d'évaluer l'effet à long terme de pratiques agricoles sur la fertilité du sol.

Minéralisation du carbone (C)

Au terme des 28 jours d'incubation, la minéralisation moyenne journalière varie entre 4.8 et 26.9 mg de C par kg de sol, avec une valeur moyenne de 14.1 mg de C par kg de sol et par jour pour l'année 2014 et 11.5 mg de C par kg de sol et par jour pour l'année 2015.

Le taux de minéralisation du C tend à augmenter avec la teneur en COT du sol (Figure 4). C'est un constat logique puisque la matière organique représente la matière première de la minéralisation. De manière générale, au plus un sol contient de la matière organique, au plus il tendra à minéraliser du CO₂. Les taux de minéralisation ont été analysés selon les autres variables explicatives potentielles (type de sol, régions agricoles, type de culture) après avoir été exprimés par unité de COT, ce qui revient à normaliser les valeurs selon le contenu en COT du sol de la parcelle. Cette analyse a permis de dégager les éléments suivants :

- Les sols de texture sablo-limoneuse et limono-sableuse possèdent des taux de minéralisation supérieurs à la moyenne. Ce résultat suggère que les sols de texture plus légère, possédant des teneurs en argiles faibles, ont un faible potentiel de stabilisation de la matière organique. En effet, les teneurs en COT de ces parcelles sont faibles (< 10 g par kg). Ce résultat souligne l'importance des associations organo-minérales, dépendante de la fraction fine des sols (< 20 µm) dans la stabilisation de la matière organique du sol.
- Les sols de Famenne, de Fagnes et d'Ardenne possèdent des taux de minéralisation par unité de C inférieurs à la moyenne. Puisque l'ensemble de ces sols sont formés sur des roche-mères de type schiste, schistophyllade ou calcaire (sols caillouteux, classe de texture G), dont les produits d'altération sont riches en argile, on peut émettre l'hypothèse que leurs taux de minéralisation

relativement faibles sont dus à une fraction fine importante favorisant les interactions organo-minérales qui stabilisent la matière organique dans le sol.

On peut s'attendre à ce que les taux de respiration en AB soient en moyenne supérieurs à ceux mesurés en agriculture conventionnelle, en raison d'un statut organique amélioré. L'hypothèse n'a pas pu être testée au cours de cette étude, faute de données de minéralisation du C pour l'agriculture conventionnelle. Néanmoins, une méta-analyse récente de l'effet de l'AB sur les paramètres biologiques des sols⁶ incluant 149 parcelles en AB appariées à un témoin en agriculture conventionnelle a montré que la respiration du sol était en moyenne 20 % supérieure en AB par rapport au témoin conventionnel, proportionnellement à l'accroissement des teneurs en matière organique.

Minéralisation de l'azote (N)

Au terme des 28 jours d'incubation à 28 °C, la minéralisation moyenne journalière varie entre 1.37 et 6.97 kg de N par ha, avec une valeur moyenne de 3.52 kg N par ha et par jour pour l'année 2014 et 2.93 kg N par ha par jour pour l'année 2015. Comme pour la minéralisation du C, une relation significative a été mise en évidence entre les taux de minéralisation de l'N et les teneurs en COT (Figure 5). Le statut organique est ainsi la clé de voûte de la fourniture naturelle en N par le sol. Si l'on considère que 28 jours d'incubation à 28 °C correspondent à plusieurs mois de minéralisation en conditions de terrain (cette conversion jours labo-jours champs peut être déterminée avec précision pour une année climatique normale par la méthode des jours normalisés), on peut considérer que 1 % de COT fournit de l'ordre de 65 kg N par ha entre début mars et fin juillet et que 2 % de COT permettront d'économiser 90 unités d'N en moyenne sur cette période. Les fluctuations autour de la tendance peuvent s'expliquer par certaines propriétés intrinsèques du sol et par la quantité, la qualité et la temporalité des restitutions.

Figure 4. Emissions de CO₂ cumulées après 28 jours d'incubation en fonction de la teneur en carbone organique total (COT) du sol pour les années 2014 et 2015.

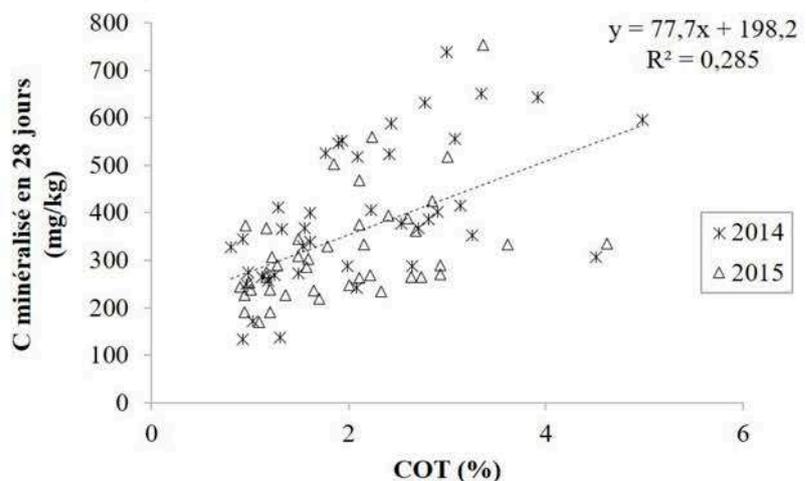
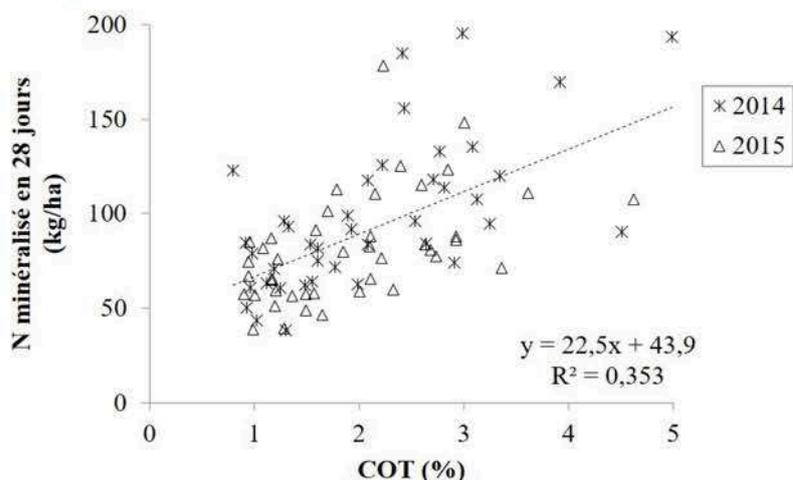


Figure 5. Quantité d'N minéralisé après 28 jours d'incubation en fonction de la teneur en carbone organique total du sol pour les années 2014 et 2015.



⁶ Lori, M., Symoniaczik, S., Mader, P., De Deyn, G., and Gattinger, A. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-Regression. *PLoS One* 12, 1–25. doi:10.1371/journal.pone.0180442.

Au-delà du statut organique du sol, l'antécédent cultural est un facteur important de la minéralisation. Après les céréales de printemps, nous avons mesuré une fourniture en N de 18 % inférieure par rapport aux céréales d'hiver. Ceci pourrait être le reflet d'un enracinement moins développé au moment de la récolte et donc de moindres restitutions par la biomasse racinaire. Au contraire, une hausse de 15 % de fourniture en N a été mesurée après un mélange céréale-légumineuse et de l'ordre de 22 % pour une culture de légumineuse pure par rapport à une céréale d'hiver pure. Pour l'ensemble de nos données, nous obtenons un rapport C/N d'environ 16.5 pour la fraction minéralisée.

Concernant la fourniture en N du sol, les taux de minéralisation en N des parcelles en AB ont été comparés aux taux de minéralisation d'une sélection de sols en agriculture conventionnelle du référentiel régional CARBIOSOL. Cette comparaison n'a mis en avant aucune différence de potentiel de fourniture en N des sols en AB par rapport aux sols en agriculture conventionnelle. Ce résultat n'est pas étonnant puisque (1) les processus de respiration hétérotrophe et d'ammonification-nitrification représentent la base du fonctionnement des microorganismes du sol, quel que soit le mode de gestion de la parcelle et (2) les valeurs obtenues dans les deux conditions ne reflètent pas exactement les mêmes contextes pédologiques et culturaux, ce qui accroît la variabilité des résultats et limite la sensibilité de l'analyse.

Conclusions et perspectives

De l'analyse des chiffres, il ressort que les teneurs en matière organique des parcelles en AB sont supérieures aux valeurs médianes des régions agricoles dans environ 60 % des cas, et qu'il est plus fréquent d'observer des teneurs élevées en COT pour les parcelles les plus anciennement converties à l'AB. Les parcelles des fermes herbagères et de polyculture-élevage tendent à avoir un meilleur statut organique que les parcelles de grandes cultures sans élevage, ce qui pourrait être le reflet d'un meilleur accès aux engrais de ferme ou de l'influence positive de la prairie sur le statut organique des sols. D'autres pratiques connues pour favoriser le statut organique des sols telles que l'allongement des rotations, la diversification des cultures ou l'augmentation des restitutions (restitution des pailles, cultures intermédiaires) sont fréquemment observées chez les agriculteurs en AB.

De manière générale, les taux de minéralisation du C et du N des sols augmentent avec les teneurs en COT, ce qui souligne l'importance du statut organique du sol pour maintenir une bonne activité biologique et promouvoir la fourniture naturelle en N du sol. On peut considérer que 1 % de COT contribue à minéraliser de l'ordre de 65 kg N par ha dans la période de croissance d'une culture au printemps et que 2 % de COT permettront d'économiser 90 unités d'N en moyenne. Pour un même taux de matière organique, l'étude n'a mis en évidence

aucune différence de potentiel de fourniture en N pour les sols en AB par rapport aux sols en agriculture conventionnelle du référentiel régional CARBIOSOL. Concernant l'effet de l'antécédent cultural, une fourniture en N de l'ordre de 18 % inférieure a été mesurée pour les céréales de printemps par rapport aux céréales d'hiver. Au contraire, la fourniture d'N est augmentée d'environ 15 % après un mélange céréale-légumineuse et d'environ 22 % après une culture de légumineuse pure par rapport à une céréale d'hiver pure.

Afin d'aller plus loin, il serait intéressant d'évaluer la performance des parcelles du réseau de fermes en AB pour d'autres indicateurs d'abondance et de diversité (micro-)biologique qui peuvent être corrélés à l'efficacité d'utilisation des ressources nutritives ainsi qu'à la résilience du système face à certains pathogènes des cultures.

Remerciements et contributions à l'étude

Cette étude a été initiée et suivie par B. Godden dans le cadre de la convention BIO2020 avec l'aide de l'équipe technique composée de J. Frederick, F. Tasiaux et D. Verhulst. Les analyses ont été réalisées par V. Reuter, M.-F. Heinen, B. Malotiaux et V. Dethier du Laboratoire « sol » du CRA-W. L'analyse des résultats et la rédaction des livrables ont été réalisés par B. Hardy. La relecture du document a été effectuée par B. Godden, D. Stilmant et B. Huyghebaert.



Ets FAYT CARLIER
Produits Bio pour l'Agriculture



Rue des Déportés 24-6120 JAMIOULX
Tél. 071/21 31 73-Fax 071/21 61 85

Engrais organique

- Utilisable en culture bio
- Contient de l'azote ammoniacal rapidement absorbé par la plante
- Le plus efficace sur le marché
- Prix raisonnable

Semences céréales Bio

- Céréales
- Fourragères

Mélange prairie « SENCIER »

Aliments animaux Bio

- Aliments simples : orge, épeautre, avoine, triticale
- Féveroles, pois, maïs, tourteaux de soja, tourteaux de tournesol
- Aliments composés vaches, jeunes bovins, porcs, volaille
- On peut travailler à la carte. C'est vous qui décidez.

Condiments minéraux Bio

- Sels minéraux Bio
- Blocs à lécher
- Sel marin
- Algues marines
- Magnésie, cuivre, sélénium
- Huile de foie de morue

