

9. Les grandes cultures et le cycle du carbone

C. Moureaux¹, M. Aubinet², D. Dufranne², F. Vancutsem¹, E. Jérôme², B. Bodson¹

1	Le cycle du carbone et les flux de carbone dans une culture	2
2	Les mesures	3
2.1	Mesures à l'échelle de la parcelle	4
2.2	Mesures à l'échelle du sol	4
2.3	Mesures à l'échelle de la plante	4
3	Historique de la parcelle	5
4	Résultats	5
4.1	Impacts de l'espèce cultivée	6
4.2	Variations interannuelles pour les cultures de froment	6
4.3	Impacts des labours.....	7
4.4	Interculture 2009-2010	8
5	Perspectives	9

¹ ULg – Gembloux Agro-Bio Tech – Unité de Phytotechnie des régions tempérées

² ULg – Gembloux Agro-Bio Tech – Unité de Physique des Biosystèmes

1 Le cycle du carbone et les flux de carbone dans une culture

Le cycle du carbone est un cycle naturel. Il est composé 4 grands réservoirs de carbone au sein desquels et entre lesquels le carbone circule. Ces réservoirs sont : l'atmosphère, les écosystèmes terrestres, les océans et les composés fossiles (figure 9.1).

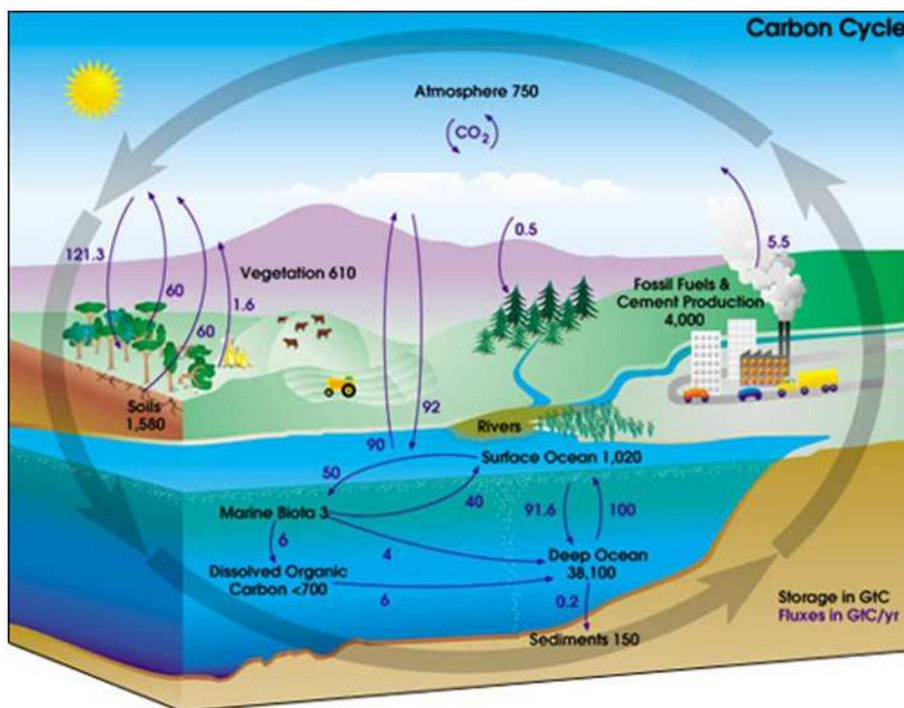


Figure 9.1 – Le cycle du carbone (Source : http://www.nasa.gov/centers/langley/images/content/174212main_rn_berrien2.jpg).

Les écosystèmes terrestres, tout comme les océans, absorbent du carbone atmosphérique et en émettent.

L'homme, par ses différentes activités, agit sur le cycle du carbone. En brûlant les composés fossiles (fuels), il transfère le carbone qu'ils contiennent vers l'atmosphère, principalement sous forme de dioxyde de carbone (CO_2). Via la gestion des écosystèmes terrestres, il modifie également les échanges de CO_2 . En termes de quantité de carbone émis vers l'atmosphère, sa plus grande action est la déforestation. La gestion de l'agriculture peut également avoir un impact important. En effet, les superficies de cultures et de prairies concernées sont très importantes. C'est pourquoi il importe de comprendre et de quantifier les flux de carbone échangés entre les terres agricoles et l'atmosphère afin de prédire leurs évolutions face au climat et face aux pratiques culturales.

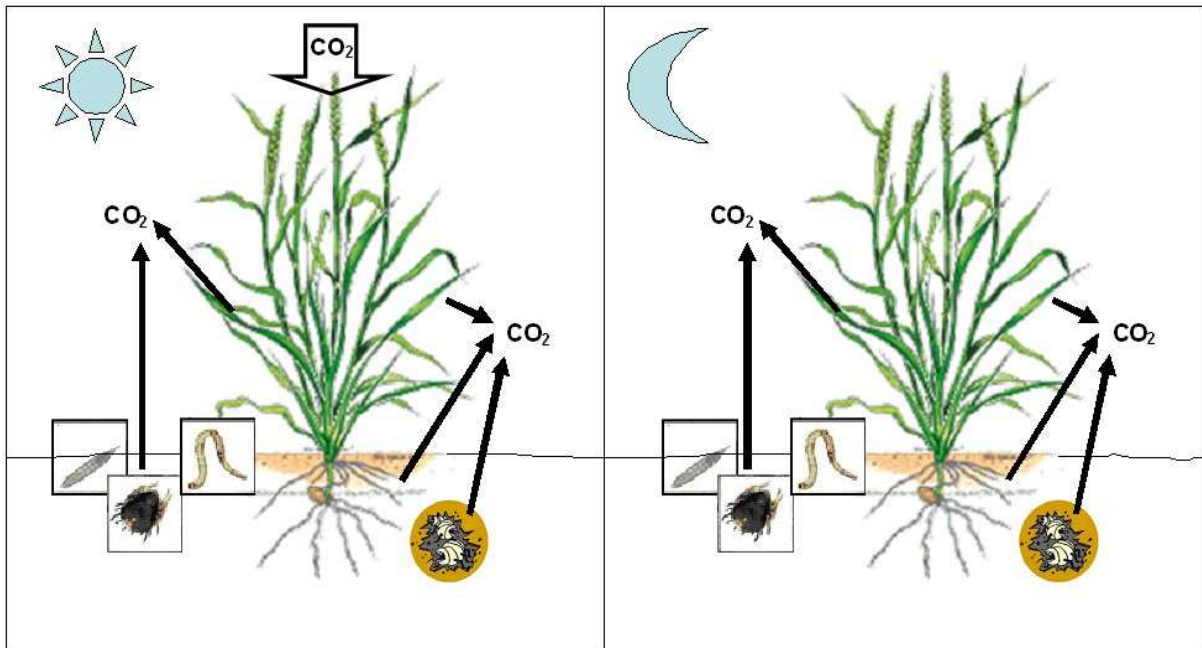


Figure 9.2 – Représentation des flux de CO_2 entre une plante et l'atmosphère.

Les échanges entre une grande culture et l'atmosphère sont représentés à la figure 9.2. En présence de lumière, les parties vertes des plantes absorbent du CO_2 via la photosynthèse. Le carbone ainsi assimilé est en partie stocké dans les tissus de la plante et permet sa croissance. Une autre partie de ce carbone est respiré et réémis vers l'atmosphère. En effet, la plante tout entière (feuilles, tiges, racines, ...), comme tout être vivant, respire de jour comme de nuit.

Les organes morts des plantes, lors de leur décomposition sous l'action des microorganismes, émettent du CO_2 vers l'atmosphère. Ainsi les parties de plantes qui meurent durant la saison et les résidus de culture laissés sur le champ à la récolte participent à la respiration de l'écosystème.

Enfin, le sol émet du carbone qui provient de l'activité des microorganismes présents en son sein.

2 Les mesures

Depuis 2004, des chercheurs de Gembloux Agro-Bio Tech (ULg) mesurent en continu les flux de CO_2 échangés entre une parcelle agricole et l'atmosphère. Cette parcelle se situe à Loncée (commune de Gembloux, Belgique) et est cultivée avec une rotation de 4 ans (betterave sucrière / froment / pomme de terre / froment).

Différentes techniques de mesure sont combinées de manière à estimer les différents échanges séparément (photosynthèse, respiration des plantes et respiration due à l'activité des microorganismes) et à établir le bilan carboné des cultures. L'objectif de cette étude est de comprendre les échanges de CO_2 et de quantifier le rôle des grandes cultures dans le bilan carboné.

2.1 Mesures à l'échelle de la parcelle

Un système mesure en continu l'échange net entre l'écosystème agricole et l'atmosphère. L'échange net est la différence entre, d'un part la quantité de CO₂ assimilée par photosynthèse et, d'autre part, la quantité de CO₂ émise par respiration. Il est estimé via une technique nommée « covariance de turbulence ». Cette méthode requiert la mesure à haute fréquence de la concentration en CO₂ et de la vitesse verticale du vent. Ainsi, une estimation de l'échange net de la culture est obtenue chaque demi-heure sur base de plus de 300 000 mesures instantanées.

La méthode de covariance de turbulence est largement utilisée à travers le monde. A ce jour, les échanges de carbone sont ainsi mesurés sur près de 500 sites forestiers, agricoles, de prairie, de tourbière, ... En Belgique, en plus du site agricole de Loncée, deux forêts matures et une jeune forêt diversifiée sont aussi étudiées. Les mesures débiteront cette année au-dessus d'une prairie avec bétail dans le Condroz afin d'en estimer le bilan carboné. Les équipes de Gembloux Agro-Bio Tech gèrent 4 de ces sites de mesures.

A partir des mesures obtenues à l'échelle de la parcelle, les évolutions de l'absorption de CO₂ par photosynthèse et de l'émission de CO₂ via les processus de respiration sont déduites et étudiées en relation avec le développement de la culture, le climat et les interventions culturales.

2.2 Mesures à l'échelle du sol

Dans le but d'identifier quelle part de la respiration de l'écosystème provient du sol, des mesures de la respiration de sol sont réalisées durant les périodes de culture mais aussi durant les intercultures.

Par ailleurs, des prélèvements de sol ont été effectués afin de connaître sa teneur en carbone et en matière organique et d'étudier les microorganismes qui y vivent.

2.3 Mesures à l'échelle de la plante

L'évolution de la biomasse est suivie de près durant toute l'année grâce à de nombreuses observations et prélèvements. En plus des nombreuses observations des stades de développement, de l'apparition ou du développement de maladies ou de signes de sénescence, des échantillons sont prélevés afin de connaître l'évolution de la biomasse dans les différents organes (tiges, épis, feuilles, parties souterraines) et de mesurer précisément la part de la végétation exportée lors de la récolte (rendement) et la part laissée sur et dans le sol (résidus, racines). Toutes ces mesures permettent de connaître précisément le développement de la végétation, d'interpréter les différents flux mesurés et d'établir le bilan carboné des cultures.

3 Historique de la parcelle

- 2004** Betterave (semis fin mars, récolte fin septembre)
2005 Froment d'hiver (emblavement sans labour en octobre 2004, récolte début août)
Labour d'hiver (fin novembre)
2006 Pomme de terre pour plants (plantée en mai, défanée en août et récoltée en septembre)
2007 Froment d'hiver (emblavement sans labour en octobre, récolte début août)
2008 **Labour** d'hiver (début janvier)
Betterave (semis en avril, arrachage début novembre)
2009 **Froment d'hiver** (semé après **labour** mi-novembre, récolte début août)
 Fin août : application de **fumier**, déchaumage et semis de **moutarde**. Broyage de la moutarde début décembre
Labour d'hiver (mi-décembre)

4 Résultats

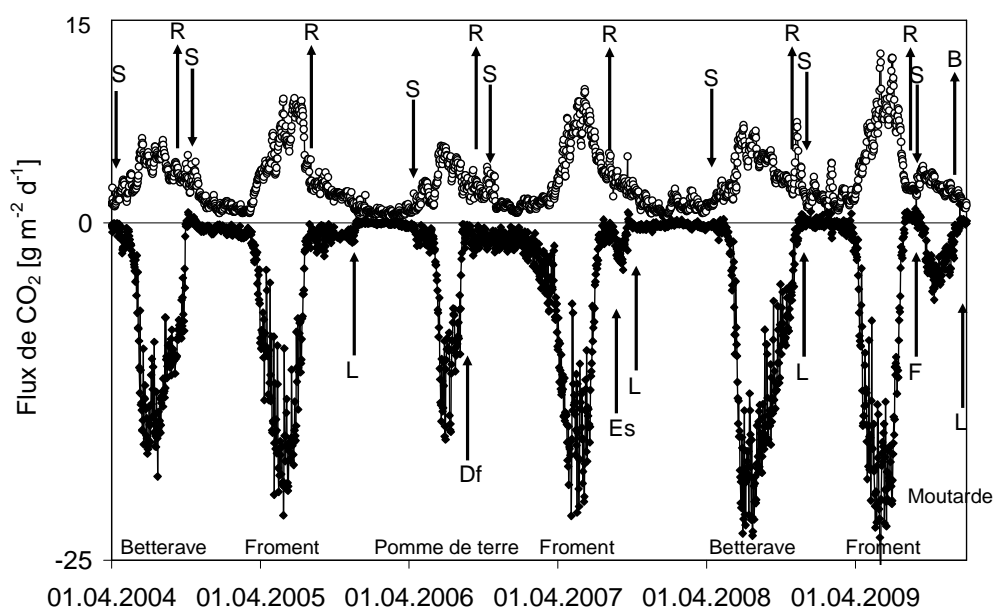


Figure 9.3 – Evolution sur 6 ans des flux d'assimilation (cercles pleins) et d'émission (cercles vides) de CO_2 par une parcelle agricole.

La figure 9.3 présente les 6 années de mesure de flux de CO_2 échangés par la parcelle de Loncée. La courbe du bas (cercles pleins) représente l'évolution des quantités de CO_2 prélevées par l'écosystème. Des valeurs proches de zéro correspondent à de faibles quantités de CO_2 assimilées par l'écosystème, alors que des valeurs fortement négatives correspondent à de grandes quantités de CO_2 assimilées par photosynthèse. L'autre courbe, représentée par des cercles vides, correspond à l'évolution des quantités de CO_2 émises via les processus de

respiration. A nouveau, des valeurs proches de zéro correspondent à de faibles taux d'émission et plus les valeurs s'écartent de zéro, plus les quantités de CO₂ émises augmentent. Les différentes flèches de la figure 9.3 indiquent les moments auxquels sont intervenus les semis (S), les récoltes (R), les labours (L), le défanage des pommes de terre (Df), l'application d'écumes de sucrerie (Es) ou de fumier (F) et le broyage des moutardes (B).

Généralement, les flux d'assimilation et de respiration évoluent simultanément en relation avec le développement de la végétation sur la parcelle. En effet, plus l'activité photosynthétique est grande, plus les flux de respiration provenant de la plante sont importants.

4.1 Impacts de l'espèce cultivée

L'amplitude des flux est liée au type de culture présente sur la parcelle. Les cultures de blé (2005, 2007, 2009) sont celles durant lesquelles les flux d'assimilation et de respiration sont les plus importants. C'est durant la culture de pomme de terre pour plants que les flux les plus faibles ont été observés.

Les périodes auxquelles les flux sont les plus importants diffèrent également en fonction du type de culture. Pour les froments d'hiver, l'assimilation est maximale entre mi-mai et mi-juin, lorsque la surface verte de la végétation est la plus importante. Pour les cultures de printemps, les flux maximaux et les surfaces photosynthétisantes maximales sont observés plus tard, soit vers le mois de juillet.

4.2 Variations interannuelles pour les cultures de froment

Durant 3 des 6 années de mesure, du froment a été cultivé sur la parcelle. Une étude est actuellement menée pour comparer ces 3 cultures et étudier finement les impacts climatiques sur le développement du blé (précocité des stades de développement, taille des différents organes, développement de maladies, ...) et sur les flux de CO₂. En effet, les différences climatiques entre les 3 années ont été importantes. Par exemple, la culture 2007 a été marquée par un hiver très doux et un mois d'avril totalement sec alors que la culture 2009 a connu un hiver très rude et une reprise de végétation tardive.

En 2009, les rendements en blé ont été très élevés. Sur notre parcelle, il était de 10.8 t/ha (rendement à 15% d'humidité). En 2007, un rendement beaucoup plus faible avait été mesuré : 8.8 t/ha. Cependant, l'assimilation de CO₂ a été légèrement plus importante en 2007 qu'en 2009. L'hiver doux de 2006 – 2007 a favorisé un tallage important de la culture mais la sécheresse d'avril 2007 a entraîné un taux réduit de montée en épi des talles ainsi qu'une réduction de la taille de la dernière feuille. Par la suite, l'humidité du mois de juin 2007 a provoqué le développement de maladies fongiques qui ont prématurément détruit le feuillage. Les conditions n'ont donc pas été optimales pour le remplissage du grain. Par contre, en 2009, même si l'hiver froid a retardé le démarrage de la culture, les flux d'assimilation ont été très importants (figure 9.3) et les conditions favorables durant le remplissage du grain ont permis d'atteindre ces hauts rendements.

4.3 Impacts des labours

Grâce aux mesures continues, l'impact de différentes pratiques culturales menées par l'agriculteur a pu être observé. En particulier, quatre labours ont été réalisés durant les 6 années d'observation. Les deux premiers labours ont été réalisés durant l'hiver à la suite des cultures de froment de 2005 et 2007 (figure 9.4). Après les récoltes, des repousses de blé et des adventices se sont développées. Durant cette période, des flux de photosynthèse et un accroissement des flux de respiration dû à l'activité des plantes ont été observés. Le labour a provoqué l'arrêt net de la photosynthèse et de la respiration due à l'activité des plantes. Seule une faible émission de carbone suite au labour a aussi été observée durant 1 à 2 jours.

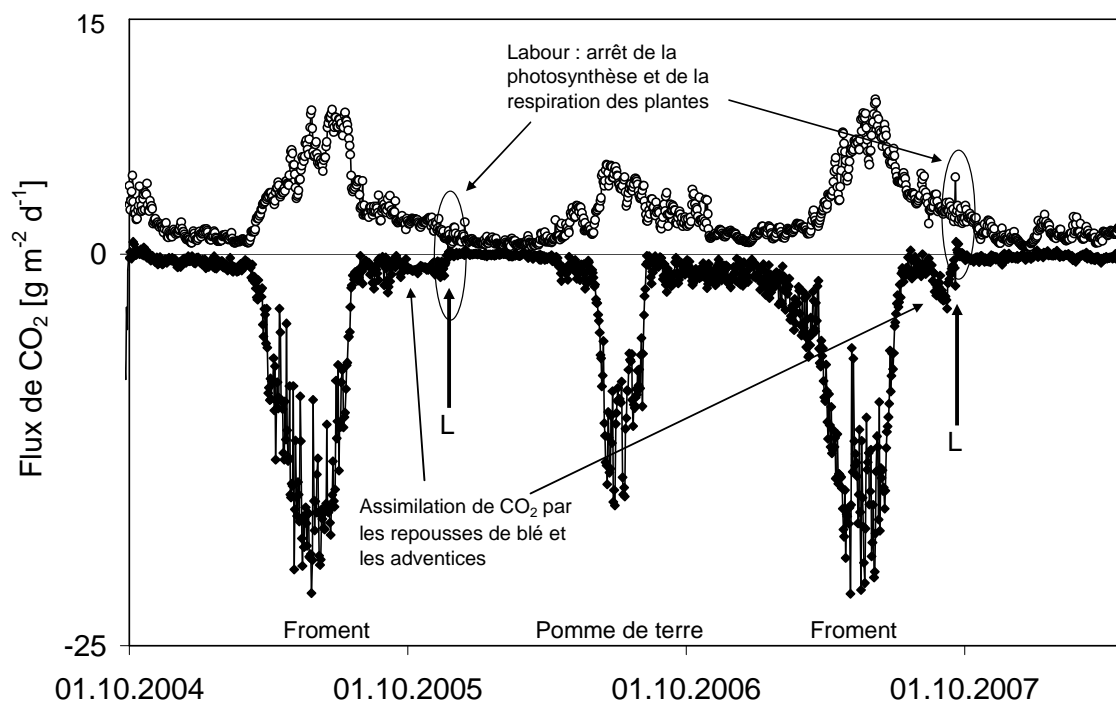


Figure 9.4 – Evolution des flux d'assimilation (cercles pleins) et d'émission (cercles vides) de CO_2 entre octobre 2004 et avril 2008.

En 2008 (figure 9.5), le champ a été labouré à la mi-novembre, une dizaine de jours après l'arrachage des betteraves. Entre l'arrachage et le labour, les feuilles et collets déchiquetés par l'effeuilleuse sont restés sur le sol et leur décomposition a démarré rapidement. Cette dégradation s'est traduite par d'importantes émissions de CO_2 qui ont été réduites suite à l'enfouissement des résidus de culture lors du labour. A nouveau, nous n'avons pas observé de pic de respiration à la suite du labour.

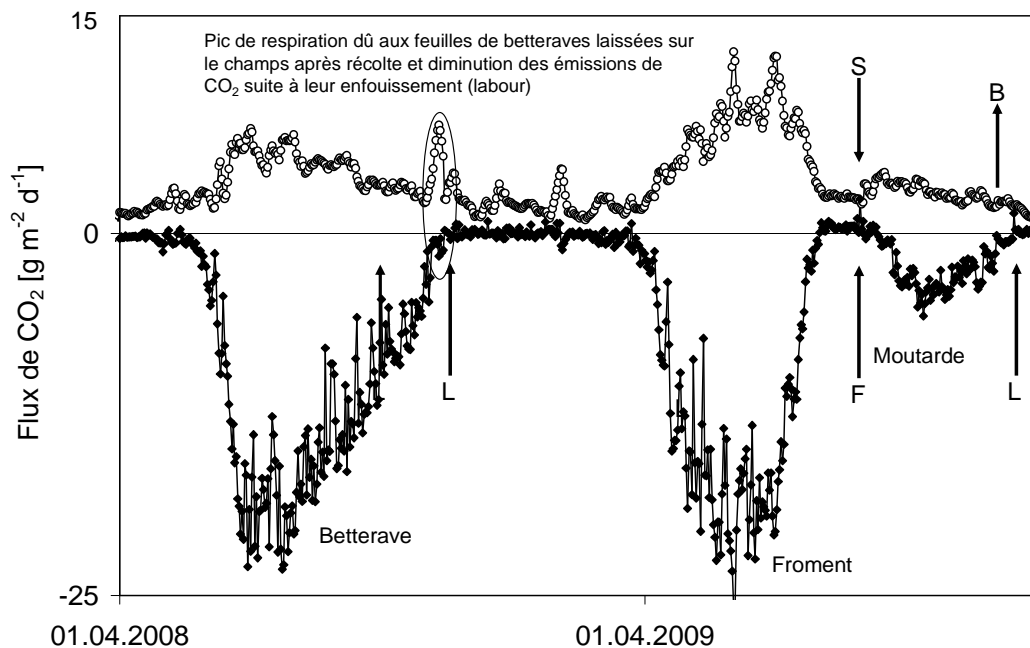


Figure 9.5 – Evolution des flux d'assimilation (cercles pleins) et d'émission (cercles vides) de CO₂ entre avril 2008 et décembre 2009.

4.4 Interculture 2009-2010

Après la culture de froment d'hiver 2009, l'application de fumier a été suivie, après 5 jours, d'un déchaumage et de l'implantation d'une culture intercalaire de moutarde. Les moutardes (peu denses) ont été broyées début décembre et enfouies, 2 semaines plus tard, par le labour.

Aucun pic d'émission de CO₂ n'a été observé suite à l'épandage de fumier qui a rapidement été mélangé au sol lors du travail superficiel effectué pour l'implantation des moutardes. Par contre, durant les jours qui ont suivi cette opération culturale, les flux de respiration ont été un peu plus importants.

La croissance des moutardes s'est traduite par une assimilation non négligeable de CO₂ ainsi qu'une augmentation parallèle des émissions puisque, durant leur période de croissance, les plantes ont respiré.

L'assimilation durant l'automne 2009 a été plus importante que durant les automnes et hivers 2005 et 2007 lorsque seules les repousses de blé et les adventices photosynthétisaient.

L'impact de la culture intercalaire et de l'application de fumier sur le bilan de carbone ne pourra être défini qu'après quelques mois de mesure en continu. En effet, il est possible que l'incorporation des moutardes et du fumier provoque durant plusieurs mois un léger surplus de respiration provenant de l'accroissement de l'activité de la faune et de la flore du sol nécessaire à la dégradation et l'humification de ces matières organiques.

5 Perspectives

Depuis le début des mesures de flux de CO₂ sur le site de Loncée, les échanges de CO₂ entre une parcelle agricole et l'atmosphère sont étudiés en relation avec le type de culture et avec le climat. Grâce à la rotation menée, les différentes cultures se répètent tous les 2 à 4 ans et peuvent être comparées. Par ailleurs, nous essayons de quantifier l'impact des pratiques culturales menées par l'agriculteur.

Nous avons observé que, sur cette parcelle, l'impact du labour sur les flux de respiration était faible et limité dans le temps. A la fin de l'année 2009, du fumier a été épandu et une CIPAN a été implantée. Les effets multiples de cette gestion de la période d'interculture ne pourront être complètement analysés qu'après quelques mois de mesure supplémentaires.

En plus de cette observation de l'impact des pratiques culturales à Loncée, une expérimentation est en cours sur une terre de la Ferme Expérimentale de Gembloux. Cette expérimentation vise à évaluer l'impact de 4 modes de gestion : labour, travail simplifié, restitution totale des pailles ou exportation de l'ensemble des résidus de culture. Une rotation colza / froment / froment est établie sur cette parcelle. L'objectif est l'évaluation, à moyen terme, de l'impact de ces pratiques sur la productivité de la culture, les respirations du sol, la qualité du sol, le développement des adventices, des parasites et des maladies cryptogamiques. Cet essai a été mis en place en 2009. De nombreuses mesures et observations sont effectuées. Les premiers résultats seront disponibles après la culture de 2010. Cette étude apportera des éléments de réponse, basé sur des mesures de terrain, aux nombreuses questions que se pose aujourd'hui l'ensemble de la communauté agricole à propos de ces pratiques culturales.

A l'échelle européenne, une étude est en cours dont l'objectif est d'analyser l'impact des pratiques agricoles dont le labour sur les flux de respiration de l'écosystème. Outre le site de Loncée, 21 autres sites agricoles répartis à travers l'Europe sont intégrés dans cette étude. Elle permettra de comparer l'impact du labour pour une large gamme de conditions pédoclimatiques.

Outre le carbone, les cultures émettent du protoxyde d'azote (N₂O) qui est aussi un gaz à effet de serre très important. Il est attendu que les pratiques culturales influencent ces émissions. Les émissions de N₂O devraient également pouvoir être prises en compte dans l'évaluation globale des pratiques culturales. Il s'agit ici d'une perspective importante de nos recherches.