

L'analyse du cycle de vie à l'échelle d'une exploitation agricole : méthode et premiers résultats

La méthode d'analyse du cycle de vie (ACV) est de plus en plus utilisée pour étudier les impacts environnementaux des produits et des exploitations agricoles.

L'ACV est-elle transposable à une exploitation agricole ? Si oui, à quelles conditions et dans quelles mesures ? Quelle méthode élaborer pour évaluer les performances environnementales d'une exploitation agricole selon les principes de l'ACV ?

L

'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation environnementale initialement développée en milieu industriel, mais appliquée depuis une dizaine d'années à l'agriculture. Cette méthode normalisée et multicritère a été spécialement conçue pour

évaluer les impacts sur l'environnement d'un système, d'un processus ou d'un produit, depuis l'extraction des ressources naturelles jusqu'aux filières de traitement en fin de vie, selon une approche dite du « berceau à la tombe ».

Peu d'études ayant donné lieu à des publications scientifiques s'intéressent à l'exploitation agricole dans son ensemble, c'est-à-dire considérée comme un système à part entière, ou sur des successions d'opérations culturales plus précises (comparaison d'itinéraires techniques notamment). Une étude de six mois a été conduite sur le site de recherche et d'expérimentation du Cemagref à Montoldre (Allier) sur l'adaptation de la méthode ACV au système complexe qu'est celui de l'exploitation agricole afin de répondre à plusieurs questions méthodologiques : l'ACV est-elle transposable à une exploitation agricole ? Si oui, à quelles conditions et dans quelles mesures ? Quelle méthode élaborer pour évaluer les performances environnementales d'une exploitation agricole selon les principes de l'ACV ?

Analyse du cycle de vie et exploitation agricole

Définir le système « exploitation agricole »

Afin de pouvoir délimiter le champ de l'étude et de réaliser une ACV sur une exploitation agricole, celle-ci doit être définie comme un système, même si les limites de l'exploitation sont souvent déterminées par le territoire.

Selon de Rosnay (1975), « un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé en fonction d'un but ». La détermination de l'exploitation agricole en tant que système semble très variable d'un point de vue à l'autre. Selon Osty (1978) : « l'étude de l'exploitation agricole comme un système, c'est considérer d'abord l'ensemble avant d'étudier à fond les parties que l'on sait aborder. Il s'agit aussi de prendre en compte, même qualitativement, les relations internes essentielles et notamment leur articulation dans le temps ».

Pour cet auteur, l'exploitation agricole doit être examinée comme un tout organisé, qui ne dépend pas de critères simples et uniformes. Il nomme ce système : le système famille-exploitation. De même, Gafsi (2006) définit l'exploitation agricole comme une notion com-

plexe et multidimensionnelle avec à l'intérieur : une unité de production, une cellule sociale et familiale, un centre de décision et/ou un système famille-exploitation. Parfois, l'exploitation agricole est évoquée comme un système de production. Sebillotte (1990) parle même de système de culture qui « se définit pour une portion de territoire traitée de manière identique, par une succession coordonnée de cultures et, pour chacune d'elles, d'opérations culturales ».

Toutes ces définitions restent cependant très complexes et souvent basées sur des critères économiques et de main d'œuvre. Dans le cadre d'une évaluation environnementale de l'exploitation agricole, nous allons préférer l'approche plus agricole de Bonneville *et al.* (1998) qui considèrent l'exploitation agricole comme étant l'ensemble composé d'un système d'élevage, d'un système fourrager, d'un système de culture, et/ou d'un système intensif hors sol. Même si peu d'auteurs évoquent le système hors sol, ils considèrent que ces systèmes sont en relation, allant même jusqu'à évoquer l'existence de plusieurs de chacun des systèmes définis ci-avant au sein d'une exploitation agricole.

Ainsi, nous sommes partis du principe que l'exploitation agricole est déterminée par trois sous-systèmes en interaction (figure 1) : le sous-système de cultures, le sous-système d'élevage et le sous-système fourrager.

Le sous-système de culture comprend chacune des parcelles cultivées comme culture de rente ou comme culture servant de compléments alimentaires aux ani-

maux d'élevage. On y retrouve les cultures céréalières (blé, orge, triticale, maïs...), les cultures oléagineuses (colza, tournesol...), les cultures de protéagineux (pois, féverole...), mais aussi la betterave sucrière, les pommes de terre, les cultures fruitières... La paille est considérée comme un produit secondaire.

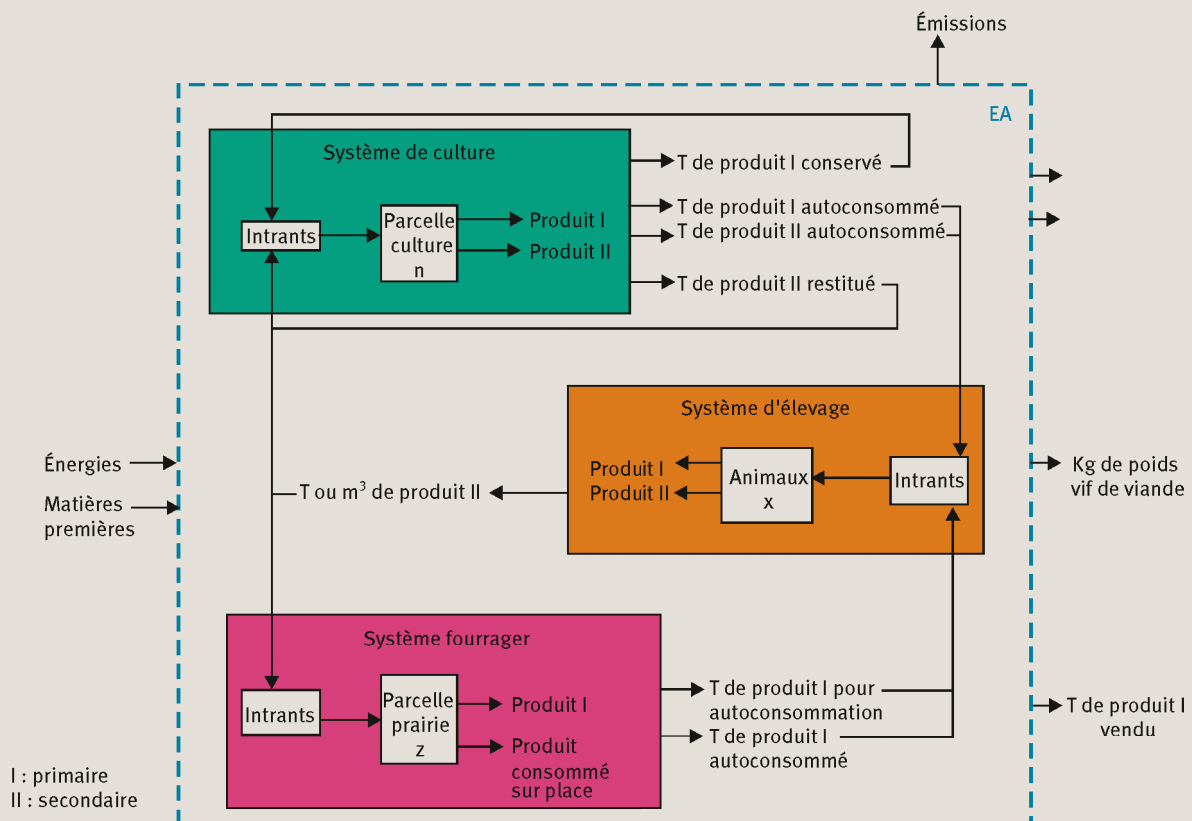
Dans le sous-système d'élevage, chaque atelier de production qu'il soit hors sol, plein air ou semi plein air, sera représenté. On peut donc avoir différents types de production (vache laitière, production d'agneau, poules pondeuses, canard pour la confection de foie gras...).

Le dernier sous-système, le sous-système fourrager, intègre toutes les parcelles permettant la production d'aliments fourragers pour le bétail, soit les cultures fourragères (maïs ensilage, luzerne...), les prairies permanentes et temporaires...

Certains produits du système peuvent être considérés comme des déchets (ex. : la paille) et être valorisés par un ou plusieurs des autres sous-systèmes. Ainsi, si l'exploitation agricole étudiée ne possède pas un ou plusieurs de ces sous-systèmes, les produits secondaires ne pouvant pas être valorisés dans les autres sous-systèmes seront considérés comme des déchets et donc sortant du système de l'exploitation agricole.

Avant d'affecter à chacun des trois sous-systèmes les process qui lui sont propres, il faut définir l'échelle temporelle et spatiale des données, qui devront par la suite être collectées pour la phase d'inventaire de l'ACV.

1 Système défini pour la réalisation de l'analyse de cycle de vie d'une exploitation agricole



► Définir les échelles spatiales et temporelles

Un des objectifs poursuivis lors de l'élaboration de la méthodologie a été de produire une méthode qui soit facile à mettre en œuvre avec les données disponibles chez l'agriculteur, reproductible et réaliste, la finalité étant de déterminer les impacts environnementaux d'une exploitation agricole.

Dans le cadre de cette étude, plusieurs échelles spatiales ont été envisagées :

- une échelle intégrant l'exploitation agricole dans son ensemble, c'est-à-dire que toutes les données nécessaires aux calculs de l'ACV sont données en globalité (quantité de semences totales utilisées ou quantité d'aliments nécessaires pour l'ensemble des animaux de l'exploitation) ;
- une échelle intégrant le niveau parcellaire (pour le système de culture et fourrager) ou de l'atelier animal (pour le système d'élevage) : chaque valeur d'un processus est donnée pour une parcelle donnée ou un atelier prédéfini.

Ces deux niveaux possèdent des atouts et limites. Le fait d'utiliser le niveau de l'exploitation agricole pour les systèmes de culture et fourrager est bien en cohérence avec l'étude des impacts au niveau de l'exploitation, mais implique qu'aucune comparaison au niveau des parcelles (de culture et de fourrage) ne pourra être envisagée, à moins d'allouer une charge environnementale à ces dernières. La donnée d'impact obtenue est alors peu précise et peut être loin de la réalité.

En ce qui concerne l'échelle parcellaire, nous avons, dans un premier temps, essayé de définir la notion de parcelle. Dans le cadre de notre étude, la parcelle est déterminée par son utilisation (ex. : type de culture) et son itinéraire technique cultural. Si plusieurs entités géographiques ont la même culture et le même itinéraire, alors elles peuvent être associées pour ne former qu'une seule et même parcelle dans notre système. Outre le fait de pouvoir comparer les parcelles entre elles, un des intérêts de l'échelle parcellaire est la disponibilité des données, souvent mieux connues de l'agriculteur à cette échelle et moins approximative. Afin d'avoir les impacts à l'échelle de l'exploitation agricole, il suffira donc d'agréger les impacts de chacune des parcelles.

De même, pour le système d'élevage, le niveau du lot (animaux de la même espèce ayant les mêmes caractéristiques alimentaires, le même âge, la même finalité de production) sera le plus approprié. Cela permettra de comparer les lots entre eux et de voir sur le/lesquels jouer afin d'améliorer l'empreinte environnementale de l'exploitation agricole.

Du point de vue de l'échelle temporelle, l'ACV peut être réalisée soit sur plusieurs années, soit sur une année déterminée.

Les résultats d'impacts environnementaux de l'ACV développée pour un système d'exploitation agricole peuvent être obtenus par une étude de la ferme sur plusieurs années (ex. : 4 ans). Les données sont

alors obtenues de façon agrégée sur le nombre d'années considérées, puis lissées pour chacune des années de la période étudiée. Cette méthode permet d'atténuer les impacts des années ayant subi des aléas exceptionnels, mais également de prendre en compte les effets pluriannuels de certaines pratiques (cas de la fertilisation organique où l'apport de fumier a des effets sur trois ou quatre ans). Une contrainte liée à cette hypothèse est qu'elle nécessite de posséder un jeu de données complet sur plusieurs années et ne permet pas une identification précise des points à améliorer. *A contrario*, la notion de rotation est bien prise en compte si la durée considérée est égale à la durée de la rotation.

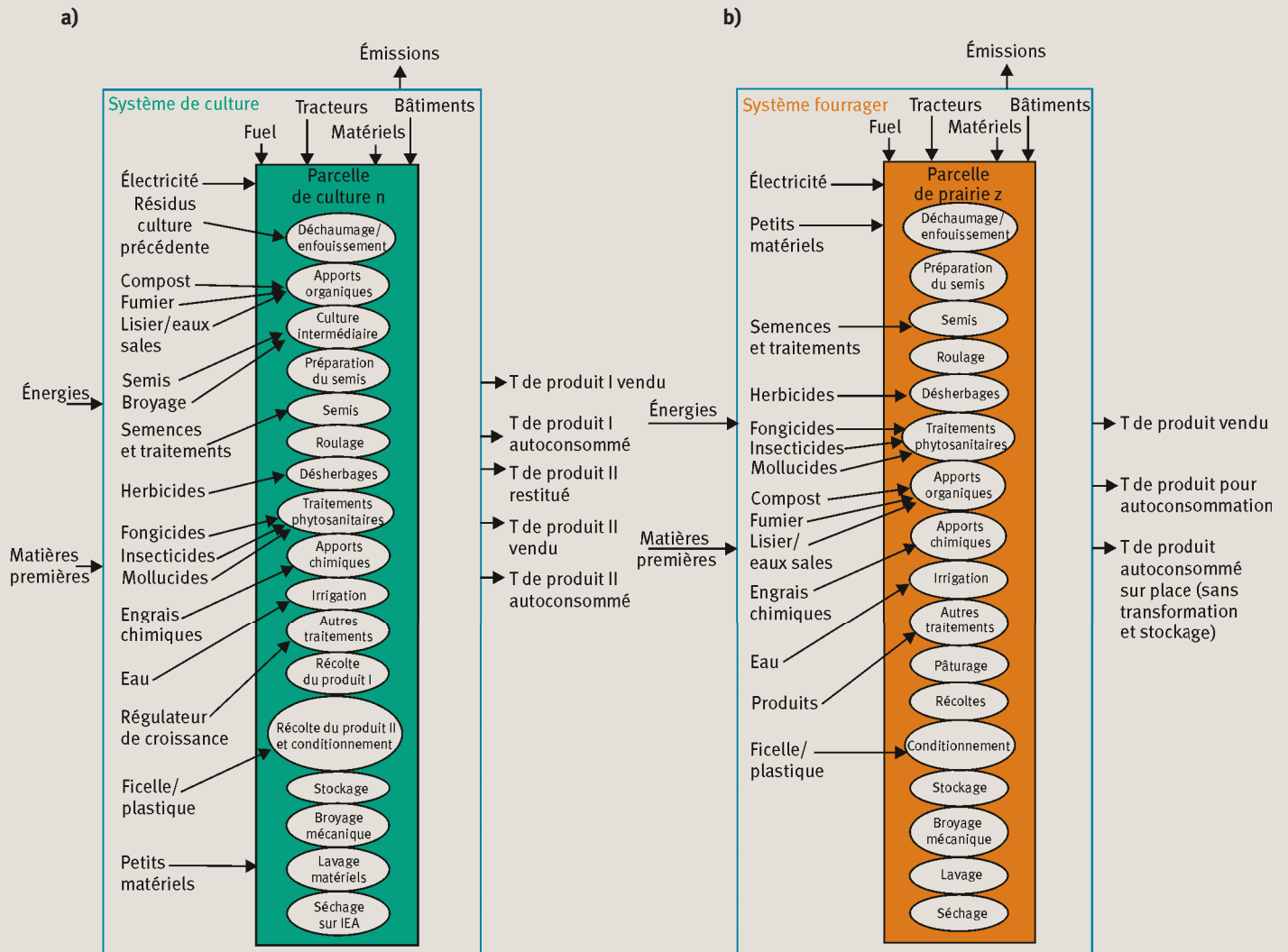
Les limites temporelles lors de l'élaboration d'une ACV sur une année donnée sont nombreuses. En effet, l'étude peut être basée sur une année civile, comptable, culturale ou encore toute autre période tant qu'une date de début et de fin sont fixées préalablement. L'intérêt majeur de cette approche est d'avoir un aperçu des impacts environnementaux de l'ensemble des produits de l'exploitation à un instant donné. Cela permet la comparaison dans le temps et notamment, si l'analyse est réitérée, de voir les conséquences sur l'environnement des améliorations faites suite à l'étude initiale. Une limite de cette hypothèse est liée au choix de l'unité fonctionnelle. En effet, si l'unité fonctionnelle (UF) définie est la tonne de produit réalisé sur la ferme, ses valeurs pourront fortement fluctuer avec les aléas climatiques. Afin d'avoir une approche plus visuelle des sous-systèmes (notamment pour le sous-système de culture), nous préférons définir l'échelle temporelle comme étant l'année culturale. Pour chaque culture, les interventions prises en compte seront celles comprises entre la date de récolte de la culture implantée l'année précédente et la date de récolte de la culture pour l'année considérée.

Ce choix implique que pour les deux autres sous-systèmes (fourrager et élevage), des dates arbitraires soient prises. Nous prendrons donc en considération, pour l'ACV de l'exploitation, tout ce qui se passe entre le mois d'août de l'année considérée et le mois de juillet de l'année suivante.

Choisir le système étudié et l'unité fonctionnelle

Dans le temps imparti pour l'étude, seuls les sous-systèmes cultural et fourrager ont pu être étudiés. Ces deux sous-systèmes sont présentés sur la figure 2. L'unité fonctionnelle choisie pour tester la méthodologie mise en place sur les sous-systèmes de culture et fourrager est l'hectare pour l'année culturale 2006-2007. L'analyse de l'inventaire prend en compte l'ensemble des opérations culturales pouvant intervenir sur les parcelles culturales de l'exploitation agricole. Elle s'effectue pour un hectare de l'exploitation dans son ensemble, c'est-à-dire que nous considérons l'exploitation dans son ensemble soit 140 ha et non sur les surfaces réellement cultivées (109 ha).

2 Flux élémentaires composants le sous-système cultural (a) et le sous-système fourrager (b) étudiés dans le cadre de l'ACV de l'exploitation agricole du Cemagref de Montoldre



Recueillir les données d'inventaire et calculer les émissions liées aux sous-systèmes cultural et fourrager

Les données d'inventaires récoltées concernent les flux entrants et les flux sortants du système. Les flux entrants correspondent aux machines (matériels agricoles, tracteurs), à l'énergie (fuel) et aux intrants utilisés pour chaque opération culturale. Les flux sortants correspondent aux émissions générées pour chaque opération culturale, ainsi que les déchets.

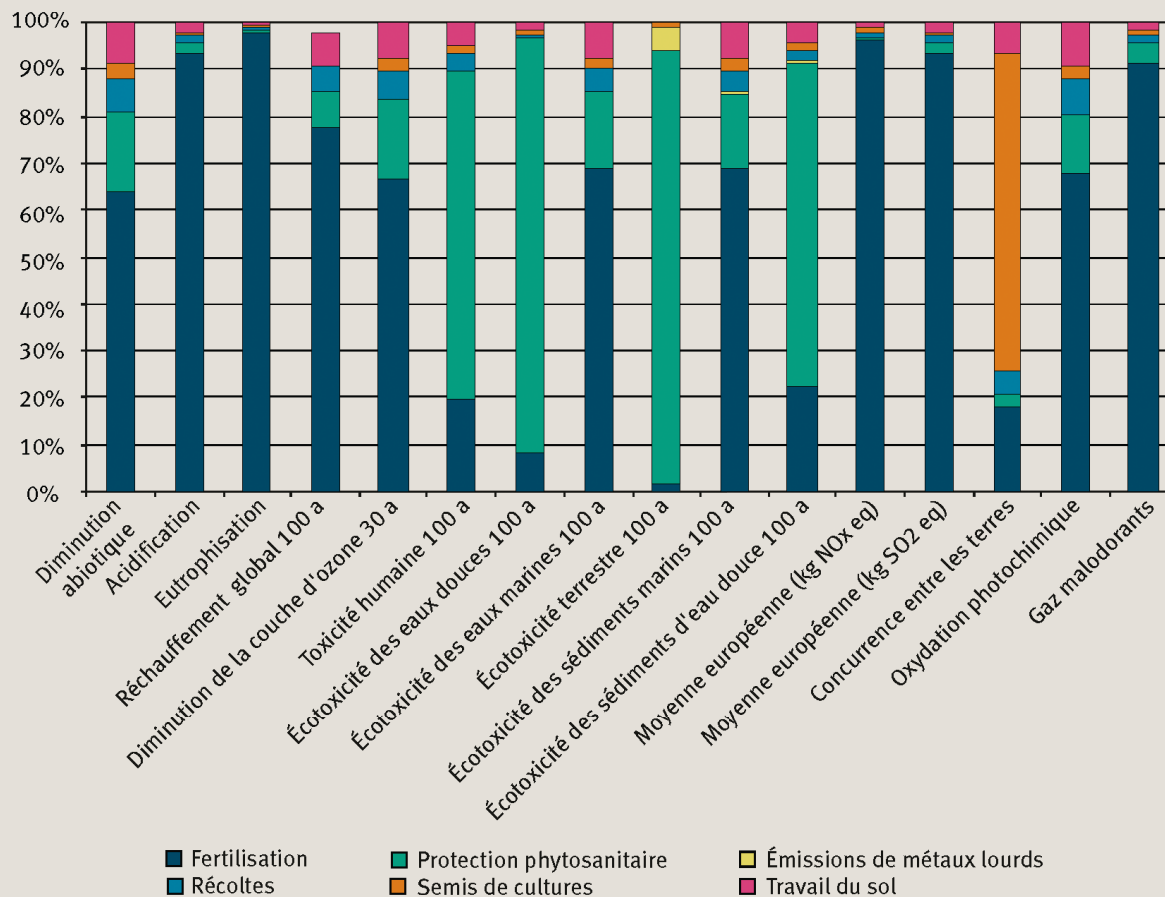
Les données et formules utilisées pour le calcul des émissions directes sont issues du rapport Ecoinvent version 2 n° 15 de Nemecek et Kaegi (2007). Les données ont été en partie extraites du logiciel Carto'Ciel qui permet d'assurer le suivi des parcelles de l'exploitation du Cemagref de Montoldre. Le besoin d'un grand nombre de données a nécessité une

collecte plus approfondie auprès du personnel de l'exploitation.

Les émissions générées sont soit directes (émissions directes des sous-systèmes étudiés), soit indirectes (émissions des processus utilisés par les sous-systèmes étudiés). Les émissions indirectes ne seront pas présentées dans ce papier.

Les émissions directes dans l'eau pour un hectare de l'exploitation proviennent principalement des métaux lourds contenus dans les intrants utilisés pour les cultures (29,02 mg pour le cadmium, 4574,39 mg pour le cuivre, 13 752,57 mg pour le zinc, 502,56 mg pour le plomb, 506,23 mg pour le nickel, 12 961,64 mg pour le chrome et 3,61 mg pour le mercure) et du lessivage des nitrates et phosphates (219,06 kg pour les nitrates et 0,488 kg pour les phosphates).

3 Impacts environnementaux pour le système cultural de l'exploitation agricole du Cemagref de Montoldre avec la méthode CML 2001



► Les émissions directes vers le sol pour un hectare de l'exploitation proviennent principalement des métaux lourds contenus dans les intrants utilisés pour les cultures (434,64 mg pour le cadmium, 475,13 mg pour le cuivre, 29 279,77 mg pour le zinc, 6 530,82 mg pour le plomb, 3 026,68 mg pour le nickel et 100,17 mg pour le mercure).

Les émissions directes dans l'air pour un hectare de l'exploitation proviennent de la volatilisation de l'ammoniac (12,92 kg de NH_3), des oxydes d'azote (0,589 kg pour le N_2O et 0,124 kg pour les NO_x) et du dioxyde de carbone (8 234,4 g de CO_2).

Les intrants utilisés dans les sous-systèmes étudiés varient de 0,007 kg à 1,09 kg pour les pesticides solides ou de 0,003 l à 1,37 l pour les pesticides liquides par hectare de l'exploitation. Les quantités de semences utilisées par hectare d'exploitation varient de 0,09 kg pour le colza à 23,92 kg pour le blé.

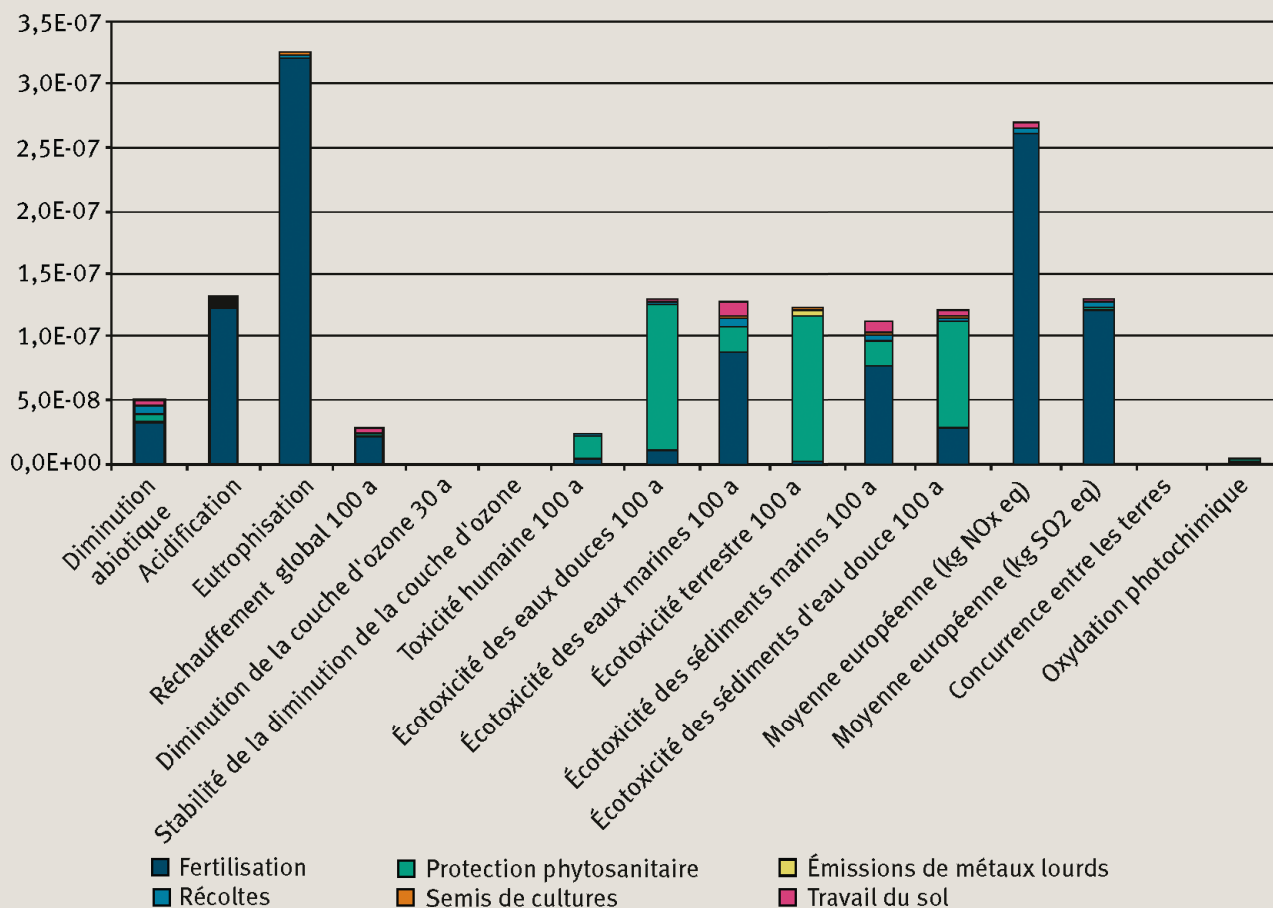
Enfin, l'engrais le plus utilisé sur l'exploitation est le fumier avec 1 075,43 kg par hectare.

Résultats et perspectives : évaluer l'impact environnemental global d'une exploitation agricole devient possible grâce à l'ACV

Pour l'ensemble des productions végétales de l'exploitation agricole du Cemagref de Montoldre, les impacts environnementaux des différentes opérations culturales ont été évalués à l'aide de deux méthodes d'évaluation disponible en ACV : une méthode orientée « impact », CML 2001 (Guinée *et al.*, 2001), et une méthode orientée « dommage », Eco Indicator 99 (Goedkoop et Spruiensma, 1999). Les figures 3 à 5 présentent les résultats obtenus pour chacune de ces méthodes.

On constate ainsi pour la méthode CML 2001 (figure 3) que les pratiques de fertilisation et de protection phytosanitaire sont les plus impactantes sur l'ensemble des catégories étudiées. La fertilisation impacte de manière plus importante sur l'acidi-

4 Visualisation des impacts environnementaux normalisés de l'exploitation agricole par la méthode CML 2001



fication, l'eutrophisation et le réchauffement climatique du fait des nombreuses émissions azotées et phosphatées générées par l'application des engrais organiques et minéraux (volatilisation de l'ammoniac, lessivage des nitrates et des phosphates, libération de protoxyde d'azote). La protection phytosanitaire génère quant à elle des impacts plus importants sur la toxicité humaine et les milieux aquatiques du fait des molécules toxiques libérées lors de la pulvérisation et qui peuvent polluer ces milieux. Par ailleurs, avec les données normalisées (figure 4), on remarque que le système étudié a un impact très fort sur l'eutrophisation des milieux, du fait notamment de l'utilisation d'engrais. Certaines catégories d'impact, comme la compétition pour l'espace ou la diminution de la couche d'ozone, sont peu affectées par les pratiques de l'exploitation. Les observations de chaque opération culturale (fertilisation, protection phytosanitaire...) permettent de mettre en avant leurs points négatifs. Par exemple, pour la fertilisation, l'ammonitrate 33

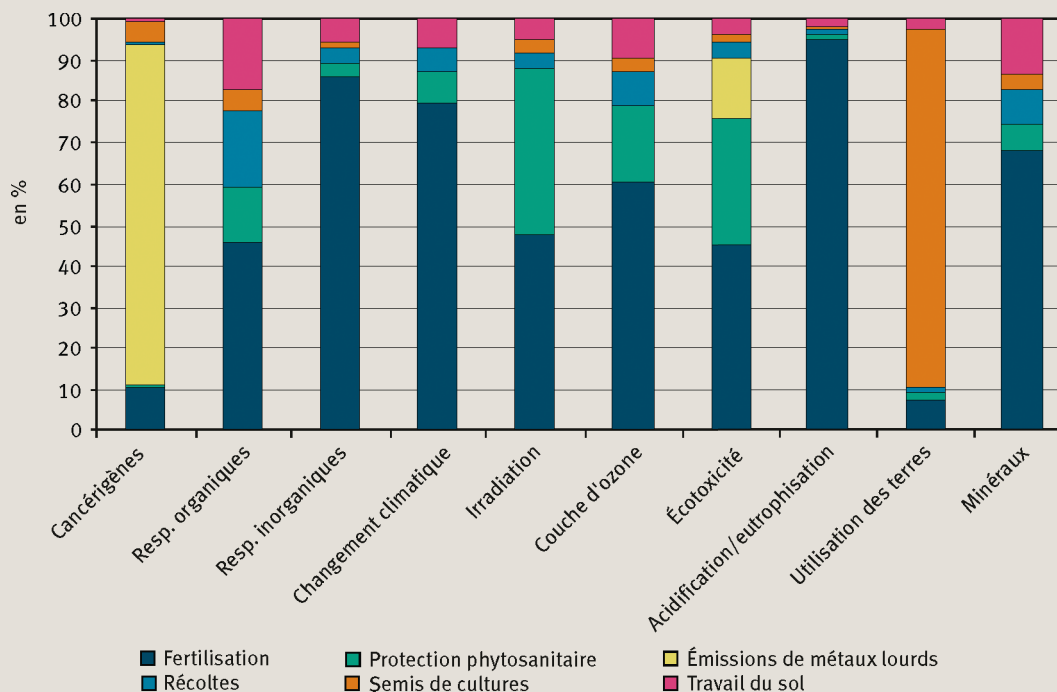
possède la teneur en émissions la plus importante ($1,24 \times 10^{E-7}$). Dans le cas des pesticides, le Supersect et le Basagran sont les produits ayant les impacts les plus importants, l'écotoxicité étant souvent la catégorie la plus touchée. En outre, on peut noter que l'ACV prend aussi bien en considération la dose de produit appliquée au champ que la toxicité des molécules utilisées.

Cette approche plus détaillée au niveau de l'opération culturale permet de pointer et de dissocier les intrants et les matériels ayant les impacts les plus importants sur l'environnement, mais également d'identifier les points à améliorer et ainsi de proposer des solutions de remédiation.

Avec la méthode Eco Indicator 99, les résultats sont focalisés sur les dommages générés par les pratiques culturales étudiées selon trois catégories : santé humaine, qualité des écosystèmes naturels et consommation de ressources (figure 5). La fertilisation apparaît avec cette méthode comme l'impact le plus prépondérant en comparaison des autres opérations culturales.



5 Impacts environnementaux pour le système cultural de l'exploitation agricole du Cemagref de Montoldre avec la méthode Eco Indicator 99



Seul le semis génère un impact important sur la catégorie « *land use* » (utilisation de l'espace), et ce pour les deux méthodes. Les métaux lourds sont très peu identifiés comme ayant un impact potentiel avec la méthode CML 2001 alors que la méthode Eco Indicator 99 les identifie comme éléments cancérigènes.

Cette première approche méthodologique sur la mise en place d'une analyse du cycle de vie sur un système tel que celui d'une exploitation agricole doit être approfondie, en s'intéressant d'une part, à l'ensemble des trois sous-systèmes, et d'autre part, à la faisabilité de cette méthodologie sur d'autres exploitations que celle du Cemagref de Montoldre.

La présente étude ne s'est focalisée que sur les sous-systèmes de culture et fourrager, mais des efforts doivent maintenant être portés sur le dernier sous-système et sur les interactions des sous-systèmes entre eux. Elle a permis d'apporter des éléments de réponse sur le positionnement spatial et temporel d'une exploitation agricole dans l'analyse du cycle de vie, mais de nouvelles questions méthodologiques restent en suspens, notamment sur les allocations entre sous-systèmes.

À la lueur des premiers résultats, cette étude nous permet de montrer que des comparaisons entre opérations culturales sont possibles d'un point de vue environnemental avec un tel outil et qu'une fois agrégées, les données permettent la réalisation d'une analyse du cycle de vie à l'échelle globale de l'exploitation. ■

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- BONNEVIALE, J.-R., BROSSIER, J., FERRIÉ, H., FRÉMONT, J.-M., LE GUEN, R., MARSHALL, E., SCHOST, C., VINCQ, J.-L., 1998, *L'exploitation agricole*, Nathan Édition, 160 p.
- GAFSI, M., 2006, Exploitation agricole et agriculture durable, *Cahiers Agricultures*, n° 15, p. 491-497.
- GOEDKOOP, M., SPRIENSMA, R., 1999, *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle impact assessment*, Amersfoort : Pre Consultants, <http://www.pre.nl/eco-indicator99/>
- GUINÉE, J.-B., DE BRUIJN, J.-A., VAN DUIN, R., 2001, *Life cycle assessment – An Operational Guide to the ISO Standards*, Centre of Environmental Science, Leiden University, Leiden, The Netherlands.
- NEMECEK, T.H., KAEGI, T., 2007, *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems*, Eco invent report n° 15, version 2, 360 p.

► Consulter l'ensemble des références sur le site de la revue www.set-revue.fr

Les auteurs

Marilys Pradel

Cemagref,
centre de Clermont-Ferrand,
UR TSCF, Technologies et systèmes
d'information pour les agrosystèmes,
Domaine des Palaquins,
03150 Montoldre
marilys.pradel@cemagref.fr

Amélie De Gervillier

Institut polytechnique LaSalle Beauvais,
Rue Pierre Wagué,
BP 30313,
60026 Beauvais Cedex
ameldeger@wanadoo.fr