



**EFFETS ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS D'AFFECTATION DES SOLS
LIÉS À DES RÉORIENTATIONS AGRICOLES, FORESTIÈRES, OU D'ÉCHELLE TERRITORIALE**

UNE REVUE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

RAPPORT DE L'ÉTUDE RÉALISÉE PAR L'INRA ET L'ADEME - DÉCEMBRE 2017





Délégation à l'Expertise, à la Prospective
et aux Etudes (DEPE)

Effets environnementaux des changements d'affectation des sols liés à des réorientations agricoles, forestières, ou d'échelle territoriale

Une revue critique de la littérature scientifique

Rapport d'étude

Antonio Bispo, Benoît Gabrielle, David Makowski (coordinateurs),
Monia El Akkari, Laure Bamière, Aude Barbotin, Valentin Bellassen,
Cécile Bessou, Patrice Dumas, Sabrina Gaba, Julie Wohlfahrt,
Mélanie Sandoval, Sophie Le Perchec, Olivier Réchauchère

Décembre 2017

Antonio Bispo, Benoît Gabrielle, David Makowski (pilotes scientifiques de l'étude)

Monia El Akkari (chargée d'étude)

Laure Bamière, Aude Barbottin, Valentin Bellassen, Cécile Bessou, Patrice Dumas, Sabrina Gaba, Julie Wohlfahrt (experts scientifiques principaux)

Martial Bernoux, François Chiron, Laure Cormier, Stéphane De Cara, Guillaume Decocq, Cécile Detang-Dessendre, Jean-François Dhôte, Nathalie Frascaria-Lacoste, Sophie Legras, Philippe Lescoat, Romain Melot, Claude Napoleone, Bertrand Schmitt (experts scientifiques contributeurs ponctuels)

Equipe projet DEPE : Olivier Réchauchère (chef de projet), Sophie Le Perchec (documentation), Mélanie Sandoval (traitement de données documentaires), Isabelle Savini (appui rédactionnel, édition), Anaïs Tibi (suivi méthodologique), Kim Girard (suivi logistique et administratif)

Contacts : antonio.bispo@inra.fr, david.makowski@inra.fr, benoit.gabrielle@agroparistech.fr, olivier.rechauchere@inra.fr

Le présent document constitue le rapport de l'étude sollicitée conjointement par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe) et le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF), convention n°12-60-C0004. Le contenu du rapport n'engage que la responsabilité de leurs auteurs. Il a été élaboré par les experts scientifiques sans condition d'approbation préalable par les commanditaires ou l'INRA.

Le rapport complet (Introduction, Partie I, Partie II et Partie III), ainsi que la synthèse (68 pages) et le résumé (8 pages) du rapport sont disponibles sur le site institutionnel de l'INRA (www.inra.fr).

Pour citer ce document :

Antonio Bispo, Benoît Gabrielle, David Makowski (coordinateurs), Monia El Akkari, Laure Bamière, Aude Barbottin, Valentin Bellassen, Cécile Bessou, Patrice Dumas, Sabrina Gaba, Julie Wohlfahrt, Mélanie Sandoval, Sophie Le Perchec, Olivier Réchauchère, 2017. *Effets environnementaux des changements d'affectation des sols liés à des réorientations agricoles, forestières, ou d'échelle territoriale : une revue critique de la littérature scientifique*, Rapport d'étude, INRA (France), 238 p.

Avant-propos

L'émergence des questions liées aux changements d'affectation de sols

Depuis le début des années 2000, la production et l'usage de bioénergies issues de matières premières agricoles se sont développés dans diverses parties du monde et, notamment, aux Etats-Unis, dans l'Union Européenne, au Brésil, en Chine et dans l'Asie du sud-est. Des politiques publiques ont été mises en place visant un double objectif : réduire la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles, dont le prix commençait à se renchérir ; lutter contre le changement climatique, grâce à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) *a priori* permise par l'utilisation de sources d'énergies renouvelables. Cette nouvelle orientation donnée à la production agricole a entraîné, directement ou indirectement, d'importants changements d'affectation des sols (CAS) à travers le monde. A la fin des années 2000, plusieurs études scientifiques ont montré que la prise en compte des effets de ces changements d'affectation des sols pouvait modifier assez fortement le bilan d'émissions de GES des bioénergies, remettant potentiellement en question leur intérêt environnemental.

L'intégration des CAS dans les évaluations environnementales s'étend aujourd'hui au-delà du cas des bioénergies. En effet, dans un contexte de besoins en terres croissants pour répondre à des objectifs alimentaires, énergétiques, de bâti et d'infrastructures, les évaluations environnementales de tous types de réorientations dans un territoire, y compris les changements de pratiques agricoles, devraient intégrer de façon plus systématique l'effet des changements d'affectation des sols. Ce questionnement monte en puissance dans la définition des politiques publiques.

Dans le but d'élargir la réflexion à d'autres types de réorientations de la production et d'autres types d'impacts environnementaux que les effets sur les émissions de GES du développement de la bioénergie, l'ADEME et le ministère en charge de l'agriculture ont demandé à l'INRA de réaliser une analyse systématique de la littérature internationale. Cette étude vise à faire un état des lieux des connaissances sur ce vaste sujet en vue de mieux cerner la gamme des réorientations et impacts étudiés et d'identifier les questions de recherche émergentes. Elle se focalise sur les travaux publiés dans des revues scientifiques décrivant la façon dont une réorientation de systèmes de production agricoles et forestiers ou d'utilisation du territoire agit sur certaines composantes de l'environnement *via* les changements des usages des sols qu'elle engendre, c'est-à-dire l'ensemble de la chaîne causale suivante : "réorientations agricoles, forestières ou d'échelle territoriale → changement d'affectation des sols → impact environnemental".

Cette étude a été menée en respectant les principes de l'expertise scientifique collective pratiquée par l'INRA, tels que décrits dans l'encadré de la page 4.

Une démarche d'expertise formalisée

La présente étude a été conduite sous la responsabilité de l'INRA, dans le cadre des activités du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) "Changement d'affectation des sols" et en réponse à une commande conjointe de l'ADEME et du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Elle s'inscrit dans les activités de la DEPE de l'INRA et en respecte les principes : compétence et pluralité des experts, impartialité (qui repose sur l'examen des déclarations d'intérêt des experts par le comité de déontologie de l'INRA), transparence concernant la méthodologie suivie et la traçabilité des actions et moyens mis en œuvre au cours de l'étude. Ces principes sont formalisés dans la Charte INRA de l'Expertise Scientifique Institutionnelle¹ et dans les procédures de travail de la DEPE. Aucun conflit d'intérêt n'a été repéré dans les déclarations transmises par les experts.

Le suivi de cette étude a été assuré au sein du GIS "Changement d'affectation des sols" par ses deux instances de gouvernance :

- le Haut Comité de Groupement (HCG), qui réunit les membres du GIS, à savoir l'INRA, l'ADEME, les ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement, et FranceAgriMer ; le HCG a joué un rôle de comité de suivi de l'étude ;

- le Comité Technique d'Orientation (CTO), qui regroupe l'ensemble des parties prenantes de la thématique des CAS et qui a joué le rôle de comité consultatif d'acteurs de l'étude.

Une étude s'inscrivant dans le cadre de l'expertise collective et mobilisant une démarche innovante

L'étude comporte trois étapes. Les deux premières relèvent très clairement de l'expertise collective, à savoir un état des lieux critique des connaissances disponibles reposant sur l'analyse des publications scientifiques par un groupe d'experts pluridisciplinaire. La spécificité de la présente étude est d'avoir mobilisé au cours de ces deux étapes des outils et méthodes rarement utilisés dans les expertises collectives :

- une plateforme d'analyse textuelle lors de la première étape, dans le but de repérer plus rapidement, au sein d'un corpus conséquent, les principales thématiques abordées et la façon dont elles s'articulent entre elles ;

- une méthode d'extraction systématique des informations contenues dans les articles lors de la deuxième étape, méthode apparentée aux "systematic reviews", dans le but de garantir la pleine exploitation des informations extraites et d'être en mesure d'en faire un traitement statistique et en partie automatisé. Ces informations ont été ensuite synthétisées en utilisant une méthode de cartographie des données ;

La troisième étape, à savoir la réalisation d'une méta-analyse sur un sous-ensemble du corpus initial, est un volet complémentaire de la deuxième étape. Cette approche statistique permet d'analyser conjointement les données issues de différentes études menées sur un même sujet.

L'étude dans son ensemble relève donc du format des études au sens de la DEPE, c'est-à-dire des projets comportant un volet d'expertise scientifique collective (reposant sur l'analyse des connaissances scientifiques publiées) et un volet d'étude reposant sur l'assemblage ou le traitement de données existantes (calculs, simulations, méta-analyses) afin de répondre à la demande des commanditaires dans le cas où le simple examen critique de la bibliographie disponible s'avère insuffisant.

¹ <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Tous-les-dossiers/Expertise-scientifique-collective/Charte-de-l-expertise-scientifique-institutionnelle>

Les experts et l'équipe projet

• Le collectif d'experts

Pilotes scientifiques :

Antonio Bispo, ADEME, Direction Productions et Energies Durables - Service Agriculture et Forêt. *Ademe, 20 avenue du Grésillé, BP 90406, 49004 Angers cedex 01*

Benoît Gabrielle, AgroParisTech, département SIAFEE et UMR1402 ECOSYS, Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes INRA-AgroParisTech. *INRA-AgroParisTech, Route de la Ferme, 78850 Thiverval-Grignon*

David Makowski, INRA, UMR 0211 Agronomie INRA-AgroParisTech. *INRA Grignon, 78850 Thiverval-Grignon*

Experts scientifiques principaux :

Laure Bamière, INRA, UMR 0210 ECO-PUB Economie Publique INRA-AgroParisTech. *INRA Grignon, 78850 Thiverval-Grignon*

Aude Barbottin, UMR 1048 SADAPT Sciences pour l'Action et le Développement : Activités, Produits, Territoires INRA-AgroParisTech. *INRA Grignon, 78850 Thiverval-Grignon*

Valentin Bellassen, INRA, UMR 1041 CESAER Centre d'Economie et de Sociologie Rurales Appliquées à l'Agriculture et aux Espaces Ruraux INRA-AgroSup Dijon. *AgroSup Dijon, 26 boulevard Dr Petitjean, BP 87999, 21079 Dijon cedex*

Cécile Bessou, CIRAD, Unité de recherche PERSYST Performance des Systèmes de Culture des Plantes Pérennes. *CIRAD TA B-34/02, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier cedex 5*

Patrice Dumas, CIRAD, UMR CIRED Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement. *CIRAD TA C-56/15, 73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier cedex 5*

Sabrina Gaba, INRA, UMR 1347 Agroécologie INRA-AgroSup Dijon-Université de Bourgogne-CNRS. *INRA Sully, 17 rue Sully, BP 86510, 21065 Dijon*

Julie Wohlfahrt, INRA, UR 0055 ASTER Mirecourt Agro-Systèmes Territoires Ressources Mirecourt INRA. *INRA Domaine du Joly, 662 avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt*

Experts scientifiques contributeurs ponctuels :

Martial Bernoux (IRD-FAO), **François Chiron** (AgroParisTech), **Laure Cormier** (Institut d'Urbanisme de Paris Université Paris Est), **Stéphane De Cara** (INRA), **Guillaume Decocq** (Université de Picardie), **Cécile Detang-Dessendre** (INRA), **Jean-François Dhôte** (INRA), **Nathalie Frascaria-Lacoste** (AgroParisTech), **Sophie Legras** (INRA), **Philippe Lescoat** (AgroParisTech), **Romain Melot** (INRA), **Claude Napoleone** (INRA), **Bertrand Schmitt** (INRA)

• L'équipe projet DEPE-INRA

Olivier Réchauchère, chef de projet

Monia El Akkari, chargée d'étude

Sophie Le Perchec, documentaliste

Mélanie Sandoval, traitement de données documentaires

Isabelle Savini, appui rédactionnel

Anaïs Tibi, suivi méthodologique

Sommaire général du rapport

Introduction

1. Problématique générale de l'étude
2. Cadre méthodologique
3. Résumé des différentes étapes de la démarche

Partie I - Analyse textuelle des articles scientifiques sur les impacts environnementaux des changements d'affectation des sols

1. Introduction
2. Méthodologie de l'analyse textuelle
3. Analyse de l'ensemble du corpus (5 730 références)
4. Prolongements de l'analyse textuelle sur des thématiques prioritaires
5. Approfondissement de l'étude sur la thématique « biomasse non alimentaire »
6. Approfondissement de l'étude sur la thématique « urbanisation »
7. Approfondissement de l'étude sur la thématique « impacts sur la biodiversité »
8. Focus sur les thématiques « élevage » et « production alimentaire »
9. Conclusion

Partie II - Revue systématique des connaissances sur les impacts environnementaux de la production de biomasse non alimentaire intégrant les changements d'affectation des sols

Introduction

1. Les impacts environnementaux de la production de biomasse non alimentaire induisant des changements d'affectation des sols : portée, axes de recherche et méthodologie des recherches actuelles
2. Les impacts sur le sol
3. Les impacts sur l'eau
4. Les impacts sur les émissions de gaz à effet de serre
5. Les impacts sur la qualité de l'air et la santé humaine
6. Les impacts sur la biodiversité
7. Les impacts sur les ressources non renouvelables
8. Conclusion : Cartographie des données relatives à l'impact environnemental du changement d'affectation des sols pour la production de biomasse non alimentaire

Partie III -

1. Introduction
2. Matériel et méthodes
3. Résultats
4. Discussion
5. Conclusion

Introduction

Olivier Réchauchère (INRA), Monia El Akkari (INRA), Sophie Le Perchec (INRA), Antonio Bispo (ADEME), Benoît Gabrielle (AgroParisTech), David Makowski (INRA)

1. Problématique générale de l'étude

Différents travaux, menés par des équipes internationales et en France notamment par l'ADEME en collaboration avec l'INRA (Etudes ADEME-INRA, dont De Cara *et al.*, 2012), ont montré l'importance d'une meilleure prise en compte des changements d'affectation des sols (CAS) dans les évaluations environnementales (van Vliet *et al.*, 2016 ; Hellweg et Milà i Canals, 2014 ; Liu *et al.*, 2015). En effet, lorsque les impacts environnementaux d'un CAS consécutif à la réorientation d'un système agricole sont pris en compte, l'évaluation environnementale de la réorientation peut être fortement modifiée. C'est le cas par exemple dans les bilans d'émissions de gaz à effet de serre des filières bioénergie (Searchinger *et al.*, 2008 ; Lapola *et al.*, 2010).

Les publications traitant du changement d'affectation des sols (directs et/ou indirects) sont désormais abondantes notamment dans le domaine de la production agricole. En effet, une modification des pratiques agricoles, qu'il s'agisse de simples ajustements de techniques existantes, de substitution d'une technique par une autre ou de la réorientation plus conséquente d'un système de culture ou d'élevage, peuvent entraîner un changement d'affectation des sols à diverses échelles et avoir un effet notable sur l'environnement. Ainsi, de nombreuses études concernent les biocarburants de première génération et traitent préférentiellement de leur impact environnemental en termes d'émissions de gaz à effet de serre, en comparaison aux carburants fossiles. Certains travaux plus récents étudient l'impact environnemental des biocarburants de seconde génération (Davis *et al.*, 2012), du développement de l'élevage (Nguyen *et al.*, 2013) ou de l'urbanisation (Toth, 2012). Ces travaux cherchent à estimer les impacts environnementaux liés à différents types de changements d'affectation des sols et mobilisent, en général, les mêmes approches que celles utilisées pour étudier l'impact environnemental des biocarburants de première génération (ex : modélisation biophysique et économique ou analyse de cycle de vie - ACV).

On distingue en général deux types de changement d'affectation de sols, les CAS directs et les CAS indirects (Figure 1). Le CAS direct (CASd) décrit les situations où le développement d'une culture modifie le type d'affectation du sol, qui pouvait préalablement être occupé par exemple par une forêt ou une prairie permanente. On change donc directement de catégorie d'affectation (selon la définition IPCC 2006). Le changement d'affectation des sols indirect (CASi) décrit l'effet d'un changement de pratiques agricoles ou de finalité de la production dans une zone déjà cultivée (ex : remplacement d'une culture alimentaire par une culture énergétique) qui entraîne par rebond une modification d'affectation du sol dans une autre zone géographique (ex : remplacement d'une prairie ou d'une forêt par une culture alimentaire pour compenser la perte de production alimentaire).

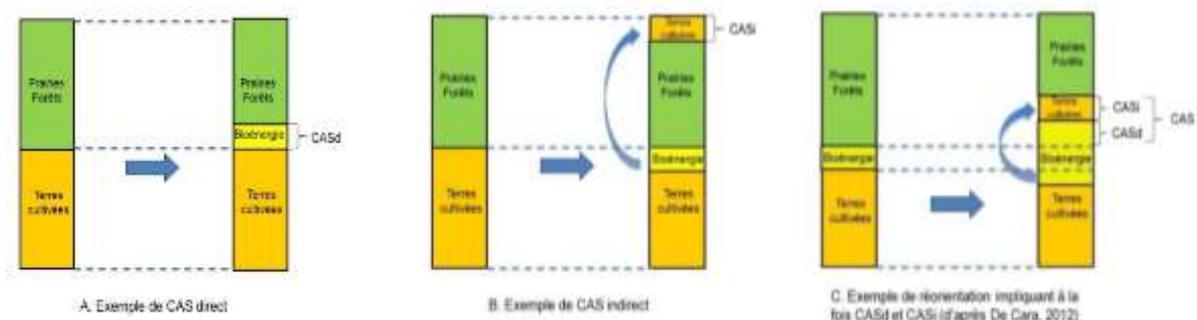


Figure 1. Représentation schématique d'exemples de réorientation d'une surface agricole ayant entraîné un CAS direct (A), un CAS indirect (B), une combinaison de CAS direct et indirect (C)

Cette notion de CAS indirect peut entraîner une réduction ou une expansion de la surface cultivée. Ainsi, par exemple, une augmentation des rendements à l'échelle locale permet que le même volume de production puisse

être obtenu sur une surface moindre, libérant potentiellement des terres pour d'autres usages (Brunelle *et al.*, 2014) ; à l'inverse, le choix de réorienter une partie de la production alimentaire vers des usages non alimentaires peut conduire à un report de cette production alimentaire vers d'autres terres, induisant potentiellement un CAS dans des zones qui n'étaient pas cultivées (Lapola *et al.*, 2010 ; Plevin *et al.*, 2010).

Le bilan environnemental de la réorientation d'un système agricole peut ainsi être considéré comme la somme des effets strictement liés à la mise en œuvre immédiate de la réorientation, et des effets liés aux changements d'affectation des sols, CASd ou CASi, que cette réorientation a provoqués.

L'intégration des impacts des CAS dans les évaluations environnementales n'est pas un exercice facile car les CAS sont sous la dépendance de multiples facteurs tels que les prix, les rendements, la nature des éco-agrosystèmes transformés, les régimes alimentaires, des mesures et incitations politiques... (Figure 2). Par ailleurs, si les CASd peuvent se mesurer et être surveillés (ex : remplacement d'un milieu naturel par un système cultivé), les CASi ne peuvent pas l'être, puisque par définition ils sont appréhendés par le biais d'un calcul ou d'une modélisation, non par une observation directe. Pour estimer leur ampleur, il s'agit donc de faire des hypothèses sur les conséquences des réorientations (ex : ACV conséquentielle ou approche descriptive causale) ou de simuler des scénarios avec des modèles intégrant des informations de natures très diverses (politiques, économiques, biophysiques ; Ben Aoun *et al.*, 2013).

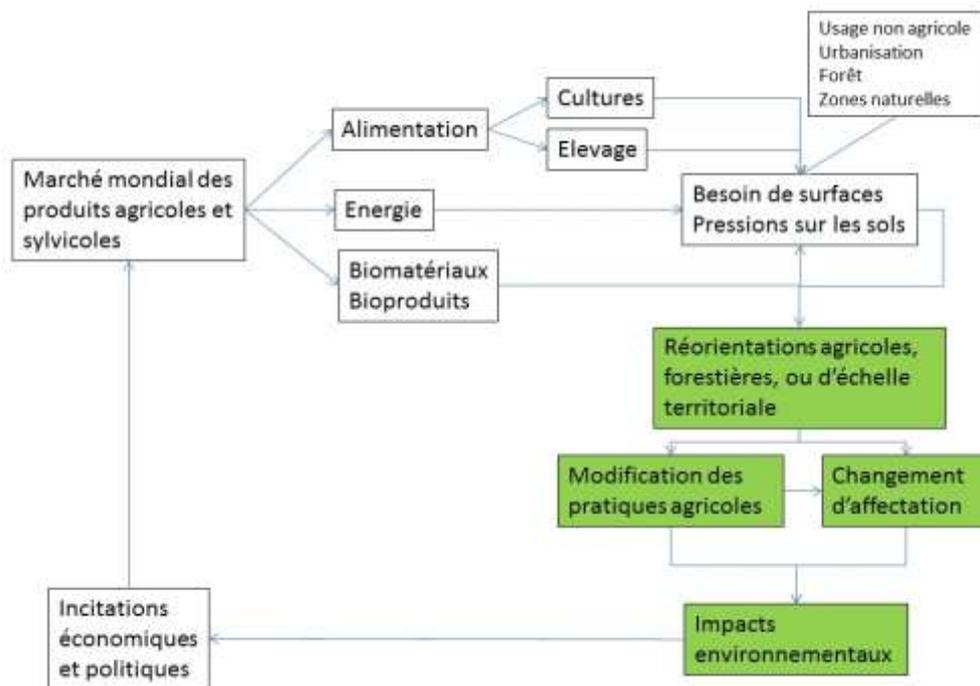


Figure 2. Schéma conceptuel des facteurs influant sur les changements d'affectation des sols

La Figure 2 schématise les principales interactions conduisant à des changements d'affectation des sols. Dans la sphère agricole, l'évolution des demandes alimentaires (en produits végétaux et animaux), énergétiques, ou encore en produits biosourcés déterminent un besoin global en surfaces de production. Par ailleurs, l'évolution d'un certain nombre d'usages non agricoles des sols vient également moduler la pression sur les terres cultivables (ex : besoins en logement, en infrastructure). La combinaison de l'évolution de la demande en produits agricoles, sylvicoles et autres usages va déterminer une réorientation des systèmes agricoles, incluant des changements d'affectation des sols, dont l'ampleur dépendra également de l'évolution des pratiques agricoles, notamment parce que celles-ci vont déterminer les niveaux de rendements obtenus. L'ensemble conjugué de ces évolutions (changements d'affectation des sols et modifications des pratiques agricoles) a des impacts sur l'environnement. C'est cette portion de la figure, représentée en vert, « Réorientation des systèmes agricoles et forestiers et de l'aménagement du territoire → changement d'affectation des sols → impact environnementaux », qui est l'objet principal de la présente étude.

A la fin des années 2000, plusieurs études (Searchinger *et al.*, 2008 ; Fargione *et al.*, 2009 ; Wise *et al.*, 2009) ont montré que les CAS pouvaient avoir une forte influence sur les bilans environnementaux. Ces premières études se sont focalisées sur un type de réorientation bien précis, la production de biocarburants de première génération, entraînant des CAS, et sur un type d'impact environnemental spécifique, les émissions de gaz à effet de serre. Depuis les années 2010, de nouvelles études ont été conduites en considérant des réorientations, des types de CAS et des impacts plus diversifiés. Les réorientations considérées dans ces études plus récentes concernent, par exemple, la modification des successions de cultures, l'intensification ou extensification des systèmes de culture ou d'élevage, le développement de cultures de diversification comme les biocarburants de seconde génération (issus de matières premières ligno-cellulosiques), le développement d'énergies ou matériaux biosourcés, le développement ou la contraction des productions animales, l'artificialisation des terres agricoles, ou encore l'évolution de l'alimentation humaine (voir Partie I du rapport, Chapitre 3). Ces réorientations peuvent générer des CASd et/ou des CASi. Certaines études récentes (van Vliet *et al.*, 2016) ne considèrent pas uniquement les impacts sur les émissions des GES, mais étudient également les impacts sur le sol, la qualité et la disponibilité de l'eau, la qualité de l'air, la biodiversité, etc.

A terme, dans un contexte de besoin en terres croissant pour répondre à des objectifs alimentaires, énergétiques, de logement et d'infrastructure (UNEP, 2014), les évaluations environnementales de réorientations dans un territoire devraient intégrer de façon plus systématique l'effet des changements d'affectation des sols. Ce questionnement monte en puissance dans la définition des politiques publiques. Ainsi, les récentes propositions (Commission européenne, 2016) de modification de la directive Energies Renouvelables (2009/28/EC) tendent à mettre en avant et à accélérer le développement des biocarburants de deuxième génération, considérés comme ayant un meilleur bilan environnemental du fait de leur moindre impact sur l'usage des sols (Harris *et al.*, 2015).

Les études publiées sur les CAS sont nombreuses, diversifiées et leurs résultats sont parfois contradictoires. Ainsi, dans l'étude de De Cara *et al.* (2012), la gamme de variation du bilan de GES est très large et comprend à la fois des valeurs négatives et positives. Pour éclairer le débat public sur les impacts environnementaux des CAS (directs et indirects) mais également pour contribuer à identifier des questions de recherche pertinentes, il est donc nécessaire de synthétiser les résultats des études ayant analysé les effets des CAS sur une large gamme d'impacts environnementaux. Il s'agit en particulier d'être en mesure d'attribuer des impacts environnementaux à des réorientations induisant des CAS, par le prisme de la chaîne causale évoquée ci-dessus. L'analyse de la littérature actuelle sur ce sujet montre en effet que les étapes de cette chaîne sont abordées de façon cloisonnée (van Vliet *et al.*, 2016), ce qui ne permet pas de faire un lien direct entre impacts et réorientations.

L'objectif de l'étude est ainsi de produire une analyse systématique de la bibliographie internationale sur les effets de différentes réorientations (ex : agricoles, forestières, aménagement du territoire) sur les changements d'affectation des sols et leurs impacts sur l'environnement. Elle vise à faire un état des lieux des connaissances sur ce sujet en vue de mieux cerner l'ampleur du phénomène concerné et d'identifier les questions de recherche émergentes. Elle se focalise sur les travaux publiés dans des revues scientifiques décrivant l'ensemble de la chaîne causale « réorientation des systèmes agricoles et forestiers ou de l'aménagement du territoire → changement d'affectation des sols → impact environnemental ».

2. Cadre méthodologique

2.1. Décrire l'ensemble de la chaîne « réorientations - CAS - impacts environnementaux »

Les réorientations des territoires, qu'elles soient agricoles, forestières ou liées à l'aménagement, peuvent répondre à différents logiques et objectifs : intensification, extensification, développement de l'élevage, des bioénergies, construction de logements ou d'infrastructures, etc. Dans de nombreux cas, ces réorientations induisent directement ou indirectement des changements d'affectation des sols (*land use change* en anglais) dont les impacts environnementaux n'ont été que récemment abordés dans les études scientifiques (Veldkamp et Verburg, 2004).

Comme rappelé dans la section 1, les premières études prenant en compte les CAS pour évaluer les impacts environnementaux concernaient essentiellement le cas des réorientations vers la production de bioénergie. La production de biomasse non alimentaire s'est en effet considérablement développée au cours de la dernière

décennie pour répondre aux besoins de l'économie biosourcée (bioénergie, biomatériaux, etc.), et cette tendance devrait se poursuivre dans un proche avenir pour remplacer les ressources fossiles en diminution (Chum *et al.*, 2011). Des inquiétudes ont récemment été exprimées au sujet des conséquences des CAS liés à l'expansion de la production de matières premières, notamment en termes de bilan de gaz à effet de serre (Searchinger *et al.*, 2008), et ont suscité un fort accroissement du nombre de publications scientifiques au cours des 10 dernières années.

Pour intégrer les impacts des CAS au bilan environnemental de la production de biomasse et, *in fine*, à la demande croissante de produits finis (les biocarburants, par exemple), il est nécessaire de pouvoir relier la production de biomasse aux changements d'usage et de gestion des sols et aux impacts de ces changements sur l'environnement. Il s'agit donc de décrire une chaîne de causalité en trois étapes : les réorientations dans la production de matières premières, le CAS (direct ou indirect) en réponse à cette demande, et l'évaluation des impacts environnementaux dans ses diverses dimensions : émissions de GES, pollution atmosphérique, impacts sur la biodiversité, les ressources en eau, la qualité du sol.

Bien que des travaux aient été récemment publiés sur ce domaine de recherche (Berndes, G *et al.*, 2013 ; Broth *et al.*, 2013), aucun d'entre eux ne consiste en une revue systématique de la littérature englobant la chaîne causale complète « réorientations → CAS → impacts environnementaux ». Une *review* récente sur ce sujet a mis en évidence cette lacune dans la littérature scientifique du « *land use* » (van Vliet *et al.*, 2016), révélant une certaine séparation entre les études consacrées aux moteurs des CAS et celles analysant leurs impacts. La production scientifique concernant le CAS est ainsi fortement segmentée. Cela est sans doute en partie dû à l'existence de politiques publiques volontaristes en faveur de filières spécifiques, qui suscitent des recherches spécialisées. Le cas des études sur les biocarburants dans le secteur des transports en est un exemple (Liska et Perrin, 2009).

L'originalité de notre étude est d'identifier et de caractériser les études scientifiques publiées qui décrivent la chaîne complète « réorientations - CAS - impacts environnementaux ». Nos objectifs sont à la fois de décrire la gamme des réorientations d'usage des territoires considérées dans la littérature, et de réaliser un inventaire des impacts environnementaux traités. Les catégories d'usage des sols prises en compte dans notre étude sont celles proposées par l'*Intergovernmental Panel on Climate Change*² (IPCC, 2006) (forêt, cultures arables, prairies, zones humides et zones artificielles), auxquelles a été ajoutée une catégorie « cultures pérennes » particulièrement pertinente dans le cas de cette étude, car elle permet de distinguer les espèces ligno-cellulosique utilisées pour produire des biocarburants de seconde génération.

Le cadre méthodologique de l'étude est ainsi conçu pour identifier et analyser les études scientifiques étudiant l'impact des CAS sur l'environnement et les réorientations qui en sont à l'origine. La procédure proposée inclut cinq étapes principales : (i) Identification des études à l'aide d'une procédure de recherche bibliographique, (ii) Description des principales caractéristiques des études, (iii) Analyse textuelle des études et identification de sous-groupes thématiques, (iv) Dépouillement systématique d'un sous-ensemble d'études consacré à la production de biomasse non alimentaire à l'aide d'une grille de lecture et analyse des résultats, (v) Méta-analyse pour quantifier un des impact environnementaux décrit dans ce sous-ensemble. A notre connaissance, ces différentes approches n'ont jamais été utilisées simultanément pour analyser l'impact environnemental des CAS, en particulier ceux concernant la production de biomasse non alimentaire. Ces différentes étapes sont décrites ci-dessous.

2.2. Identification des études à l'aide d'une procédure de recherche bibliographique

L'objectif est de recenser et analyser l'ensemble des articles qui décrivent à la fois les effets de réorientations des systèmes agricoles et forestiers et plus largement de l'aménagement du territoire sur les changements d'affectation des sols (CAS) et les impacts environnementaux de ces CAS. Le principe général est de rechercher les articles qui sont à l'intersection des domaines de l'évaluation environnementale et du CAS.

Dans le Tableau 1, la requête #3 délimite ainsi le domaine de l'évaluation environnementale, en croisant tous les mots-clés proches du concept d'évaluation (requête #2) avec ceux de l'environnement (racine lexicale « *environment** »). Par ailleurs, les mots-clés déclinant le domaine du CAS sont regroupés dans la requête #9. Mais pour atteindre tous les articles susceptibles de faire partie du périmètre, le simple croisement de la requête #3 avec la requête #9 ne suffit pas. En effet, de nombreuses études font de l'évaluation environnementale sans le

² <http://www.ipcc.ch/>

mentionner explicitement, et c'est notamment le cas des publications traitant d'Analyse de cycle de vie (ACV) et de bilan d'émissions de GES, qui ont donc été adjointes. Ainsi, les mots-clés se rapportant à l'ACV (requête #1) ont été croisés avec ceux de l'évaluation (requête #2) pour constituer la requête #4 ; de même, les mots-clés relevant des GES (requête #6) ont été croisés avec ceux de l'évaluation (requête #2) pour constituer la requête #7. Il est important de noter que la requête #6 concernant le domaine des GES a été étendue au domaine des biocarburants, sous l'hypothèse que les études consacrées aux biocarburants traitent très fréquemment des impacts en termes de GES. La requête #3 (évaluation environnementale) a alors été complétée, d'abord (requête #5) par addition de la requête #4 (les ACV), puis (requête #8) par addition de la requête #7 (les bilans de GES). L'équation ainsi générée a été croisée avec les mots-clés du domaine des CAS (requête #9) pour obtenir la requête finale (requête #10). Cette requête a été utilisée dans le Web of Science™ (WoS™, 04/02/2015) et a conduit à la constitution d'un corpus de 3 500 références.

Ce corpus a été enrichi en utilisant la base de données CAB Abstracts (Centre for Agricultural Bioscience) pour identifier des articles présents à la fois dans les CAB et dans le WoS et qui avaient échappé à la recherche directe dans le WoS. En effet, dans la base CAB, chaque article est réindexé avec un thésaurus pour le champ mots-clés (*descriptor*). Grâce à cette indexation systématique, il est donc possible, en appliquant sur cette base de données la requête initialement effectuée dans le WoS™, de collecter des articles du WoS™ qui n'avaient pas été sélectionnés dans le premier corpus de 3 500 articles, soit du fait de leur mauvaise indexation par les seuls mots-clés des auteurs, soit parce que les termes de la requête n'apparaissent pas dans le titre ou le résumé.

Cette stratégie de recherche suivie d'une actualisation de la base avec les articles publiés depuis la première requête nous a permis d'enrichir le corpus initial et d'aboutir à un corpus de 5 730 références (au 4 février 2015).

Numéro de la requête	Equation de recherche
#1	TS=(life AND cycle) OR TS=lifecycle* OR TS=LCA OR TS=LCIA
#2	TS=balance OR TS=Analysis OR TS=impact* OR TS=accounting* OR TS=assessment* OR TS=quality OR TS=performance* OR TS=equity OR TS=externalit* OR TS=sustainability OR TS=valuation OR TS=evaluation
#3	TS=environment* AND #2
#4	#2 AND #1
#5	#3 OR #4
#6	TS=("greenhouse gas*" OR ghg OR biofuel*)
#7	#6 AND #2
#8	#7 OR #5
#9	TS="landuse change*" OR TS="land use change*" OR TS="landuse allocation*" OR TS="land use allocation*" OR TS="landuse dynamic*" OR TS="land use dynamic*" OR TS="land use option*" OR TS="landuse option*" OR TS="land use transition*" OR TS="landuse transition*" OR TS="land use conversion*" OR TS="landuse conversion*" OR TS="land use competition*" OR TS="landuse competition*" OR TS="land use take*" OR TS="landuse take*" OR TS="land use conversion*" OR TS="landuse conversion*" OR TS="land use scenari*" OR TS="Landuse scenari*" OR TS="land use strateg*" OR TS="Landuse strateg*" OR TS="land use impact*" OR TS="Landuse impact*" OR TS="land use competition*" OR TS="Landuse competition*" OR TS="land use expansion*" OR TS="Landuse expansion*" OR TS="land grabbing" OR TS="land sparring" OR TS="Land sharing" OR TS="agricultural expansion*" OR TS="Marginal land*" OR TS="land abandonment"
#10	#8 AND #9

Tableau 1. Détails des requêtes utilisées

La requête porte sur les champs Title, Abstract, « Author keywords », et « Keywords plus » du Web of Science. TS signifie « Topic ».

2.3. Description des principales caractéristiques des 5 730 références

La répartition des références par année est présentée dans les Figures 3 et 4. Le sujet a émergé récemment et est en plein développement. L'histogramme présenté en Figure 3 permet de visualiser l'évolution du nombre de publications sur cette thématique, qui ne semble abordée dans les articles scientifiques de façon conséquente qu'à partir du début des années 1990, avec une nette accélération du rythme de publication à partir de 2007. Le nombre d'articles augmente alors considérablement d'une année à l'autre pour atteindre plus de 750 articles publiés en 2013.

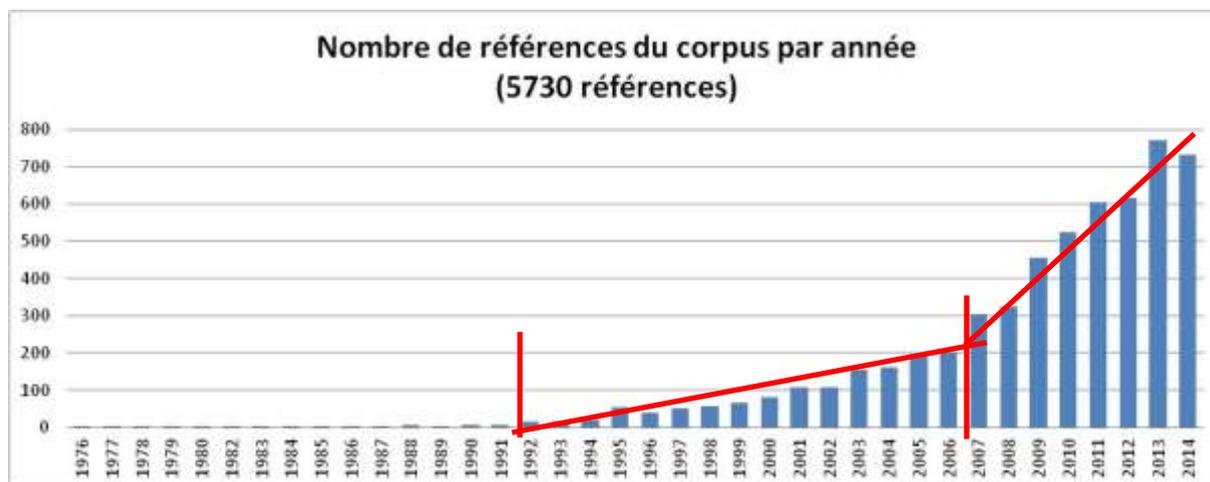


Figure 3. Histogramme représentatif du nombre de publications du corpus 5 730 articles par année

Pour éliminer l'effet éventuel de l'accroissement temporel du nombre global de publications dans le WoS™, le nombre d'articles référencés annuellement sur le sujet (Figure 3) a été divisé par le nombre total de références indexées par le WoS™ chaque année. Les ratios ainsi obtenus représentent la proportion d'articles publiés sur notre thème. La Figure 4 représente l'évolution de ce rapport au cours du temps.

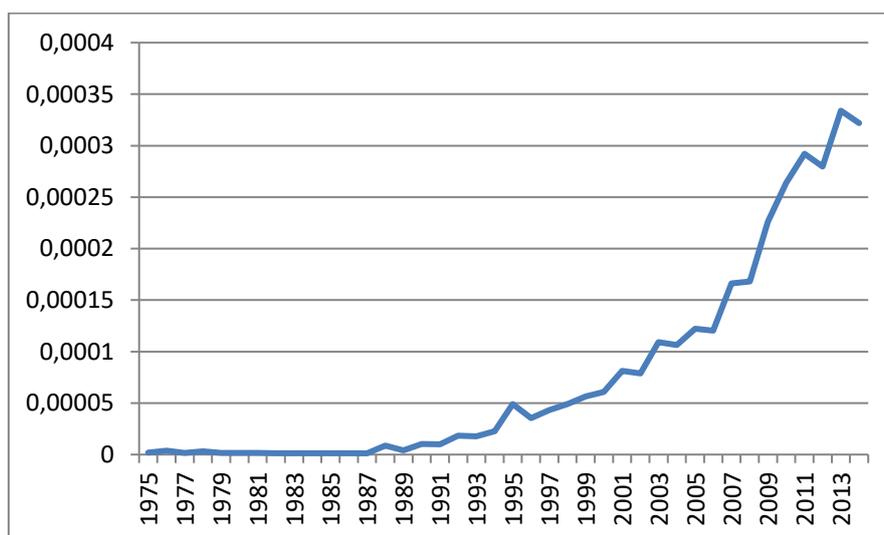


Figure 4. Courbe représentative du rapport Nombre de publications du corpus 5 730 articles par année / Nombre de publications dans le WoS™ par année

Cette courbe montre que l'accroissement du volume annuel de publications de la thématique de l'étude identifié sur la Figure 3 n'est pas seulement dû à l'effet mécanique de l'accroissement du volume de publications dans le WoS™, ce que traduirait une courbe horizontale. Au contraire, depuis 1990, les publications traitant de la

thématique de notre étude occupent une part croissante dans le WoS™, la proportion doublant environ tous les 5 ans, sans que l'on puisse encore à ce jour voir si elle atteindra prochainement un plateau.

Les articles sont publiés dans des revues très diverses, plus ou moins spécifiques du point de vue des thématiques traitées (Tableau 2) : revues généralistes (ex : *Plos One*, *Agriculture, Ecosystems & Environment*), revues orientées sur les impacts environnementaux (ex : *Science of the Total Environment*, *Applied Geography*, *Environmental Research Letters*) et revues thématiques plus spécialisées (ex : *Land Use Policy*, *Climatic Change*). La majorité des articles du corpus est issue des revues spécialisées dans le domaine de l'environnement, qui traitent notamment de la partie « impacts » de la thématique de l'étude.

Revue	Nb Articles	Catégorie
AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT	128	Généraliste
LAND USE POLICY	125	Thématique
BIOMASS & BIOENERGY	90	Thématique
GLOBAL CHANGE BIOLOGY	82	Impacts
LANDSCAPE AND URBAN PLANNING	82	Thématique
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	76	Impacts
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	75	Impacts
INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT	70	Impacts
JOURNAL OF HYDROLOGY	60	Impacts
ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT	57	Impacts
PLOS ONE	55	Généraliste
SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	55	Impacts
ECOLOGICAL MODELLING	54	Impacts
ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY	54	Impacts
GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY	53	Thématique
CLIMATIC CHANGE	50	Thématique
ECOLOGICAL INDICATORS	49	Impacts
ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS	49	Impacts
ECOLOGICAL ECONOMICS	48	Thématique
PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA	47	Généraliste
ENERGY POLICY	45	Thématique
APPLIED GEOGRAPHY	44	Thématique
CATENA	43	Thématique
BIOLOGICAL CONSERVATION	42	Impacts
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	41	Impacts
FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT	41	Impacts
LAND DEGRADATION & DEVELOPMENT	41	Impacts
ECOLOGICAL APPLICATIONS	41	Impacts
HYDROLOGICAL PROCESSES	40	Impacts
GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE-HUMAN AND POLICY DIMENSIONS	40	Généraliste

Tableau 2. Principales revues concernées (1976-2015) et nombres d'articles repérés dans chaque revue. Seules les revues incluant plus 40 articles sont présentées.

2.4. Analyse textuelle des études et identification de sous-groupes thématiques

Le corpus de 5 730 articles a été analysé au moyen d'un outil d'analyse textuelle, CorText³, analyse dont la méthodologie complète et les résultats sont décrits dans la Partie I du rapport.

³ CorText est une plateforme digitale d'analyse de corpus textuels, développée par l'IFRIS (Institut Francilien Recherche, Innovation, Société). <http://www.cortext.org/projects/cortext-manager>

L'analyse textuelle repose sur la fouille automatisée dans les titres, résumés et mots-clés des références sélectionnées, qui permet à l'outil d'élaborer ses propres mots-clés et d'étudier statistiquement comment ces mots-clés sont associés les uns aux autres au sein des articles (notion de co-occurrence). L'association préférentielle de certains mots-clés entre eux conduit à la constitution de grappes de mots-clés (*clusters*). Dans notre cas, cette analyse textuelle a permis de constituer huit *clusters* (Tableau 3). Chaque *cluster* est caractérisé par des mots-clés décrivant un ou plusieurs types de réorientation d'usage des sols et les impacts environnementaux associés.

Intitulé du cluster	Breve description
Intensification de l'agriculture, services écosystémiques, paysages, CAS et biodiversité	Cluster centré sur les impacts sur la biodiversité et incorporant des mots-clés liés aux déterminants de ces impacts
Pratiques agricoles, CAS et ressources en eau (quantité et qualité)	Cluster décrivant des impacts sur l'eau et dans une moindre mesure sur le sol
Modélisation des changements climatiques et CAS	Cluster centré sur le changement climatique comme élément de contexte biophysique général
CAS et pâturages	Cluster consacré à la gestion des prairies
Bioénergies, concurrence <i>feed / food / fuel</i> , CAS et bilan de GES	Cluster structuré autour de la réorientation vers les bioénergies en lien avec l'impact sur les émissions de GES
CAS et flux de carbone, de N ₂ O et de CH ₄	Cluster décrivant le stock et les flux de GES
CAS et gestion des écosystèmes forestiers	Cluster consacré à la gestion des écosystèmes forestiers (déforestation, reforestation, afforestation)
Déterminants socio-économiques des CAS, urbanisation et impacts sur les sols et aménagement du territoire	Cluster faisant le lien entre un élément de contexte (<i>land use policy</i>) et une réorientation principale (<i>urban expansion</i>)

Tableau 3. Clusters de mots-clés élaborés par l'outil d'analyse textuelle et description de leur contenu

Chaque *cluster* renvoie ainsi au sous-ensemble d'articles dans lequel sont cités les mots-clés présents dans le *cluster*. En accord avec le comité de suivi de l'étude, le *cluster* concernant la production de biomasse non alimentaire a été retenu pour une analyse complémentaire. Ce *cluster* renvoie à un groupe de 1 785 articles. Il faut noter que ce groupe contient des articles qui ne se limitent pas à la seule thématique pointée par les mots-clés présents au sein du *cluster*. Les articles qui ont participé à la construction du cluster peuvent aussi traiter d'autres sujets.

2.5. Dépouillement systématique des articles du *cluster* « biomasse non alimentaire »

Sélection des articles

Les 1 785 articles du sous-corpus « biomasse non alimentaire » retenus à l'aide de l'outil CorTexT ne sont pas tous pertinents, car le fait de contenir des mots-clés relatifs à la production de biomasse non alimentaire, aux CAS ou à l'impact environnemental ne garantit pas que l'article décrive effectivement les effets de réorientations dans l'espace agricole et forestier sur les CAS et les impacts environnementaux de ces CAS.

Une procédure de tri a donc été mise en place, basée sur la lecture du titre et au besoin du résumé pour pouvoir décider de la pertinence de chaque article vis-à-vis de la thématique étudiée. Ce tri a été réalisé par un groupe de 22 experts. Après une phase de test de la procédure sur un échantillon, les articles ont été répartis de façon aléatoire entre les experts du groupe de travail à raison de 200 articles par expert. Des critères précis de sélection ont été transmis aux experts (Tableau 4).

A l'issue de cette phase de tri, 614 articles sur les 1 785 sélectionnés par CorTexT ont finalement été retenus, soit environ un tiers. Beaucoup d'articles ne traitaient en effet que d'une partie de la chaîne causale caractéristique de l'étude : certains étudiaient l'effet de réorientations sur les CAS sans traiter des impacts environnementaux en découlant, d'autres s'intéressaient seulement aux impacts découlant de CAS en général sans faire mention de ce qui avait conduit à ces CAS.

Catégories retenues	Critères de sélection
Définition de la notion de réorientation	Tout type d'évolution des surfaces entre les compartiments terres cultivées, prairies, forêt, zones naturelles, zone urbanisée, et, au sein des terres cultivées, entre divers types d'affectation des cultures (alimentation humaine, animale, bioénergie...), et tout type de changement de pratiques agricoles (intensification, extensification, agroforesterie) susceptibles d'induire des changements d'affectation des sols directs ou indirects
Biomasse non alimentaire types de biomasse à retenir	Biomasse énergie (bois...) Sous-produits des cultures annuelles (pailles...), déchets verts Biocarburants Biomasse cultivée pour la méthanisation Biomatériaux (dont bois pour pâte à papier, composants pour la chimie verte...) Effluents d'élevage Déchets urbain et industriels valorisables (huiles usagées...)
Changements d'affectation des sols	Directs et indirects
Impacts environnementaux :	
- sur l'eau	Qualitatifs (pollution, eutrophisation, flux d'éléments) ; quantitatifs (inondations, rareté de l'eau)
- sur l'air et le climat	Pollution directe de l'air ambiant, émissions de gaz à effet de serre
- sur les sols	Artificialisation, dégradation, érosion, baisse de la fertilité dans ses diverses composantes physiques, chimiques et biologiques, baisse des teneurs en matière organique
- sur la biodiversité et le paysage	Abondance, richesse en espèces Espèces étudiées Habitats Paysage
- sur la santé des plantes et des animaux	Pas de critères spécifiés
- sur la santé humaine	Pollutions, allergènes, maladies et parasites

Tableau 4. Critères de sélection des articles

Elaboration d'une grille de lecture et analyse détaillée des articles sélectionnés

Une grille a été élaborée pour extraire les principales informations contenues dans les 614 articles sélectionnés. Cette grille est constituée de trois séries de rubriques, correspondant aux trois termes de la chaîne « réorientations - CAS - Impacts environnementaux ». Le principe de construction de la grille (cf. Annexe) a consisté à lister les principaux descripteurs qualitatifs simples des réorientations (nouvelles cultures ou élevage introduits, modifications de pratiques culturales, surface concernée, localisation, etc.), des CAS (direct, indirect, localisation, milieux transformés, etc.) et des impacts (eau, air, sol, climat, etc.), en utilisant un formulaire qui fait appel à un choix dans des listes de réponses fermées, et quelques champs de réponses ouverts. Ces descripteurs élémentaires sont complétés par des descripteurs visant à caractériser les méthodes employées, le type de données analysées, l'accessibilité des résultats et la précision des estimations, ces trois dernières informations permettant de juger si l'article serait éligible à une analyse statistique plus poussée, de type méta-analyse. Des champs ouverts sont également inclus dans la grille pour donner la possibilité aux lecteurs de fournir des informations plus précises. La grille a été testée par les experts sur quelques articles pour en améliorer la construction et valider son utilisation.

Les articles ont alors été répartis entre les experts en respectant autant que possible un principe de concordance entre le champ de compétence de l'expert et la thématique de l'article (notamment le type de réorientation et le type d'impact). Chaque expert a reçu entre 30 et 40 articles à dépouiller. L'objet de l'étude consistant à faire une revue de la littérature, les articles de type « review » ont été écartés. Les conserver conduirait à donner un poids particulier aux articles de ces reviews qui sont par ailleurs également présents dans le corpus, ou à l'inverse à inclure dans l'analyse des connaissances provenant d'articles de base ne faisant pas partie de notre corpus.

Lors de cette étape, les informations de 241 articles (sur 614) ont été extraites à l'aide de la grille. La lecture détaillée des articles a montré que près de 2 articles sur 3 ne correspondaient pas aux critères de sélection. De nouveau, le principal facteur de rejet est que ces articles ne décrivaient pas la chaîne complète réorientation - CAS - impacts environnementaux, ce que la lecture du titre et du résumé n'avait pas permis d'anticiper.

La lecture des 241 articles a révélé que leur objectif principal était, le plus souvent, l'évaluation des impacts environnementaux des CAS. L'analyse des grilles nous a ainsi permis de comptabiliser le nombre d'articles traitant de chaque catégorie d'impact (Figure 5). Dix catégories d'impacts ont été distinguées : impacts sur le sol, l'eau, l'air, la biodiversité, les paysages, la santé des plantes et des animaux, la santé humaine, le climat, l'épuisement des ressources non renouvelables et la production de déchets. Des regroupements de ces catégories ont été effectués : impacts sur la santé des plantes et des animaux ainsi que sur le paysage ont été regroupés avec les impacts sur la biodiversité, impact sur l'air avec impacts sur la santé humaine, les deux articles concernant la production de déchets n'ont finalement pas été retenus, réduisant ainsi le nombre de catégories à 6. Les 241 articles ont été alloués aux six catégories. Les impacts les plus souvent étudiés sont les impacts sur le climat, sur le sol et sur l'eau (Figure 5). Les articles de chaque catégorie ont été répartis entre groupes de 1-3 experts qui ont synthétisé leurs contenus. Les résultats de ces synthèses sont décrits dans la Partie II du rapport, Chapitres 2 à 7.

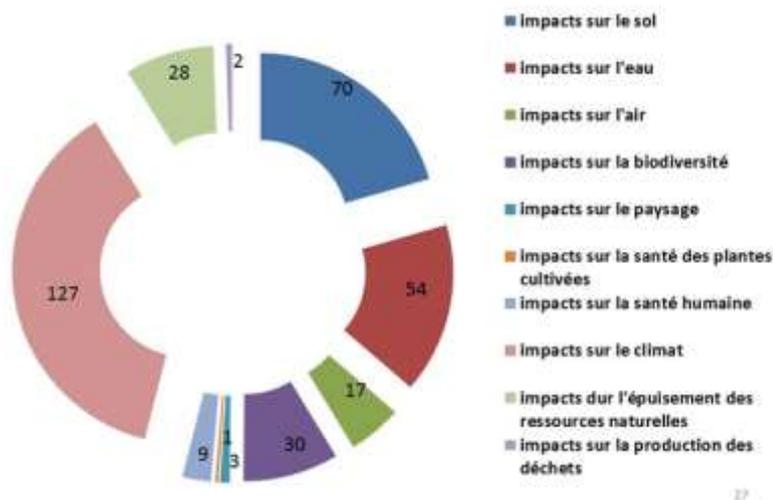


Figure 5. Répartition des articles sélectionnés après dépouillement systématique par catégories d'impacts
La somme des nombres d'articles des différentes catégories dépasse le total de 241 articles, certains d'entre eux analysant plusieurs types d'impacts.

2.6. Méta-analyse sur un sous-ensemble d'articles du cluster « biomasse non alimentaire » traitant des impacts sur le climat

Parmi les 127 articles traitant explicitement des impacts de la production de bioénergie sur le climat identifiés à l'étape précédente, 51 contenaient des résultats quantitatifs sur les émissions de gaz à effet de serre. Ce groupe de 51 articles a été retenu pour une méta-analyse. Chaque article comporte un ou plusieurs scénarios caractérisés par un type de CASd et CASi et un type de bioénergie. Le nombre total de scénarios est égal à 380 (dont 114 en Europe, 110 en Amérique du sud, 67 en Amérique du nord, 74 en Asie, 2 en Australie, 1 en Afrique du sud).

L'ensemble de la méthodologie de cette méta-analyse (choix de la taille d'effet, statistiques) et ses résultats sont présentés dans la Partie III du rapport.

3. Résumé des différentes étapes de la démarche

La démarche de cette étude repose sur le tri et la sélection d'articles pas-à-pas, à partir d'un grand nombre d'articles initialement identifiés par une recherche bibliographique dans le Web of Science™. Chaque étape de sélection a été formalisée de manière aussi précise que possible pour éviter les biais de sélection par le collectif d'experts, principalement liés au fait que les experts ont tendance à survaloriser les articles qui traitent plus directement de leur propre thématique de recherche et à l'inverse à minorer les autres. Les différentes étapes de notre procédure sont résumées dans la Figure 6.

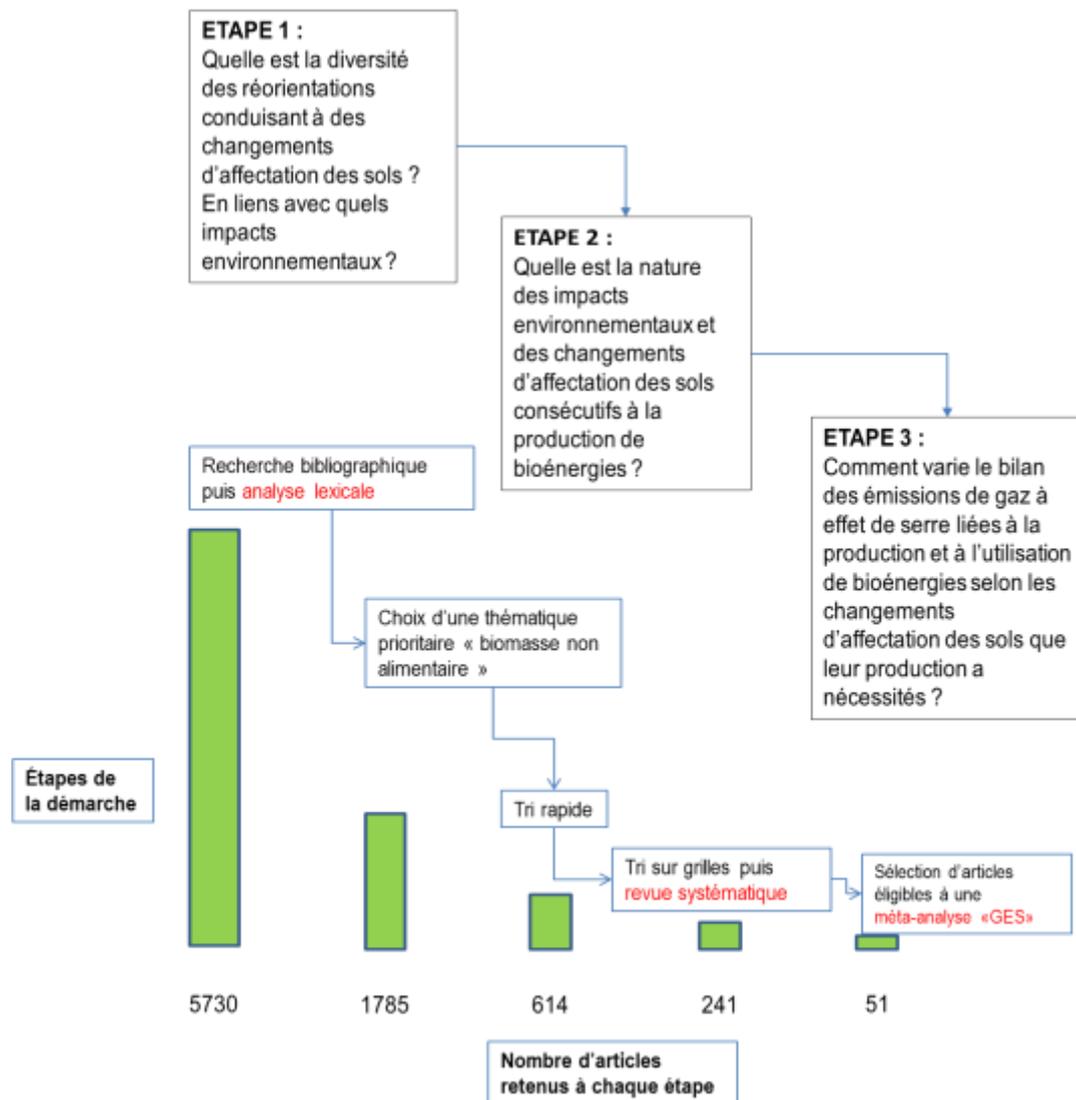


Figure 6. Les différentes étapes de la procédure de sélection et d'analyse des articles

Références bibliographiques citées

- Ben Aoun, W.; Gabrielle, B.; Gagnepain, B., 2013. The importance of land use change in the environmental balance of biofuels. *OCL*, 20 (5): D505. <http://dx.doi.org/10.1051/ocl/2013027>
- Berdes, G.; Ahlgren, S.; Borjesson, P.; Cowie, A.L., 2013. Bioenergy and land use change-state of the art. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Energy and Environment*, 2 (3): 282-303. <http://dx.doi.org/10.1002/wene.41>
- Broth, A.; Hoekman, S.K.; Unnasch, S., 2013. A review of variability in indirect land use change assessment and modeling in biofuel policy. *Environmental Science & Policy*, 29: 147-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.02.002>
- Brunelle, T.; Dumas, P.; Souty, F., 2014. The Impact of Globalization on Food and Agriculture: The Case of the Diet Convergence. *Journal of Environment & Development*, 23 (1): 41-65. <http://dx.doi.org/10.1177/1070496513516467>
- Chum, H.; Faaij, A.; Moreira, J.; Berdes, G.; Dhamija, P.; Dong, H.; Ribeiro, S.; Gabrielle, B.; Goss Eng, A.; Lucht, W.; Mapako, M.; Masera Cerutti, O.; McIntyre, T.; Minowa, T.; Pingoud, K., 2011. Bioenergy. In: Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Seyboth, K.; Matschoss, P.; Kadner, S.; Zwickel, T.; Eickemeier, P.; Hansen, G.; Schlömer, S.; Stechow, C.v., eds. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge: Cambridge University Press, 209-332. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139151153.006>

- Commission Européenne, 2009. Directive n° 2009/28/CE du 23/04/09 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE. http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/801/version_pdf
- Commission Européenne, 2016. Rapport pour une stratégie européenne pour une mobilité à faible taux d'émissions Communication de la Commission au Parlement européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions. COM(2016) 501 final.
- Davis, S.C.; Parton, W.J.; Del Grosso, S.J.; Keough, C.; Marx, E.; Adler, P.R.; DeLucia, E.H., 2012. Impact of second-generation biofuel agriculture on greenhouse-gas emissions in the corn-growing regions of the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10 (2): 69-74. <http://dx.doi.org/10.1890/110003>
- De Cara, S.; Goussebaïle, A.; Grateau, R.; Levert, F.; Quemener, J.; Vermont, B.; Bureau, J.-C.; Gabrielle, B.; Gohin, A.; Bispo, A., 2012. *Revue critique des études évaluant l'effet des changements d'affectation des sols sur les bilans environnementaux des biocarburants*. Angers: Ademe, (contrat n°10-60-C0039), 96 p. http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=7AC5DFA02A2CE66DFDE000D7FA33AA56_tomcatlocal1333626720098.pdf
- Fargione, J.E.; Cooper, T.R.; Flaspohler, D.J.; Hill, J.; Lehman, C.; McCoy, T.; McLeod, S.; Nelson, E.J.; Oberhauser, K.S.; Tilman, D., 2009. Bioenergy and Wildlife: Threats and Opportunities for Grassland Conservation. *BioScience*, 59 (9): 767-777. <http://dx.doi.org/10.1525/bio.2009.59.9.8>
- Harris, Z.M.; Spake, R.; Taylor, G., 2015. Land use change to bioenergy: A meta-analysis of soil carbon and GHG emissions. *Biomass & Bioenergy*, 82: 27-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.05.008>
- Hellweg, S.; Milà i Canals, L., 2014. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*, 344 (6188): 1109-1113. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1248361>
- IPCC; Eggleston, S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K., 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Hayama, Kanagawa, Japan: The Intergovernmental Panel on Climate Change - Institute for Global Environmental Strategies. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- Lapola, D.M.; Schaldach, R.; Alcamo, J.; Bondeau, A.; Koch, J.; Koelking, C.; Priess, J.A., 2010. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107 (8): 3388-3393. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0907318107>
- Liska, A.J.; Perrin, R.K., 2009. Indirect land use emissions in the life cycle of biofuels: regulations vs science. *Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr*, 3 (3): 318-328. <http://dx.doi.org/10.1002/bbb.153>
- Liu, J.G.; Mooney, H.; Hull, V.; Davis, S.J.; Gaskell, J.; Hertel, T.; Lubchenco, J.; Seto, K.C.; Gleick, P.; Kremen, C.; Li, S.X., 2015. Systems integration for global sustainability. *Science*, 347 (6225). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1258832>
- Nguyen, T.T.H.; Doreau, M.; Eugene, M.; Corson, M.S.; Garcia-Launay, F.; Chesneau, G.; van der Werf, H.M.G., 2013. Effect of farming practices for greenhouse gas mitigation and subsequent alternative land use on environmental impacts of beef cattle production systems. *Animal*, 7 (5): 860-869. <http://dx.doi.org/10.1017/s1751731112002200>
- Plevin, R.J.; O'Hare, M.; Jones, A.D.; Torn, M.S.; Gibbs, H.K., 2010. Greenhouse Gas Emissions from Biofuels' Indirect Land Use Change Are Uncertain but May Be Much Greater than Previously Estimated. *Environmental Science & Technology*, 44 (21): 8015-8021. <http://dx.doi.org/10.1021/es101946t>
- Searchinger, T.; Heimlich, R.; Houghton, R.A.; Dong, F.X.; Elobeid, A.; Fabiosa, J.; Tokgoz, S.; Hayes, D.; Yu, T.H., 2008. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, 319 (5867): 1238-1240. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1151861>
- Toth, G., 2012. Impact of land-take on the land resource base for crop production in the European Union. *Science of the Total Environment*, 435: 202-214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.103>
- UNEP, 2014. *Assessing global land use and soil management for sustainable resource policies*: UNEP, A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. Bringezu S., Schütz H., Pengue W., O'Brien M., Garcia F., Sims R., Howarth R., Kauppi L., Swilling M., and Herrick J., (DTI/1658/PA), 131 p. [http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Full_Report-Assessing_Global_Land_UseEnglish_\(PDF\).pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Full_Report-Assessing_Global_Land_UseEnglish_(PDF).pdf)
- van Vliet, J.; Magliocca, N.R.; Buchner, B.; Cook, E.; Benayas, J.M.R.; Ellis, E.C.; Heinimann, A.; Keys, E.; Lee, T.M.; Liu, J.G.; Mertz, O.; Meyfroidt, P.; Moritz, M.; Poeplau, C.; Robinson, B.E.; Seppelt, R.; Seto, K.C.; Verburg, P.H., 2016. Meta-studies in land use science: Current coverage and prospects. *Ambio*, 45 (1): 15-28. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-015-0699-8>
- Veldkamp, A.; Verburg, P.H., 2004. Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environmental Management*, 72 (1-2): 1-3. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.04.004>
- Wise, M.; Calvin, K.; Thomson, A.; Clarke, L.; Bond-Lamberty, B.; Sands, R.; Smith, S.J.; Janetos, A.; Edmonds, J., 2009. Implications of Limiting CO2 Concentrations for Land Use and Energy. *Science*, 324 (5931): 1183-1186. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1168475>

Annexe. Grille de lecture et d'analyse systématique des articles du cluster « biomasse non alimentaire »

Etude RevoluC		Grille de dépouillement des articles "biomasse"									
Articles concernés: Production de biomasse non alimentaire -> CAS -> Impact environnemental											
N° Contexte											
titre											
auteurs											
année											
type de doc											
lecteur											
S'agit il d'une revue bibliographique											
Nombre de scénarios étudiés dans l'article											
Description qualitative des différents scénarios											
REORIENTATIONS → → → → → CAS (et pratiques culturales) → → → → → IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX											
localisation (pays) Production de biomasse non alimentaire <input type="checkbox"/> Développement de l'élevage <input type="checkbox"/>			Pratiques culturales: Taille courte durée <input type="checkbox"/> diversification des cultures <input type="checkbox"/> cultures intermédiaires <input type="checkbox"/> simplification des rotations <input type="checkbox"/> agroforesterie <input type="checkbox"/> multicropping <input type="checkbox"/> intensification <input type="checkbox"/> extensification <input type="checkbox"/> conversion à la culture bio <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>							Impacts sur des compartiments de l'écosystème Échelle: <input type="checkbox"/> niveau de résolution spatiale <input type="checkbox"/>	
Surfaces concernées (Ha, Km2) échelle <input type="checkbox"/> niveau de résolution spatiale <input type="checkbox"/> niveau de résolution spatiale non renseigné <input type="checkbox"/> espèce(s) <input type="checkbox"/> rendement <input type="checkbox"/>			CASd ↓ Avant/après → forêt cultures arables prairies zones humides zones artificielles cultures pérennes énergétiques							Sol: teneur en MO <input type="checkbox"/> teneur en carbone <input type="checkbox"/> acidification <input type="checkbox"/> salinisation <input type="checkbox"/> compactation <input type="checkbox"/> cohésion <input type="checkbox"/> érosion <input type="checkbox"/> pollution biologique <input type="checkbox"/> contaminants organiques <input type="checkbox"/> Elément Trace Métallique <input type="checkbox"/> artificialisation <input type="checkbox"/>	
Animaux élevés échelle <input type="checkbox"/> niveau de résolution spatiale <input type="checkbox"/> grain <input type="checkbox"/> espèce <input type="checkbox"/> production <input type="checkbox"/>			CASI ↓ Avant/après → forêt cultures arables prairies zones humides zones artificielles cultures pérennes énergétiques							Eau consommation <input type="checkbox"/> inondations <input type="checkbox"/> Régulation des flux (diminution) <input type="checkbox"/> eutrophisation <input type="checkbox"/> Filtration-dépollution <input type="checkbox"/> pollution chimique <input type="checkbox"/> pollution biologique <input type="checkbox"/>	
Type et quantité de biomasse produite bois <input type="checkbox"/> plante entière <input type="checkbox"/> grains <input type="checkbox"/> résidus de culture <input type="checkbox"/> racine, tubercules <input type="checkbox"/> effluents <input type="checkbox"/>			CASi ↓ Avant/après → forêt cultures arables prairies zones humides zones artificielles cultures pérennes énergétiques							Air pollution atmosphérique <input type="checkbox"/> pollen <input type="checkbox"/> bruit <input type="checkbox"/> odeurs <input type="checkbox"/>	
Produit Intermédiaire <input type="checkbox"/>			cultures pérennes énergétiques = TCR, Palmier à huile, jatropha, miscanthus, switchgrass							Biodiversité (aérienne, souterraine, aquatique) <input type="checkbox"/> abondance <input type="checkbox"/> richesse en espèces <input type="checkbox"/> biodiversité fonctionnelle <input type="checkbox"/> espèces étudiées <input type="checkbox"/>	
Produit final bois <input type="checkbox"/> biocarburant 1G <input type="checkbox"/> biocarburant 2G <input type="checkbox"/> méthane <input type="checkbox"/> MP industrie chimique <input type="checkbox"/> production de chaleur <input type="checkbox"/> production électrique <input type="checkbox"/> autre (à préciser) <input type="checkbox"/>			échelle spatiale concernée échelle <input type="checkbox"/> niveau de résolution spatiale <input type="checkbox"/> en % terres disponibles <input type="checkbox"/>							habitats <input type="checkbox"/> Paysage <input type="checkbox"/>	
Régulé par les PP <input type="checkbox"/> Réglementation <input type="checkbox"/>			échelle temporelle concernée nb d'années <input type="checkbox"/> Position dans le temps <input type="checkbox"/> Période (si précisé) <input type="checkbox"/>							Santé des plantes cultivées <input type="checkbox"/> Santé des animaux d'élevage <input type="checkbox"/> Santé humaine <input type="checkbox"/>	
			Localisation du CASi, le cas échéant <input type="checkbox"/>							Climat GES <input type="checkbox"/> autres effets <input type="checkbox"/> modification de l'albedo <input type="checkbox"/>	
Description qualitative des réorientations:			Description qualitative des CAS:							Description qualitative des impacts:	
Éléments quantitatifs sur la réorientation:			Éléments quantitatifs sur les CAS:							Éléments quantitatifs sur les impacts:	
type de données utilisées <input type="checkbox"/>			type de données utilisées (jusqu'à 4 choix possibles) <input type="checkbox"/>							type de données utilisées <input type="checkbox"/>	
méthodes d'analyse (jusqu'à 4 choix possibles) <input type="checkbox"/> Basic calculation <input type="checkbox"/> nom de la méthode <input type="checkbox"/>			méthodes d'analyse (jusqu'à 4 choix possibles) <input type="checkbox"/> nom de la méthode <input type="checkbox"/>							méthodes d'analyse (jusqu'à 4 choix possibles) <input type="checkbox"/> nom de la méthode <input type="checkbox"/>	
accessibilité des résultats <input type="checkbox"/>			accessibilité des résultats (jusqu'à 4 choix possibles) <input type="checkbox"/>							accessibilité des résultats <input type="checkbox"/>	
précision des estimations <input type="checkbox"/>			précision des estimations <input type="checkbox"/>							précision des estimations <input type="checkbox"/>	
Principaux résultats liant réorientations, CAS et impacts:											



INRA
SCIENCE & IMPACT

Délégation à l'Expertise scientifique,
à la Prospective et aux Etudes

147, rue de l'Université
75338 Paris Cedex 07
France

Tél. : + 33 1 42 75 94 90
Fax : + 33 1 42 75 91 72
www.inra.fr

