

FICHE 3



Lutte contre
les changements
climatiques

BIOMASSE AGRICOLE QUALITÉ DES SOLS, DE L'EAU ET BIODIVERSITÉ

La production de chaleur grâce à l'utilisation de la biomasse agricole repose sur une série d'étapes, de la production jusqu'à l'utilisation de la ressource. Chacune de ces étapes est liée à différents enjeux et impacts sociaux, économiques et environnementaux. Parmi les préoccupations liées à l'utilisation de la biomasse agricole à des fins énergétiques, les effets potentiels sur les sols, les cours d'eau, ainsi que sur les espèces végétales et animales doivent être considérés. La présente fiche décrit ces effets et propose un éventail de bonnes pratiques qui contribuent à assurer un approvisionnement en biomasse qui respecte la capacité de soutien des écosystèmes agricoles.

L'environnement assure différents services écologiques extrêmement importants pour le développement et la pérennité des communautés. Pourtant, les activités humaines relatives à l'agriculture peuvent modifier l'équilibre des zones en culture et contribuer au rejet de certains polluants dans l'environnement. Par exemple, les mauvaises pratiques culturales et l'utilisation inadéquate de fertilisants et de pesticides peuvent entraîner une

Ci-dessous, en pictogrammes, les principales étapes de la filière de production et d'utilisation de la biomasse agricole. Les pictogrammes en noir représentent les étapes concernées par l'enjeu de la qualité des sols, la qualité de l'eau et la biodiversité.



Remise en culture



Implantation



Production



Récolte



Transport



Densification



Conditionnement



Distribution



Combustion



Gestion cendres

diminution de la qualité des sols, l'eutrophisation de cours d'eau, ainsi qu'un appauvrissement de la biodiversité. Au cours des dernières années, les gouvernements ont resserré la législation dans le secteur agricole afin de faire face à ces problématiques. Mais les producteurs ont eux aussi le pouvoir d'agir localement pour protéger l'environnement grâce à l'implantation de bonnes pratiques.

Définition des types de biomasses

— CULTURES LIGNOCELLULOSIQUES

Cultures de plantes herbacées pérennes dédiées à la production énergétique, implantées sur des terres agricoles marginales (ex. : panic érigé, alpestris roseau, miscanthus, etc.).

— CULTURES LIGNEUSES

Cultures d'arbres se réalisant sur des terres agricoles marginales, dédiées à la combustion (ex. : saule à croissance rapide, peuplier hybride, etc.) et dont la méthode de culture s'apparente plus à l'agriculture qu'à la foresterie (ex. : semées en haute densité, utilisation de machinerie agricole, etc.). Aussi appelées taillis à courte rotation.

— RÉSIDUS DE CULTURE

Résidus végétaux provenant de l'agriculture et constitués de parties de plantes cultivées qui ne sont pas vouées à la consommation alimentaire (ex. : pailles de céréales, tiges de maïs, foin de troisième qualité, etc.).

1. PARAMÈTRES INFLUENÇANT LA QUALITÉ DES SOLS, DE L'EAU ET SUR LA BIODIVERSITÉ

L'implantation et la production de cultures à vocation énergétique (voir l'encadré **Définition des types de biomasses**, ci-contre) de même que le prélèvement de résidus de culture (voir l'encadré **Mise en valeur des résidus de culture** ci-dessous), peuvent avoir des impacts, autant positifs que négatifs, sur les sols, l'eau et la biodiversité. Ces impacts varient selon différents facteurs comme les types de cultures exploitées (ex. : panic érigé, saule à croissance rapide, etc.) et les pratiques culturales mises en œuvre pour leur production. L'identification de ces facteurs constitue donc la première étape d'une démarche de développement d'une filière durable.

Mise en valeur des résidus de culture

Aux États-Unis, des études ont démontré la viabilité économique du prélèvement de résidus dans les grandes cultures de maïs pour la production de bioénergie. Il a été établi qu'en laissant une quantité suffisante de résidus au sol, les effets du prélèvement de résidus sur le taux de matière organique dans le sol étaient négligeables.^{[4][60]}

Mais le Québec peut-il, à partir de ces résultats positifs, se lancer d'emblée dans l'exploitation de cette biomasse résiduelle? Le contexte québécois est différent en termes de climat, de topographie, de superficies cultivées, de types de culture et de types de sols. Dans ces conditions, est-il possible de rentabiliser la filière en utilisant les mêmes pratiques culturales que celles énoncées dans les études faites aux États-Unis? Est-ce que les pratiques décrites sont adaptables aux réalités du Québec? Peut-on s'attendre à des impacts différents sur les sols, l'eau et la biodiversité? Afin de répondre à ces questions, la recherche et le développement doivent être au cœur du développement de la filière de la biomasse agricole résiduelle au Québec, et permettront de l'orienter vers la durabilité.



1.1. QUALITÉ DES SOLS

1.1.1. MATIÈRE ORGANIQUE ET NUTRIMENTS

La matière organique du sol (MOS) est composée d'éléments provenant de la décomposition de végétaux et d'animaux.^[58] Elle assure la cohésion du sol, son fonctionnement biologique, ainsi que la nutrition des cultures (voir **Tableau 1**, ci-dessous). De fait, il est essentiel que la MOS soit suffisante afin qu'elle puisse soutenir efficacement la croissance des cultures.

Les étapes de remise en culture des terres marginales et d'implantation d'une culture de biomasse agricole lignocellulosique ou ligneuse ont potentiellement pour effet de diminuer la quantité de MOS à court terme. Ce déclin serait explicable par le fait que, lors de la mise à nu du sol, la MOS qui s'y trouve naturellement subit une minéralisation accrue (transformation des nutriments du sol de l'organique vers l'inorganique) et que le recyclage naturel des résidus (feuilles, racines, etc.) est insuffisant pour la contrebalancer.^[17] Toutefois, à long terme, lorsqu'elles sont bien implantées, ces cultures ne devraient pas avoir d'effets négatifs sur les sols. En effet, la quantité de résidus de culture produite et laissée aux champs serait suffisante et favoriserait le retour de la MOS.^[17]

La récolte de résidus de culture pour la production de biomasse agricole peut, quant à elle, avoir des impacts négatifs sur la quantité de MOS. En effet, s'il y a prélèvement d'un trop grand volume de résidus, normalement laissés sur place, le renouvellement adéquat de la matière organique dans les sols en serait affecté.^[17] Ainsi, les parcelles cultivées se dégraderaient graduellement, ce qui nuirait à l'atteinte d'un bon rendement des cultures et à leur pérennité.



Compost.

© Flickr.com, Normanack

Tableau 1. Différents rôles de la matière organique dans le sol ^[27]

Rôle de la MOS	Actions	Bénéfices
Physique (= cohésion)	Structure et porosité. Rétention de l'eau.	Pénétration et stockage de l'eau, diminution du ruissellement, de l'érosion et de la compaction. Meilleure alimentation hydrique, etc.
Biologique (= énergisant)	Stimulation de l'activité biologique (vers de terre, biomasse microbienne).	Dégradation, minéralisation, réorganisation, humification, aération, croissance des racines.
Chimique (= nutritif)	Dégradation, minéralisation, capacité d'échanges cationique (CEC). Rétention des micropolluants organiques et des pesticides.	Apport d'éléments minéraux (N, P, K, oligo-éléments), stockage et disponibilité des éléments minéraux, limitation des toxicités (Cu par exemple). Qualité de l'eau.

1.1.2. ÉROSION

L'érosion est le phénomène par lequel l'eau ou le vent emporte des particules de sol. Des nutriments nécessaires au développement des plantes, notamment le phosphore, sont perdus lors de cette dispersion, nuisant ainsi à la croissance des végétaux. Une partie de ces nutriments peut d'ailleurs se retrouver dans les cours d'eau et les milieux humides et générer des impacts négatifs pour l'environnement (voir la section **1.2. Qualité de l'eau**).

Contrairement à de nombreuses filières agricoles, la production et la récolte de biomasse pour le chauffage peuvent avoir des impacts à la fois négatifs et positifs sur l'érosion des sols. En effet, les cultures lignocellulosiques, qui sont des cultures pérennes, protègent généralement le sol et les bandes riveraines contre l'érosion.^[41] Par exemple, selon plusieurs études, la culture d'alpiste roseau et de panic érigé causerait moins d'érosion des sols que les cultures annuelles.^{[8][9][19][28]} Comme il s'agit de plantes vivaces, le sol n'est pratiquement jamais laissé à nu, sauf pendant une courte période lors de l'implantation et du renouvellement de la culture (tous les 10 à 20 ans, dépendamment des cultures).^[11] Lors de la première année, une attention particulière doit tout de même être portée aux cultures sur des terres marginales, car ces sols y sont plus propices à l'érosion.^[28] Les sols en pente, peu profonds, mal drainés ou peu perméables sont aussi particulièrement à risque.^[17]

Les cultures ligneuses offrent également une protection contre l'érosion^[29], mais dans une proportion moindre. En effet, comme l'espace entre les rangs est plus large et que le sol y demeure à nu en dehors de la saison végétative, ce dernier subit les pleins effets du vent, des précipitations et du ruissellement pendant une partie de l'année^[17].

Le prélèvement d'une partie des résidus de culture peut quant à lui affecter négativement la structure de sols. En effet, si la quantité de résidus laissés au sol est insuffisante, le sol devient plus friable et subit une érosion éolienne et hydrique accrue^[2]. D'autres facteurs peuvent participer à amplifier ce phénomène, tels que la pente, la susceptibilité du sol à l'érosion, une mauvaise régie de culture, de même que la fonte des neiges.^[17]



Érosion, ruisseau Saint-Pierre

© CCDMD, Denis Chabot



Érosion au champ.

© Soil-net.com



Érosion en bordure de champ.

© Soil-net.com

1.1.3. COMPACTION

La compaction des sols est causée notamment par des passages fréquents de machinerie lourde sur des sols humides, par un travail excessif du sol qui brise les agrégats et endommage la structure, ou encore par la monoculture.^{[40][49]} En raison de l'augmentation de la densité du sol, la compaction peut causer de nombreux problèmes tels que des retards à la levée, ainsi que la formation d'un système racinaire peu profond et peu développé ou d'une croûte de battance à la surface du sol.^[32] L'intensification et la mécanisation de l'agriculture ont d'ailleurs amplifié le phénomène de compaction des sols au Québec.

Les cultures ligneuses et lignocellulosiques peuvent avoir des impacts à la fois positifs et négatifs sur la compaction des sols. En effet, contrairement aux cultures annuelles, elles permettent de maintenir une meilleure structure par l'entremise du développement d'un système racinaire profond.^{[29][42]} Celui-ci permet

également aux champs de mieux résister au poids de la machinerie agricole. Toutefois, la remise en culture des terres marginales pour la production de biomasse peut mener à des problèmes de compaction. En effet, la perte de MOS liée à cette étape affaiblit la structure des sols et sa capacité de support. Les sols mal drainés, les limons et les sables fins sont d'ailleurs très sensibles à ce phénomène.^[17] Une gestion adéquate des récoltes de ces cultures s'impose donc.

Des passages supplémentaires de la machinerie dans les champs sont généralement requis pour la collecte de résidus de culture. S'ils sont réalisés dans des conditions qui ne sont pas idéales, comme sur un sol humide par exemple, ils entraîneront une compaction des sols accrue.^[17] Cet effet sera également amplifié si une quantité trop grande de résidus est prélevée, car ce prélèvement pourrait entraîner un retour insuffisant de MOS et ainsi réduire la qualité de la structure de sols.



Compaction au champ.

© Wikimedia Commons, SB Johny

1.2. QUALITÉ DE L'EAU

En milieu rural, les activités agricoles sont les principales sources de pollution des cours d'eau et des nappes souterraines par le lessivage de l'azote et les pertes de phosphore. Ces éléments, qui sont liés notamment à l'utilisation de fertilisants minéraux et organiques, se retrouvent éventuellement dans les plans d'eau et contribuent à leur eutrophisation (voir l'encadré **Eutrophisation**, ci-dessous).

La remise en culture de terres marginales fait également augmenter les risques d'eutrophisation des cours d'eau, car elle réduit le potentiel de rétention des nitrates de ces nouvelles parcelles agricoles en mettant la terre à nu.^[17] Il faut donc attendre le retour d'un couvert végétal significatif pour voir ces risques diminuer de nouveau. L'épandage de pesticides requis lors de la remise en culture peut également nuire à la qualité de l'eau et avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine, étant donné la toxicité de ces produits. La haute solubilité de plusieurs d'entre eux favorise leur transport dans les lacs, ruisseaux et rivières par les phénomènes de ruissellement, drainage et infiltration.

Eutrophisation

Il s'agit de la détérioration d'un écosystème aquatique causée par un processus d'enrichissement des cours d'eau en nutriments. L'augmentation de la fertilité de l'eau, notamment par des apports excessifs en azote et en phosphore, favorise un développement massif de certains types de végétaux, particulièrement les algues. La décomposition de ces végétaux conduit éventuellement à la réduction de la teneur en oxygène de l'eau et à la disparition de plusieurs organismes aquatiques, notamment des poissons. Ce phénomène se produit généralement de façon naturelle sur des milliers d'années, mais il est grandement accéléré par des apports artificiels liés aux activités humaines, tout spécialement l'agriculture.

Les herbicides demeurent le type de pesticide le plus régulièrement détecté dans l'eau au Québec.^[20] Les organismes aquatiques sont exposés périodiquement à de fortes concentrations d'herbicides et d'insecticides.^[17] Plusieurs études confirment l'existence d'un lien entre la dégradation de la santé des poissons et la présence de pesticide dans les cours d'eau^[5], notamment pour des espèces comme le chevalier cuirvé^[18] et le meunier noir.^[13] Les amphibiens ont également une sensibilité importante aux pesticides, car une partie de leur développement a lieu dans l'eau.^{[5][57]}

La culture de plantes ligneuses à des fins énergétiques a des impacts négatifs sur la qualité de l'eau pendant les étapes d'implantation, de récolte et aussi lors du renouvellement de la culture.^[53] En effet, pendant ces étapes, le sol est plus vulnérable au lessivage et à l'érosion, ce qui entraînera une plus grande perte de nutriments dans la nappe phréatique et les cours d'eau à proximité. Par contre, durant les années de production, les cultures ligneuses ont des impacts positifs, en réduisant le lessivage des nutriments par le biais de leur système racinaire plus important et profond, ainsi qu'en raison de leur saison de croissance plus longue.^[17] De plus, la quantité de pesticides appliquée sur ce type de culture est environ cinq fois inférieure à celle appliquée sur les cultures annuelles.^[17]

Les cultures lignocellulosiques réduisent aussi les risques de ruissellement ou de lessivage des éléments nutritifs vers les eaux de surface ou les eaux souterraines.^[11] En ayant un système racinaire plus profond, une saison de croissance plus longue et des besoins réduits en fertilisants, il est estimé que ce type de plantes peut réduire le lessivage de l'azote jusqu'à 75% par rapport aux cultures agricoles annuelles.^{[3][17][36][48]}



La collecte de résidus de culture pourrait, lorsque trop importante, avoir des impacts négatifs sur la qualité de l'eau. Puisque les résidus forment une couche de protection lorsqu'ils sont laissés à la surface des parcelles, un prélèvement accru pourrait réduire leur capacité à protéger le sol contre l'impact des précipitations et du ruissellement. Selon Gasser et coll.^[17], lorsque la couverture fournie par les résidus est de moins de 30% de la surface du sol, les risques de ruissellement et d'érosion augmentent.



Épandage d'herbicide.

© Wikimedia Commons, PI77



Ruisseau Saint-Pierre, Saint-Paul-de-Joliette.

© CCDMD, Le Québec en images, Denis Chabot



Ruisseau agricole, Saint-Félix-de-Kingsey, MRC de Drummond.

© CCDMD, Le Québec en images, Guy Gauthier

1.3. BIODIVERSITÉ

Dans un contexte agricole, la biodiversité contribue à l'assainissement de l'air et de l'eau, au contrôle de l'érosion et à la capacité de cet écosystème d'affronter maladies et ravageurs.^[44] Elle est importante afin de maintenir les sols en bonne santé. Ces derniers contiennent en effet de nombreux microorganismes et insectes (vers de terre, champignons, bactéries, etc.) , lesquels assurent la décomposition efficace de la MOS et l'incorporation des résidus de culture présents à la surface dans les couches plus profondes du sol (Gasser et coll., 2010). Ainsi, puisque les milieux agricoles constituent des habitats propices à soutenir la biodiversité, une attention particulière doit leur être accordée.

La remise en culture de terres marginales et de friches pour l'implantation de cultures ligneuses ou lignocellulosiques pourrait menacer leur richesse en biodiversité.^[14] Dans un tel contexte, la pollution générée par l'utilisation d'engrais et de pesticides, la perte d'habitat pour la faune et l'envahissement potentiel de la niche écologique par les cultures implantées sont considérés comme étant les principaux facteurs pouvant mener à une perte de biodiversité.^[52] Ce sont toutefois les pesticides qui auraient les impacts les plus importants sur la biodiversité. En plus d'avoir un effet direct sur la biodiversité au champ, ces produits, transportés par l'air ou par l'eau, peuvent parcourir des distances importantes et nuire à différents écosystèmes.

Certaines espèces de cultures ligneuses et lignocellulosiques possèdent des caractéristiques semblables à celles des plantes envahissantes et peuvent donc, dans certains contextes, nuire à la biodiversité en milieu agricole. En effet, elles ont le potentiel de croître dans divers environnements, d'utiliser de manière efficace les ressources (eau, nutriments, lumière) et de produire de grandes quantités de biomasses.^[17] Ainsi, l'alpiste roseau peut devenir envahissant^{[42][47]} notamment dans les milieux humides riches en sédiments et en éléments nutritifs.^[62] Plusieurs espèces de miscanthus ont également un potentiel invasif.^[17] Quant au saule et au panic érigé, leur capacité d'envahissement ne fait pas l'unanimité à l'heure actuelle.^{[11][17]}

Les cultures ligneuses peuvent toutefois avoir un effet positif sur la biodiversité, car elles favorisent la présence accrue d'insectes et, par le fait même, d'oiseaux qui s'en nourrissent.^[51] Par contre, durant l'année d'établissement et lors de la récolte, des impacts négatifs peuvent survenir. En effet, la perte de couverture végétale consécutive aux opérations agricoles nuit à la protection de plusieurs espèces durant l'hiver, ne permettant pas une bonne protection contre des prédateurs potentiels et endommageant possiblement les nids des espèces aviaires.^[17]

Les effets spécifiques sur la biodiversité des cultures lignocellulosiques sont difficiles à évaluer, peu de travaux étant actuellement concluants. En effet, les impacts dépendent grandement de la localisation des parcelles, ainsi que de la manière dont sont gérés les écosystèmes qui y sont liés.^[53] Il est toutefois possible d'avancer que la biodiversité de ces cultures devrait être similaire à celle que l'on retrouve dans des prairies de plantes fourragères.^[17] En effet, la complexité structurale des végétaux est semblable, tout comme le sont les pressions exercées sur le milieu lors de la récolte annuelle. Il est également important de noter que la diversité et la quantité d'espèces vertébrées sont plus importantes dans les habitats créés par les cultures lignocellulosiques que par les cultures annuelles en rang.^[15]

Du côté des résidus de culture, certaines études avancent qu'un prélèvement trop important entraînerait un déclin de la population de vers de terre^{[7][55]} (voir l'encadré **Impact des vers de terre**, page suivante).



Impact des vers de terre

En creusant des galeries dans le sol, les vers de terre entraînent des modifications de la structure du sol en améliorant sa porosité, ce qui affecte la circulation de l'eau et de l'air, ainsi que la capacité d'enracinement des plantes. Par ailleurs, en ingérant et excréant de la MOS, les vers de terre participent à la transformation physique et chimique des résidus végétaux sous une forme plus décomposée. De plus, les vers de terre assurent l'incorporation dans le sol de la MOS présente en surface et constituent eux-mêmes une ressource trophique pour des animaux de plus grande taille, comme les oiseaux. Leur abondance joue donc un rôle par rapport à la biodiversité générale du milieu agricole.



Ver de terre (*Lumbricus terrestris*).

© Wikimedia Commons, Saibo



Ver de terre (*Lumbricus terrestris*). © Wikimedia Commons, Michael Linnenbach



Ver de terre (*Lumbricus terrestris*).

© Wikimedia Commons, Beentree

2. BONNES PRATIQUES POUR LA FILIÈRE DU CHAUFFAGE À LA BIOMASSE AGRICOLE

Plusieurs bonnes pratiques peuvent être mises en œuvre volontairement par les producteurs afin de pallier les effets néfastes que peut engendrer la culture de biomasse agricole ou la récolte de résidus de culture. Ces pratiques concernent plus spécifiquement la qualité des sols (matière organique et nutriments, érosion et compaction), la qualité de l'eau et la biodiversité.



Panic érigé.

© Wikimedia Commons, USDA

Quelques unités de mesure

Tm (tonne métrique) : unité de masse équivalente à 1000 kg.

Ha (hectare) : unité de mesure de superficie correspondant à 10 000 m².

2.1. QUALITÉ DES SOLS

2.1.1. MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL ET NUTRIMENTS

L'adoption de pratiques culturales plus adaptées et l'amendement des sols par des fertilisants organiques peuvent limiter les pertes de MOS liées à la remise en culture et augmenter la productivité des sols.^[17] Pour y parvenir, le choix de la culture implantée est important. En effet, une culture ligneuse ou lignocellulosique (comme le panic érigé), qui laisse une quantité importante de résidus au sol lors de sa récolte tout en conservant une couverture végétale permanente en surface, réduit les pertes annuelles de MOS.^[17]

Le recyclage naturel des nutriments devrait être encouragé et priorisé avant l'utilisation de tout autre type de fertilisant. L'utilisation des cendres issues de la combustion de la biomasse est un exemple de recyclage des nutriments (voir l'encadré **Cendres de combustion**, page suivante). Les engrais de synthèse, quant à eux, ne devraient être utilisés qu'après consultation auprès d'un agronome. Celui-ci pourra déterminer si leur utilisation est réellement nécessaire compte tenu des impacts potentiels sur la qualité de l'eau et la biodiversité.

Dans le cas de la récolte de résidus de culture, une étude menée par l'IRDA a démontré qu'au minimum 2 tm C/ha/an (pour les unités de mesure, voir l'encadré **Quelques unités de mesure**, ci-contre), soit environ 4,5 t de résidus par hectare, doivent être retournés au sol et qu'ils doivent recouvrir au moins 30% de la surface du sol afin d'assurer un renouvellement adéquat en nutriments.^[17] Cette pratique demeure toutefois une ligne directrice. Comme chaque parcelle de terre possède ses propres spécificités, il est recommandé de toujours faire appel à un agronome lorsque des **résidus de culture** sont prélevés. Ce professionnel pourra fournir un encadrement adéquat et évaluer quelle sera la quantité récoltable et les bonnes pratiques de régie à adopter sans mener à l'épuisement de la MOS et des nutriments du sol, tout en limitant les risques d'érosion.



Cendres de combustion

Les cendres issues de la combustion de biomasse agricole contiennent des nutriments tels que le potassium, le phosphore, le calcium et le soufre. ^[21]

Leur utilisation pour la fertilisation des terres constitue donc une option intéressante de mise en valeur. ^{[12][21][54][59]} Leur composition permettrait en outre de corriger l'acidité du sol ^{[21][25]} et d'améliorer la structure. ^[33] Des précautions doivent toutefois être prises, car l'épandage de cendres en trop grande quantité, ou qui sont caractérisées par de trop grandes concentrations en métaux lourds, pourrait avoir des impacts agronomiques et environnementaux. Pour cette raison, au Québec, l'utilisation de cendres de biomasse agricole comme fertilisant est contrôlée.

L'obtention d'une autorisation légale pour satisfaire à la norme du Bureau de normalisation du Québec (BNQ) est donc obligatoire. La démarche la plus simple et la moins coûteuse pour y parvenir est de transmettre au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) un avis de projet concernant le recyclage d'une matière résiduelle fertilisante (MRF). Cet avis de projet aura dûment été rempli par un agronome et le contrôle de la qualité du produit aura été effectué par une firme d'échantillonnage accréditée. ^[43] Il est également possible d'obtenir une certification de conformité par l'intermédiaire du BNQ ou encore un certificat d'autorisation annuel d'épandage auprès du MDDELCC. ^[25]



Paille de maïs.

© Wikimedia Commons, Volker Prasuhn

2.1.2. ÉROSION

Dans le cas des cultures ligneuses et lignocellulosiques, leur nature pérenne réduit les risques d'érosion. En effet, le maintien d'une couverture végétale au sol, même durant l'automne et l'hiver, agit comme couche protectrice et limite à la fois l'érosion hydrique et éolienne des sols.^[17]

Il est important d'être vigilant lors de l'implantation d'une culture ligneuse, comme le saule à croissance rapide, sur un sol récemment drainé. En effet, le système racinaire de ce type de végétal se développe très rapidement et en profondeur, pouvant ainsi contribuer à l'obstruction des drains agricoles.^[17]

En ce qui a trait aux résidus de culture, l'avis d'un agronome devrait toujours être sollicité afin de connaître la quantité de biomasse récoltable pour chaque champ, considérant les risques d'érosion, le recyclage des nutriments et le contenu du sol en matière organique. Ainsi, en prenant en compte différents facteurs comme les rendements moyens, les apports externes en MOS et les résultats d'analyses de sol^[17], ce professionnel pourra déterminer s'il est viable d'en extraire des résidus et, si oui, en quelle quantité.

Certaines bonnes pratiques agricoles peuvent compenser en tout ou en partie l'impact du prélèvement d'une partie des résidus de cultures. Une bonne rotation des cultures dans chacun des champs permet d'alterner les cultures dans lesquelles on prélève des résidus avec d'autres cultures qui apportent de la matière organique au sol.^[40] De plus, l'implantation de cultures intercalaires et d'engrais verts avec les cultures desquelles on prélève les résidus permet de conserver une couverture végétale au sol et d'assurer un apport intéressant en MOS.^{[17][40]} Diverses combinaisons de cultures ont prouvé leur utilité, par exemple le ray-grass en accompagnement du maïs.^[40] Finalement, certaines pratiques de travail réduit du sol et de semis direct, lorsque réalisées dans de bonnes conditions de terrain, permettent de diminuer les pertes de MOS et de garder une plus grande proportion du sol couverte par les résidus.^[45] Toutes ces pratiques méritent d'être considérées au moment de prendre une décision quant à l'utilisation des résidus de culture à des fins énergétiques.

2.1.3. COMPACTION

Les cultures ligneuses et lignocellulosiques, par des passages moins fréquents de machinerie dans les champs, engendrent moins de problèmes liés à la compaction des sols que les cultures annuelles. Il est tout de même recommandé de limiter les déplacements aux champs lors des étapes de remise en culture et d'implantation puisque le système racinaire des cultures ne sera pas encore assez développé pour supporter le poids de la machinerie. Des précautions supplémentaires devraient également être prises lorsque des interventions sont prévues sur des sols mal drainés ou ayant une structure fine.^[17] Il faut aussi éviter de faire des passages en condition de sol humide.

La récolte d'une trop grande quantité de résidus de culture peut également entraîner des problèmes de compaction des sols par un nombre accru de passages de la machinerie dans les champs. Ces problèmes peuvent toutefois être limités en maintenant une teneur minimale en MOS, en évitant de récolter lorsque la teneur en eau du sol est trop élevée et en utilisant un équipement de récolte adéquat et bien ajusté (roues doubles, pression d'air adéquate dans les pneus, etc.).



Saule en bordure d'un fossé de drainage. © Ressources naturelles Canada



2.2. QUALITÉ DE L'EAU

Les cultures ligneuses et lignocellulosiques ont généralement un impact moindre sur la qualité de l'eau que les cultures annuelles. Une attention particulière est toutefois nécessaire lors des étapes d'implantation et de récolte, moments où le sol est exposé et est plus sensible aux phénomènes d'érosion hydrique et de ruissellement. Bien que les herbicides soient souvent nécessaires lors de l'implantation de ces cultures, les fertilisants peuvent généralement être omis la première année, ou appliqués en très faible quantité. Il est recommandé de consulter un agronome afin qu'il dresse un portrait de la situation et qu'il aide à établir si l'utilisation d'herbicides et de fertilisants est réellement nécessaire. Le maintien d'une bande riveraine permanente pourrait également permettre de réduire les risques.

Les cultures ligneuses et lignocellulosiques peuvent même avoir un effet positif sur la qualité de l'eau lorsque implantées en bandes riveraines. En effet, la capacité filtrante de certaines espèces végétales peut devenir un outil afin de limiter les impacts des cultures sur la qualité de l'eau, en ayant pour effet de ralentir le ruissellement, de permettre la capture d'une quantité importante de nutriments lessivés^[29] et de limiter l'érosion sur les terres en pente.^{[34][50]}

Une quantité adéquate de résidus de culture devrait toujours être retournée aux sols. Ces derniers seront ainsi mieux protégés contre l'érosion et le ruissellement et maintiendront une bonne structure, laquelle permettra une meilleure infiltration de l'eau.^[17] Selon différentes études scientifiques, il est recommandé de laisser entre 4 à 6 tm/ha de résidus afin de protéger le sol contre le ruissellement de l'eau et le balayage du vent.^[31] De meilleurs résultats peuvent également être atteints si cette pratique est combinée avec un travail en semis direct.^[17] L'implantation d'une bande riveraine plus large pourrait aussi contribuer à la gestion du risque de ruissellement.



Ruisseau agricole.

© Véronique Gagnon



Grenouille léopard.

© Flickr.com, Éric Bégin



Meunier noir.

© Wikimedia Commons, Brian Gratwicke

2.3. BIODIVERSITÉ

Les cultures ligneuses soutiennent la biodiversité en offrant un meilleur habitat grâce à leur couvert végétal.^[17] Par exemple, elles peuvent être utilisées pour la création de bandes riveraines ou encore de haies brise-vent de manière à créer des habitats intéressants pour les espèces insectivores.^{[10][39][46]} Celles-ci contribuent à la lutte biologique contre les parasites^{[40][46]} et, conséquemment, à la réduction de l'utilisation de pesticides. Plusieurs espèces, notamment les oiseaux, contribuent ainsi à l'amélioration des rendements des cultures.

La diversité d'espèces d'invertébrés est plus grande dans les cultures **lignocellulosiques** que dans les monocultures de plantes annuelles,^[1] car les cultures lignocellulosiques créent une plus grande diversité de niches écologiques.^[56] Toutefois, il est nécessaire qu'une couverture végétale adéquate soit laissée au sol lors de l'étape de la récolte. La littérature scientifique recommande que la coupe soit tardive.^[42] De plus, l'élimination des pesticides, ou du moins la réduction des quantités épandues, devrait être une priorité, car elle favorise la biodiversité.^[15] Certaines précautions devraient aussi être prises concernant le potentiel invasif de certaines cultures. Le type de végétal cultivé devrait être sélectionné en prenant en compte les orientations suivantes : ne pas disposer de rhizomes rampants, ne pas être adapté aux milieux humides ou aux zones forestières, ne pas croître hâtivement ou trop rapidement dans la saison et être indigène en Amérique du Nord.^{[17][26]} Les modifications génétiques doivent aussi être évitées, car elles confèreraient au végétal implanté un avantage compétitif sur d'autres espèces.

Certaines études ont révélé qu'une diminution importante de la population de vers de terre était observable lors d'une récolte complète de résidus de culture.^[7] Encore une fois, il est recommandé de laisser au minimum 4,5 t/ha de résidus de culture au sol et d'assurer un recouvrement minimal de 30% de la surface du sol. Dans tous les cas, il est fortement conseillé de faire appel à un agronome lorsqu'un quelconque prélèvement est envisagé. Une bonne rotation des cultures, l'implantation de cultures intercalaires (entre les rangs de cultures) ainsi que l'application d'engrais verts dérobés sont des pratiques recommandées pour les cultures desquelles on prélève les résidus. Elles feront augmenter la diversité génétique, ce qui protégera naturellement les cultures contre leurs ennemis et favorisera la pollinisation.^{[16][24]} De plus, certaines pratiques de travail réduit du sol, lorsque réalisées dans de bonnes conditions de terrain, permettront de favoriser une plus grande biodiversité. Le travail réduit du sol favorise un enrichissement de la diversité d'insectes et d'oiseaux.^{[37][38]} Cette technique renforce aussi la flore microbienne du sol en la rendant plus active et plus diversifiée que sous l'effet du travail conventionnel.^{[23][35]} Cette augmentation de l'activité des microbes favorise leur potentiel de biodégradation des pesticides.^[40] Le travail réduit permet aussi de minimiser l'exportation de sédiments et de phosphore, ce qui aura une influence positive sur la qualité des écosystèmes aquatiques.^[61]



Merle d'Amérique.

© Flickr.com, Jamia54t



Paruline à croupion jaune.

© CCDMD, Le Québec en images, J.G. Béliveau



CONCLUSION

La remise en culture de terres marginales pour l'implantation et la production de cultures pérennes dédiées, de même que le prélèvement de résidus de culture pour le chauffage à la biomasse agricole, peuvent avoir des impacts négatifs importants sur la qualité du sol, de l'eau et sur la biodiversité. Ces impacts peuvent comprendre un appauvrissement graduel de la matière organique des sols, une augmentation des risques d'érosion, une augmentation de la compaction des sols, une pollution des nappes phréatiques et des cours d'eau et une diminution de la biodiversité. Plusieurs bonnes pratiques peuvent toutefois être adoptées pour mitiger ces impacts.





*La filière de la biomasse agricole peut néanmoins avoir des impacts positifs sur l'environnement. En effet, les cultures pérennes **ligneuses** et **lignocellulosiques** protègent généralement les sols contre l'érosion tout en maintenant une meilleure structure du sol par le biais de leur système racinaire profond. Elles peuvent également avoir des effets positifs sur la biodiversité en créant un milieu favorable à la présence des insectes et de la faune aviaire. Pour toutes ces raisons, il est souhaitable de favoriser le développement de la filière des cultures de plantes **ligneuses** et **lignocellulosiques** sur des terres marginales.^{[6][30]}*

Quant au prélèvement de résidus de culture à des fins de production énergétique, une plus grande prudence s'impose. En effet, certaines études américaines tendent à démontrer que cette pratique n'est rentable que lorsque les résidus sont extraits de systèmes de production intensifs tels que les monocultures annuelles.^[60] Si ces conditions se révèlent être les mêmes ici au Québec, le prélèvement de résidus de culture n'encouragerait pas une agriculture durable. Toutefois, si l'utilisation des résidus de culture se fait avec modération (en laissant une proportion appréciable de résidus au champ) et que de bonnes pratiques agricoles sont mises en place (comme des rotations de cultures, un travail réduit du sol ou l'implantation de cultures intercalaires), alors cette filière pourrait constituer une avenue envisageable. Toutefois, un tel prélèvement des résidus de culture ne saurait se faire sans les conseils d'un agronome.

*Voir le **Résumé des bonnes pratiques à adopter pour atténuer les impacts négatifs de la filière de la biomasse agricole sur la qualité des sols, de l'eau et de la biodiversité**, page suivante.*

Lutte contre
les changements
climatiques

RÉSUMÉ DES BONNES PRATIQUES À ADOPTER POUR ATTÉNUER LES IMPACTS NÉGATIFS DE LA FILIÈRE DE LA BIOMASSE AGRICOLE SUR LA QUALITÉ DES SOLS, DE L'EAU ET DE LA BIODIVERSITÉ

REMISE EN CULTURE 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Limiter les déplacements aux champs. ■ Être prudent lors des déplacements de machinerie sur des sols mal drainés ou ayant une structure fine. ■ Sélectionner une biomasse qui laisse une quantité importante de résidus au sol. 	Ligneuse Lignocellulosique
IMPLANTATION 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Limiter les déplacements aux champs. ■ Être prudent lors des déplacements de machinerie sur des sols mal drainés ou ayant une structure fine. ■ Limiter ou abolir l'utilisation de pesticides. ■ Ne pas surfertiliser les cultures. ■ N'utiliser des engrais de synthèse et organiques que sur avis d'un agronome. ■ Planter les cultures en tant que bandes riveraines, lorsque possible. ■ Réduire le potentiel invasif des cultures en sélectionnant une plante qui n'a pas de rhizomes rampants, n'est pas adaptée aux milieux humides ou zones forestières, ne croît pas hâtivement ou trop rapidement, est indigène à l'Amérique du Nord, est non modifiée génétiquement. 	Ligneuse Lignocellulosique
PRODUCTION 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Limiter ou abolir l'utilisation de pesticides. ■ Être prudent lors des déplacements de machinerie sur des sols mal drainés ou ayant une structure fine. 	Ligneuse Lignocellulosique
RÉCOLTE 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Surveiller les drains agricoles dans le cas de sols récemment drainés. ■ Favoriser l'implantation d'une culture intercalaire ou d'un engrais vert. ■ Favoriser de bonnes rotations des cultures dans chacun des champs. ■ Encourager le travail réduit des sols pour des cultures annuelles. ■ Être prudent lors des déplacements de machinerie sur des sols mal drainés ou ayant une structure fine. ■ Effectuer la coupe tardivement. ■ Établir un suivi de la qualité des sols avec l'aide d'un professionnel. ■ Retourner suffisamment de résidus vers le sol pour le renouvellement de la MOS (4 à 6 tm/ha). ■ Solliciter l'avis d'un agronome lorsque le prélèvement de résidus est envisagé. ■ Maintenir un niveau de MOS minimal. ■ Laisser au minimum 4,5 tm/ha de résidus au sol. Ceux-ci devraient couvrir au minimum 30% de la surface du sol. 	Ligneuse Lignocellulosique Résidus de culture Ligneuse Lignocellulosique Ligneuse Lignocellulosique Résidus de culture Résidus de culture

La Coop
fédérée

UPA
L'Union des
producteurs
agricoles

Biopierre
L'Union des producteurs agricoles

irda
Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

CDR
Coopérative de
Développement
Régional
Bas-Saint-Laurent/Côte-Nord
Coopérative de solidarité

BIOÉNERGIE
MÉGANTIC

Coopérative agricole
de biomasse de la
Côte-du-Sud

AGRO ÉNERGIE

Partenaire financier principal



FONDS D'ACTION
QUÉBÉCOIS POUR LE
DÉVELOPPEMENT DURABLE

Partenaire financier

Québec



Nature Québec
sensible à tous les milieux

Cette fiche fait partie d'une série de quatre fiches publiés dans le cadre du projet *Combustion verte et climat: l'agriculture en renfort!* [en ligne : <http://www.naturequebec.org/combustion-verte-et-climat>], portant sur la réduction de l'utilisation des combustibles fossiles pour le chauffage dans le domaine institutionnel, municipal, commercial, agricole et industriel, ainsi que sur les différents enjeux qui y sont reliés.

Rédaction : Jérôme Lévesque, Amélie St-Laurent Samuel, Christine Gingras
 Collaborateurs : Koffi Bekou, Hichan Bencharki,
 M.-Noëlle Thivierge, André Vézina
 Illustration de page couverture (haut) : Corsaire Design
 Édition, graphisme et autres illustrations : Marie-Claude Chagnon
 ISBN 978-2-89725-066-9 (imprimé) et 978-2-89725-067-6 (PDF)
 © Nature Québec, juillet 2014

RÉFÉRENCES

FICHE 3



Lutte contre
les changements
climatiques

BIOMASSE AGRICOLE QUALITÉ DES SOLS, DE L'EAU ET BIODIVERSITÉ

[1] Anderson, G.Q.A., and M.J. Fergusson, 2006. Energy from Biomass in the UK: Sources, Processes and Biodiversity Implications. *Ibis* 148 (s1): 180-183. [En ligne.] <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1474-919X.2006.00535.x/full>

[2] Anderson-Teixeira, K.J., S.C. Davis, M.D. Masters *et al.*, 2009. Changes in Soil Organic Carbon under Biofuel Crops. *Bionergy* 1 (1): 75-96. [En ligne.] <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1757-1707.2008.01001.x/full>

[3] Andersson, R., 1990. *Biofuels from Agriculture. An Analysis of the Environmental Impact*. Stockholm, National Swedish Environmental Protection Board.

[4] Archer, D. W., and J.M.F. Johnson, 2012. Evaluating Local Crop Residue Biomass Supply: Economic and Environmental Impacts. *BioEnergy Research* 5 (3): 699-712. [En ligne.] <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12155-012-9178-2#page-2>

[5] Aubertot, J.N., J.M. Barbier, A. Carpentier *et coll.*, 2005. *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter les impacts environnementaux*. Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective.

Paris et Parc de Tourvoie (France), INRA et CEMAGREF. 68 p. [En ligne.] http://www.observatoire-pesticides.fr/upload/bibliotheque/704624261252893935317453066156/pesticides_synthese_inra_cemagref.pdf

[6] Bhardwaj, A.K., T. Zenone, P. Jasrotia *et al.*, 2011. Water and Energy Footprints of Bioenergy Crop Production on Marginal Lands. *GCB Bioenergy* 3 (3): 208-222. [En ligne.] http://www.kbs.msu.edu/images/stories/docs/robertson/Bhardwaj_et_al._2011_GCBB.pdf

[7] Blanco-Canqui, H., *et R. Lal*, 2007. Soil and Crop Response Harvesting Corn Residue for Biofuel Production. *Geoderma* 141 (3-4): 355-362.

[8] Börjesson, P., 1999. Environmental Effects of Energy Crop Cultivation in Sweden-I: Identification and quantification. *Biomass and Energy* 16: 137-154. [En ligne.] http://www.tcd.ie/Botany/ESFworkshop/materials/Borjesson_1999_En_Crop_Env_Effects.pdf

[9] Bouwman, A.F., 1990. Exchange of Greenhouse Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere. In Bouwman, A.F. (ed.). *Soils and Greenhouse Effect*, Chichester, Wiley. 596 p.

- [10] Brandle, J.R., L. Hodges and X.H. Zhou, 2004. Windbreaks in North American Agriculture Systems. *Agroforestry Systems* 61 (1-3): 65-78. [En ligne.] <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1389&context=agronomyfacpub>
- [11] Brodeur, C., J. Cloutier, D. Crowley et coll., 2008. *La production de biocombustibles solides à partir de biomasse résiduelle ou de cultures énergétiques*. Québec (Québec, Canada), Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 16 p. [En ligne.] <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC032.pdf>
- [12] Caslin, B., J. Finnan and A. McCracken (eds), 2010. *Short Rotation Coppice Willow Best Practice Guidelines*. The Irish Agriculture and Food Development Authority (Teagasc) and Agri-Food and Bioscience Institute (AFBI). Carlow and Belfast (Ireland). 66 p.
- [13] Dorval, J., V. Leblond, C. Deblois and A. Hontela, 2005. Oxidative Stress and Endocrine Endpoints in White Sucker (*Catostomus commersoni*) from a River Impacted by Agricultural Chemicals. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24 (5): 1273-1280. [En ligne.] <http://people.uleth.ca/~alice.hontela/pdfs/Dorval-et-al2005.pdf>
- [14] Fargione, J.E., T.R. Cooper, D.J. Flaspohler et al., 2009. Bioenergy and Wildlife: Threats and Opportunities for Grassland Conservation. *BioScience* 59 (9): 767-777. [En ligne.] <http://oberhauserlab.cfans.umn.edu/files/2012/10/Fargione-et-al-2009-BioScience-Bioenergy-and-grassland-wildlife.pdf>
- [15] Fletcher, R.J. Jr., B.A. Robertson, J. Evans et al., 2010. Biodiversity Conservation in the Era of Biofuels: Risks and Opportunities. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9 (3): 161-168. [En ligne.] <http://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/24366/090091.pdf?sequence=1>
- [16] Gardiner, M.M., D.A. Landis, C. Gratton et al., 2009. Landscape Diversity Enhances Biological Control of an Introduced Crop Pest in the North-central USA. *Ecological Applications* 19 (1): 143-154. [En ligne.] <http://www.esajournals.org/doi/pdf/10.1890/07-1265.1>
- [17] Gasser, M.-O., M. Bolinder, S. Martel et coll., 2010. *Impacts agroenvironnementaux associés à la culture et au prélèvement de biomasses végétales agricoles pour la production de bioproduits industriels*. Rapport final. Québec (Québec, Canada), Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). 200 p. [En ligne.] <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/IRDAimpactBiomassefev2012.pdf>
- [18] Gendron, A., A. Branchaud, R. Fortin et Saint-Laurent Vision 2000, 1997. *Impact potentiel de la contamination du milieu aquatique sur la reproduction du suceur cuivré (*Moxostoma hubbsi*): synthèse des connaissances*. Rapport technique 16-02. Longueuil (Québec, Canada), ministère de l'Environnement et de la Faune, Société de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Direction générale de la Montérégie. 160 p.
- [19] Girouard, P., B. Mehdi, R. Samson et coll., 1999. *Le panic érigé dans l'Est de l'Ontario: un guide pour les producteurs*. AAC Canada, REAP et Collège d'Alfred (Université de Guelph). Mise à jour en 2007 par R. Samson, 4 p. [En ligne.] <http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-serre/documents/SwitchgrassGuide98Fr.pdf>
- [20] Giroux, I., 2010. *Présence de pesticides dans l'eau au Québec. Bilan dans quatre cours d'eau de zones de culture de maïs et de soya en 2005, 2006 et 2007, et dans les réseaux de distribution d'eau potable*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement. 78 p. [En ligne.] http://www.mddefp.gouv.qc.ca/pesticides/maïs_soya/rapport-maïs-soya05-06-07.pdf
- [21] Godbout S., J.H. Palacios, J.P. Larouche et coll., 2012. *Bilan énergétique, émissions gazeuses et particulaires de la combustion de la biomasse agricole à la ferme*. Rapport final. Québec (Québec, Canada), Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). 239 p. [En ligne.] http://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/godbout-et-al-2012_rapport_combustion_biomasse.pdf
- [22] Godbout S., J.H. Palacios et P. Brassard, 2012. *Avenues pour la valorisation des cendres de combustion de la biomasse agricole*. Fiche synthèse. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). 2 p. [En ligne.] http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Fiche_valo_cendres_biomasse_agr.pdf
- [23] Govaerts, B., N. Verhulst, A. Castellanos-Navarrete et al., 2009. Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: between Myth and Farmer Reality. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28 (3): 97-122. [En ligne.] http://ca2africa.cirad.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=&dir=JSROOT%2Fshared&download_file=JSROOT%2Fshared%2Fpreview+ca+and+soil+c_govaerts+et+al.pdf
- [24] Hajjar, R., D.I. Jarvis and B. Gemmill-Herren, 2008. The Utility of Crop Diversity in Maintaining Ecosystem Services. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 123 (4): 261-270. [En ligne.] http://www.ecology.ethz.ch/education/Resilience_Stuff/Hajjar_et_al_2008.pdf
- [25] Hébert, M., et B. Breton, 2008. Recyclage agricole des cendres de bois au Québec. État de la situation, impacts et bonnes pratiques agro-environnementales. *Agrosolutions* 19(2): 18-33. [En ligne.] http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Recyclage_cendres.pdf
- [26] Ho Lem, C., R. Samson et S. Bailey-Stamler, 2008. *Commercial Energy Grass Production and Implications for Invasive Species in Canada*. Final Report. Canadian Food Inspection Agency. 74 p. [En ligne.] http://www.reap-canada.com/online_library/grass_pellets/33%20Commercial%20Energy%20grass%20production%20&%20implication-Ho%20Lem%20et%20al%202009.pdf



[27] Huber, G., et C. Schaub, 2011. *La fertilité des sols: l'importance de la matière organique*. Chambre d'agriculture du Bas-Rhin, Service environnement-innovation. 42 p. [En ligne.] http://www.bas-rhin.chambagri.fr/fileadmin/documents/Environnement-Innovation/AB/Guide_des_amendements_organiques_CA67.pdf

[28] Kort, J., M. Collins and D. Ditsch, 1998. A Review of Soil Erosion Potential Associated with Biomass Crops. *Biomass and Energy* 14: 351-360.

[29] Labrecque, M., et T.I. Teodorescu, 2004. *La culture intensive de saules en courtes rotations (CICR)*. Institut de recherche en biologie végétale (IRBV), Jardin botanique de Montréal et Université de Montréal. 4 p. [En ligne.] http://agroenergie.ca/pdf/Culture_du_saule/Culture_intensive_saules_%20courtes_rotations.pdf

[30] Lal, R., 2009. Soil Quality Impacts of Residue Removal for Bioethanol Production. *Soil and Tillage Research* 102 (2): 233-241.

[31] Lal, R., 2008. Soils and Sustainable Agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28 (1): 57-64. [En ligne.] <http://link.springer.com/article/10.1051%2Fagro%3A2007025#page-1>

[32] Lamarre, G., 2004. Le sous-solage, le travail du sol et le chaulage. Notes de présentation aux Journées horticoles régionales 2004. 10 p. [En ligne.] <http://www.agrireseau.qc.ca/legumeschamp/documents/soussolage.PDF>

[33] Lickaz, J., 2002. Wood ash. An Alternative Liming Material for Agricultural Soils. *Agri-Facts, Practical information for Alberta's agriculture industry*. AGDEX 534-2, Alberta Agriculture, Food and Rural Development. 6 p. [En ligne.] [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex3435/\\$file/534-2.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex3435/$file/534-2.pdf?OpenElement)

[34] Limoges, B., 2009. Biodiversité, services écologiques et bien-être humain. *Le Naturaliste canadien* 133 (2): 15-19. [En ligne.] http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Services_ecologiques.pdf

[35] Lindwall, W., B. McConkey, C. Campbell and G. Lafond, 2000. *20 years of Conservation Tillage: What Have we Learned?* 20th Annual Meeting of Alberta Conservation Tillage Society (ACTS). 23 p. [En ligne.] http://www.reducedtillage.ca/docs/20_years_ct.pdf

[36] Makeschin, F., 1994. Effects of Energy Forestry on Soils. *Biomass and Bioenergy* 6 (1-2): 63-79.

[37] Marshall, E.J.P., V.K. Brown, N.D. Boatman *et al.*, 2003. The Role of Weeds in Supporting Biological Diversity within Crop Fields. *Weed Research* 43 (2): 77-89. [En ligne.] <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x/full>

[38] Marshall, E.J.P., V. Brown, N. Boatman *et al.*, 2001. *The Impact of Herbicides on Weed*

Abundance and Biodiversity. PN0940. A report from the UK Pesticide Safety Directorate. Long Ashton Research Station (LACR), (United Kingdom). 141 p. [En ligne.] http://www.scri.ac.uk/scri/file/EPI/Impact_of_herbicides_on_weed_abundance_and_biodiversity_PN094.pdf

[39] Marshall, E.J.P., 2005. Field Margins in Northern Europe: Integrating Agricultural, Environmental and Biodiversity Functions. In: *Field Boundary Habitats: Implications for Weed, Insect and Disease Management*. Topics in Canadian Weed Science, vol. 1 (A.G. Thomas, ed.). Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec, Canada), Canadian Weed Science Society (Société canadienne de malherbologie). p. 39-67.

[40] Martel, S., S. Seydoux, A. Michaud et coll., 2006. *Évaluation des effets combinés des principales pratiques de gestion bénéfiques (PGB)*. Revue de littérature et schéma décisionnel pour la mise en œuvre de PGB. Québec (Québec, Canada), Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA). 118 p. + annexes. [En ligne.] http://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/martel-et-al-2006_rapport_interactions_pgb.pdf

[41] Mehuys, G.R., 1981. *L'érosion par l'eau*. Conseils des productions végétales du Québec. Agdex 572. 15 p.

[42] Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), 2009. *Évaluation du potentiel de la filière des granules combustibles fabriqués à partir des cultures pérennes*, Direction de l'agroenvironnement et du développement durable. 54 p. [En ligne.] http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Evaluation_granules.pdf

[43] Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2012. *Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes: critères de référence et normes réglementaires*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 170 p. [En ligne.] http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf

[44] Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), 2011. *Biodiversité: les alliés naturels de l'agriculteur, une richesse à préserver*. Capsule d'information sur les services écologiques. 4 p. [En ligne.] <http://www.mddep.gouv.qc.ca/biodiversite/capsules/biodiversite-allies-naturels.pdf>

[45] N'Dayegamiye, A., et A. Vanasse, 2005. Impacts des régies agricoles sur la séquestration du carbone et de l'azote dans les sols pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, N₂O). *Vecteur Environnement* 38 (6): 37-39. [En ligne.] http://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/ndaye-2005_article_regies_agricoles_vs_ges.pdf

[46] Paquet, B., et C. Maisonneuve, 2004. Fréquentation de la bande riveraine par la faune en milieu agricole: mythes et réalités. *Vecteur environnement* 37 (2): 73-77.

[47] Reinhardt, C.H., and S.M. Galatowitsch, 2005. *Phalaris arundinacea* L. (reed canarygrass): Rapid Growth and Growth Pattern in Conditions Approximating Newly Restored Wetlands. *Ecoscience* 12 (4): 569-573.

[48] Rijtema, P., and W. de Vries, 1994. Differences in Precipitation Excess and Nitrogen Leaching from Agricultural Lands and Forest Plantations. *Biomass and Bioenergy* 6 (1-2): 103-115.

[49] Robert, L., D. Poulin, M. Lemieux, M. Noël et coll., 2013. *Les essais et démonstrations en grandes cultures*. Fiche synthèse des projets conjoints. Préparée par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), 2 p. [En ligne.] http://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/robert-et-al-2013_fiche_essais_demo_gc.pdf

[50] Robertson, G.P., V.H. Dale, O.C. Doergin et al., 2008. Sustainable Biofuels Redux. *Science* 322: 49-50. [En ligne.] http://www.esd.ornl.gov/eess/esd_fact_sheets/Sustainable%20Biofuels%20Redux.pdf

[51] Sage, R.B., 1998. Short Rotation Coppice for Energy: Towards Ecological Guidelines. *Biomass and Bioenergy* 15 (1): 39-47.

[52] Sala, O.E., D. Sax and H. Leslie, 2009. Biodiversity Consequences of Biofuel Production, pp. 127-137. In: R.W. Howarth and S. Bringezu (eds). *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) International Biofuels Project Rapid Assessment, 22-25 September 2008, Gummertsbach (Allemagne). Ithaca (New York, United States), Cornell University. [En ligne.] <http://sala.lab.asu.edu/wordpress/wp-content/uploads/158-Biofuels-and-biodiversity-Sala-et-al.pdf>

[53] Samson, R., P. Girouard, C. Zan et al., 1999. *The Implications of Growing Short-Rotation Tree Species for Carbon Sequestration in Canada*. Final Report prepared for the Joint Forest Sector Table/Sinks Table, Afforestation 5, National Climate Change Process, Solicitation 23103-0253/N. Sainte-Anne de Bellevue (Québec, Canada), Resource Efficient Agricultural Production (REAP). 91 p. [En ligne.] http://www.reap-canada.com/online_library/ghg_offsets_policy/20%20The%20Implications.pdf

[54] Sarabèr, A., and K. Haasnoot, 2012. *Recycling of Biomass Ashes in Netherlands*. [Texte présenté lors du congrès ASH 2012 tenu à Stockholm, Suède, du 25 au 27 janvier 2012]. 10 p. [En ligne.] http://www.varmeforsk.se/files/program/askor/Saraber_and_Haasnoot_-_23-01-2012.pdf

[55] Shipitalo, M.J., and K.R. Butt, 1999. Occupancy and Geometrical Properties of *Lombricus terrestris* L-burrows affecting infiltration. *Pedobiologia* 43 (6): 782-794.

[56] Smeets, E.M.W., I.M. Lewandowski and A.P.C. Faaij, 2009. The Economical and Environmental Performance of Miscanthus and Switchgrass Production and Supply Chains in a European

Setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 1230-1245. [En ligne.] http://www.researchgate.net/profile/Edward_Smeets/publication/223242070_The_economical_and_environmental_performance_of_miscanthus_and_switchgrass_production_and_supply_chains_in_a_European_setting/file/72e7e51ef8e8452593.pdf

[57] Société de la faune et des parcs du Québec, 2002. *Rapport sur les impacts de la production porcine sur la faune et ses habitats*. Vice-présidence au développement et à l'aménagement de la faune. 72 p. [En ligne.] <ftp://ftp.mrnf.gouv.qc.ca/Public/Bibliointer/Mono/2011/06/0721308.pdf>

[58] Soltner, D., 2011. *Les bases de la production végétale*. Tome I: *Le sol*, 25e édition. Sainte-Gemmes-sur-Loire (France), Sciences et techniques agricoles. 472 p.

[59] van Eijk R., I. Obernberger and K. Supancic, 2012. *Options for Increased Utilization of Ash from Biomass Combustion and Co-Firing*. Report. Deliverable D4 for International Energy Agency (IEA) Bioenergy Task 32, Arnhem (Netherlands). 39 p. [En ligne.] http://www.ieabcc.nl/publications/Ash_Utilization_KEMA.pdf

[60] Wilhelm W.W., J.M.F. Johnson, J.L. Hatfield and W.B. Voorhees, 2004. Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review. *Agronomy Journal* 96 (1): 1-17. [En ligne.] <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1022&context=agronomyfacpub>

[61] Yates, A.G., R.C. Bailey and J.A. Schwindt, 2006. No-till Cultivation Improves Stream Ecosystem Quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 6 (1): 14-19.

[62] Zedler, J.B., and S. Kecher, 2004. Causes and Consequences of Invasive Plants in Wetlands: Opportunities, Opportunists and Outcomes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23 (5): 431-452. [En ligne.] http://globalrestorationnetwork.org/uploads/files/LiteratureAttachments/60_causes-and-consequences-of-invasive-plants-in-wetlands.pdf



ISBN 978-2-89725-066-9 (imprimé)

ISBN 978-2-89725-067-6 (PDF)

Nature Québec
sensible à tous les milieux