



La transformation des résidus forestiers en énergie favorise-t-elle la santé des collectivités?

Olga Petrov^a

Sommaire

- Les résidus forestiers sont une biomasse ligneuse non commercialisable constituée des déchets de l'exploitation forestière et des usines de transformation du bois telles que les scieries. Les résidus forestiers sont un combustible commode pour les systèmes de chauffage à biomasse traditionnels à foyer ouvert ou fermé (cheminées, poêles à bois), mais on s'en sert depuis quelque temps pour alimenter des systèmes de cogénération bois-énergie à combustion avancée, qui produisent à la fois de la chaleur et de l'électricité.
- Les systèmes bois-énergie à combustion avancée sont des systèmes automatisés à haut rendement équipés de dispositifs d'épuration des fumées. Ces systèmes, dont l'emploi est encouragé en Europe, fournissent de la chaleur de façon rentable, utilisent efficacement les ressources ligneuses et peuvent faire partie intégrante des réseaux énergétiques urbains.
- Les émissions des feux à l'air libre et des systèmes de chauffage à biomasse traditionnels peuvent contenir des polluants atmosphériques tels que les suivants : dioxyde de carbone (CO₂), carbone élémentaire, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), benzène, aldéhydes, dioxines (polychlorodibenzo-p-dioxines, ou PCDD), radicaux libres et matières particulaires (MP). On estime que les émissions de matières particulaires, de monoxyde de carbone (CO) et de composés organiques volatils (COV) des systèmes bois-énergie à combustion avancée, tels que ceux à gazéification, sont plus faibles d'un ordre de grandeur que celles des systèmes traditionnels.
- La quantité et la composition chimique des polluants atmosphériques émis par combustion de la biomasse dépendent des caractéristiques et conditions de la combustion, et la combustion complète, qui est plus souvent possible avec les systèmes bois-énergie à combustion avancée, permet de réduire les émissions de polluants, voire leur toxicité. Les matières particulaires issues d'une combustion complète ont la particularité de présenter une bonne

^a Université de la Colombie-Britannique, département de génie chimique et biologique

hygroscopicité (faculté d'absorber l'humidité de l'air) qui les rend moins susceptibles de se déposer dans les poumons et réduit ainsi leur toxicité.

- Cependant, les réseaux de chauffage urbains utilisant des systèmes bois-énergie à combustion avancée pourraient accroître les risques pour la santé des populations locales en raison de leur proximité avec les sources d'émission.
- Comme ces systèmes connaissent une croissance rapide au Canada, on a besoin de plus d'études épidémiologiques et expérimentales pour évaluer les effets de leur adoption sur la santé des populations.

Introduction

La croissance des populations et le développement s'accompagnent d'une augmentation des besoins en énergie. Pour garantir l'approvisionnement en énergie dans le cadre d'un développement durable, il faut tenir compte de paramètres tels que les émissions de gaz à effet de serre (GES), l'utilisation des sols et des eaux, la disponibilité, le rendement, les coûts et les conséquences sociales¹. L'une des conséquences les plus importantes à déterminer est leur effet sur la santé des populations concernées. Les systèmes bois-énergie à combustion avancée, qui sont des systèmes automatisés à haut rendement équipés de dispositifs d'épuration des fumées, sont largement utilisés en Europe. La mise en œuvre de tels systèmes en Amérique du Nord pourrait permettre de se chauffer de façon rentable en utilisant les ressources ligneuses plus efficacement pour alimenter les réseaux énergétiques urbains². Pour évaluer les éventuels effets sanitaires de l'exposition aux émissions des systèmes bois-énergie à combustion avancée, qui sont nécessairement situés à proximité des centres de population, on propose une méthode intégrée prenant simultanément en compte le rendement du système, la caractérisation des émissions et les scénarios d'exposition possibles³.

Basé sur un examen systématique des articles et ouvrages publiés, des documents gouvernementaux et des actes de congrès (les méthodes de recherche étant précisées à l'annexe A), ce document fait le point des connaissances actuelles sur les caractéristiques des expositions résultant de la combustion de résidus forestiers à des fins énergétiques et sur leurs effets sanitaires potentiels. Il est destiné aux responsables des politiques qui doivent prendre des décisions éclairées en matière d'énergie de la biomasse.

Les résidus forestiers : de quoi s'agit-il?

La biomasse, dans son sens le plus large, inclut la totalité de la matière vivante, et plus particulièrement les matières végétales et les déchets agricoles pouvant servir de combustible ou de source d'énergie⁴.

Les résidus forestiers sont une biomasse ligneuse non commercialisable constituée notamment d'essences forestières non marchandes et de résidus d'exploitation forestière, issues des

bordures de route et des terrains boisés. De plus, les résidus des usines de transformation du bois, notamment les déchets des scieries (sciure, copeaux, écorces), constituent une biomasse ligneuse commode à utiliser comme combustible ou source d'énergie.

Le secteur de l'énergie de la biomasse

Les sources d'énergie renouvelables non hydroélectriques représentent 1,6 % de la production d'électricité totale du Canada⁵, et la biomasse renouvelable compterait à elle seule pour 60 % de cette capacité⁶. Aux États-Unis, les centrales à biomasse produisent moins de 1 % de l'électricité du réseau⁷. À l'autre bout du spectre, des pays européens comme l'Allemagne, le Royaume-Uni, la Finlande et la Suède se classaient aux premiers rangs des producteurs d'électricité issue de la biomasse ligneuse en 2005^{8,9}. La Finlande, par exemple, parvient à satisfaire 11 à 20 %^{9,10} de ses besoins en électricité à partir de la biomasse et a déjà mis au point des technologies bioénergétiques fondées sur les ressources de son industrie forestière¹¹.

Au Canada, les forêts couvrent plus de 400 millions d'hectares (44 % du territoire) et la plupart relèvent des provinces. Le plus grand utilisateur de biomasse à des fins énergétiques est l'industrie canadienne des produits forestiers, qui génère près de 60 % de son énergie à partir de cette ressource renouvelable (tirée pour l'essentiel des résidus forestiers)⁶. Une étude de la fondation BIOCAP intitulée *Inventory of the Bioenergy Potential of British Columbia*¹² montre que les résidus forestiers issus de l'exploitation forestière et des industries de transformation du bois, tels que les déchets des scieries (sciure, copeaux, écorces), constituent d'importantes ressources en biomasse ligneuse pour la Colombie-Britannique. D'autres études ont envisagé le bois endommagé par le dendroctone du pin ponderosa comme autre source de biomasse ligneuse d'origine forestière¹³ et ont examiné les effets de son emploi sur le secteur forestier et l'économie de la province¹⁴.

Conversion de la biomasse en bioénergie

Utiliser la biomasse pour produire de l'énergie n'est pas une idée nouvelle. Cependant, la biomasse a souvent été perçue comme coûteuse et moins commode que les combustibles fossiles en termes de manutention, de transport, de stockage et de traitement, et comme variable en termes de rendement énergétique net et d'utilisation des sols¹⁵. En revanche, la biomasse est une ressource renouvelable à bilan carbone presque neutre (équilibre entre le dioxyde de carbone émis par les centrales et le carbone capturé par le renouvellement des matières combustibles utilisées), ce qui en fait une source d'énergie intéressante dans le cadre de la réponse au changement climatique. Les résidus forestiers sont brûlés de plusieurs façons, depuis les feux à l'air libre (incendies de forêt incontrôlés, essartages et brûlages dirigés) et la combustion domestique dans les poêles et les cheminées jusqu'à leur emploi dans les centrales de cogénération chaleur-électricité, voire dans les usines de produits chimiques de base^{16,17}.

Les principales voies de conversion de la biomasse ligneuse en bioénergie sont présentées ci-dessous¹⁸.

La *combustion directe* est une réaction d'oxydation du combustible (biomasse) libérant de l'énergie principalement sous forme de chaleur. La biomasse peut être transformée en plaquettes, briquettes ou granulés (pellets), qui constituent une matière de départ de meilleure qualité contenant moins d'humidité, concentrant l'énergie, émettant moins de polluants atmosphériques et plus facile à manipuler et à transporter. À l'échelle industrielle, la chaleur ainsi produite peut servir à entraîner des turbines pour produire de l'électricité.

La *pyrolyse* est la décomposition de la biomasse à haute température (environ 700 °C) en l'absence d'oxygène pour obtenir des produits primaires : bio-huile, biocharbon et gaz de synthèse. Le gaz de synthèse s'utilise ensuite pour produire de la chaleur et de l'électricité (récupération d'énergie) ou pour synthétiser d'autres produits chimiques (récupération de produits).

La *gazéification* est la conversion thermo-chimique de la biomasse en un gaz de synthèse inflammable appelé « gaz de gazogène »; elle s'effectue à haute température (de 750 à 850 °C) avec un apport d'oxygène infra-stœchiométrique. Le gaz de gazogène peut servir à produire de la chaleur et de l'électricité, mais aussi s'utiliser comme matière de base pour fabriquer des carburants et des produits chimiques.

Le point sur le développement et l'utilisation des technologies de la biomasse

La cogénération (ou production combinée) de chaleur et d'électricité par combustion de biomasse est une option économique qui a fait des progrès ces dernières années. Les cogénérateurs de ce type s'emploient déjà à moyenne et grande échelle, notamment dans les réseaux de chauffage urbains, les industries du bois et les procédés industriels nécessitant de la chaleur ou du froid^{8,19}. Les grandes centrales de cogénération produisant plus de 2000 kW^(b) d'électricité utilisent le plus souvent des *turbines à vapeur* (qui transforment l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique pour entraîner un générateur électrique). Les machines thermodynamiques à *cycle de Rankine à fluide organique*, qui utilisent un composé organique en phase vapeur plutôt que de la vapeur d'eau, conviennent aux centrales de taille moyenne générant entre 200 et 2000 kW d'électricité par combustion de biomasse⁸ et semblent intéressantes pour les centrales de micro-cogénération produisant quelques kilowatts d'électricité²⁰.

Les systèmes à gazéification de la biomasse sont encore au stade expérimental^{8,9}. Les centrales à cycle combiné à gazéification intégrée (CCGI) alimentées par biomasse font leur entrée sur le marché en offrant des performances économiques et techniques prometteuses^{9,21}.

^b kW - kilowatt

Pour répondre aux besoins énergétiques locaux, on promeut également, au lieu des grandes centrales traditionnelles, des réseaux de production électrique décentralisée constitués de petites unités. Ces unités peuvent utiliser des piles à combustible, des moteurs à combustion interne et des turbines ou microturbines²². Il existe également d'autres technologies, comme la co-combustion ou l'emploi de biomasse ligneuse densifiée (de type granulés)²⁴ dans les centrales à combustible fossile²³ et la polygénération, c'est-à-dire la génération intégrée et simultanée de plusieurs produits énergétiques (chaleur, électricité) ou chimiques¹⁶.

Émissions atmosphériques, expositions et effets sanitaires de la conversion de la biomasse ligneuse

Les résidus forestiers sont considérés comme la ressource bioénergétique la plus concurrentielle et comme une cible intéressante pour les nouveaux investissements, car l'électricité générée à partir de la biomasse est, selon certaines études européennes, moins coûteuse lorsque sa production est intégrée aux processus industriels forestiers¹¹. Cependant, les émissions atmosphériques issues de la biomasse présentent quelques défis. Certaines études ont montré que la composition chimique des polluants émis par la combustion peut varier en fonction des essences forestières utilisées²⁵. Les émissions et leurs effets sanitaires dépendent en partie de la composition de la biomasse utilisée; ainsi, les biodéchets industriels émettent plus d'oxydes de soufre et d'oxydes d'azote que les matières premières forestières. La conversion des résidus forestiers peut être plus propre que celle des biodéchets ménagers et industriels en offrant un meilleur rendement et des émissions de polluants plus faibles et moins toxiques. Cependant, les données indiquent que la quantité et la composition chimique des polluants atmosphériques émis par la combustion de la biomasse dépendent aussi dans une large mesure de la technologie et des conditions de combustion, comme on le verra plus loin.

Caractérisation des émissions

Combustion à l'air libre et dans les systèmes traditionnels

La documentation scientifique disponible rend bien compte des émissions résultant d'une combustion incomplète, comme celles des incendies de forêt, des cheminées domestiques et des poêles à bois. Ces émissions peuvent contenir des matières particulaires (MP), des oxydes de soufre (SO_x), des oxydes d'azote (NO_x), du dioxyde de carbone (CO₂), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), du benzène, des aldéhydes, du monoxyde de carbone (CO), du formaldéhyde, des dioxines (polychlorodibenzo-p-dioxines, ou PCDD) et des radicaux libres^{26,27}. La combustion des combustibles solides (comme celle de la biomasse ligneuse dans les fourneaux domestiques traditionnels encore utilisés dans certains pays en voie de développement) émet une variété de polluants et produits de combustion incomplète (PCI), dont certains sont cancérigènes^{27,28}. Les données de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) indiquent que les émissions moyennes de particules fines sont les plus faibles

pour les chaudières à gaz (0,0083 livre par million de BTU, soit 3,57 nanogrammes par joule) et qu'elles sont 40 fois plus élevées pour les poêles à granulés (dont les émissions de matières particulaires sont inversement proportionnelles à la charge de combustible)²⁵ et jusqu'à 2000 fois plus élevées pour les cheminées à bois²⁹.

La biomasse est une source d'énergie intéressante pour la réalisation des objectifs de politique climatique³⁰, car sa combustion peut émettre moins de gaz à effet de serre (GES) que celle des combustibles fossiles. Cependant, la combustion de la biomasse, en particulier lorsqu'elle se fait dans des conditions incontrôlées, émet du carbone noir (ou carbone suie), un produit de combustion incomplète qui absorbe le rayonnement solaire. Lorsqu'il est combiné à d'autres espèces chimiques à courte durée de vie absorbant les rayonnements, tels que l'ozone, le carbone noir peut contribuer à l'effet de serre presque autant que le dioxyde de carbone^{31,32}. Pour estimer l'incidence nette du carbone noir sur le changement climatique, il faut tenir compte du fait que son effet est contrebalancé par celui des espèces chimiques reflétant le rayonnement solaire qui sont émises en même temps, comme les composés organiques volatils (COV), les sulfates (SO₄) et les nitrates (un produit de la photochimie atmosphérique)³².

Les données montrent que la quantité et la composition chimique des polluants atmosphériques émis par la combustion de la biomasse dépendent dans une large mesure des caractéristiques et des conditions de cette combustion; une combustion complète (apport d'oxygène supra-stœchiométrique) réduit les émissions de polluants et probablement aussi leur toxicité. Dans les chaudières industrielles, où les conditions de combustion sont contrôlées (température et quantité d'air ou d'oxygène disponible), on peut réduire les émissions de matières particulaires, à condition d'épurer les gaz de cheminée conformément aux normes qui conviennent³³. Les chambres de combustion haute température de plus petite taille à revêtement réfractaire diminuent les émissions de particules, à la différence des grandes chambres de combustion à lit fluidisé, qui ajoutent à leurs émissions des particules de silice détachées du lit de sable³³. Par ailleurs, une étude expérimentale a montré que les émissions de matières particulaires des chaudières à copeaux de bois dépendent largement des conditions de combustion, et notamment de l'apport en air : un apport d'air trop faible ou trop élevé se traduit par l'émission de particules plus grosses et en plus grande quantité³⁴. L'amélioration des caractéristiques de la biomasse ligneuse (par l'emploi d'un combustible de qualité homogène contenant peu d'humidité, tel que les granulés) et leur emploi dans des modèles de chaudières contemporains peuvent réduire les émissions de particules de 80 % par rapport aux chaudières à bois plus anciennes³⁵.

Selon les caractéristiques physico-chimiques et les conditions de combustion, la fumée de bois contient des particules de composés organiques (hydrocarbures et dérivés), de suie (carbone élémentaire et composés organiques condensés) et de cendres inorganiques (sels alcalins)³⁵. Les particules résultant d'une combustion incomplète (évaluées sur des chaudières à granulés de bois) ont une composition plus complexe, avec une teneur en matières organiques (à base de carbone) d'environ 85 %, et sont relativement plus grosses que celles résultant d'une combustion complète, dont la teneur en carbone est inférieure à 1 %.

Les particules élémentaires et inorganiques sont essentiellement submicroniques et se composent généralement de potassium, de soufre et de chlore, sauf pour la combustion des écorces, où le sodium et le potassium prédominent³⁶⁻³⁹. La quantité de particules fines inorganiques dépend des éléments formant des cendres lors de la combustion et pendant la phase de refroidissement des gaz de cheminée²⁵. Ces résultats concordent avec ceux d'autres études, qui indiquent que la combustion du bois sec, notamment sous forme de copeaux ou de granulés, émet des particules submicroniques contenant du potassium et du soufre et des particules de fraction plus grossière contenant du calcium.

Systèmes bois-énergie à combustion avancée

Par une série de réactions interconnectées appelée gazéification, les combustibles solides sont convertis en gaz combustibles, tels que le méthane (CH₄) ou un gaz de synthèse composé d'hydrogène (H₂) et de monoxyde de carbone (CO). Des études récentes^{40,41} ont montré que certaines améliorations technologiques, comme la gazéification étagée (en deux étapes découplées), peuvent améliorer considérablement l'efficacité du procédé en optimisant les réactions et donner ainsi un meilleur produit (gaz de synthèse) tout en réduisant les émissions, notamment celles de soufre (quand on utilise du charbon comme combustible) et d'azote⁴². Une étude a conclu que, lorsqu'un mélange de biocombustibles contient plus de déchets industriels (grignons d'olive) que de résidus forestiers, sa combustion produit des émissions détectables de dioxyde de soufre (SO₂), de monoxyde d'azote (NO), de benzène (C₆H₆) et de toluène (C₇H₈). Dans les centrales électriques à charbon, la co-combustion réduit les émissions de CO₂, de NO_x et de SO_x^{8,43,44}, même avec un rapport biomasse/charbon d'à peine 10 % en termes d'apport thermique²³.

Des études récentes ont examiné les types et caractéristiques des polluants atmosphériques émis par les systèmes bois-énergie à combustion avancée tels que ceux qui utilisent la gazéification. On estime que les émissions de matières particulaires, de monoxyde de carbone (CO) et de composés organiques volatils (COV) des systèmes bois-énergie à combustion avancée sont plus faibles d'un ordre de grandeur que celles des systèmes à combustion directe traditionnels⁴⁵. Cependant, pour respecter les normes de qualité de l'air et protéger la santé humaine, il est nécessaire d'installer des systèmes antipollution assurant notamment la filtration des matières particulaires⁴⁶.

Les avantages nets du passage aux biocombustibles dépendent également du combustible à remplacer. Par exemple, sur un cycle de vie entier, le remplacement d'une chaudière à gaz naturel par un système à gazéification de la biomasse entraînera une réduction des émissions de CH₄ et de CO₂ génériques d'origine fossile. Cela entraînera aussi l'accroissement d'autres émissions, en particulier de matières particulaires et de NO_x lors de la gazéification (les procédés haute température favorisent la formation de NO_x), mais celles-ci peuvent être réduites par l'installation de dispositifs antipollution. Sur la totalité du cycle de vie, la récolte du bois destiné à la gazéification (qui n'existe pas dans le cas du gaz naturel) reste l'étape qui contribue le plus aux émissions de particules et de NO_x⁴⁵.

Expositions et conséquences sanitaires

Combustion à l'air libre et dans les systèmes traditionnels

Les effets sanitaires de l'exposition aux émissions de la combustion du bois à l'air libre ont été largement étudiés au fil des ans. Plusieurs analyses documentaires antérieures ont examiné les conséquences sanitaires de l'exposition à la fumée de bois. Par exemple, un article de Naeher et al.²⁶ a fait le point des connaissances apportées par les études épidémiologiques et toxicologiques des effets de l'exposition environnementale et professionnelle aux incendies de forêt, aux brûlages agricoles et aux fumées de bois résidentielles dans les pays développés. Il en ressort que la combustion de la biomasse fait avant tout augmenter les concentrations atmosphériques en particules, qui peuvent être multipliées par 3 ou 4 dans le cas des feux de végétation. Or, les particules fines peuvent être transportées sur de grandes distances à partir du foyer. Ce même polluant s'avère être l'un des principaux responsables de la dégradation de la qualité de l'air extérieur, en particulier en hiver, à cause des feux de bois résidentiels. Certaines études cas-témoin ont estimé que les concentrations intérieures en particules étaient presque cinq fois plus élevées dans les maisons chauffées au bois que dans celles chauffées au gaz ou à l'électricité.

La composition chimique et la répartition dimensionnelle des particules émises par la combustion de la biomasse présentent un intérêt particulier, car elles constituent souvent le meilleur indicateur des effets sanitaires induits par celle-ci²⁶. Pour ce qui est des dimensions, les particules plus petites (moins de 2,5 micromètres) peuvent pénétrer profondément dans les poumons et même dans la circulation sanguine. La réduction de la concentration en particules fines, et donc des taux de carbone noir et de composés organiques, offre un avantage sanitaire important car, selon certaines études, elle pourrait faire diminuer le taux de mortalité prématurée³¹. Dans l'ensemble, les études scientifiques indiquent que l'exposition à la fumée des feux de bois à l'air libre et résidentiels, et la durée de celle-ci, font croître une variété de symptômes respiratoires, ainsi que les visites aux urgences et les hospitalisations²⁶. Certains décès ont été associés à des concentrations extrêmement élevées en particules provenant de feux de broussaille⁴⁶. Des concentrations élevées en particules de fumées ont par ailleurs aggravé des pathologies existantes³⁹. Cependant, ces matières particulaires diffèrent dans leur composition de celles émises par les combustibles fossiles (examinées par la plupart des études sanitaires), ce qui permet de penser que les particules provenant de la biomasse pourraient être moins toxiques que celles provenant par exemple du carburant diesel. Il faudrait donc étudier plus à fond les caractéristiques propres aux émissions de la biomasse pour évaluer leur toxicité relative et leurs effets sur la santé^{47,48}.

Bien que certaines études d'intervention⁴⁹ indiquent que l'amélioration des conditions de combustion par le remplacement des vieux poêles à bois a diminué les émissions de particules ainsi que la fréquence des symptômes d'irritation, de bronchite et de respiration sifflante chez les enfants, les études récentes n'apportent pas de données montrant que les poêles à bois de technologie améliorée permettent de réduire les concentrations intérieures en particules.

Toutefois, l'installation de filtres HEPA s'est avérée réduire les concentrations intérieures en fumée de bois et a été associée à la baisse de certains marqueurs d'inflammation systémique^{41,48}.

Bien que certaines études sur cultures cellulaires montrent que les conditions permettant la combustion complète du bois diminuent la toxicité des polluants émis (principalement des particules), on a besoin de plus d'études expérimentales chez l'humain pour approfondir ces résultats. Il est probable que les effets sanitaires induits par les particules dépendent d'un éventail de propriétés physico-chimiques. Par exemple, le dépôt et la rétention des particules dans les poumons dépendent de leurs caractéristiques physiques et de leur hygroscopicité (capacité à absorber l'humidité de l'air). Les particules issues d'une combustion complète absorbent plus facilement l'humidité et ont ainsi moins de chances de se déposer dans les poumons. Cela pourrait influencer sur l'ampleur de la toxicité induite par les particules et sur ses effets sanitaires. La combustion complète diminue également la toxicité des particules en termes de taux de survie cellulaire^{35,37,38,48}.

Les HAP et substances acides ou polaires émises par la combustion du bois s'avèrent avoir des effets mutagènes⁵⁰. De plus, selon les données de plusieurs études, les émissions issues de la combustion du bois seraient cancérigènes pour l'humain. Une analyse documentaire basée sur sept études réalisées chez des sujets nord-américains et européens ayant utilisé le bois comme principal combustible tout au long de leur vie a conclu qu'ils présentaient « un risque accru de cancer du poumon par rapport aux utilisateurs de combustibles non solides »⁵¹. Par ailleurs, en prenant en compte les paramètres d'âge, de tabagisme et de niveau scolaire, les résultats ont confirmé un lien entre l'utilisation de bois de feu et le cancer du poumon chez les femmes, probablement en raison du temps passé à la maison et dans la cuisine. Une monographie publiée en 2010 par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) classe les émissions de fumée de bois dans le groupe 2A (« probablement cancérigène pour l'homme »)⁵².

Outre les conditions de combustion et les caractéristiques physicochimiques des polluants émis, la proximité des sources d'émissions et l'ampleur de ces émissions ont beaucoup d'importance pour les scénarios d'exposition et les effets sanitaires ultérieurs. Par exemple, même s'il y a moins de feux de bois dans les villes, plus de gens sont exposés à leurs émissions dans les zones urbaines que dans les zones rurales moins peuplées⁵³.

Pour réaliser des études toxicologiques et épidémiologiques évaluant les effets de la fumée de bois, on a besoin de biomarqueurs d'exposition fiables, en raison des variations dans la relation entre exposition et réponse des biomarqueurs selon les différents types de biomasse (bois de feuillus ou de résineux), les différentes conditions de combustion et les différents métabolismes.

Systemes bois-energie à combustion avancée

L'EPA a récemment annoncé que les émissions des centrales à biomasse seraient exemptées de réglementation pour les trois prochaines années, car on a besoin de plus de données

probantes sur leurs caractéristiques et leurs effets. Cette décision vise à favoriser une nouvelle expansion économique en encourageant la création d'emplois, les investissements dans le développement des centrales à biomasse, ainsi que les mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre et de prévention des incendies de forêt. Néanmoins, cette décision est controversée, en raison des effets sanitaires possibles de ces émissions⁷.

Dans les études évaluant les réseaux de chauffage urbains utilisant des centrales de cogénération^{54,55}, les effets des émissions de NO_x et de polluants similaires (autres que le CO₂) doivent être examinés à l'échelle des collectivités urbaines. De la même façon, les avantages réels des réseaux de production électrique décentralisée doivent être examinés du point de vue de leurs effets sur la qualité de l'air environnant. Les unités décentralisées situées dans les villes pourraient entraîner des expositions aux polluants atmosphériques différentes de celles causées par les centrales traditionnelles situées à l'écart des zones peuplées^{22,54}. Les émissions de leurs cheminées, pouvant être concentrées ou diffusées dans l'atmosphère locale selon les conditions météorologiques, peuvent avoir un impact sur les résidents du voisinage⁴⁵. Il est donc important d'examiner l'exposition, et pas seulement les émissions, pour évaluer les effets sanitaires des nouveaux systèmes bioénergétiques. L'emploi de la fraction absorbée (Fa) comme mesure d'exposition s'est avéré utile dans d'autres études évaluant les expositions à la fumée de bois²². La fraction absorbée est la fraction de la masse de polluant émise effectivement inhalée par les personnes exposées; elle est indépendante du taux d'émission du polluant, mais elle est influencée par le cadre de l'exposition. Les concentrations de polluants dans l'atmosphère extérieure en un lieu donné dépendent de la proximité des sources, de la hauteur effective des cheminées et des conditions météorologiques²². Un certain nombre d'études ont utilisé cette méthode pour estimer la fraction absorbée des particules de fumée de bois pendant l'hiver⁵⁶ ou pour comparer les expositions aux particules des fumées de bois résidentielles et à d'autres sources de particules⁵⁷.

Le tableau 1 résume les résultats d'une sélection d'études récentes citées dans ce document, en termes de caractéristiques et d'effets des principales technologies de la biomasse.

Tableau 1. Aperçu des caractéristiques, des émissions et de certains effets des technologies de conversion de la biomasse

Type de conversion	Caractéristiques et émissions	Effets	Références
<p>Combustion directe</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Combustion à l'air libre et combustion domestique entraînant de fortes émissions de particules primaires et secondaires : carbone noir (faisant partie des particules fines), HAP, CO, formaldéhyde, acroléine, dioxines, radicaux libres, SO_x, NO_x, CO₂. • Dioxines émises en particulier par les incendies de forêt. • Combustion industrielle et chaudières traditionnelles : conditions contrôlées permettant une combustion complète (apport en air supra-stœchiométrique) pour réduire les émissions de matières particulaires, de carbone et de cendres. Chaudières à chambres de combustion de plus petite taille (à revêtement réfractaire) réduisant elles aussi les émissions de particules. • Co-combustion avec d'autres combustibles (de type charbon-biomasse) réduisant les émissions de SO_x et de NO_x. 	<p style="text-align: center;"><u>Effets climatiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Le carbone noir absorbe le rayonnement solaire, mais sa diminution entraîne la production photochimique de sulfates qui contrebalancent son potentiel d'effet de serre. <p style="text-align: center;"><u>Effets sanitaires</u></p> <p><i>Conditions de combustion</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Quand les conditions de combustion ne permettent pas une combustion complète, les émissions de polluants augmentent et peuvent être plus toxiques. • Une combustion complète se traduit par des émissions plus faibles pouvant être moins toxiques. <p><i>Scénario d'exposition</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Les sources d'émissions industrielles traditionnelles sont généralement éloignées des zones peuplées, tandis que les émissions provenant de sources situées à proximité auront une incidence sur les populations concernées selon la configuration géographique et les conditions météorologiques locales. 	<p>Kreith et Goswami (éd.)¹⁸ Bariet et al. (2010)⁵⁸ Boman et al. (2011)²⁵ Buzcu et al. (2006)⁵⁹ <i>An Information Guide...</i> (2011)³³</p>

<p>Systèmes bois-énergie à combustion avancée</p> <p>Gazéification</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les émissions sont globalement plus faibles; les centrales à biomasse émettent toujours plus de NO_x que celles à gaz naturel; les émissions de particules nécessitent des dispositifs antipollution. • Le gaz de gazogène a un pouvoir calorifique élevé. • La gazéification étagée réduit les émissions de soufre (lorsqu'on utilise du charbon) et d'azote. • La co-gazéification charbon-biomasse réduit les émissions de CO₂, NO_x et SO_x, ainsi que la teneur en impuretés (telles que NH₃ et H₂S) du gaz de gazogène. 	<p><u>Effets climatiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduction des émissions de GES et du potentiel d'effet de serre. <p><u>Effets sanitaires</u></p> <p><i>Exposition</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • L'implantation des centrales à biomasse dans les zones urbaines augmente le nombre de personnes exposées aux émissions. • Lorsqu'ils sont situés en zones urbaines, les systèmes bois-énergie à combustion avancée peuvent contribuer davantage à la fraction absorbée totale que les centrales traditionnelles. 	<p>Zhang, J., et al. (2010)⁴⁰</p> <p>Miranda et al. (2010)⁴¹</p> <p>Genon et al. (2009)⁵⁴</p> <p>McIlveen-Wright (2011)⁴³</p> <p>Jonsson et Hillring (2006)⁵⁵</p> <p>Heath et al. (2006)²²</p> <p>Pa et al. (2011)⁴⁵</p>
<p>Systèmes intégrés (centrales CCGI alimentées par biomasse)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction significative des émissions de CO₂ par rapport aux autres systèmes intégrés (centrales CCGI traditionnelles alimentées au charbon). 	<p><u>Effets climatiques</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduction du potentiel d'effet de serre. <p><u>Effets sanitaires</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • N.D.^c 	<p>Corti (2004)²¹</p>

Comme le montre le tableau 1, il y a différentes options même pour la combustion directe de la biomasse, depuis les incendies de forêts et feux à l'air libre à hautes émissions jusqu'aux chaudières traditionnelles. En conditions contrôlées, les chaudières à combustion complète émettent moins de polluants, et surtout moins de matières particulaires. On a également constaté une réduction des émissions avec les systèmes bois-énergie à combustion avancée, en particulier pour les centrales à gazéification et à CCGI. Ces dernières technologies ont un plus faible potentiel d'effet de serre. On dispose de peu de données sur les effets sanitaires des systèmes bois-énergie à combustion avancée (et on n'en a aucune sur les centrales CCGI).

^c N.D. – Non disponible. La recherche documentaire réalisée dans le cadre de ce compte rendu n'a permis de trouver aucune étude évaluant les effets sanitaires des centrales CCGI.

Conclusions

L'évaluation des différentes technologies (type de combustible, caractéristiques de la combustion et combinaison de techniques) doit être accompagnée par celle des effets sur la qualité de l'air et des risques sanitaires pour la population exposée.

À cet égard :

- Les données montrent que la quantité et la composition chimique des polluants atmosphériques émis par la combustion de la biomasse dépendent dans une large mesure des technologies utilisées et des conditions de cette combustion; la combustion complète (avec apport d'oxygène supra-stœchiométrique) offerte par les systèmes avancés réduit les émissions de polluants.
- Les émissions et leurs effets sanitaires dépendent en partie de la composition de la biomasse utilisée; ainsi, les biodéchets industriels émettent plus d'oxydes de soufre et d'oxydes d'azote que les matières premières forestières. La conversion des résidus forestiers peut être plus propre que celle des biodéchets ménagers et industriels en offrant un meilleur rendement et des émissions de polluants plus faibles.
- La proximité des sources d'émissions et l'ampleur de ces émissions ont beaucoup d'importance pour les scénarios d'exposition et les effets sanitaires ultérieurs. La combustion de bois dans les zones résidentielles peut augmenter la fraction de la masse des polluants émis effectivement inhalée par les personnes exposées.

Lacunes dans les données probantes

- Plusieurs études ont indiqué que la composition des matières particulaires était hétérogène et largement dépendante des conditions de combustion et des matières premières utilisées (type de biomasse). On a besoin de plus d'études épidémiologiques et expérimentales pour évaluer les caractéristiques des matières particulaires et la toxicité associée dans différentes conditions de combustion de la biomasse.
- Bien que certaines études sur cultures cellulaires montrent que les conditions permettant la combustion complète du bois diminuent la toxicité des polluants émis (principalement des particules), on a besoin de plus d'études expérimentales chez l'humain.
- Les études d'impact sanitaire se sont généralement limitées à l'évaluation des effets aigus. On a besoin de données sur l'exposition à long terme aux émissions produites par les différents procédés de combustion de la biomasse pour évaluer leurs effets sanitaires chroniques, notamment en matière de cancer et d'affections cardiorespiratoires.

- On ne dispose pas d'assez de données sur les émissions produites par la co-combustion de la biomasse et des combustibles fossiles (ces émissions pourraient être moindres ou présenter des caractéristiques toxicologiques différentes).
- Comme les centrales bois-énergie à combustion avancée sont implantées dans les grandes collectivités urbaines et que leur nombre augmente au Canada, il est nécessaire de réaliser des études d'exposition supplémentaires (en particulier sur les nouvelles technologies de la biomasse) pour mieux comprendre les expositions résultantes et les risques sanitaires associés.
- D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer les effets des conditions de combustion sur les émissions des petites centrales à biomasse des réseaux de chauffage urbains.

Remerciements

Olga Petrov tient à remercier Michael Brauer, Xiaotao (Tony) Bi, Helen Ward, Ken Christian et Catherine Elliott de lui avoir apporté leurs précieux commentaires et suggestions pendant la rédaction de ce compte rendu. Olga Petrov remercie également pour son soutien le programme Bridge de l'Université de la Colombie-Britannique.

References

1. Evans A, Strezov V, Evans TJ. Sustainability considerations for electricity generation from biomass. *Renew Sust Energ Rev.* 2010;14(5):1419-27.
2. Richter Dd, Jenkins DH, Karakash JT, Knight J, McCreery LR, Nemestothy KP. Wood energy in America. *Science.* 2009;323(5920):1432 -3.
3. Ries FJ, Marshall JD, Brauer M. Wood energy: The dangers of combustion. *Science.* 2009;324(5933):1390.
4. Biomass. *The American Heritage Dictionary of the English Language.* Fourth ed. New York, NY: Houghton Mifflin Company; 2000.
5. Ressources Naturelles Canada. À propos de l'électricité. Ottawa, ON: Gouvernement du Canada; 2009; Disponible à : <http://www.rncan.gc.ca/energie/sources/electricite/1186>.
6. Bradley D. Canada biomass-Bioenergy report Ottawa, ON: Climate change solutions; 2006 May. Disponible à : <http://www.bioenergytrade.org/downloads/canadacountryreportmay312006.pdf>.
7. Barnard J. EPA gives break to biomass over climate. *Seattle Times.* 2011 Jan 12. Disponible à : http://seattletimes.nwsourc.com/html/localnews/2013919368_apusbioassepa1stldwritethru.html.
8. Obernberger T. Combustion and gasification of solid biomass for heat and power production in Europe - State-of-the-art and relevant future developments (keynote lecture). *Proceedings of the 8th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers;* Vilamoura, Portugal: CENERTEC; 2008. Disponible à : <http://bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Obernberger-CHP-Overview-2008-03-18.pdf>.

9. Energy Technology Network IEA-ETSAP. Biomass for heat and power. Paris Cedex 15, France: International Energy Agency Secretariat; 2010 May. Disponible à : <http://iea-etsap.org/web/E-TechDS/PDF/E05-Biomass%20for%20HP-GS-AD-gct.pdf>.
10. Dymond CC, Titus BD, Stinson G, Kurz WA. Future quantities and spatial distribution of harvesting residue and dead wood from natural disturbances in Canada. *Forest Ecol Manag.* 2010;260(2):181-92.
11. Beintema N, Bisiaux A, (International Institute for Sustainable Development). International conference "The European forest-based sector: Bio-responses to address new climate and energy challenges?" 6-8 November 2008. *European Forests Energy Clim Bull.* 2008 Nov;157(1).
12. Ralevic P, Layzell DB. An inventory of the bioenergy potential of British Columbia. Kingston, ON: BIOCAP Canada Foundation; 2006 Nov. Disponible à : http://www.biocap.ca/images/pdfs/BC_Inventory_Final-06Nov15.pdf.
13. Mahmoudi M, Sowlati T, Sokhansanj S. Logistics of supplying biomass from a mountain pine beetle-infested forest to a power plant in British Columbia. *Scand J Forest Res.* 2009;24:76-86.
14. Schwab O, Maness T, Bull G, Roberts D. Modeling the effect of changing market conditions on mountain pine beetle salvage harvesting and structural changes in the British Columbia forest products industry. *Can J Forest Res.* 2009;39(10):1806-20.
15. Hall DO, Scrase JI. Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future? *Biomass Bioenerg.* 1998;15(4-5):357-67.
16. Rubio-Maya C, Uche-Marcuello J, Martínez-Gracia A, Bayod-Rújula AA. Design optimization of a polygeneration plant fuelled by natural gas and renewable energy sources. *Applied Energy.* 2011;88(2):449-57.
17. Natural Resources Canada. Bio-pathways project. Advanced conversion technologies. Ottawa, ON: Government of Canada; 2012; Disponible à : <http://cfs.nrcan.gc.ca/pages/329/4>.
18. Kreith F, Goswami DY. Handbook of energy efficiency and renewable energy. Boca Raton, FL: CRC Press; 2007.
19. Madlener R, Bachhiesl M. Socio-economic drivers of large urban biomass cogeneration: Sustainable energy supply for Austria's capital Vienna. *Energ Policy.* 2007;35(2):1075-87.
20. Schuster A, Karellas S, Kakaras E, Spliethoff H. Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. *Appl Therm Eng.* 2009;29(8-9):1809-17.
21. Corti A, Lombardi L. Biomass integrated gasification combined cycle with reduced CO2 emissions: Performance analysis and life cycle assessment (LCA). *Energy.* 2004;29(12-15):2109-24.
22. Heath GA, Granvold PW, Hoats AS, Nazaroff WW. Intake fraction assessment of the air pollutant exposure implications of a shift toward distributed electricity generation. *Atmos Environ.* 2006;40(37):7164-77.
23. Basu P, Butler J, Leon MA. Biomass co-firing options on the emission reduction and electricity generation costs in coal-fired power plants. *Renewable Energy.* 2011;36(1):282-8.
24. Granada E, Lareo G, Miguez JL, Moran J, Porteiro J, Ortiz L. Feasibility study of forest residue use as fuel through co-firing with pellet. *Biomass Bioenerg.* 2006;30(3):238-46.
25. Boman C, Pettersson Er, Westerholm R, Boström D, Nordin A. Stove performance and emission characteristics in residential wood log and pellet combustion, Part 1: Pellet stoves. *Energ Fuel.* 2011;25:307-14.
26. Naeher LP, Brauer M, Lipsett M, Zelikoff JT, Simpson CD, Koenig JQ, et al. Woodsmoke health effects: A review. *Inhal Toxicol.* 2007;19(1):67-106.
27. Kehbila AT. Evaluation of primary wood processing residues for bioenergy in British Columbia [Master of Science thesis]. Vancouver, BC: University of British Columbia; 2010. Disponible à : <https://circle.ubc.ca/handle/2429/27915>.

28. Gustafson P, Barregard L, Strandberg B, Sallsten G. The impact of domestic wood burning on personal, indoor and outdoor levels of 1,3-butadiene, benzene, formaldehyde and acetaldehyde. *J Environ Monit.* 2007;9(1):23.
29. U.S. Environmental Protection Agency. Consumers - Energy efficiency and wood-burning stoves and fireplaces. Washington, DC: EPA; 2011; Disponible à : <http://www.epa.gov/burnwise/energyefficiency.html>.
30. Luckow P, Wise MA, Dooley JJ, Kim SH. Large-scale utilization of biomass energy and carbon dioxide capture and storage in the transport and electricity sectors under stringent CO₂ concentration limit scenarios. *Int J Greenh Gas Con.* 2010;4(5):865-77.
31. Anenberg SC, Talgo K, Arunachalam S, Dolwick P, Jang C, West JJ. Impacts of global, regional, and sectoral black carbon emission reductions on surface air quality and human mortality. *Atmos Chem Phys.* 2011;11(14):7253-67.
32. Unger N, Bond TC, Wang JS, Koch DM, Menon S, Shindell DT, et al. Attribution of climate forcing to economic sectors. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2010 Feb 3, 2010;107(8):3382-7.
33. An information guide to pursuing biomass energy opportunities and technologies in British Columbia for First Nations, small communities, municipalities and industry. Kingston, ON: BIOCAP Canada Foundation, prepared for BC Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources; BC Ministry of Forests and Range; 2008 Feb. Disponible à : <http://www.energyplan.gov.bc.ca/bioenergy/PDF/BioenergyInfoGuide.pdf>.
34. Hueglin C, Gaegauf C, Künzel S, Burtscher H. Characterization of wood combustion particles: Morphology, mobility, and photoelectric activity. *Environ Sci Tech.* 1997;31(12):3439-47.
35. Kocbach Bølling A, Pagels J, Yttri KE, Barregard L, Sallsten G, Schwarze PE, et al. Health effects of residential wood smoke particles: the importance of combustion conditions and physicochemical particle properties. *Part Fibre Toxicol.* 2009;6:29-.
36. Boman C, Nordin A, Boström D, Öhman M. Characterization of inorganic particulate matter from residential combustion of pelletized biomass fuels. *Energ Fuel.* 2004;18:338-48.
37. Löndahl J, Swietlicki E, Pagels J, Massling A, Boman C, Rissler J, et al. Respiratory tract deposition of particles from biomass combustion. *J Phys Conf Ser.* 2009;151:012066.
38. Londahl J, Pagels J, Boman C, Swietlicki E, Massling A, Rissler J, et al. Deposition of biomass combustion aerosol particles in the human respiratory tract. *Inhal Toxicol.* 2008 Aug;20(10):923-33.
39. Boman BC, Forsberg AB, Jarvholm BG. Adverse health effects from ambient air pollution in relation to residential wood combustion in modern society. *Scand J Work Environ Health.* 2003 Aug;29(4):251-60.
40. Zhang J, Wang Y, Dong L, Gao S, Xu G. Decoupling gasification: Approach principle and technology justification. *Energ Fuel.* 2010;24(12):6223-32.
41. Miranda T, Roman S, Arranz JI, Rojas S, Gonzalez JF, Montero I. Emissions from thermal degradation of pellets with different contents of olive waste and forest residues. *Fuel Process Technol.* 2010;91(11):1459-63.
42. Sethuraman S, Huynh CV, Kong S-C. Producer gas composition and NO_x emissions from a pilot-scale biomass gasification and combustion system using feedstock with controlled nitrogen content. *Energ Fuel.* 2011;25(2):813-22.
43. McIlveen-Wright DR, Huang Y, Rezvani S, Mondol JD, Redpath D, Anderson M, et al. A techno-economic assessment of the reduction of carbon dioxide emissions through the use of biomass co-combustion. *Fuel.* 2011;90(1):11-8.
44. Skodras G, Grammelis P, Kakaras E, Sakellariopoulos GP. Evaluation of the environmental impact of waste wood co-utilisation for energy production. *Energy.* 2004;29(12-15):2181-93.
45. Pa A, Bi XT, Sokhansanj S. A life cycle evaluation of wood pellet gasification for district heating in British Columbia. *Bioresour Technol.* 2011;102(10):6167-77.

46. Noonan CW, Balmes JR. Biomass smoke exposures: Health outcomes measures and study design. *Inhal Toxicol.* 2010;22(2):108-12.
47. Lillieblad L, Szpila A, Strand M, Pagels J, Rupaar-Gadd K, Gudmundsson A, et al. Boiler operation influence on the emissions of submicrometer-sized particles and polycyclic aromatic hydrocarbons from biomass-fired grate boilers. *Energy Fuel.* 2004;18(2):410-7.
48. Sehlstedt M, Dove R, Boman C, Pagels J, Swietlicki E, Löndahl J, et al. Antioxidant airway responses following experimental exposure to wood smoke in man. *Part Fibre Toxicol.* 2010;7:21.
49. Noonan CW, Ward TJ. Environmental tobacco smoke, woodstove heating and risk of asthma symptoms. *J Asthma.* 2007;44(9):735-8.
50. Straif K, Baan R, Grosse Y, Secretan B, El Ghissassi F, Coglianò V. Carcinogenicity of household solid fuel combustion and of high-temperature frying. *Lancet Oncol.* 2006;7(12):977-8.
51. Hosgood HD, Boffetta P, Greenland S, Lee Y-CA, McLaughlin J, Seow A, et al. In-home coal and wood use and lung cancer risk: A pooled analysis of the International Lung Cancer Consortium. *Environ Health Perspect.* 2010;118:1743-7.
52. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Household use of solid fuels and high temperature frying. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2010. Disponible à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol95/mono95.pdf>.
53. Summary findings from the Border Air Quality Study. Vancouver, BC: University of British Columbia; [Study was funded by Health Canada]; 2008 Mar. Disponible à : http://baqs.spph.ubc.ca/sites/envhealth.drupalprod.webi.it.ubc.ca/files/uploads/ubc_baqs/BAQS_Summary_Mar08%20copy.pdf.
54. Genon G, Torchio MF, Poggio A, Poggio M. Energy and environmental assessment of small district heating systems: Global and local effects in two case-studies. *Energy Convers Manage.* 2009;50(3):522-9.
55. Jonsson A, Hillring B. Planning for increased bioenergy use—Evaluating the impact on local air quality. *Biomass Bioenerg.* 2006;30(6):543-54.
56. Ries FJ, Marshall JD, Brauer M. Intake fraction of urban wood smoke. *Environ Sci Technol.* 2009;43(13):4701-6.
57. Tainio M, Karvosenoja N, Porvari PR, A, Tuomisto JT, Johansson M, Kukkonen J, et al. A simple concept for for gis-based estimation of population exposure to primary fine particles from vehicular traffic and domestic wood combustion. *Boreal Environ Res.* 2009;14:850-60.
58. Bari MA, Baumbach G, Kuch B, Scheffknecht G. Particle-phase concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air of rural residential areas in southern Germany. *Air Qual Atmos Health.* 2010;3(2):103-16.
59. Buzcu B, Yue ZW, Fraser MP, Nopmongkol U, Allen DT. Secondary particle formation and evidence of heterogeneous chemistry during a wood smoke episode in Texas. *J Geophys Res.* 2006;111(D10):D10S3.

Annexe A – Méthode de recherche documentaire

Index et bases de données en ligne

La recherche documentaire s'est appuyée sur les ressources électroniques de la bibliothèque de l'Université de la Colombie-Britannique. Pour rechercher les documents nécessaires à la rédaction de ce compte rendu, on a consulté les trois bases de données ci-dessous.

Web of Science : Une banque de données en ligne multidisciplinaire composée des bases Science Citation Index Expanded, Social Sciences Citation Index, Arts and Humanities Citation Index, Conference Proceedings Citation Index – Science. <http://apps.isiknowledge.com>; <http://resources.library.ubc.ca/277>

PubMed Central (PMC) : Une base de données en ligne contenant des articles de médecine et de sciences de la santé. Elle est mise en œuvre par le National Center for Biotechnology Information (NCBI) de la National Library of Medicine (NLM) des États-Unis. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/>; <http://resources.library.ubc.ca/571>

Google Scholar (GS) : Une base de données à accès libre contenant un large éventail de publications savantes (articles de revues à comité de lecture, thèses, livres, prétirages, abrégés, comptes rendus techniques). <http://scholar.google.ca/>; <http://resources.library.ubc.ca/943>

Termes de recherche et critères d'inclusion

Les recherches documentaires ont été réalisées en anglais à partir d'une matrice organisée en concepts de recherche (tels que *feedstock*, *emissions* et *health*) et associant différents termes à chaque concept. Par exemple, le concept *feedstock* incorporait les termes *wood*, *biomass*, et *forest residues*. Les termes de recherche ont ensuite été combinés au moyen d'opérateurs logiques (AND, OR) pour restreindre les résultats à ceux considérés comme les plus pertinents pour le sujet. Par ailleurs, on a utilisé des métacaractères lorsqu'il fallait effectuer la recherche à partir des variantes d'un terme (par exemple, *wood**). Seuls les documents publiés en anglais depuis l'année 2000 ont été retenus.

La plupart des documents de référence utilisés proviennent de cette recherche en ligne, qui a produit les résultats présentés ci-après :

- a) 403 documents trouvés sur Web of Science. Leur nombre varie considérablement en fonction des combinaisons de termes de recherche. Par exemple, la recherche de *forest residues AND emissions AND health** n'a donné que 5 références, alors que celle de *energy systems AND emissions AND health** en a donné 148.
- b) 249 documents trouvés sur PMC, dont 165 en plein texte.
- c) 400 documents trouvés sur GS en utilisant des termes de recherche qui avaient produit moins de résultats dans les autres bases de données. Par ailleurs, la recherche dans certaines revues comme Renewable Energy et Biomass & Bioenergy a été restreinte aux articles parus depuis l'année 2000.

On a lu les abrégés de tous les documents récupérés (ainsi que leur introduction ou leur conclusion dans certains cas) pour ne retenir que ceux qui répondaient aux objectifs et aux critères d'inclusion de ce compte rendu.

On a également examiné la documentation parallèle en effectuant des recherches sur les sites de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis, de Ressources naturelles Canada (RNC), de la fondation BIOCAP Canada et du BC Bioenergy Network, ainsi que dans les communiqués de presse récents. Certains documents ont été recommandés par les réviseurs de la version préliminaire de ce compte rendu.

Logiciel de gestion bibliographique et archivage

Les données bibliographiques des documents électroniques obtenus ont été enregistrées au moyen du logiciel de gestion bibliographique ZOTERO (<http://www.zotero.org/>), dont la fonction « sync » permet l'accès à partir d'autres ordinateurs. La rédactrice de ce compte rendu a par ailleurs archivé des copies électroniques des documents cités sur le disque dur de son ordinateur.

Le présent document a été produit par le Centre de collaboration nationale en santé environnementale (CCNSE), basé au Centre de contrôle des maladies de la Colombie-Britannique, en Mars 2012.

Il est permis de reproduire le présent document en entier seulement.

La production de ce document a été rendue possible grâce à une contribution financière provenant de l'Agence de la santé publique du Canada par l'intermédiaire du Centre de collaboration nationale en santé environnementale. Les vues exprimées dans ce document ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Agence ou du Centre.

ISBN: 978-1-926933-36-8

© Centre de collaboration nationale en santé environnementale, 2012

400 East Tower
555 W 12th Avenue
Vancouver, BC V5Z 3X7

Tel.: 604-707-2445

Fax: 604-707-2444

contact@ccnse.ca

www.nceeh.ca



National Collaborating Centre
for Environmental Health

Centre de collaboration nationale
en santé environnementale

Pour soumettre des commentaires sur ce document, allez sur le site

www.ccnse.ca/fr/document_feedback