

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques | Laurentides

Conseil régional de l'environnement des Laurentides



*« L'énergie la moins coûteuse et la plus verte est celle que l'on ne dépense pas »
- Conseil québécois de la coopération et de la mutualité, 2011*

Septembre 2013

Guide d'accompagnement vers l'intégration de mesures de réduction, de réemploi et de remplacement énergétiques

Coordination :

Yann Godbout
Isabelle Saint-Germain

Recherche et rédaction :

Yann Godbout
Amandine Lainé
Isabelle Saint-Germain

Révision linguistique

Anne Léger
Isabelle Saint-Germain
Virginie Roger
Michel Lalonde

© Conseil régional de l'environnement des Laurentides, 2013

Ce document peut être téléchargé à l'adresse suivante :

www.crelaurentides.org

Conseil régional de l'environnement des Laurentides

298 rue Labelle,
Bureau 100,
Saint-Jérôme (Québec) J7Z 5L1
Téléphone : (450) 565-2987
www.crelaurentides.org

Cette publication est une initiative du Conseil régional de l'environnement des Laurentides et a été réalisée grâce à l'appui financier des partenaires suivants :

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs,

Conférence régionale des élus des Laurentides,

MRC Antoine-Labelle,

MRC Argenteuil,

MRC Deux-Montagnes,

MRC de La Rivière-du-Nord,

MRC Les Laurentides,

MRC Les Pays-d'en-Haut,

MRC Thérèse-De Blainville.

Le Conseil régional de l'environnement des Laurentides tient à remercier les municipalités régionales de comté, la Conférence régionale des élus, le ministère du Transport et le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du Territoire qui ont appuyé l'organisme dans la mise en place d'une *Table régionale de l'énergie*. Il souhaite également remercier les membres de la *Table régionale de l'énergie* et ceux de son comité consultatif pour leur contribution aux différents projets dont fait partie le *Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques*.

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	1
LISTE DES FIGURES	2
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	4
SOMMAIRE	5
INTRODUCTION	9
LE PRINCIPE DES 3R DE L'ÉNERGIE	11
POTENTIELS DE RÉDUCTION ET DE RÉCUPÉRATION ÉNERGÉTIQUES	12
MESURES APPLICABLES AU TRANSPORT DES PERSONNES	12
MESURES APPLICABLES AU TRANSPORT DES MARCHANDISES	16
MESURES APPLICABLES AUX BÂTIMENTS : STRATÉGIES ET CONCEPTION	25
MESURES APPLICABLES AUX BÂTIMENTS : SOLAIRE PASSIF	31
MESURES APPLICABLES AU SECTEUR INDUSTRIEL : REJETS THERMIQUES	37
POTENTIELS DE REMPLACEMENT ÉNERGÉTIQUES	43
MESURES APPLICABLES AU SECTEUR DU TRANSPORT	43
MESURES APPLICABLES AUX BÂTIMENTS	50
RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES RENOUVELABLES DE REMPLACEMENT	52
ÉNERGIE DU SOL	52
<i>Géothermie</i>	52
ÉNERGIE DE L'EAU	59
<i>Hydroélectricité</i>	59
<i>Hydrolienne</i>	63
<i>Hydrothermie</i>	68

ÉNERGIE DU VENT	71
<i>Éolien</i>	71
ÉNERGIE SOLAIRE	76
<i>Solaire photovoltaïque</i>	76
<i>Solaire thermique actif : capteurs à air</i>	83
<i>Solaire thermique actif : capteurs à eau</i>	86
<i>Solaire thermique actif : électrique</i>	89
ÉNERGIE DE LA BIOMASSE	92
<i>Procédé : Biométhanisation</i>	94
<i>Procédé : combustion avec cogénération et réseaux de chaleur</i>	98
<i>Procédé : Production de biocarburants</i>	104
<i>Source de biomasse : matières ligneuses d'origines forestière et agricole</i>	113
<i>Source de biomasse : boues municipales</i>	118
<i>Source de biomasse : matières putrescibles</i>	123
BILAN DES RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES RENOUVELABLES DE REMPLACEMENT	126
RECOMMANDATIONS POUR UNE MEILLEURE GESTION DE L'ÉNERGIE DANS LES LAURENTIDES	130
CONCLUSION	134
BIBLIOGRAPHIE	135
ANNEXES	144
ANNEXE 1 – QUELQUES CONCEPTS EN MATIÈRE D'ÉNERGIE	144
ANNEXE 2 – INTÉGRATION D'ÉLECTRICITÉ AU RÉSEAU PUBLIC	146
ANNEXE 3 – VALEUR CALORIFIQUE DE CERTAINS COMBUSTIBLES	147
ANNEXE 4 – COMPARAISON DU TERRITOIRE DESSERVI PAR L'USINE DE BIOMÉTHANISATION DE RIVIÈRE-DU-LOUP AVEC UN EXEMPLE ÉQUIVALENT DANS LES LAURENTIDES	148

Liste des figures

FIGURE 1 : CADRE DES 3R	11	FIGURE 28 : HYDROLIENNE IDENERGIE	66
FIGURE 2 : IMPORTATION DE FRUITS ET LÉGUMES EN FRANCE, ADEME	18	FIGURE 29 : HYDROTHERMIE : CIRCUIT FERMÉ	68
FIGURE 3 : AUTOROUTES ET ARTÈRES CONGESTIONNÉES EN PÉRIODE POINTE DU SOIR DANS LA RÉGION MÉTROPOLITAINE À L'AUTOMNE 2003	19	FIGURE 30 : HYDROTHERMIE : CIRCUIT OUVERT COMPORTANT DEUX FORAGES	69
FIGURE 4 : SCHÉMA DES FLUX DE MARCHANDISES AVEC OU SANS CDU	21	FIGURE 31 : FONCTIONNEMENT D'UNE ÉOLIENNE	71
FIGURE 5 : ÉCONOMIES DE CARBURANT RÉALISÉES PAR L'OPTIMISATION DES COMPOSANTES D'UN CAMION POUR LE TRANSPORT DE MARCHANDISES	24	FIGURE 32 : ÉOLIENNE À AXE VERTICAL (À GAUCHE) ET À AXE HORIZONTAL (À DROITE)	72
FIGURE 6 : RÉDUCTION DES PERTES THERMIQUES AVEC UN REVÊTEMENT À FAIBLE E	28	FIGURE 33 : GISEMENT ÉOLIEN DU QUÉBEC PAR CLASSE BATELLE; VITESSE MOYENNE DU VENT À 80 MÈTRES AU-DESSUS DU SOL	75
FIGURE 7 : VOLETS ROULANTS	28	FIGURE 34 : CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES	76
FIGURE 8 : PARCOURS DU SOLEIL SELON LES SAISONS	31	FIGURE 35 : INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE	77
FIGURE 9 : AMÉNAGEMENT PAYSAGER ET ORIENTATION DU BÂTIMENT	32	FIGURE 36 : CARTE SOLAIRE DU POTENTIEL PV EN KWH/KW AU QUÉBEC	79
FIGURE 10 : DISPOSITIFS D'OMBRAJE EXTÉRIEUR : MAISON ÉCO TERRA	32	FIGURE 37 : ENSOLEILLEMENT GLOBAL ANNUEL MOYEN DE L'EUROPE	82
FIGURE 11 : SYSTÈME D'AUTOBUS ÉLECTRIQUE BIBERONNÉ	45	FIGURE 38 : CAPTEURS VITRÉS (GAUCHE) ET CAPTEURS À PLAQUES MÉTALLIQUES (DROITE)	83
FIGURE 12 : MONORAIL RAPIDE SUSPENDU	46	FIGURE 39 : MURS SOLAIRES	84
FIGURE 13 : COMPARAISON ENTRE LE TGV ET LE MONORAIL RAPIDE SUSPENDU POUR UNE LIGNE RELIANT MONTRÉAL-QUÉBEC	47	FIGURE 40 : UNITÉ DE CAPTAGE DE L'AIR EN TOITURE	84
FIGURE 14 : CAMION ÉLECTRIQUE	48	FIGURE 41 : CAPTEURS SOUS VIDE	86
FIGURE 15 : EXEMPLE DE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME DE GÉOTHERMIE	52	FIGURE 42 : CAPTEURS PLANS SANS VITRAGE (GAUCHE) ET CAPTEURS PLANS AVEC VITRAGE (DROITE)	87
FIGURE 16 : CIRCUIT DE GÉOTHERMIE EN HIVER	53	FIGURE 43 : SYSTÈME SOLAIRE THERMIQUE ÉLECTRIQUE	89
FIGURE 17 : CIRCUIT DE GÉOTHERMIE EN ÉTÉ	53	FIGURE 44 : PARC SOLAIRE DE COLLECTEURS CYLINDROPARABOLIQUES	90
FIGURE 18 : CIRCUIT FERMÉ, BOUCLE HORIZONTALE	54	FIGURE 45 : COLLECTEUR PARABOLIQUE	90
FIGURE 19 : CIRCUIT FERMÉ, BOUCLE VERTICALE	54	FIGURE 46 : CENTRALE À TOUR	91
FIGURE 20 : CIRCUIT FERMÉ, DÉTENTE DIRECTE	54	FIGURE 47 : EMPREINTE CARBONIQUE DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE VALORISATION DES BOUES, ESTIMATION FAITE POUR LA VILLE DE SAGUENAY	92
FIGURE 21 : DÉPÔTS DE SURFACE MINCES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE-DU-NORD	58	FIGURE 48 : VALORISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES PAR BIOMÉTHANISATION	94
FIGURE 22 : COMPLEXE HYDROÉLECTRIQUE	59	FIGURE 49 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA COGÉNÉRATION	98
FIGURE 23 : CENTRALE AU FIL DE L'EAU, L'EXEMPLE DE CARILLON	60	FIGURE 50 : EXEMPLE TYPIQUE DE RÉSEAU DE CHALEUR EN FRANCE	99
FIGURE 24 : ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DE DIFFÉRENTES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES (G ÉQ. CO ₂ /KWH)	60	FIGURE 51 : PRODUCTION DE BIOÉNERGIE EN FONCTION DU TYPE DE MATIÈRE AGRICOLE UTILISÉE	104
FIGURE 25 : HYDROLIENNES DE LA FIRME HYDROÉLIX EN HAUTE MER ET HYDROLIENNE SEAGEN	63	FIGURE 52 : COMPOSTAGE EN ANDAIN	112
FIGURE 26 : HYDROLIENNE TRÉC	65	FIGURE 53 : EMPREINTE CARBONIQUE DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE VALORISATION DES BOUES, ESTIMATION FAITE POUR LA VILLE DE SAGUENAY	119
FIGURE 27 : EXEMPLE DE RÉSIDENCE AUTONOME EN ALIMENTATION ÉLECTRIQUE	66		

Liste des Tableaux

TABLEAU 1 : CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET ÉMISSION DE GES SELON LE MOYEN DE TRANSPORT PAR TONNE DE MARCHANDISES	17
TABLEAU 2 : CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ ET DURÉE DE VIE DE DIFFÉRENTES AMPOULES	29
TABLEAU 3 : EXEMPLES DE SOURCES ET D'UTILISATION DES REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS.....	37
TABLEAU 4 : EXEMPLES DE PROJETS DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DE REJETS THERMIQUES AU QUÉBEC.....	38
TABLEAU 5 : REJETS THERMIQUES DES SECTEURS INDUSTRIELS AU QUÉBEC ET LEUR CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE TOTALE EN 2008 (TJ/AN) + PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE THERMIQUE	40
TABLEAU 6 : POTENTIEL ÉNERGÉTIQUE DES REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS ET PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ THERMIQUE PAR RÉGION ADMINISTRATIVE	41
TABLEAU 7 : ÉVALUATION DU POTENTIEL DE RÉCUPÉRATION ET DE VALORISATION DES REJETS INDUSTRIELS DES ENTREPRISES SUR LE TERRITOIRE DES LAURENTIDES	42
TABLEAU 8 : CPSC D'UN SYSTÈME FERMÉ POUR LA RÉGION DES LAURENTIDES	57
TABLEAU 9 : DESCRIPTION DES STATIONS HYDROÉLECTRIQUES INSTALLÉES DANS LA RÉGION DES LAURENTIDES.....	62
TABLEAU 10 : QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ PRODUITE PAR L'HYDROLIENNE TRÉC SELON LE DÉBIT	65
TABLEAU 11 : CPSC D'UN SYSTÈME OUVERT D'HYDROTHERMIE POUR LA RÉGION DES LAURENTIDES.....	70
TABLEAU 12 : CPSC D'UN SYSTÈME DE GÉOTHERMIE POUR LA RÉGION DES LAURENTIDES	70
TABLEAU 13 : POTENTIEL ÉOLIEN TECHNIQUE AU QUÉBEC, HORS ZONES RESTRICTIVES ET HARMONISÉES, SELON LA CLASSE DES VENTS DE BATTELLE	74
TABLEAU 14 : EFFICACITÉ DE LA CELLULE PV EN FONCTION DE LA STRUCTURE DU SILICIUM CRISTALLIN	76
TABLEAU 15 : COMPARAISON DU POTENTIEL PV ANNUEL (kWh/kW) ENTRE LA RÉGION ADMINISTRATIVE DES LAURENTIDES ET D'AUTRES VILLES CANADIENNES.....	80
TABLEAU 16 : COMPARAISON DU POTENTIEL PV ANNUEL (kWh/kW) ENTRE LA RÉGION ADMINISTRATIVE DES LAURENTIDES ET D'AUTRES VILLES DANS LE MONDE	80
TABLEAU 17 : POTENTIEL PV MOYEN (kWh/kW) ET ENSOLEILLEMENT GLOBAL QUOTIDIEN MOYEN (kWh/m ²) POUR LES MRC DE LA RÉGION DES LAURENTIDES.....	81
TABLEAU 18 : PRINCIPAUX MODES DE VALORISATION DE DIFFÉRENTS TYPES DE MATIÈRES ORGANIQUES.....	93
TABLEAU 19 : POUVOIR MÉTHANOGENÈ DE CERTAINES MATIÈRES.....	95
TABLEAU 20 : COÛT D'APPROVISIONNEMENT DE DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉNERGIE EN 2009 (GRANDE ÉCHELLE).....	102
TABLEAU 21 : COÛT D'APPROVISIONNEMENT DE DIFFÉRENTES SOURCES D'ÉNERGIE EN 2009 (RÉSIDENTIEL).....	102
TABLEAU 22 : ÉMISSIONS DE GES DU «CHAMP A LA ROUE» (SANS CHANGEMENT D'AFFECTATION DES SOLS)	106
TABLEAU 23 : POUVOIR CALORIFIQUE DE QUELQUES COMBUSTIBLES	108
TABLEAU 24 : VOLUME DE BIOMASSE DISPONIBLE SUR LE TERRITOIRE QUÉBÉCOIS EN MILLIERS DE TONNES MÉTRIQUES SÈCHES (TMS).....	116
TABLEAU 25 : QUELQUES ESTIMATIONS DU VOLUME DE BOUES PRODUIT ANNUELLEMENT POUR UN TERRITOIRE DONNÉ.....	121
TABLEAU 26 : ESTIMATION DES MATIÈRES PUTRESCIBLES GÉNÉRÉES SUR CERTAINS TERRITOIRES DES LAURENTIDES	125
TABLEAU 27 : CAPACITÉ D'INTÉGRATION DU RÉSEAU HYDRO-QUÉBEC DE LA RÉGION DES LAURENTIDES.....	146

Liste des sigles et acronymes

ADEME : AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE (FRANCE)

AQME : ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE

BREEAM : *BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD*

CARS : COEFFICIENT D'APPORT PAR RAYONNEMENT SOLAIRE

CAS : CHANGEMENT D'AFFECTATION DES SOLS

CCUM : CENTRE DE CHAUFFAGE URBAIN DE MONTRÉAL

CD : CENTRE DE DISTRIBUTION

CDAT : CENTRE DE DONNÉES ET D'ANALYSE SUR LES TRANSPORTS

CDU : CENTRE DE DISTRIBUTION URBAINE

CITEC : CONSORTIUM INNOVATION TECHNOLOGIQUE ÉNERGIE CÔTE-NORD

CMM : COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE MONTRÉAL

CNBQ : CODE NATIONAL DU BÂTIMENT DU QUÉBEC

CNÉB : CODE NATIONAL DE L'ÉNERGIE POUR LES BÂTIMENTS

CNRC : CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA

COV : COMPOSÉ ORGANIQUE VOLATIL

CP : COEFFICIENT DE PERFORMANCE

CPSC : COEFFICIENT DE PERFORMANCE DE LA SAISON DE CHAUFFAGE

CPTAQ : COMMISSION DE PROTECTION DU TERRITOIRE AGRICOLE DU QUÉBEC

CRE : CONSEIL RÉGIONAL DE L'ENVIRONNEMENT

CRÉ : CONFÉRENCE RÉGIONALE DES ÉLUS

CRNTL : COMMISSION DES RESSOURCES NATURELLES ET DU TERRITOIRE DES LAURENTIDES

CSA : CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION

DEL : DIODE ÉLECTROLUMINESCENTE

DGHP : DIRECTION DE LA GESTION DE L'HABITAT DU POISSON

DJCA : DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE ANNUEL

EPA : ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

FQCF : FÉDÉRATION QUÉBÉCOISE DES COOPÉRATIVES FORESTIÈRES

GES : GAZ À EFFET DE SERRE

GNC : GAZ NATUREL COMPRIMÉ

GNL : GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ

HAO : HYDROLIENNE À AILES OSCILLANTES

HAP : HYDROCARBURE AROMATIQUE POLYCYCLIQUE

IRDA : INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN AGROENVIRONNEMENT

LEED : *LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN*

MAMROT : MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES, DES RÉGIONS ET DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE

MAPAQ : MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC

MDDEFP : MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS

MRC : MUNICIPALITÉ RÉGIONALE DE COMTÉ

MRN : MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES

MTQ : MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

OBNL : ORGANISME À BUT NON LUCRATIF

OCDE : ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE

OEE : OFFICE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

PEET : PROGRAMME D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE TRANSPORT

PIB : PRODUIT INTÉRIEUR BRUT

PIIA : PLAN D'IMPLANTATION ET D'INTÉGRATION ARCHITECTURALE

PRI : PÉRIODE DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT

PV : PHOTOVOLTAÏQUE

RE : RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE

RNCREQ : REGROUPEMENT DES CONSEILS RÉGIONAUX EN ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC

SCHL : SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE LOGEMENT

SCIEN : SYSTÈME DE CLASSIFICATION DES INDUSTRIES D'AMÉRIQUE-DU-NORD

SGEV : SYSTÈME DE GESTION ÉLECTRONIQUE DES VÉHICULES

STI : SYSTÈME DE TRANSPORT INTELLIGENT

STL : SOCIÉTÉ DE TRANSPORT DE LAVAL

STM : SOCIÉTÉ DE TRANSPORT DE MONTRÉAL

Sommaire

La surconsommation énergétique est une réalité dont on prend du plus en plus conscience, notamment parce que les conséquences négatives sur la santé, l'économie et l'environnement prennent de l'ampleur. En effet, les changements climatiques deviennent de plus en plus concrets, le prix des énergies fossiles connaît une forte volatilité et l'exploitation des hydrocarbures suscite la controverse. Dans ces circonstances, il convient d'envisager des moyens pour réduire notre consommation d'énergie, mais aussi de chercher à récupérer l'énergie perdue et ultimement, de remplacer des sources d'énergie non-renouvelables par d'autres qui peuvent se renouveler. C'est le principe des 3R de l'énergie. Le présent document, élaboré à la suite du *Portrait énergétique des Laurentides*, a donc été conçu afin d'identifier des pistes visant une meilleure maîtrise de l'énergie dans la région.

Les mesures de réduction énergétiques s'appliquent principalement au transport (de personnes et de marchandises) et aux bâtiments, peu importe qu'ils soient résidentiels, commerciaux, institutionnels ou industriels. Pour réduire l'énergie utilisée dans les transports, il importe, certes, de sensibiliser la population au transport en commun, mais de manière plus individuelle, de faire en sorte que chacun développe de bonnes pratiques dans l'ensemble de ses déplacements et dans l'utilisation de son véhicule. Planifier ses déplacements, faire du covoiturage, rouler à une vitesse plus respectueuse de l'environnement, éviter la marche au ralenti du moteur et choisir un véhicule écoénergétique adapté à ses besoins sont quelques exemples qui peuvent réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES. Un aménagement du territoire qui facilite l'intermodalité favorise également ces réductions. Du côté du transport de marchandises, on peut aussi penser au

mode de transport utilisé : le train, le bateau, le camion ou l'avion ont en effet des besoins énergétiques et des impacts environnementaux différents pour un même lot de marchandises. La distance à parcourir étant elle aussi déterminante, il convient de favoriser l'approvisionnement local, mais aussi d'assurer une logistique qui permette de réduire les déplacements à vide. La logistique urbaine jumelée aux systèmes de transport intelligents (STI), permettent donc d'une part de maximiser les déplacements, mais aussi de réduire les embouteillages en coordonnant les allées et venues des véhicules. Les centres de distribution urbaine (CDU) sont également des outils qui peuvent jouer un rôle dans la logistique du transport de marchandises et réduire le nombre de véhicules lourds dans les villes. Finalement, il existe certaines composantes qui peuvent être installées sur les camions lourds afin de les rendre plus aérodynamiques, réduisant ainsi leur consommation de carburant et leurs émissions de GES.

Pour réduire l'énergie nécessaire aux bâtiments, on pense généralement d'abord à bien l'isoler. Mais en plus de l'isolation, il faut également voir à son étanchéité, afin d'éviter les infiltrations d'air. Plusieurs types de matériaux existent pour répondre à ces besoins de base, mais d'autres moyens peuvent aussi être mis à contribution. La végétation autour du bâtiment, l'utilisation de l'énergie du soleil en fonction des saisons et de l'orientation du bâtiment (solaire passif), la mise en place à l'intérieur d'une masse thermique pour absorber la chaleur sont des exemples de ce qui peut contribuer à l'économie d'énergie, sans compter toutes les innovations technologiques qui permettent de récupérer une partie de la chaleur perdue (ventilateur échangeur de chaleur, par exemple). Un certain nombre de moyens mis

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

en place pour améliorer les performances énergétiques d'un bâtiment peuvent conduire à l'obtention d'une certification. Les certifications LEED et Novoclimat, les plus connues, attestent qu'un bâtiment répond à certains critères de performance en matière d'énergie. Bien entendu, tous les moyens servant à améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment doivent, pour être optimaux, être accompagnés de bonnes pratiques de leurs utilisateurs. Ainsi, le bon entretien des bâtiments, l'abaissement de la température ambiante lorsque les locaux ne sont pas utilisés, l'isolation du chauffe-eau et le choix d'appareils électroménagers moins énergivores font partie des comportements à adopter en matière d'économie d'énergie.

En matière de récupération énergétique, les possibilités s'appliquent surtout aux rejets industriels, qui comportent encore souvent une grande quantité d'énergie. Selon une étude canadienne, près de 70% de l'énergie consommée est perdue dans les rejets industriels. Cette énergie peut donc être récupérée et être utilisée à d'autres fins. En fait, une entreprise peut la récupérer pour préchauffer l'air, préchauffer l'eau, produire de la vapeur ou de l'électricité, la réutiliser dans ses propres procédés, ou encore, pour chauffer ses locaux. Cette même énergie peut également servir à alimenter d'autres industries, notamment en remplacement d'énergies plus polluantes. Dans les Laurentides, on estime que 1641 TJ sont perdues annuellement dans les rejets industriels, ce qui représente 0,6% de l'énergie récupérable de l'ensemble de la province. Les principales entreprises qui présentent un potentiel intéressant de récupération énergétique sont les usines de pâtes et papiers Cascades, de Saint-Jérôme et de Lachute, ainsi que l'usine de ciment Colacem de Grenneville-sur-la-Rouge.

Les mesures de remplacement énergétiques représentent le troisième R. Selon les secteurs d'application, on peut avoir recours à des procédés de remplacement qui favorisent les

échanges thermiques, l'électrification ou à des procédés qui génèrent des nouvelles sources d'énergies. Dans le secteur des transports, il est beaucoup question d'électrification, autant pour le transport personnel que pour le transport collectif. Des idées novatrices, telles que les autobus électriques biberonnés ou le monorail rapide suspendu fonctionnant lui aussi à l'électricité, par exemple, font partie des mesures potentielles pour réduire l'utilisation de carburants fossiles. Pour le transport de marchandises, de nouvelles sources d'énergies, comme le gaz naturel liquéfié ou comprimé, représentent une possibilité. Pour les bâtiments et les procédés industriels, les nouvelles sources de production d'électricité sont envisageables, ainsi que les échanges thermiques et les nouveaux combustibles.

Les énergies renouvelables de remplacement sont nombreuses. Certaines sont mieux maîtrisées que d'autres ou présentent des potentiels fort différents selon que les ressources ou les conditions soient propices ou non. Ainsi, la connaissance d'une technologie ne suffit pas toujours à la mettre en place.

Dans les Laurentides, la plupart des procédés énergétiques qui favorisent les échanges thermiques présentent un intérêt. Le degré d'ensoleillement est suffisant pour utiliser des capteurs solaires servant à préchauffer l'air d'un bâtiment. La géothermie et l'hydrothermie sont également intéressantes : si la première peut être difficile dans le centre et le nord des Laurentides à cause des nombreux affleurements rocheux, la seconde y est plus appropriée compte tenu des nombreux lacs. À l'inverse, les basses Laurentides offrent des conditions plus propices à la géothermie.

En matière de production d'électricité, les Laurentides sont plus adaptées à la production individuelle ou à l'alimentation de petits réseaux. Les barrages hydroélectriques, les hydroliennes et les éoliennes ne rencontrent pas les conditions permettant de générer de

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

grandes quantités d'électricité. Quelques centrales hydroélectriques contribuent, certes, à l'alimentation du réseau public, mais il est peu probable que d'autres projets de la sorte puissent significativement satisfaire les besoins d'une vaste population. Ces modes de production d'électricité, dépendant des débits des rivières ou de la force des vents, sont plutôt adaptés pour satisfaire les besoins individuels de bâtiments éloignés du réseau public ou en complément d'autres sources d'énergie. De la même façon, les panneaux solaires photovoltaïques répondent mieux aux besoins de petites infrastructures, principalement à cause du coût de cette technologie. Pour une production d'électricité à plus grande échelle, la biométhanisation ou la cogénération via la combustion de la biomasse sont plus appropriées. Les ressources nécessaires à ces technologies sont suffisamment abondantes dans les Laurentides. Toutefois, ces procédés peuvent également être utilisés à d'autres fins.

La combustion de la biomasse peut servir en remplacement du mazout pour assurer la production de chaleur. Cette chaleur peut ensuite être redistribuée dans un réseau servant à chauffer des groupes denses de bâtiments sur un petit territoire, ou chauffer des gros édifices énergivores. La chaleur produite par la combustion de la biomasse peut également servir dans les procédés industriels.

La biométhanisation, de son côté, peut servir à la production d'un biogaz peut être utilisé pour produire de l'électricité, de la chaleur ou être utilisé comme nouvelle source de carburant. Se rapprochant du gaz naturel, il peut être utilisé en remplacement du diesel dans les véhicules lourds et les véhicules-outils. Les biocarburants, eux aussi produits à partir de biomasse, représentent un intérêt plutôt mitigé pour la région. Plusieurs éléments, dans le cas de ces derniers, les rendent parfois plus, parfois moins intéressants. Le rendement énergétique, par exemple, est variable selon l'espèce cultivée, le mode de culture utilisé, le mode de transformation, etc. De plus, les réductions de GES liées aux biocarburants sont

incertaines, puisqu'un facteur important, mais difficilement quantifiable, est à considérer dans le bilan, soit le changement d'affectation des sols (CAS). Les terres agricoles devant rester d'abord et avant tout à vocation alimentaire, la culture énergétique donne lieu à des problématiques complexes : hausse du prix des denrées alimentaires, acceptabilité sociale, controverses sur les effets environnementaux, les enjeux sont nombreux. Les terres marginales deviennent alors une solution, à l'instar de l'utilisation des résidus agricoles ou ligneux, mais les techniques et les coûts pour la récolte et la transformation, entre autres, réduisent alors l'intérêt de ces filières.

L'utilisation de la biomasse comme source d'énergie reste une avenue intéressante pour la région, principalement par la biométhanisation, mais aussi pour la combustion et la cogénération. Qu'il s'agisse des résidus ligneux d'origine forestière ou agricole, des boues d'épuration ou de fosses septiques, ou encore, des matières putrescibles issues de la troisième voie, les ressources sont amplement suffisantes dans les Laurentides et toutes peuvent être gérées de manière à en tirer une forme d'énergie. Les matières organiques putrescibles et les boues d'épuration, souvent transportées dans une autre région et finissant généralement par être enfouies ou incinérées, posent également problème dans la gestion des matières résiduelles. Dans ces circonstances, elles auraient nettement avantage à être gérées localement, transformées en biométhane et servir de source d'énergie. Ainsi, le problème de la matière organique devient une solution énergétique. Qui plus est, le biogaz comporte déjà des débouchés dans les basses Laurentides, puisqu'il peut être intégré au réseau de Gaz Métro ou être utilisé par des entreprises de la région telles que l'usine Cascades de Saint-Jérôme.

En somme, il existe de nombreux moyens pour réduire la consommation d'énergie et récupérer celle qui est perdue. La région des Laurentides présente également plusieurs

alternatives intéressantes d'énergie de remplacement. Dans ces circonstances, la région possède tous les outils nécessaires pour réduire sa dépendance aux énergies fossiles. Bref, elle a tout ce qu'il faut pour satisfaire la vision d'«*une consommation rationnelle et une production efficace et renouvelable de l'énergie, dont les retombées bénéficieront aux collectivités des Laurentides*».

Introduction

L'utilisation de l'énergie a toujours été au cœur du développement des sociétés. Il s'agit en effet d'une ressource essentielle qui répond autant aux besoins des industries pour la production de biens servant à approvisionner la population qu'à ceux, plus fondamentaux d'individus qui ont besoin de se nourrir et de se réchauffer pour survivre. La révolution industrielle a changé considérablement les façons de subvenir aux besoins essentiels, et a transformé complètement les façons de vivre. Ce faisant, c'est aussi notre rapport à l'énergie qui a changé. Les besoins énergétiques toujours croissants nous font désormais prendre conscience que l'énergie n'est pas une ressource illimitée.

Qui plus est, la consommation d'énergie a aussi des coûts. Les changements climatiques, par exemple, qui se manifestent de plus en plus concrètement, sont intimement liés à la consommation d'énergies fossiles. La volatilité des prix de ces dernières crée une certaine instabilité financière, laquelle est susceptible d'avoir des conséquences d'importance variable selon les ménages et les entreprises, mais qui, globalement et à long terme, peut placer toute une nation dans une situation précaire, ou du moins incertaine.

Dans ce contexte, il devient primordial de revoir nos modes de gestion de l'énergie. Au cours des dernières décennies, le gouvernement du Québec s'est penché à quelques reprises sur la question de l'énergie. Toutefois, la situation à laquelle nous faisons face actuellement nécessite une approche bien différente. En effet, il ne s'agit plus seulement d'assurer un approvisionnement aux consommateurs résidentiels et industriels, mais aussi de faire en sorte que cette énergie soit produite et utilisée de manière judicieuse, de manière à favoriser le développement des sociétés tout en protégeant les ressources nécessaires à sa production

ainsi que l'environnement. De fait, la gestion de l'énergie doit s'inscrire dans une démarche de développement durable, donnant ainsi lieu au concept d'une nécessaire «maîtrise de l'énergie».

La région des Laurentides doit également s'orienter dans cette voie. Outre le fait de chercher, à l'instar des visionnaires mondiaux, à réduire, voire se défaire, de notre dépendance aux énergies fossiles, il faut envisager une démarche locale en matière de consommation rationnelle et de production efficace et renouvelable de l'énergie. Cette démarche doit favoriser à la fois l'économie locale, assurer le bien-être des collectivités de la région et préserver l'environnement, notamment en contribuant aux réductions des émissions de GES.

Basé sur le principe des 3R de l'énergie, soit la réduction, la récupération et le remplacement, le présent document propose donc des pistes de solutions pour que la région des Laurentides développe une certaine autonomie en matière d'énergie. Des mesures qui touchent autant les individus, les industries et le transport sont ainsi proposées de manière favoriser les économies et la récupération d'énergie. Par la suite, différentes sources d'énergies renouvelables de remplacement sont décrites et explorées en fonction de leur maturité et du potentiel d'intérêt qu'elles peuvent représenter pour la région. Les procédés qui favorisent les échanges thermiques, la production d'électricité ou la production de nouveaux combustibles nécessitent des conditions qui leur sont propres, et il va de soi que certains sont plus aptes que d'autres à être développés sur le territoire Laurentien.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

À partir de ces données, un bilan et un ensemble de recommandations pourront aider principalement les décideurs régionaux, mais aussi les individus et les organisations à faire des choix plus éclairés en matière de maîtrise de l'énergie. Si les solutions envisagées par les dirigeants doivent être soigneusement étudiées avant d'être mises en place, le présent guide peut à tout le moins servir de point de départ et alimenter les réflexions.

Le principe des 3R de l'énergie

Le cadre des 3R permet de définir un ordre logique de priorités d'actions afin de faciliter et d'aiguiller la prise de décision quant aux projets d'efficacité énergétique.

Les 3R de l'énergie se définissent comme suit : Réduction à la source, Récupération et Remplacement.¹

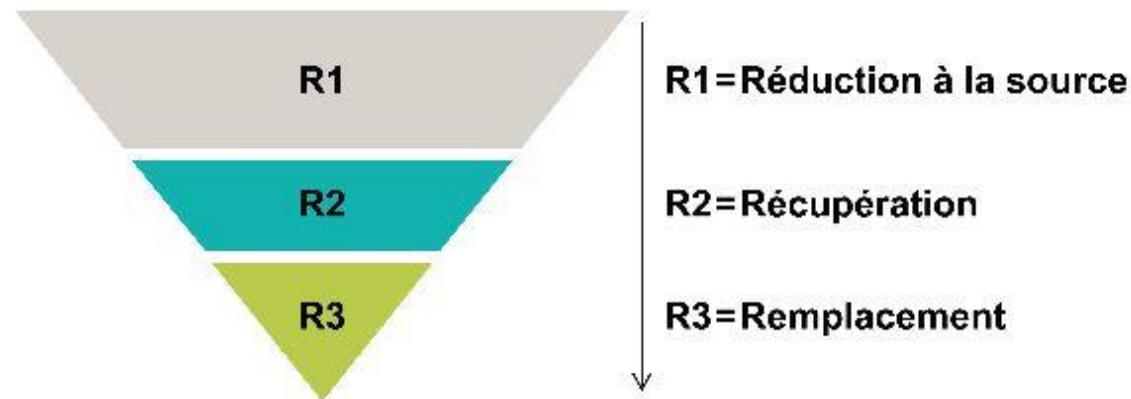


Figure 1 : Cadre des 3R ²

La réflexion autour d'un projet d'efficacité énergétique, sera profitable, uniquement si elle inclut les étapes suivantes :

- 1) Réduction à la source : cette étape consiste à travailler principalement sur les comportements afin de réduire la consommation d'énergie. Il s'agit par exemple de définir les bonnes pratiques, de mener des campagnes de sensibilisation, de faire de l'entretien préventif et prédictif, etc.
- 2) Récupération : lors de cette étape on dresse un « bilan énergie » qui va permettre d'identifier les besoins et les pertes en énergie. Sur la base de ce bilan, on peut alors réfléchir à des projets qui permettraient de récupérer les pertes d'énergies afin de les réutiliser pour les besoins d'autres installations.
- 3) Remplacement : quand la demande a été réduite et que les possibilités de récupération d'énergie sont épuisées, la solution du remplacement peut être considérée. Il est possible de remplacer soit les équipements, soit l'énergie traditionnelle par des énergies renouvelables.

¹ AQME, n.d.a

² AQME, 2011

Potentiels de réduction et de récupération énergétiques

Mesures applicables au transport des personnes

En matière de lutte aux changements climatiques, le secteur des transports, englobant autant le transport de personnes que le transport de marchandises, est sans conteste un enjeu majeur et prioritaire. Au Québec, ce secteur serait responsable de 40% des émissions de GES et de 25% de la consommation totale d'énergie. De plus, ce sont les véhicules routiers qui sont responsables d'environ 80% de ces émissions de GES et de cette consommation d'énergie.³

Pour les organisations qui souhaiteraient mettre en place un plan pour le transport de personnes, il est tout d'abord recommandé d'acquérir les données de base nécessaires. Ces données doivent d'abord permettre de dresser un portrait de l'utilisation des véhicules que possède l'organisation (marque, modèle, cylindrée et puissance du moteur, année, kilométrage, consommation annuelle de carburant, frais d'entretien annuels). L'étape suivante consiste à dresser le portrait de la consommation d'énergie et des émissions de GES pour une année de référence afin de s'en servir de base comparative pour mesurer les progrès réalisés.⁴

³ Gouvernement du Québec, 2007

⁴ Ibid.

Planification des déplacements

Afin de réduire les impacts du transport de personnes sur l'environnement, il convient premièrement de mieux planifier les déplacements. Cette solution peut permettre de diminuer de 20% la consommation de carburant. En termes de rentabilité, ce type d'action qui ne demande pas d'investissements technologiques majeurs est donc particulièrement efficace. Premièrement, il est nécessaire de considérer les différents modes de transport selon une hiérarchisation⁵ :

1. Il faut se demander si le déplacement en véhicule motorisé peut être évité :
 - En utilisant des technologies permettant d'éviter le déplacement (vidéoconférence, conférence téléphonique, courriel ou tout autre moyen de communication)
 - En combinant différents événements ou activités pour éviter plusieurs déplacements
 - En choisissant un mode de transport actif (marche, vélo, etc.)
2. Si le déplacement en véhicule motorisé est inévitable, la première option à envisager est l'utilisation du transport collectif (métro, autobus, autocar, train, etc.)

⁵ Ibid.

3. Si le transport collectif n'est pas disponible, la deuxième option consiste à envisager le covoiturage (entre personnes d'une même organisation, entre personnes ayant des parcours similaires)
4. Si le covoiturage n'est pas possible, en dernier recours, le déplacement peut être effectué en auto-solo ou en taxi.

Éco-conduite

Si le recours à l'auto-solo s'impose, il convient alors de favoriser « l'éco-conduite ». En pratiquant ce type de conduite, la consommation en carburant pour un même parcours peut-être considérablement réduite.⁶

L'éco-conduite consiste à :

- Réduire sa vitesse et la maintenir constante : en roulant à 100km/h au lieu de 120km/h, on économise 20% de carburant et autant de réduction de GES pour un parcours identique. De plus en maintenant une vitesse constante on réduit également la consommation de carburant. Il est donc préférable d'éviter les pointes de vitesse sur l'autoroute et la conduite « brusque ». Pour maintenir une vitesse constante, l'utilisation du régulateur de vitesse sur l'autoroute et en terrain peu accidenté est particulièrement adaptée.
- Éviter le ralenti du moteur : la marche au ralenti du moteur est une source importante de polluants atmosphériques responsables du smog et nuisibles pour la santé. En dehors des conditions de circulation (arrêts imposés par les feux de

⁶ Ibid.

circulation ou panneaux, embouteillages, etc.) il convient donc d'éteindre le moteur si le véhicule doit rester immobilisé plus de 10 secondes. À partir de ce délai on réalise ainsi des économies de carburant en coupant le moteur. En hiver, contrairement à la croyance populaire, laisser tourner son moteur au ralenti n'est pas le meilleur moyen de réchauffer le moteur. En effet, il est plus efficace de rouler et d'accélérer progressivement jusqu'à ce que le moteur soit chaud. Le moteur est réchauffé lorsque les vitres ne sont plus embuées.

- Entretien des véhicules : en inspectant et en entretenant régulièrement les véhicules on peut prévenir la diminution de la performance énergétique du véhicule.
- Vidange d'huile et pression des pneus : une huile qui n'est pas changée suffisamment régulièrement diminue les performances énergétiques du moteur, il est conseillé de la changer à l'intervalle de temps recommandé par le constructeur. De plus, la pression des pneus a un impact considérable sur la consommation de carburant. En effet, des pneus sous-gonflés augmentent la résistance du pneu au roulement ce qui contribue à accroître la consommation de carburant. Les écarts de température influent sur la pression des pneus; il est donc recommandé de la contrôler au moins une fois par saison.
- Charges et accessoires : Les charges et accessoires inutiles qui augmentent le poids du véhicule ou modifient son aérodynamisme contribuent également à augmenter sa consommation de carburant.⁷

⁷ Ibid.

Acquisition d'un véhicule

Au moment d'acquérir un véhicule, il est important de prendre en compte certains critères afin de choisir un modèle avec une meilleure performance énergétique. La cote de consommation de carburant est un exemple de ces critères. Même si ces cotes sont souvent plus optimistes que la réalité, elles permettent de comparer la consommation d'énergie et les émissions de GES de l'ensemble des véhicules disponibles sur le marché canadien.

Il est important également de prendre en considération les équipements optionnels et leurs effets sur la consommation :

- Le régulateur de vitesse, qui permet de maintenir une vitesse constante sur autoroute en terrain non accidenté, peut aider à réduire la consommation de carburant.
- Le chauffe-moteur facilite quant à lui le démarrage et permet de réduire la durée du ralenti-moteur. Il n'est pas nécessaire de le laisser brancher toute la nuit, deux heures suffisent.
- Les vitres teintées et le toit ouvrant aident à limiter la pénétration de la chaleur dans le véhicule, réduisant ainsi l'utilisation de la climatisation.
- En revanche, certains équipements augmentent la consommation de carburant : air climatisé, sièges et vitre électriques, porte-bagage, chauffe siège, démarreur à distance.⁸

L'acquisition d'un véhicule électrique ou hybride plutôt que d'un véhicule traditionnel doit également être envisagée. Les véhicules hybrides sont conçus de manière à récupérer

l'énergie produite lors des freinages et sont particulièrement efficaces en zone urbaine.⁹ En revanche, l'acquisition d'un tel véhicule ne doit pas empêcher l'adoption de comportements durables, particulièrement en ce qui a trait à la planification des déplacements et à l'éco-conduite. En effet, bien que l'électricité soit une énergie propre au Québec, toutes les formes d'énergie doivent être économisées et utilisées de manière judicieuse et durable.

Aménagement du territoire

Le milieu municipal, de par ses compétences en aménagement et en transport local, peut être un acteur majeur dans la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de GES issus du secteur du transport. Les municipalités disposent ainsi de moyens d'actions tels que la planification, la réglementation, l'intervention directe pour favoriser des formes d'aménagement propices au transport durable.¹⁰

Du point de vue théorique, les tendances émergentes en matière d'urbanisme permettent d'impacter considérablement sur les comportements et les déplacements. Ces nouvelles approches que sont le *Smart Growth*, le Nouvel Urbanisme et le *Transit Oriented Development* misent sur la proximité et la mixité des usages. Du point de vue du transport, les aménagements conçus selon ces approches favorisent l'utilisation du transport actif (marche, vélo, etc.) et du transport collectif en valorisant notamment la capacité des infrastructures à accueillir une mixité de moyens de transports.¹¹

⁸ Gouvernement du Québec, 2007

⁹ Ibid.

¹⁰ MAMROT, 2011

¹¹ LeChasseur et Doyon, 2010; Ouellet, M. 2006; Smart growth america, 2010.

Les nouveaux développements sont une occasion de promouvoir de telles approches, c'est-à-dire des quartiers plus denses offrant plus de services de proximité (écoles, parcs, commerces, etc.) permettant de limiter l'utilisation de l'automobile. Pour les secteurs en périphérie des grandes villes, une « densification douce » est recommandée, ce type de densification s'opère notamment par l'insertion, dans le cadre bâti existant, de nouveaux bâtiments comptant plusieurs logements et par des secteurs plus denses aux abords des grandes infrastructures de transport (gares, terminus d'autobus, etc.).¹²

Pour favoriser la marche il est tout d'abord essentiel de veiller à la sécurité des piétons (sentiers sécurisés, signalisation spécifique, vie de quartier, etc.) tout en leur proposant des aménagements piétonniers continus et bien reliés. Il est également possible d'envisager des aménagements plus perméables (c'est-à-dire faciles à traverser) avec des îlots de taille limitée ou des sentiers piétonniers dans les aménagements de type « lotissement » afin d'offrir des raccourcis prévus spécifiquement pour les piétons.¹³

Toujours dans un objectif de réduction de la consommation d'énergie, d'autres modes de transports actifs sont à valoriser tels que le vélo. Il est préférable que des voies spécifiques soient consacrées au transport actif afin de rendre plus sécuritaires ces modes de transports. Les pistes cyclables, les sentiers polyvalents et les bandes réservées sur la chaussée sont particulièrement adaptés. Pour favoriser l'utilisation du vélo, il faut aussi installer des stationnements spécifiques à proximité des points d'intérêts.¹⁴

¹² MAMROT, 2011

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

Le transport actif des enfants peut lui aussi être favorisé grâce aux corridors scolaires dans lesquels la vitesse des automobiles est réduite, grâce à la présence de brigadiers scolaires et grâce à des initiatives telles que les pédibus et les vélobus (un accompagnateur pour encadrer un groupe d'enfants se déplaçant à pieds ou à vélos pour les trajets domicile-école). Des telles initiatives sécurisent le trajet vers l'école et permettent de favoriser la marche plutôt que l'automobile.¹⁵

Du point de vue du transport, il est également préférable de planifier des quartiers continus qui permettent de réduire l'utilisation de l'automobile et de réduire les distances. En effet, les quartiers de type « saute-mouton » c'est-à-dire qui sont séparés par des espaces vides induisent de plus longues distances de déplacement et favorisent l'utilisation de l'automobile. Finalement, pour être efficaces, ces mesures devraient être assorties d'une stratégie d'apaisement de la circulation (limitation de la vitesse, terre-pleins, dos-d'âne, etc.).¹⁶

En ce qui concerne le transport collectif, plusieurs options sont à considérer afin d'offrir des transports adaptés au milieu dans lequel ils s'insèrent. Peuvent être envisagées les solutions suivantes : train, autobus, taxi collectif, covoiturage, autopartage, etc. De plus, il est essentiel de favoriser l'intermodalité c'est-à-dire l'utilisation de plusieurs modes de transport au cours d'un même trajet (stationnements automobiles et vélos aux abords des terminus et gare, autorisation des vélos dans les autobus ou porte-vélos installés sur les autobus, etc.).¹⁷

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Ibid.

Mesures applicables au transport des marchandises

L'accroissement de la population implique certes qu'il y a davantage de personnes qui effectuent des déplacements, mais se répercute également sur le transport de marchandises qui servent à les approvisionner. La présence accrue de camions légers et de poids lourds assurant les livraisons contribue elle aussi à augmenter l'achalandage routier, se traduisant ainsi par une plus grande consommation d'énergie et une plus grande émission de GES. Entre 1995 et 2005, la consommation de diesel par les camions lourds et moyens pour le transport de marchandises aurait augmenté de 16,28% au Québec, ce qui représente une consommation supplémentaire de 400 millions de litres.¹⁸

En fait, plusieurs facteurs influencent la hausse du transport des marchandises; les besoins sont certes plus grands, mais les nouvelles réalités et les façons de faire sont également responsables d'un plus grand achalandage routier. Parmi ces facteurs, on note entre autres l'accroissement des échanges commerciaux, parmi lesquels on peut compter l'augmentation du commerce électronique qui implique souvent la livraison de « petits » colis ou de colis individuels. Par ailleurs, la gestion intégrée des chaînes logistiques, fondée sur le principe du « juste à temps » et la minimisation des stocks d'une entreprise, nécessite des livraisons plus fréquentes de petites quantités, puisque la marchandise est produite au fur et à mesure, en fonction de la demande des clients.¹⁹

La hausse des déplacements pour le transport de marchandises contribue, à l'instar des déplacements personnels, aux embouteillages et aux conséquences économiques,

environnementales et sociales qu'ils entraînent. Néanmoins, il semble que la planification urbaine tienne encore peu compte du transport de marchandises.²⁰ Certaines stratégies pourraient être mises en œuvre pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES dans ce secteur.

Modes de transport et approvisionnement local

L'une des premières choses à considérer pour adopter des bonnes pratiques dans le transport de marchandises est de prendre conscience de la consommation énergétique des différents modes de transports et de la distance que doivent parcourir les biens de consommation entre leur lieu de production et leur destination.

L'impact du transport de marchandises varie notamment selon le mode de transport utilisé. Selon que ce transport soit effectué par train, par camion, par avion ou par bateau, la consommation de carburant et la quantité de GES émis sera différent, et ce, pour une même quantité de marchandise. Le tableau qui suit indique la consommation d'énergie et les GES émis, soit le nombre de kilojoules consommés et le équivalents CO₂ produits, pour transporter une tonne de marchandises sur un kilomètre, en fonction des différents moyens de transport.²¹

¹⁸ MRN, 2008

¹⁹ Bigras, Yvon, 2011

²⁰ Ibid.

²¹ Hydro-Québec, 2006

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Tableau 1 : Consommation d'énergie et émission de GES selon le moyen de transport par tonne de marchandises²²

	Moyen de transport				
	Moyenne des camions diesels	Camions lourds	Train	Bateau	Avion
Consommation d'énergie (kJ par tonne • km)	1583	600-1 000	280-400	Moins de 200	7 000 - 15 000
Émission de GES (g CO ₂ par tonne • km)	111	42-71	20-28	Moins de 14	476 – 1 020

Pour chaque tonne de biens transportés, l'avion est de loin le moyen qui consomme le plus d'énergie et émet le plus de GES, complètement à l'opposé du transport par bateau qui est le plus éco énergétique. En comparaison avec ce dernier, pour une tonne de marchandises et pour chaque kilomètre parcouru, le transport ferroviaire émet environ deux fois plus de GES et le transport routier en émet environ quatre à cinq fois plus. Quant au transport aérien, quant à lui, il émet environ 50 fois plus de GES que le transport par bateau et consomme 35 à 80 fois plus d'énergie.

Dans le cas du transport par avion, le nombre de kilomètres parcourus est particulièrement important à considérer puisque la plus grosse consommation énergétique et la plus forte émission de GES se font lors du décollage et lors de l'atterrissage. Ainsi, les longs courriers polluent davantage en un seul vol à cause de la distance parcourue, mais les vols de courte distance polluent davantage au kilomètre.

Selon le bilan de 2010 des émissions de GES au Québec, le transport de marchandises est responsable de 13,6 Mt de CO₂ éq. De ce total, 0,1 Mt proviennent du transport aérien, 10,2 Mt du transport routier, 0,8 Mt du transport ferroviaire et 2,5 Mt sont issus du transport maritime.²³ Avec l'accroissement du fret acheminé par voie aérienne, les rejets des avions progressent plus rapidement que les autres sources d'émission.²⁴ Les rejets des avions semblent peu significatifs par rapport au transport routier de marchandises, mais c'est en comparant les émissions par rapport au volume de produits transportés et à la distance parcourue que l'efficacité énergétique du transport de marchandises prend tout son sens. À ce sujet, l'exemple de la France, dans une étude réalisée par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), est probant et expose très bien le principe qui peut se répéter dans nombreux autres pays, où le ratio entre les émissions de GES et la consommation d'énergie par rapport à la quantité de marchandise transportée est particulièrement élevé. L'étude de l'ADEME démontre en effet les impacts du type de transport en fonction de la quantité de marchandises importée. La figure suivante illustre, pour le cas de la France, les proportions, pour chaque moyen de transport, de la quantité de marchandises transportée, de l'énergie consommée et des GES émis.²⁵ Selon cette dernière, le transport aérien consomme à lui seul plus de 10% de l'énergie et est responsable de 24% des émissions de GES pour n'importer que 1% du tonnage de fruits et légumes.

²² Hydro Québec, 2006

²³ MRN, 2013

²⁴ OCDE, 1997

²⁵ Bio-intelligence service et ADEME, 2009

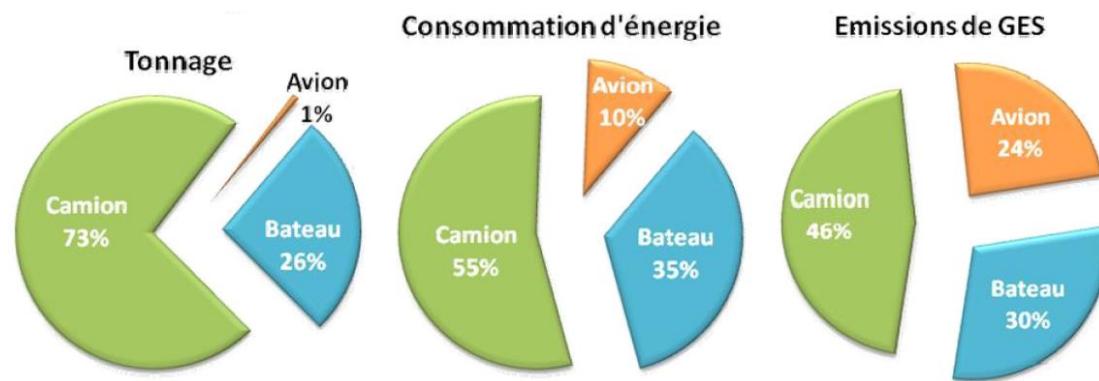


Figure 2 : Importation de fruits et légumes en France, ADEME²⁶

Il faut penser que dans la plupart des cas, les marchandises devront être transbordées en cours de route pour emprunter un second mode de transport. Jusqu'à sa destination finale, il peut y avoir ainsi plusieurs escales. S'ajoute aussi le transport, bien souvent effectué en voiture, par le consommateur qui s'approvisionne à l'épicerie ou au centre commercial. Compte tenu des impacts que peuvent avoir les différents moyens de transport, il est pertinent de choisir judicieusement le mode approprié pour transporter les différents types de marchandises.

L'autre voie qui permet de réduire les émissions de GES et la consommation d'énergie est de s'approvisionner avec des produits de proximité. L'achat local limite en effet le transport des marchandises puisque ces dernières parcourent alors une plus courte distance. S'approvisionner localement est donc une avenue importante à considérer. Déjà, de la sensibilisation est faite auprès de la population afin d'encourager l'achat local, principalement en ce qui concerne la consommation de fruits et de légumes. Selon une étude du

Environmental Science & Technology, chaque personne qui s'approvisionne d'aliments produits à proximité permettrait de réduire annuellement les GES de 370 kg de CO₂ équivalent.²⁷

La consommation de fruits exotiques et d'autres produits importés a donc des conséquences sur les besoins énergétiques et les émissions de GES liés au transport. L'approvisionnement local, en plus de réduire la quantité de carburant utilisé et les émissions de GES pour le transport des produits de consommation, a également l'avantage de contribuer à l'économie de la région.

Planification du transport et logistique urbaine

En plus du nombre de voitures en croissance, l'augmentation des véhicules de livraison dans les villes crée des embouteillages dont les conséquences peuvent se traduire autant par des pertes de temps et d'argent, que par l'embarras qu'elle cause aux usagers de la route. La congestion routière est aussi une source supplémentaire d'émissions de GES. En effet, les moteurs des véhicules pratiquement immobiles tournent au ralenti durant toute cette période de temps. Les coûts liés à la congestion routière ont été évalués par une étude du MTQ en 2009. L'étude a été réalisée à partir des données de 2003, ce qui laisse penser que les résultats présentés sont en deçà de la réalité actuelle.²⁸ La démographie des Laurentides a en effet connu une hausse considérable depuis cette période, ce qui aura nécessairement eu un impact sur les transports et la congestion routière.

²⁶ Ibid.

²⁷ Engelhaupt, E., 2008

²⁸ MTQ, 2009

Les données de 2003 indiquaient qu'à cause de la congestion routière, les véhicules de la couronne nord consommaient 0,5 million de litres de diesel supplémentaire et 6,9 millions de litres d'essence supplémentaires annuellement (par rapport à ce qu'aurait été une période de pointe sans congestion). En termes d'émissions de GES, cela représente environ 18 000 tonnes annuellement, uniquement pour la couronne nord de Montréal. Il s'agit ici des rejets de tous les véhicules routiers, qui regroupent autant ceux destinés au transport de marchandises qu'au transport de personnes. Il est donc difficile de déterminer quelle proportion des GES causée par la congestion concerne uniquement le transport de marchandises. Par ailleurs, il faut souligner que les camions, contrairement aux automobiles, se font généralement moins nombreux durant les heures de pointe du matin et de l'après-midi, que durant les heures creuses (9h à 15h30). On ne sait pas dans quelle mesure les camionneurs évitent sciemment les périodes de pointe, ni le coût de cette adaptation logistique.²⁹

La congestion routière a également des conséquences économiques. Le MTQ a évalué autant les coûts des retards occasionnés par la congestion, les coûts supplémentaires d'utilisation des véhicules, de carburant, des émissions polluantes et des émissions de GES. Au total, cela représentait en 2003 un coût supplémentaire de plus de 106 M\$ pour les entreprises de la région métropolitaine. Pour la couronne nord, ce coût supplémentaire tournait plutôt autour de 7M\$ pour la même année de référence. La figure suivante présente les axes routiers soumis à la congestion routière à l'automne 2003.³⁰ Si la plupart des routes congestionnées se trouvent sur l'île de Montréal, certains secteurs de la couronne des basses Laurentides

(couronne nord) sont également touchés par ce problème, qui risque fort bien d'aller en augmentant si l'on se fie aux perspectives démographiques.³¹

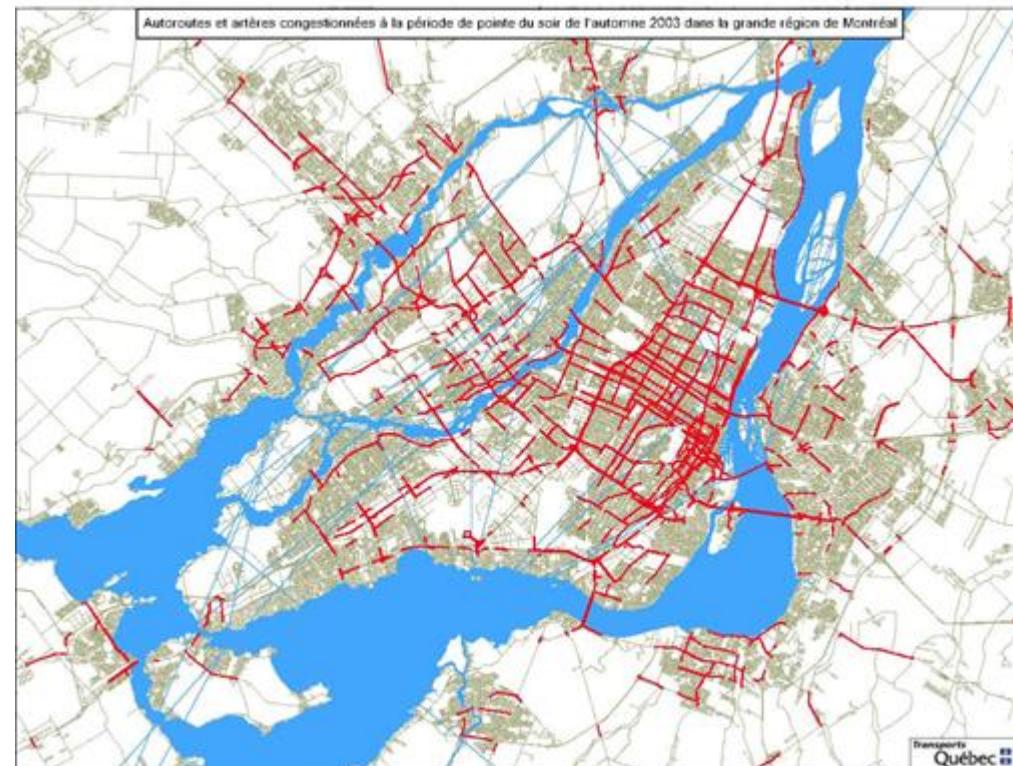


Figure 3 : Autoroutes et artères congestionnées en période pointe du soir dans la région métropolitaine à l'automne 2003³²

²⁹ Ibid.

³⁰ Ibid.

³¹ Institut de la statistique du Québec, 2009

³² MTQ, 2009

Si les déplacements des personnes ont un impact important sur la congestion routière, le transport de marchandises y joue également un rôle. Pour contrer les embouteillages dans les villes, il est nécessaire de bien documenter, d'une part, les flux de transport, mais également de revoir la logistique d'approvisionnement des commerces se situant en zone plus sensible, c'est-à-dire dans les secteurs où les flux de circulation sont compromis par l'achalandage des véhicules. En effet, la plupart des acteurs ont leur propre logistique de transport de marchandises afin d'optimiser leurs propres opérations et leur propre chaîne logistique. Par ailleurs, la logique qui sous-tend l'organisation du transport peut être fort différente d'une entreprise à une autre. Dans l'ensemble, cela a donc pour effet de multiplier les flux de transport.

Dans ces circonstances, il devient donc pertinent de développer un système logistique à l'échelle urbaine. Le concept de logistique urbaine se fonde sur l'idée de développer de façon collective des opérations qui permettraient d'optimiser les mouvements de marchandises. Il s'agit alors de cesser de considérer chaque entreprise, chaque chargement et chaque

véhicule de façon isolée et de les voir comme les éléments d'un système ou d'un réseau logistique qu'il faut optimiser dans son ensemble.³³ La réalisation d'un tel système logistique exige bien entendu une collaboration et des partenariats entre les secteurs public et privé.

Les centres de distribution urbaine (CDU) sont apparus dans les années 70 dans les pays du nord de l'Europe dans le but de réduire les impacts environnementaux de l'achalandage routier dans les villes causé par le transport de marchandises. Le principe repose sur l'introduction d'un maillon supplémentaire dans le réseau de distribution où s'effectue un remaniement permettant d'adapter le transport de marchandises provenant de l'extérieur au contexte urbain, et inversement. Concrètement, un CDU est une sorte de plateforme intermodale où sont transbordées les marchandises destinées à la ville arrivant par gros transporteur afin de les charger dans des plus petits véhicules assurant les livraisons à destination. Les marchandises partant de la ville pour une autre destination suivent le chemin inverse.³⁴ La figure qui suit illustre les flux des transports de marchandises selon qu'ils passent ou non par un CDU.

³³ Bigras, Yvon, 2011

³⁴ ADEME, 2005.

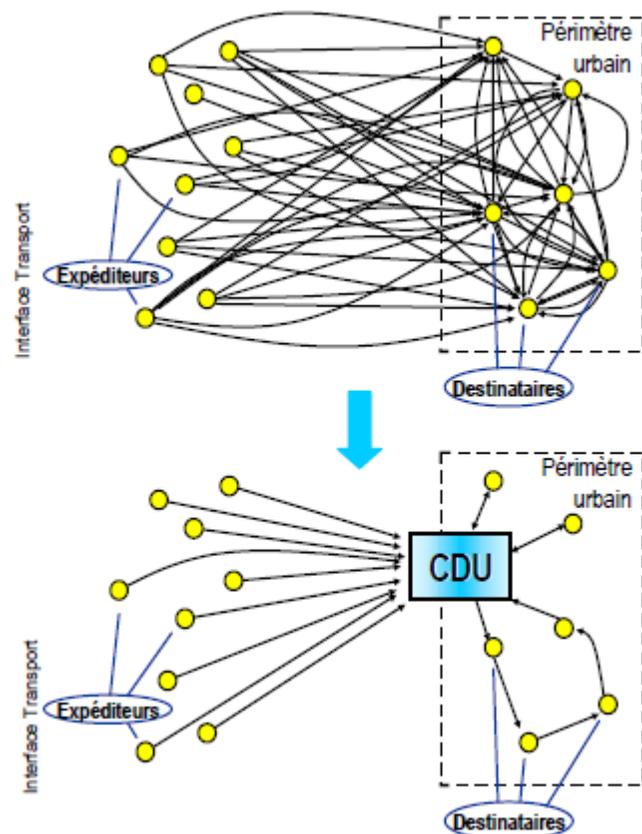


Figure 4 : Schéma des flux de marchandises avec ou sans CDU ³⁵

Les CDU visent à décongestionner les zones urbaines plus denses en y optimisant les transports de marchandises. Ils permettent un meilleur taux de remplissage des véhicules (quantités de marchandises ou nombre de clients insuffisants pour un transporteur donné),

³⁵ Ibid.

réduisent le nombre de kilomètres parcourus et fluidifient la circulation.³⁶ L'apparition de plateformes intermodales à proximité des villes fait par ailleurs partie des mesures que le Réseau des ingénieurs du Québec anticipe dans une perspective de mobilité durable³⁷, et est également intégrée à l'une des orientations de la *Politique sur le transport routier de marchandises 2009-2014* du MTQ. Le ministère veut notamment favoriser la multimodalité en faisant ressortir les avantages que comportent chacun des modes de transport et faciliter l'interconnexion entre eux.³⁸ La Ville de Montréal a aussi intégré dans son *Plan de transport* d'évaluer la possibilité d'implanter des centres intermodaux de marchandises en périphérie de l'Île de Montréal. Selon ce document, la CMM est conviée à participer au redéploiement logistique du système de distribution afin de réduire les impacts de la circulation des camions en milieu urbain.³⁹ Certaines entreprises ont individuellement mis en place, à leur propre échelle, des centres de distributions (CD) pour en tirer les nombreux avantages logistiques. C'est le cas entre autres de Couche-tard qui a implanté son CD à Laval.⁴⁰

D'autres mesures peuvent être intégrées au concept d'un CDU. Par exemple, pour assurer le transport des marchandises entre le CDU et leur destination, certaines villes utilisent des «véhicules propres» à l'intérieur du périmètre urbain afin de réduire notamment la consommation de pétrole. Dans plusieurs des cas déjà en place, ces camions fonctionnent à l'électricité ou sont hybrides. Sinon, l'utilisation de véhicules plus performants d'un point de vue énergétique est aussi une solution à envisager. La réduction du nombre et de la taille des

³⁶ ADEME, 2005

³⁷ Réseau des ingénieurs du Québec, Hiver 2010-2011

³⁸ MTQ, 2009

³⁹ Ville de Montréal, 2007

⁴⁰ Daudelin, A., 2002

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

véhicules en circulation dans les zones urbaines est l'objectif visé afin de diminuer la congestion, la pollution atmosphérique et les émissions de GES.⁴¹

La mise en place d'un CDU à l'échelle d'une ville ou d'une région peut sembler un projet ambitieux compte tenu du nombre d'acteurs à impliquer et du nombre de systèmes de logistiques à arrimer ou à imbriquer en un seul. Avec ou sans CDU, l'utilisation de systèmes de transport intelligents (STI) de plus en plus sophistiqués s'avère incontournable. Les STI sont des outils qui ont pour objectif d'améliorer la gestion et l'exploitation des transports. Il est ainsi possible de coordonner les déplacements et d'intégrer plusieurs éléments pour rendre le transport de marchandises plus efficace, plus sécuritaire et plus éco-énergétique. Les STI interviennent par exemple en diminuant le nombre des arrêts requis durant un transport (pesées dynamiques, formalités douanières automatisées, etc.), en optimisant les parcours et les transits, en gérant un système de paiement électronique, en utilisant une nouvelle technologie d'accès de guérite qui réduit les files d'attente, en gérant de façon dynamique des feux de circulation, en développant des réseaux commerciaux, en améliorant les flux des produits et de la chaîne d'approvisionnement, en optimisant la gestion de l'entreposage, etc.⁴² ⁴³ Autrement dit, les STI permettent de fluidifier la circulation, ce qui se traduit par des gains de temps, des économies d'argent et d'énergie, une meilleure protection de l'environnement et une amélioration de la sécurité routière.⁴⁴

Les STI peuvent être utilisés autant à l'échelle d'une entreprise qu'à l'échelle d'une région ou d'une province. Évidemment, le niveau de complexité du système augmentera plus on

agrandit le champ d'intervention et le nombre d'acteurs impliqués. À cet effet, l'OCDE suggère de restructurer les systèmes logistiques pour adopter un système logistique intégré, puisque «si toutes les entreprises impliquées dans une chaîne d'approvisionnement particulière optimisent leur système logistique indépendamment des autres entreprises de cette chaîne, la gestion des flux de toute la chaîne est vraisemblablement sous-optimale.»⁴⁵ Un système logistique intégré tient compte à la fois de la logistique urbaine et de la gestion des chaînes logistiques. L'idée derrière ce concept est de développer un outil de coordination pour éviter que chaque partenaire, public ou privé, fasse cavalier seul et mette en place un système incompatible avec celui du voisin.⁴⁶

À défaut de disposer d'un système de transport intelligent, plusieurs villes ont tenté de mettre en application certaines mesures pour résoudre les problèmes de congestion sur leur territoire. Certaines ont par exemple adopté des règlements interdisant les livraisons à certaines heures, ou interdisant de stationner ou de s'arrêter en bordure des rues. Ces modalités ont un succès mitigé : elles ont un certain degré d'efficacité, mais ont des limites dans les cas plus problématiques de congestion et peuvent nuire à certaines pratiques commerciales. En fait, ces mesures sont ponctuelles et facilement mises en place, mais n'ont pas de vision d'ensemble et ne s'attaquent pas au fond du problème.⁴⁷ Elles peuvent donc aider les municipalités à court terme, mais d'autres solutions doivent être envisagées pour assurer l'approvisionnement des villes en marchandises de tout ordre, d'autant plus que le nombre de véhicules en milieu urbain ne cesse de croître.

⁴¹ ADEME, 2005.

⁴² OCDE 2002

⁴³ MTQ 2013

⁴⁴ Réseau des ingénieurs du Québec, Hiver 2010-2011

⁴⁵ OCDE 2002

⁴⁶ Réseau des ingénieurs du Québec, Hiver 2010-2011

⁴⁷ Bigras, 2007.

Éco-conduite et améliorations technologiques

Toutes les mesures favorisant l'éco-conduite exprimées dans le transport de personnes s'appliquent également au transport de marchandise : réduire sa vitesse et la maintenir constante, éviter la marche au ralenti du moteur et procéder à l'entretien des camions afin de maintenir les meilleures performances énergétiques possible. La charge et les accessoires des véhicules sont tout autrement à considérer dans le cas de camions lourds et du transport de marchandises.

La première chose à penser en matière de comportement éco-responsable de transport de marchandises est de réduire, voire éliminer, les déplacements à vide. Selon le taux de chargement, le déplacement d'un camion devient plus ou moins pertinent du point de vue de la dépense énergétique et des émissions de GES. Or, les camions ont de façon générale des charges moyennes très basses. Au Québec, 32% de tous les déplacements interurbains se font à vide, chiffre qui s'élève encore davantage dans les villes.⁴⁸ Parmi les camions qui transportent une charge, plus de la moitié ne sont pas complètement remplis. Le problème étant que les transporteurs chargent les camions en fonction de la commande d'un client, ce qui ne signifie pas nécessairement que le chargement soit optimal. De la même façon, un transporteur qui effectue une livraison pour un client n'aura pas nécessairement de chargement pour le retour, ce qui explique le nombre important de déplacements à vide.⁴⁹

Chaque camion offre une capacité de chargement qui est contrainte soit par le volume, soit par le poids, soit par le type d'attache dont il est muni. L'optimisation du chargement des

camions, si l'on tient compte uniquement du poids, peut être déterminée selon la formule est la suivante :⁵⁰

$$\text{Taux de chargement (\%)} = \frac{\text{Poids du chargement}}{\text{Charge utile maximale}} \times 100$$

La charge utile maximale est le poids maximum du chargement qu'un camion peut transporter. Le taux de chargement devient donc optimal lorsque le poids du chargement est égal à la charge utile maximale. Quant à l'efficacité énergétique du transport routier, elle dépend à la fois du taux de chargement du véhicule et la distance à parcourir.⁵¹

$$\text{Efficacité énergétique} = \frac{\text{Poids du chargement} \times \text{Distance}}{\text{Énergie requise}}$$

Une limite est par contre à considérer dans cette formule, puisque une bonne partie du carburant est utilisée pour le transport du camion lui-même. Selon certaines estimations, 80% de la consommation de carburant est associée au déplacement du camion vide, de sorte qu'un camion plein ne consommerait que 20% de carburant supplémentaire. L'efficacité énergétique du camion en fonction du poids du chargement n'est donc pas totalement linéaire.⁵²

Les systèmes de transport intelligents (STI), servant à optimiser la logistique du transport, peuvent aussi s'avérer fort utiles pour réduire les déplacements à vide et ceux n'ayant qu'un faible taux de chargement. Les STI jumelés à un système de gestion électronique des

⁴⁸ Bigras, 2007

⁴⁹ CDTA, 2006

⁵⁰ Ibid.

⁵¹ Ibid.

⁵² Ibid.

véhicules (SGEV) peuvent être d'autant plus efficaces puisqu'ils permettent pour une entreprise de localiser ses véhicules en temps réel et de répondre ainsi à une demande de transport qui lui est acheminée. D'après le Centre de données et d'analyse sur les transports (CDAT), lorsque le camion est équipé d'un SGEV, le taux de chargement s'accroît de 5% à 10% sur les déplacements de retour (effet présent surtout sur des déplacements de longue distance). Les technologies améliorent donc l'appariement entre l'offre et la demande sur les voyages de retour.⁵³ Les STI peuvent probablement aussi être utilisés pour optimiser le chargement des camions, en combinant par exemple des livraisons de marchandises de faible volume mais de poids élevé avec d'autres, au contraire, de fort volume mais de faible poids. Encore ici, pour être réellement efficace, le transport de marchandises requiert de revoir toute la chaîne logistique.

Outre le chargement des véhicules, certaines technologies peuvent influencer la consommation d'énergie des camions. À ce sujet, le Réseau des ingénieurs du Québec a identifié plusieurs petites modifications qui pouvaient être apportées dans la structure même des poids lourds. L'objectif de ces transformations est entre autres de les rendre plus aérodynamiques et faire en sorte qu'ils nécessitent moins d'énergie pour se déplacer. Parmi les modifications qui peuvent être apportées, on note des éléments tels que l'utilisation de pneus à faible résistance au roulement, l'installation de jupes latérales, l'installation d'unités de puissance auxiliaire, l'utilisation de pare-chocs et de réservoir aérodynamique, etc. La figure qui suit illustre les potentiels d'économie de carburant pour chacune des améliorations énumérées, ce qui peut représenter en tout jusqu'à 27% d'économie.⁵⁴

⁵³ Ibid.

⁵⁴ Langlois et Lavoie, 2011

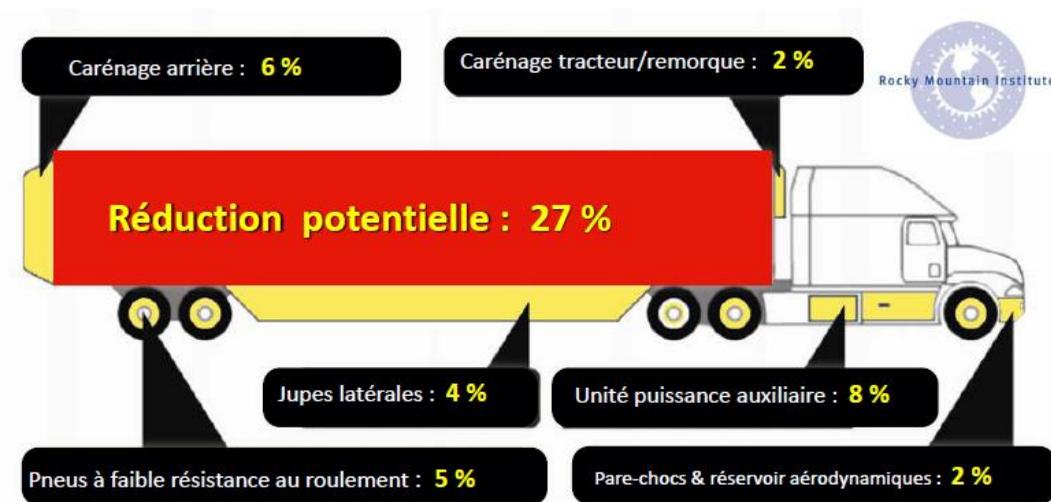


Figure 5 : Économies de carburant réalisées par l'optimisation des composants d'un camion pour le transport de marchandises⁵⁵

Jusqu'au 31 mars 2013, dans le cadre de son programme d'efficacité énergétique dans le transport (PEET), le Gouvernement apportait une aide financière pour la modification ou le remplacement de véhicule ou de ses composants permettant de réduire la consommation de carburant et les émissions de GES. Le ministère des Transports a donc également dressé une liste des technologies permettant d'atteindre ces objectifs. Ainsi, en plus des améliorations suggérées par le Réseau des ingénieurs du Québec, d'autres modifications peuvent être apportées, selon la nature du camion et le type de marchandises qu'il transporte (transport en vrac, transport de liquide, transport réfrigéré, transport urbain, etc.).⁵⁶

⁵⁵ Ibid

⁵⁶ MTQ, 2012

Mesures applicables aux bâtiments : Stratégies et conception

L'économie d'énergie applicable à un bâtiment tient certes compte en grande partie des bonnes habitudes de ses occupants. Néanmoins, il y a certains facteurs la construction même du bâtiment qui peut venir influencer la quantité d'énergie qui sera nécessaire au confort qu'il assure.

Tout d'abord, on peut penser à la localisation et à l'orientation d'un bâtiment. Ces facteurs sont en effet des éléments qui peuvent influencer ses besoins en énergie.⁵⁷ En effet, dans la mesure où celui-ci est construit dans un endroit fortement exposé aux vents et aux intempéries ou soit au contraire à l'abri et face au soleil, l'effet sur la température intérieure pourra être très variable. Par conséquent, il faudra chauffer ou climatiser davantage, selon la saison et selon l'emplacement du bâtiment. La localisation du bâtiment peut donc nécessiter des stratégies différentes pour minimiser les besoins en énergie (haies brise-vent, solaire passif, orientation du bâtiment, etc.)

Ensuite, Ecohabitation recommande que le bâtiment soit de « taille raisonnable ». Un bâtiment de taille raisonnable doit répondre aux besoins réels et fréquents, plutôt qu'aux besoins occasionnels (chambres d'invités peu utilisées, par exemple). En effet, lorsqu'il est bien adapté aux besoins de ses occupants, un bâtiment utilise moins de ressources, tant lors de sa construction que tout au long de sa vie. L'emplacement et les besoins réels sont donc des éléments à considérer dans la conception d'un bâtiment pour que celui-ci n'utilise que la quantité nécessaire d'énergie pour répondre efficacement aux besoins.

⁵⁷ Ecohabitation, 2011

Habituellement, la conception d'un bâtiment suit un processus linéaire : l'ingénieur réalise les plans qu'il transmet à l'ingénieur chargé de donner les directives aux sous-contractants, qui en bout de ligne, réalisent les travaux. Or, pour une meilleure efficacité, il est recommandé de faire appel à des professionnels qui opèrent selon le processus de conception intégrée. L'ensemble des professionnels et les clients sont alors tous réunis dès le début du projet afin que les choix puissent être faits en fonction des recommandations de l'ensemble des intervenants, et que chacun puisse s'assurer de pouvoir réaliser adéquatement sa tâche. Le processus de conception intégrée peut sembler initialement coûteux. Cependant, il permet de prévenir les problèmes qui pourraient survenir à cause d'un manque de concertation entre experts, ce qui peut parfois être encore plus coûteux.⁵⁸

Certification et construction

Il existe des certifications attestant qu'un bâtiment répond à certains critères d'efficacité énergétique. Les programmes Novoclimat et LEED sont les deux plus connus.

- Novoclimat : programme administré par le gouvernement du Québec et qui fonctionne par agréments. Les constructeurs agréés sont aptes à construire des habitations qui dépassent les standards québécois en efficacité énergétique. À titre

⁵⁸ Ibid.

d'exemple, on considère qu'une maison Novoclimat permet d'économiser 25% d'énergie.

- LEED : cette certification n'est pas limitée au résidentiel. Une construction LEED permet d'économiser 30 à 70% d'énergie.⁵⁹

Pour obtenir ces certifications, la construction doit répondre à de nombreux critères de performance énergétique. Écohabitation recommande de faire appel à des entrepreneurs agréés Novoclimat où qui ont déjà réalisé des projets qualifiés LEED. Dans le cas particulier de l'habitation, d'autres options sont envisageables, sans nécessairement conduire à une certification :

- L'autoconstruction : option qui nécessite un long effort d'apprentissage et qui devrait être envisagée uniquement par des personnes expérimentées afin de s'assurer d'un réel potentiel d'économies.
- Maisons préfabriquées : ces maisons permettent de réduire au maximum les pertes de matériaux. Le plus souvent, la totalité des découpes sont effectuées en usine et sont extrêmement précises. De plus, les restants de bois sont généralement réutilisés pour le chauffage de l'usine.
- Constructions hybrides : la « coquille » de la maison est construite par des professionnels, toutefois l'ensemble des finitions sont à la charge de l'acheteur.⁶⁰

Tant pour la rénovation que pour la construction, il convient de privilégier les matériaux recyclés. Le recyclage de matériaux nécessite une plus faible consommation d'énergie que la

production de matériaux neufs. Il s'agit toutefois ici d'une économie d'énergie sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, et non d'une économie d'utilisation d'énergie.

Aspects techniques

Grâce à son guide « Les pages vertes », Écohabitation trace un portrait de différentes technologies et de matériaux qui peuvent être choisis pour la construction ou la rénovation des bâtiments. Plusieurs de ces éléments concourent à des réductions d'énergie. Mises ensemble, ces stratégies peuvent engendrer des économies intéressantes. Les possibilités d'action et les choix sont multiples. Voici donc quelques-unes de ces technologies qui permettent de réduire la consommation d'énergie dans un bâtiment :

Isolant

Afin d'éviter les pertes de chaleur d'un bâtiment, ce qui entraîne des dépenses énergétiques considérables, les murs doivent être à la fois étanches et isolants. En effet, il faut d'une part éviter les infiltrations d'air, mais aussi choisir un matériau qui possède une bonne capacité d'isolation afin de conserver la chaleur. Plusieurs types d'isolants offrent des caractéristiques diverses, mais ce qu'il faut connaître d'abord, c'est le coefficient de résistance thermique, désigné par la lettre « R ». Plus la valeur de « R » est élevée, plus le pouvoir isolant du matériau est efficace.

⁵⁹ Ibid.

⁶⁰ Ibid.

Ventilateur récupérateur de chaleur

Une bonne isolation doit s'accompagner d'une bonne ventilation afin d'assurer la circulation d'un air sain. Pour éviter que l'air ambiant ne soit refroidi par l'air extérieur qui vient le renouveler, le ventilateur récupérateur de chaleur comporte deux dispositifs de traitement de l'air. L'air vicié circulant dans l'un des dispositifs réchauffe l'air entrant par le second. La chaleur de l'air vicié est ainsi récupérée à raison de 50 à 80%.⁶¹

Portes et fenêtres

Jusqu'à 25% des pertes de chaleur d'une maison durant l'hiver sont dues aux fenêtres et aux portes-fenêtres. Certaines d'entre elles offrent des caractéristiques qui permettent de minimiser ces pertes. Tout comme les électroménagers qui consomment peu d'énergie, les portes et fenêtres peuvent être certifiées Energy Star. Elles constituent donc des choix intéressants dans la conception d'un bâtiment. Sans nécessairement avoir cette certification, d'autres particularités des portes et des fenêtres peuvent offrir un bon rendement énergétique.

On mesure le rendement énergétique (RE) d'une fenêtre à l'aide d'une formule qui établit un rapport entre le coefficient U (taux de transfert de chaleur) d'un produit, son coefficient d'apport par rayonnement solaire (CARS)⁶² et son étanchéité à l'air. À l'inverse de U, la valeur R indique la résistance au transfert de chaleur.⁶³ Le rendement énergétique d'une fenêtre varie entre 0 et 50; plus le chiffre est élevé, meilleur est le rendement énergétique. Le

document de la SCHL souligne que les meilleurs résultats, suivant une étude, ont été obtenus en augmentant la valeur de la résistance au transfert de chaleur, en ayant une grande masse thermique, en accroissant l'aire de vitrage et en maintenant un CARS élevé.⁶⁴ L'augmentation de la valeur R se fait par l'ajout d'une deuxième ou d'une troisième couche de verre.

Un autre aspect qui augmente la performance des fenêtres est le remplissage de l'espace entre les vitres par des gaz inertes tels que l'argon et le krypton. Le gaz réduit en effet les pertes thermiques par conduction et convection et assure donc une meilleure isolation. L'effet est toutefois temporaire puisque les gaz finissent par s'échapper.⁶⁵ Un troisième facteur de performance est la pellicule à faible émissivité («Low-E», ou « faible E »). Cette dernière est constituée d'oxyde métallique qui laisse passer les rayons du soleil, mais empêche la chaleur sous forme infrarouge de s'échapper.⁶⁶ Elle permet donc de limiter la perte thermique de l'intérieur vers l'extérieur durant la nuit.

⁶¹ Écohabitation, 2013

⁶² Robertson, Keith et Andreas Athienitis, 2010

⁶³ OEE, 2009

⁶⁴ Robertson, Keith et Andreas Athienitis, 2010.

⁶⁵ Écohabitation, 2013

⁶⁶ Ibid.

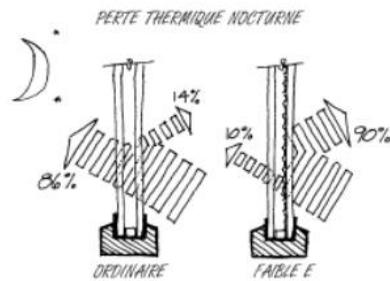


Figure 6 : Réduction des pertes thermiques avec un revêtement à faible E ⁶⁷

Enfin, il est également important d'avoir une fenêtre avec un intercalaire et un cadre à faible conductivité thermique. Les fenêtres présentant un coefficient U performant d'un point de vue énergétique comprendrait l'ensemble de ces caractéristiques. Le choix des fenêtres est un aspect important lorsqu'on veut utiliser le solaire passif pour réduire la consommation d'énergie.

Volets rétractables

Les volets, ou persiennes, sont largement utilisés en Europe. Installés aux fenêtres, ils permettent dans le sud d'éviter la surchauffe des bâtiments, et dans le nord, ils engendrent des économies de chauffage en créant une isolation la nuit. Compte tenu des variations de climat au Québec, les volets peuvent s'avérer une option intéressante pour réduire autant le chauffage l'hiver que la climatisation l'été.



© Alvia

Figure 7 : Volets roulants⁶⁸

Les volets rétractables (ou volets roulants), qui sont soit électriques, soit actionnés manuellement, sont constitués de fines lamelles et sont enroulés dans un caisson une fois ouverts. Selon une étude menée par le CNRC, les volets rétractables à demi-fermés durant les trois semaines les plus chaudes de l'été ont permis de diminuer de 67% le besoin de climatisation.⁶⁹

Non seulement les volets rétractables bloquent la quasi-totalité des rayons du soleil, ils présentent un certain pouvoir isolant et possèdent d'autres avantages intéressants (insonorisation, protection, contrôle de la lumière ambiante, etc.). Ils peuvent donc eux aussi jouer un rôle important dans l'utilisation du solaire passif.

⁶⁷ OEE, 2009

⁶⁸ Écohabitation, 2013

⁶⁹ Ibid.

Plancher chauffant

Le principe des planchers chauffants consiste à émettre un rayonnement sous le revêtement du sol, de manière à chauffer les parois et les corps avoisinants. La chaleur diffusée est de plus faible intensité et rend ainsi l'espace plus confortable.

Il existe des planchers chauffants électriques et des planchers chauffants hydroniques. Les premiers sont constitués de résistances qui serpentent le sol, alors que les seconds utilisent un liquide caloporteur qui circule dans des tuyaux placés sous le revêtement. L'utilisation de planchers radiants permet de réduire de 15% à 20% les coûts de chauffage.⁷⁰

Éclairage

L'éclairage n'est peut-être pas l'élément qui utilise la plus grande part d'énergie, mais chaque source de réduction, aussi minime soit-elle, finit par générer à grande échelle des économies considérables. En matière d'éclairage des bâtiments, plusieurs types d'ampoules sont disponibles, offrant chacune des performances énergétiques différentes.

L'ampoule à incandescence est l'ampoule ordinaire. Elle possède une faible performance énergétique et une durée de vie d'environ 1000 heures. Ce type d'ampoule émet également une certaine quantité de chaleur, ce qui peut être un avantage l'hiver, mais constitue une perte d'énergie l'été. L'ampoule halogène offre également une faible performance énergétique, mais utilise jusqu'à 15% moins d'électricité que l'ampoule à incandescence et dure trois fois plus longtemps. Les ampoules fluocompactes et DEL (ou à diodes électroluminescentes) utilisent quant à elles quatre fois et 16 fois moins d'électricité que les

⁷⁰ Ibid.

ampoules ordinaires et possèdent une durée de vie largement supérieure. Le tableau suivant reprend les principales caractéristiques des différents types d'ampoules.⁷¹ Évidemment, l'utilisation de la lumière du soleil permet aussi de réduire l'utilisation d'ampoules électriques.

Tableau 2 : Consommation d'électricité et durée de vie de différentes ampoules

Ampoule	Consommation d'électricité (par rapport à l'ampoule à incandescence)	Durée de vie
Incandescence	100%	1000 heures
Halogène	85%	3000 heures
Fluocompacte	25%	10 000 à 20 000 heures
DEL	6%	Jusqu'à 100 000 heures

Eaux grises

Il existe des systèmes qui permettent de récupérer la chaleur des eaux grises. La chaleur récupérée (de la douche, de l'eau de vaisselle et autre eau chaude utilisée) sert en quelque sorte à préchauffer l'eau froide d'alimentation, de sorte qu'il faut ensuite moins d'énergie pour la chauffer complètement. Le tuyau d'évacuation des eaux grises est entouré d'un serpentin où vient se faire réchauffer l'eau qui provient du réseau municipal. Ce système permettrait d'économiser 40% sur la facture attribuée au chauffage de l'eau. Il s'agit, après la réduction de la consommation, du plus important potentiel d'économie d'énergie en lien avec le chauffage de l'eau.⁷²

⁷¹ Écohabitation, n.d.

⁷² Ibid.

Stockage de l'énergie thermique

Le stockage de l'énergie thermique est une façon de récupérer de la chaleur à certains moments de manière à la restituer lorsqu'elle est nécessaire. Certains modes de production d'énergie sont particulièrement bien adaptés au stockage d'énergie, comme le solaire thermique passif et les systèmes solaires thermiques actifs à air ou à eau, dont il sera question plus tard. Il s'agit, pour stocker cette énergie, d'avoir recours à une masse thermique (comme une dalle de béton ou un mur de brique, par exemple) qui va emmagasiner la chaleur produite et la remettre en circulation lorsque nécessaire. La chaleur stockée peut être relâchée lentement sans contrôle ou retenue dans un récipient étanche et isolé. Le stockage de l'énergie thermique rend possible l'emmagasinage de la chaleur durant une période qui peut varier d'une journée à une saison.⁷³

Les matières à forte inertie thermique comportent principalement la pierre, l'argile (sous forme de briques, de céramique ou de terre compactée), le béton, le verre (bloc épais) et l'eau.⁷⁴ Pour l'énergie provenant du solaire thermique actif, les deux masses les plus couramment utilisées sont la dalle de béton intégrée au bâtiment et le réservoir d'eau. Le procédé repose sur un transfert d'énergie entre la source de chauffage et un liquide caloporteur. Ce dernier circule dans des tuyaux serpentant la dalle de béton ou l'intérieur du réservoir d'eau. La masse thermique à l'intérieur du bâtiment, tout comme certaines mesures du solaire passif, a pour avantage de réduire les écarts et changements rapides de température entre la nuit et le jour.

⁷³ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011.

⁷⁴ Perrier, Yves, 2009.

Bonnes pratiques

L'économie d'énergie dans les bâtiments peut certes passer par des innovations technologiques, mais à la base, il incombe aux utilisateurs d'adopter de bonnes pratiques pour que cette économie soit maximale. C'est en effet dans les choix qu'ils feront et dans les gestes qu'ils poseront que l'économie d'énergie pourra être durable. Compte tenu que les principales dépenses énergétiques liées aux bâtiments résident dans chauffage de ces derniers, dans l'eau chaude consommée et dans l'utilisation des appareils qui s'y trouvent, les principales actions à poser, bien que non exhaustives, doivent toucher l'un de ces aspects. On pense par exemple à :

- Utiliser des thermostats programmables ou abaisser le chauffage (durant la nuit ou lorsqu'on quitte)
- Isoler adéquatement le bâtiment
- Utiliser des électroménagers à faible consommation d'énergie (certification Energy Star)
- Isoler son chauffe-eau
- Prendre une douche rapide plutôt qu'un bain et utiliser une douche à débit réduit pour économiser l'eau chaude
- Etc.⁷⁵

La liste des bonnes pratiques peut être longue puisqu'il existe une multitude d'autres actions. Au départ, c'est la conscientisation des usagers qui leur permettra d'identifier, dans le cas qui leur est propre, quelles sont les autres bonnes habitudes qu'ils peuvent adopter.

⁷⁵ Écohabitation, n.d.

Mesures applicables aux bâtiments : Solaire passif

Description

Le Québec, tout comme la région des Laurentides, est un endroit idéal pour exploiter l'énergie solaire passive puisqu'il jouit d'un climat à la fois froid et ensoleillé. Communément appelé le solaire passif, cette technique d'exploitation de l'énergie du soleil ne requiert pas d'équipement mécanique ou électrique. On fait également référence à l'architecture bioclimatique lorsqu'on aborde la question du solaire thermique passif. L'objectif principal du solaire passif repose sur le contrôle du rayonnement solaire sur le bâtiment afin de réduire la consommation énergétique du chauffage, de la climatisation et de l'éclairage.

La théorie du solaire passif se base sur la course du soleil et présente les relations entre le milieu récepteur et le rayonnement solaire. À la base, il faut savoir que durant le solstice d'été le soleil atteint son plus haut point dans le ciel à 65 degrés environ pour la région des Laurentides qui se situe au 45^{ième} et 46^{ième} degrés de latitude.⁷⁶ Durant la période estivale, l'objectif est d'éviter la surchauffe et d'opter pour une climatisation passive. À l'hiver, le soleil a une plus courte trajectoire qu'à l'été et au solstice d'hiver, il atteint à son plus bas niveau à environ 25 degrés à midi. À cette période de l'année, il faut maximiser l'utilisation du rayonnement solaire pour les bâtiments de sorte à éclairer et chauffer naturellement l'espace intérieur. Le solaire passif doit donc répondre à un besoin de fraîcheur à l'intérieur des bâtiments durant l'été et à un besoin de chauffage durant l'hiver.

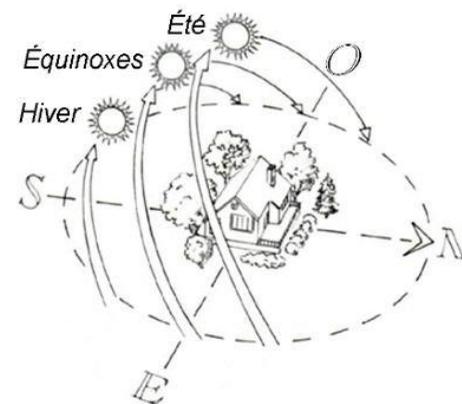


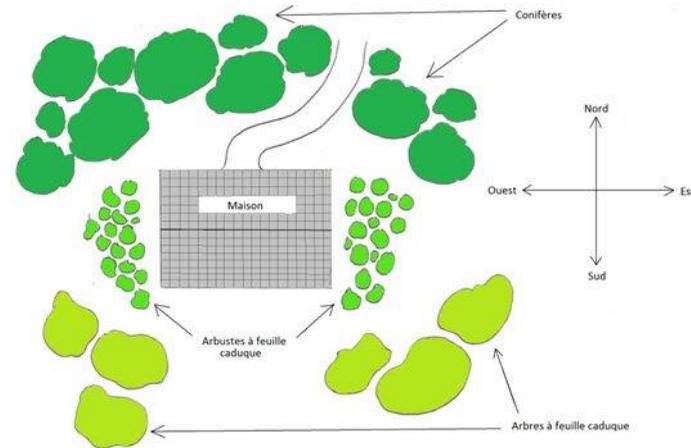
Figure 8 : Parcours du soleil selon les saisons⁷⁷

La fraîcheur

L'été, l'objectif est de favoriser une climatisation naturelle afin de limiter la surchauffe des pièces du bâtiment. L'architecture bioclimatique proposera des aménagements paysagers et des dispositifs limitant la pénétration de rayons du soleil. En termes d'aménagement paysager, la présence de feuillus caducs au sud permettra l'été de limiter la portée du rayonnement solaire sur le bâtiment mais de laisser à l'hiver les rayons atteindre la surface du bâtiment (murs et fenêtres). À cet effet, certaines espèces de feuillues sont à privilégier et d'autres à éviter notamment en fonction de la répartition des fenêtres et des dimensions du bâtiment. Les conifères seraient à privilégier du côté nord car ils permettront de protéger le bâtiment des grands vents et intempéries à l'été mais surtout durant l'hiver.

⁷⁶ Funk, David, 2010

⁷⁷ Ibid.



© Brendan Kernalleguen pour Écohabitation

Figure 9 : Aménagement paysager et orientation du bâtiment⁷⁸

Il faut également prévenir la surchauffe durant l'été pour les bâtiments qui comptent en plus une grande surface vitrée du côté ouest et est en limitant l'intrusion des rayons solaires à l'aide par exemple de pellicules électrochromiques. D'autre part, différents dispositifs d'ombrage extérieurs, intérieurs, fixes ou amovibles peuvent limiter l'effet de surchauffe.⁷⁹ Les dispositifs extérieurs peuvent être un débord de toit, des structures fixées horizontalement voire verticalement au-dessus de la fenêtre et parfois devant celle-ci tel que le permettent les volets rétractables discutés précédemment. Ces dispositifs peuvent être en bois, en métal et même en toile et, ils peuvent être fixes ou amovibles. Il s'agit de la façon la plus efficace de réduire les gains solaires directs par rapport aux dispositifs intérieurs.

⁷⁸ Écohabitation, n.d.

⁷⁹ Robertson, Keith et Andreas Athienitis, 2010.



Crédit : SCHL

Figure 10 : Dispositifs d'ombrage extérieur : maison Éco Terra⁸⁰

Les dispositifs intérieurs reposent principalement sur des stores ou des rideaux et idéalement de couleur pâle afin d'augmenter l'albédo de la matière. Néanmoins, de 20 à 30% du rayonnement solaire incident sous forme de chaleur parviendra à l'intérieur.⁸¹

Le chauffage

Selon des chercheurs du domaine de l'architecture, afin d'avoir un système solaire passif efficace durant l'hiver, il faut optimiser quatre opérations soit de :

- Capturer la chaleur du rayonnement solaire,
- Stocker l'énergie thermique dans une masse,
- Conserver la chaleur par l'isolation,
- Distribuer dans le bâtiment celle-ci.⁸²

⁸⁰ Paradis Bolduc, Lydia et Emmanuelle Walter, 2012

⁸¹ Ibid.

⁸² Demers, C. et al., 2004

Le premier élément est le captage de la chaleur issu des rayonnements solaires qui est déterminé par « la géométrie solaire et la qualité de la source solaire en termes de rayonnement et de disponibilité ». ⁸³ Le rayonnement solaire dans la région des Laurentides est élevé et se compare avantageusement aux rayonnements de plusieurs pays européens qui sont des leaders dans le domaine des énergies solaires. Avec une moyenne de 3,5 kWh/m²/an (surface horizontale) d'énergie gratuite, les bâtiments de la région peuvent tirer profit de cette énergie pour répondre au 4500 DJCA (degrés-jours de chauffage annuels, base 18°C).

Le second élément, au centre du concept d'habitation solaire passive, fait appel à l'orientation du bâtiment et à la répartition des fenêtres sur celui-ci. Dès lors, un bâtiment qui aura une longue façade exposé au sud pourra maximiser le potentiel de captation de la chaleur avec une fenestration généreuse. « Les bâtiments ayant un axe longitudinal est-ouest offrent davantage de possibilité de chauffage solaire. » ⁸⁴ La conception du bâtiment et son emplacement, dont il était question précédemment, sont donc intimement liés à l'utilisation du solaire passif.

De plus, les fenêtres doivent être réparties principalement sur le côté sud du bâtiment et doivent être hermétiques et performantes énergétiquement. ⁸⁵ Le choix des portes et des fenêtres lors de la conception des bâtiments (tel que décrit dans la section précédente) s'avère donc un aspect important pour maximiser l'effet du solaire passif.

Afin que la lumière pénètre facilement l'hiver, les arbres côté sud doivent être des feuillus caducs. Quant aux fenêtres, l'aire de vitrage orientée au sud devrait être équivalente à 10 à 15% de l'aire de plancher chauffée. Dans le cas du potentiel solaire passif, la SCHL mentionne que ce ratio est plus adéquat que celui relatif au pourcentage du mur extérieur car ce dernier n'inclus pas ce qui se passe au-delà du mur. Il faut néanmoins retenir que le rapport fenêtrage-portes-murs est un indicateur clés de la performance énergétique selon le nouveau code national de l'énergie pour les bâtiments (CNÉB).

Le stockage de l'énergie dans une masse thermique est aussi un aspect significatif dans l'utilisation du solaire passif. On se souviendra qu'une structure de pierres, d'argile, de béton, de verre ou une masse d'eau aura pour rôle d'emmagasiner la chaleur reçue durant le jour pour la relâcher durant la nuit, limitant ainsi les écarts de température intérieure. Pour maximiser le stockage de l'énergie thermique provenant du solaire passif, la masse thermique destinée à emmagasiner la chaleur à l'intérieur du bâtiment doit être exposés aux rayons du soleil, idéalement au sud, et augmenter en fonction de l'aire de vitrage. ⁸⁶

Comme pour les fenêtres, l'enveloppe du bâtiment revêt une importance car les gains thermiques générés par des fenêtres performantes combinés à une masse thermique seront inutiles si les murs et la toiture facilite l'échange de chaleur ou fraîcheur par conduction et que l'on compte de nombreux ponts thermiques. Enfin, les espaces-tampons et l'aménagement paysager autour du bâtiment sont des éléments à ne pas négliger afin de favoriser la conservation de la chaleur. ⁸⁷

⁸³ Ibid.

⁸⁴ Robertson, Keith et Andreas Athienitis, 2010

⁸⁵ Drolet, Benoit, 2007

⁸⁶ Robertson, Keith et Andreas Athienitis, 2010

⁸⁷ Demers, C. et *al*, 2004

En somme, les principes fondamentaux du solaire passif sont d'atténuer les déperditions de chaleur des fenêtres, de favoriser les gains solaires élevés tout en ayant un bâtiment bien isolé avec une masse thermique suffisante pour stocker les gains solaires et prévenir la surchauffe.⁸⁸

L'éclairage

L'éclairage naturel est aussi une forme de contribution du solaire passif et permet de réduire à la source la consommation énergétique. Comme pour le chauffage, l'architecture des bâtiments, leur géométrie et les ouvertures pourront faire en sorte d'utiliser uniquement l'éclairage naturel du soleil durant le jour dans les bâtiments résidentiels et réduire la consommation d'énergie des bâtiments institutionnels et commerciaux. En été, le remplacement de l'éclairage électrique par celui naturel diminue l'apport thermique des lumières et réduit le besoin en climatisation.⁸⁹ Dans les immeubles existants, la modification de l'enveloppe et des ouvertures du bâtiment, et le choix du mobilier et de la peinture de couleur pâle peuvent favoriser une réduction de la consommation de l'éclairage artificiel et améliorer la luminosité des espaces de travail. « Pour les nouveaux bâtiments [institutionnels et commerciaux], les connaissances et technologies actuelles permettent de réduire la consommation électrique associée à l'éclairage artificiel de 80 %. »⁹⁰

⁸⁸ Robertson, Keith et Andreas Athienitis, 2010

⁸⁹ Funk, David, 2010.

⁹⁰ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011

La maison passive en bref

Écohabitation résume les caractéristiques de la maison passive en présentant 10 règles ⁹¹ :

- La façade de la maison passive doit être orientée plein sud.
- Le bâtiment doit prendre la forme d'un rectangle est-ouest, le plus étiré possible, afin de maximiser la surface orientée au sud.
- Orienter 60% des fenêtres au sud et minimiser la fenestration au nord.
- Placer les pièces de service (buanderie, garage, rangements, salles de bains) au nord, et les pièces de vie (salon, cuisine) au sud.
- Choisir des matériaux, notamment pour les murs intérieurs, ayant une masse thermique importante (brique, béton, pierre...).
- Il ne faut pas d'obstacles (murs, meubles hauts et volumineux...) entre la masse thermique (le mur du fond de la pièce de vie par exemple) et le rayonnement solaire.
- La masse thermique doit idéalement être de couleur foncée et mate (non brillant, non lustré), pour permettre une meilleure absorption de l'énergie solaire. Le tapis réduit la capacité d'absorption des planchers utilisés comme masse thermique.
- Il est conseillé de planter des arbres feuillus côté sud, afin que le soleil passe à travers les branches l'hiver, mais qu'il soit tamisé l'été. Prévoir des dépassements de toit ou des auvents afin de protéger la maison du risque de surchauffe.
- La maison doit présenter une excellente étanchéité à l'air (pour se protéger de l'air venu de l'extérieur) et être munie d'un pare-vapeur (pour protéger les murs de l'humidité venue de l'intérieur).
- La maison doit bénéficier d'une hyper-isolation.

⁹¹ Écohabitation, n.d.

Avantages et inconvénients

Selon le document de la SCHL, il est possible pour une maison individuelle passive d'abaisser de 30 à 50% son énergie de fonctionnement grâce à la superficie de fenestration et à l'utilisation de masse thermique au fin de stockage de l'énergie. Écohabitation va plus loin en mentionnant qu'une maison de conception solaire passive pourra consommer jusqu'à 90% moins d'énergie annuellement que la consommation d'une maison unifamiliale québécoise moyenne.⁹² Considérant que le chauffage est la portion de consommation d'énergie la plus importante pour les secteurs résidentiel, commercial et institutionnel, le solaire passif peut représenter des économies importantes. D'ailleurs, en comparaison aux autres systèmes de chauffage, celui du solaire passif est peu coûteux, et sa durée de vie est aussi longue que celle du bâtiment.

Il faut néanmoins soulever certains inconvénients dont l'adaptation du bâtiment et de la végétation aux règles prescrites. Par exemple, les pièces au nord auront moins d'éclairage naturel bien qu'il est possible d'avoir des fenêtres réduites et très performantes qui présenteraient de faibles pertes thermiques. De plus, les problèmes de surchauffe sont courants et méritent une attention particulière dès la planification des ouvertures et fenestrations du bâtiment. Néanmoins, les techniques reliées au solaire passif sont assez bien connues, et les contraintes techniques ne sont pas particulièrement complexes à contourner. Les défis qui se présentent sont plutôt reliés à l'aménagement des terrains, à l'orientation des bâtiments et aux possibilités de conception de ceux-ci en regard des règlements normatifs et discrétionnaires des municipalités.

⁹² Écohabitation, n.d.

En effet, une limite importante à l'application des principes du solaire passif se présente pour les bâtiments dans les villes compacts et denses. Les terrains de faible superficie, l'espace limité pour la végétation et l'environnement bâti seront des contraintes tant pour les constructions existantes que pour les nouvelles. Enfin, des lois provinciales et règlements d'urbanisme municipaux peuvent limiter la faisabilité de certains principes. Par exemple, un bâtiment classé patrimonial pourrait se voir interdire certaines modifications architecturales. On peut aussi soulever des limitations qu'imposerait un règlement sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale (PIIA) ou encore un règlement de lotissement. Il est donc important d'être conseillé par des professionnels et de s'informer auprès de sa municipalité.

Recommandations

L'un des enjeux clés est d'amener les principes du solaire passif à un standard de construction, autant faire que se peut, pour les nouveaux bâtiments et particulièrement pour les bâtiments institutionnels et commerciaux. Dès lors, l'ensemble des acteurs doivent être proactifs en matière de sensibilisation et d'information afin de faire connaître les grands principes. Pour leur part, les paliers gouvernementaux, les municipalités et certaines organisations doivent s'imposer par la mise en place d'incitatifs et de mesures coercitives.

Afin de réduire la consommation énergétique des bâtiments des différents secteurs d'activité, le gouvernement fédéral et provincial doivent poursuivre leurs programmes de subvention. Il est souhaité que ces programmes soient davantage connus de ceux pouvant en bénéficier. D'autre part, le gouvernement provincial doit maintenir le cap sur l'intégration de la maîtrise de l'énergie tel qu'il l'a fait dans le cadre du nouveau code national du bâtiment du Québec

(CNBQ, 2010). Néanmoins, il est reconnu que des normes plus exigeantes sont présentes dans d'autres documents tels que celui du code national de l'énergie pour les bâtiments (CNÉB, 2011) ou encore de certaines certifications (LEED, BREEAM).

Par ailleurs, les municipalités doivent jouer un rôle clés dans l'intégration des préoccupations énergétiques auprès des résidents, citoyens corporatifs et promoteurs-constructeurs sur leur territoire. En effet, une approche de sensibilisation et d'information sur les bonnes pratiques à adopter s'avère un premier élément. Le second porte sur l'accès à des aides financières permettant d'inciter les acteurs locaux à poser des gestes. Le troisième point repose sur une approche coercitive qui vise à intégrer aux outils de planifications et de réglementations des

objectifs et des mesures ayant pour effet de réduire la consommation d'énergie. Cette approche peut prendre position via les outils de planification (schéma d'aménagement et de développement, plan d'urbanisme) pour ensuite s'inscrire dans le cadre d'une révision des règlements d'urbanisme car autant le règlement de zonage, de lotissement et de construction peut être concerné. À titre d'exemple, le règlement de construction en milieu municipal fait souvent référence aux normes du CNBQ. Il pourrait également pour certains bâtiments adresser des normes plus strictes (enveloppe, fenestration, toit, etc.) optimisant l'utilisation de l'énergie solaire passive en s'appuyant sur les normes de certaines certifications ou sur le CNÉB afin de rendre les bâtiments plus performants énergétiquement.

Mesures applicables au secteur industriel : Rejets thermiques

Description

Les rejets thermiques industriels, appelés également chaleur fatale ou chaleur résiduelle, présentent des potentiels importants de récupération et de valorisation énergétiques. Les industriels investissent souvent dans la réduction de la consommation énergétique, mais peu d'efforts sont mis de l'avant dans la récupération et la valorisation.⁹³ À cet effet, deux études publiées par le « *US Department of Energy* » stipulent que 20% à 50% de l'énergie consommée est perdue soit en gaz et liquides chauds, par conduction thermique, par convection et radiation d'équipements chauds, ainsi que par l'émission de vapeurs.⁹⁴ Une étude canadienne repousse même ce pourcentage de rejets thermiques industriels non-valorisés à 70%.⁹⁵

Le degré d'inefficacité des procédés industriels est à l'origine des pertes de chaleur. La chaleur fatale peut donc être récupérée et valorisée à différentes fins. Le tableau suivant présente quelques exemples de sources et d'utilisation de ces rejets.

Tableau 3 : Exemples de sources et d'utilisation des rejets thermiques industriels⁹⁶

Sources de rejets thermiques et origines		Utilisation des rejets thermiques
Échappement de combustion	Four de fusion du verre Four à ciment Fumée d'incinérateur Four à réverbère en aluminium	Préchauffage de l'air Préchauffage de l'eau Préchauffage de charges Production d'électricité Production de vapeur Chauffage des locaux Transfert à des flux de procédés liquides ou gazeux
Effluents gazeux	Four à arc électrique en acier Four à réverbère en aluminium	
Eau de refroidissement	Fours Compresseurs à air Machines de combustion interne	
Perte des équipements par conduction, convection et radiation	Cellules « Hall-Héroult »*	
Perte issue du chauffage des produits par conduction, convection et radiation	Résidus de fourneaux Coke chaud	

Le « Plan stratégique 2009-2013 du Programme industrie » de Canmet Énergie rapporte qu'on peut subdiviser en six catégories les moyens de gérer les rejets thermiques⁹⁷ :

- Réduction à la source (amélioration de l'exploitation, modifications au procédé);

⁹³ Khennich, 2010

⁹⁴ BCS, 2008; Energetics 2004

⁹⁵ Stricker et al., 2006

⁹⁶ BCS, 2008

⁹⁷ CanmetÉnergie – Ressources naturelles Canada, 2008

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

- Récupération de la chaleur perdue pour combler directement ou indirectement les demandes de chaleur du procédé (utilisation d'échangeurs de chaleur, production de vapeur, etc.);
- Récupération de rejets thermiques pour produire de l'électricité (cogénération);
- Amélioration de la qualité de la chaleur (température) pour répondre aux demandes du procédé;
- Récupération de rejets thermiques pour créer du froid (ou de la chaleur et du froid);
- Absence de solution, tant technique qu'économique (véritable rejet thermique).

Selon les pays ou les études réalisées, il existe différentes classifications des rejets thermiques industriels. Le *US Department of Energy*, par exemple, identifie trois paliers en fonction de leur température : la haute température ($T > 649^{\circ}\text{C}$), la moyenne température ($232^{\circ}\text{C} < T < 650^{\circ}\text{C}$) et la basse température ($T < 232^{\circ}\text{C}$). Dans le cadre de ce document, c'est la classification de la firme québécoise INNOVAGRO consultants qui a été considérée. Il y a donc trois catégories de chaleur, soit la chaleur résiduelle provenant d'effluents liquides chauds (eaux chaudes) et la chaleur sous forme de gaz qui se divise en deux catégories de température selon qu'elle soit inférieure ou supérieure à 177°C .

Maturité

L'étude réalisée par INNOVAGRO consultants pour le compte du « Groupe de travail sur le milieu rural comme producteur d'énergie » est celle qui trace un portrait le plus récent des potentiels de récupération et de valorisation des rejets thermiques industriels au Québec. Elle présente également certaines expériences qui ont vu le jour au cours des dernières années. Contrairement à l'Europe de l'ouest où la valorisation des rejets thermiques industriels est

pratiquée depuis de nombreuses années, le Québec industriel a fait ses premiers pas dans le domaine il y a une dizaine d'années.

En regard d'un certain nombre de projets répertoriés au Québec, réalisés ou en cours de réalisation, on constate que les rejets thermiques profitent principalement aux serres et aux piscicultures. Dans la majorité des cas, ces entreprises récupèrent les rejets thermiques liquides (eaux de refroidissement) afin de préchauffer l'eau ou de chauffer l'air des serres.

Tableau 4 : Exemples de projets de récupération et de valorisation de rejets thermiques au Québec⁹⁸

Localisation	Statut	Activité	Partenaire
Saguenay	En opération	Serres Sagami	Elkem Métal
Saint-Félicien	En opération	Salmothem (pisciculture)	FibreK
New Richmond	En opération	Serres Jardin Nature	Smurfit-Stone
Kingsey Falls	En opération	Serres Patenaude	Cascades
Témiscamingue	Projet en cours	Pisciculture	Tembec
Saint-Félicien	Projet en cours	Parc agrothermique (serres)	Cogénération
Senneterre	Projet en cours	Parc agrothermique (serres et pisciculture)	Cogénération
Wemindji	Projet en cours	Serres	Incinérateur
Sorel-Tracy	Étude	Chauffage communautaire Chauffage de serres Séchage bois, grains, etc.	Rio Tinto, Fer et Titane (RTFT)

Une étude américaine souligne l'importance de poursuivre la recherche et le développement afin d'optimiser les systèmes de récupération. L'accompagnement par des ressources

⁹⁸ Brochu, M., 2012; INNOVAGRO consultant, 2010

professionnelles, l'accès à des outils d'aide à la décision et des incitatifs (économiques) stimulera le développement de nouveaux projets. L'augmentation de projets de récupération et de valorisation des rejets thermiques pourrait engendrer une diminution des coûts, notamment pour le matériel d'échange de chaleur, pour l'amélioration de l'efficacité du transfert de chaleur et pour la récupération de la chaleur à basse température. À cet effet, le *US Department of Energy* suggère également d'orienter la recherche afin de développer des utilisations variées de la chaleur à basse température. En considérant l'importante quantité de chaleur à basse température disponible au Québec, des technologies innovantes permettraient à un plus grand bassin d'entreprises d'exploiter ce potentiel et d'accroître leur efficacité énergétique. Le développement de technologies et d'équipements adaptés à de plus petites productions permettraient de rendre plus courante la pratique de la récupération de chaleur industrielle. De plus, le design plus compact de certains équipements de récupération contribuerait à répondre au manque d'espace disponible dans certains bâtiments industriels. Enfin, il serait souhaitable de concevoir des équipements capables de répondre à des fluctuations dans la fréquence d'usage et à des variations de température.

Outre les défis technologiques, les outils permettant d'encadrer le développement de cette technologie sont aussi manquants. Selon ce que rapporte le Plan stratégique – Programme industrie 2009-2013 de Canmet ÉNERGIE (Ressources naturelles Canada), le défi réside dans l'identification des applications et des technologies les plus appropriées.⁹⁹ Selon ce plan, Canmet Énergie considère que la valorisation de l'énergie des procédés industriels est une priorité. Elle se penche d'ailleurs actuellement sur la création d'un outil de prise de décision visant à déterminer les meilleures solutions.

⁹⁹ Canmet Énergie – Ressources naturelles Canada, 2008

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Les outils d'aide à la prise de décision seront certainement utiles dans le choix de la technologie à adopter pour récupérer la chaleur des rejets thermiques. Les éléments à considérer sont certes très nombreux et doivent sans aucun doute dépendre des besoins de l'entreprise (ou du réseau d'entreprises) qui bénéficiera de ces rejets. Néanmoins, on peut chercher à évaluer la disponibilité de ces rejets thermiques (type et quantité de rejets) dans la région, ce qui s'avère déjà un bon point de départ en termes de considérations pour le développement de la filière énergétique.

Le type d'industrie installée dans un secteur fait nécessairement varier les sortes de rejets disponibles. À cet effet, le groupe INNOVAR consultant a réalisé une étude en 2010 présentant le potentiel énergétique des rejets industriels au Québec. Cette dernière visait notamment à caractériser la valeur énergétique des rejets thermiques industriels au Québec. Il s'agissant en quelque sorte de donner un aperçu des rejets thermiques, en qualité et en quantité, selon les secteurs d'activité industriels, les entreprises et les régions, et de voir de quelle façon leur valorisation pouvait constituer un levier pour revitaliser certaines régions rurales ou éloignées.¹⁰⁰ Le développement de cette filière dans les Laurentides dépend donc en partie du type et de la taille des industries sur son territoire (émettrices de rejets thermiques), mais aussi du potentiel pour le développement d'autres entreprises (utilisatrices de rejets thermiques).

Le tableau suivant présente le potentiel de récupération et de valorisation des rejets thermiques au Québec selon différentes classes industrielles (en fonction de leur code

¹⁰⁰ INNOVAGRO consultant, 2010

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

SCIAN). Il présente les données par type de rejets, selon qu'il s'agisse de liquides chauds ou de gaz de haute ou de basse température. Le tableau présente également la quantité d'énergie consommée par ces mêmes secteurs, de sorte qu'il est aussi possible d'établir un ratio entre l'énergie rejetée et celle utilisée. Ce ratio nous informe sur l'efficacité énergétique de chacun des secteurs d'activité et nous indique là où se trouvent les plus grands potentiels de récupération de chaleur.

Tableau 5 : Rejets thermiques des secteurs industriels au Québec et leur consommation énergétique totale en 2008 (TJ/an) + production d'électricité d'origine thermique ¹⁰¹

Secteurs d'activité	Rejets thermiques					Énergie consommée 2008 (TJ/an)	% énergie rejetée sur énergie consommée (2008)
	Effluents liquides chauds (TJ/an)	Gaz chauds (<177°C) (TJ/an)	Gaz chauds (>177°C) (TJ/an)	Potentiel total de rejets thermiques (TJ/an)	% par SICAN par rapport au total industries		
Usine de pâte	13152	25396	3386	41934	18	84654	50
Usines de papier	13091	34538	6685	54314	24	111414	49
Usines de carton	365	1931	241	2537	1	24138	11
Raffineries de pétrole	0	26089	28698	54786	24	86962	63
Fabrication de produits pétrochimiques	0	234	234	467	0	9734	5
Fabrication de gaz industriels	0	763	297	1059	0	4237	25
Fabrication d'alcalis et de chlore	2258	281	84	2624	1	2814	93

Fabrication produits chimiques inorganiques de base	0	1829	1317	3146	1	9145	34
Fabrication autres produits chimiques organiques de base	0	173	99	272	0	3096	9
Fabrication de produits en verre (verre acheté)	0	631	896	1527	1	469	326
Fabrication de ciment	0	5545	1971	7516	3	12322	61
Fabrication de chaux	0	2464	999	3463	2	6659	52
Production primaire d'alumine et d'aluminium	2223	25894	1726	29843	13	172628	17
Fonderies de fer et d'acier	0	359	304	664	0	1497	44
Fonderies de métaux non ferreux (sauf l'aluminium)	0	12256	5752	23008	10	33836	68
Total industries	31088	143384	52689	227161	100	563604	40,30
soit en % de l'énergie consommée	5,5	25,4	9,3	40,30			
Production d'énergie	38145	8074	1	46220			
Grand total	69233	151458	52690	273380			

¹⁰¹ Ibid.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

À la lecture des résultats, on peut constater que les rejets thermiques de ces 16 différents secteurs industriels représentent 40% de la consommation énergétique totale. Autrement dit, sur l'énergie consommée par l'ensemble des industries, 40% est perdue et pourrait être récupérée pour fin de valorisation. Selon les secteurs, cette quantité est particulièrement importante. Les plus grands producteurs de rejets thermiques sont en effet les raffineries de pétrole (24%), les usines de papier (24%), les usines de pâte (18%), la production primaire d'alumine et d'aluminium (13%) et les fonderies de métaux non ferreux (sauf l'aluminium) (10%). Ces mêmes groupes s'avèrent être également les plus gros consommateurs. À l'échelle de la province, le potentiel énergétique des rejets thermiques industriels représente 15,3% de la totalité de l'énergie consommée. Il s'agirait d'un « gisement énergétique » d'une valeur de 2,9 milliards de dollars pour l'année 2008.¹⁰² Ce gisement énergétique se trouve principalement sous forme de gaz chauds ayant une température inférieure à 177°C. En effet, plus de 25% de l'énergie consommée est perdue sous cette forme, ce qui représente près des deux tiers de l'ensemble des rejets thermiques.

Puisque toutes les régions administratives du Québec ne comportent pas le même nombre et le même type d'industries, elles n'ont certes pas le même potentiel pour la valorisation énergétique. Le tableau 6 présente les potentiels énergétiques des rejets thermiques industriels et de la production d'électricité thermique par région administrative.

Tableau 6 : Potentiel énergétique des rejets thermiques industriels et production d'électricité thermique par région administrative¹⁰³

Régions administratives		Effluents liquides chauds (TJ/an)	Gaz chauds (T°C <177°C) (TJ/an)	Gaz chauds (T°C >177°C) (TJ/an)	Grand Total (TJ/an)	% régional par rapport au Québec
1	Bas Saint-Laurent	910	6 319	1 246	8 476	3,11
2	Saguenay Lac St.-Jean	7 559	18 630	6 005	32 194	11,82
3	Capitale Nationale	3 058	10 756	2 226	16 040	5,89
4	Mauricie	6 720	12 577	1 971	21 268	7,81
5	Estrie	1 931	9 525	1 750	13 205	4,85
6	Montréal	0	19 916	17 849	37 765	13,87
7	Outaouais	3 593	6 718	1 097	11 408	4,19
8	Abitibi-Témiscamingue	4 960	8 841	4 125	17 926	6,58
9	Côte-Nord	2 389	11 994	1 139	15 522	5,7
10	Nord du Québec	1 270	0	2 117	3 387	1,24
11	Gaspésie - Îles de la Madeleine	0	0	0	1	0
12	Chaudière-Appalaches	19	12 868	13 237	26 123	9,59
13	Laval	0	0	0	0	0
14	Lanaudière	285	2 908	1 021	4 214	1,55
15	Laurentides	61	1 275	305	1 641	0,6
16	Montérégie	1 603	13 255	5 473	20 332	7,47
17	Centre-du-Québec	34 510	7 247	1 093	42 849	15,73
Total		68 868	142 829	60 653	272 350	100

¹⁰² Ibid.

¹⁰³ Ibid.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Avec 1 641 TJ/an, la région des Laurentides est l'une de celles qui possèdent le plus faible potentiel de valorisation des rejets thermiques industriels et de production d'électricité. Celui-ci ne représente en effet que 0,6% du potentiel total québécois. Le tableau suivant présente les entreprises des Laurentides qui possèdent le potentiel de valorisation énergétique le plus intéressant en termes de quantité, de qualité (température) et de disponibilité de chaleur.¹⁰⁴

Tableau 7 : Évaluation du potentiel de récupération et de valorisation des rejets industriels des entreprises sur le territoire des Laurentides¹⁰⁵

MRC	Ville	Secteur d'activité	Entreprise	Effluents liquides chauds (TJ/an)	Gaz chauds (T°C <177°C) (TJ/an)	Gaz chauds (T°C >177°C) (TJ/an)
Rivière-du-Nord	Saint-Jérôme	Usine de pâte à papier	Cascades Groupe Papiers Fins inc. Division Rolland	46,36	705,95	136,64
Argenteuil	Lachute	Usine de pâte à papier	Cascades Groupe Tissu	14,89	212,28	41,07
Argenteuil	Grenville-sur-la-Rouge	Usine de ciment	Colacem	-	357,03	126,95
Total				62,24	1275,26	304,67
Grand total				1641,17		

À l'instar de la province, les gaz chauds de température inférieure à 177°C sont ceux qui présentent le plus de pertes énergétiques potentiellement valorisables. Ces gaz représentent 77,7% du potentiel valorisable des rejets thermiques générés par ces trois entreprises

laurentiennes. Le potentiel de valorisation des gaz chauds de température supérieure à 177°C représente 19% (304,67 TJ/an), et celui des effluents liquides chauds est de 4% (62,24 TJ/an). À titre de comparaison, la disponibilité calorifique de ces trois entreprises, soit 1641,17 TJ/an, équivaut au chauffage annuel d'un peu plus de 25 000 maisons unifamiliales, en considérant qu'une maison unifamiliale consomme environ 150 GJ/an et que 65% de sa consommation énergétique sert au chauffage

Malgré qu'il soit faible dans les Laurentides, le potentiel énergétique issu de la valorisation des rejets thermiques industriels est, de façon générale, énorme. La promotion d'initiatives liées à la valorisation des rejets thermiques devrait être mise de l'avant, notamment afin mieux faire connaître les avantages qui y sont reliés. En plus de répondre aux orientations gouvernementales en matière de réduction de la consommation d'énergie et de réduction des émissions de GES dans le secteur industriel, la valorisation des rejets thermiques augmente la compétitivité des entreprises, d'autant plus que la période de retour sur investissement pour les équipements requis est généralement courte, et réduit la vulnérabilité de la volatilité de l'offre et du prix de l'énergie. Toutefois, il importe aussi de savoir qu'un tel projet nécessite une expertise externe (analyse détaillée, suivi durant et après la réalisation des projets, etc.)

La réalisation d'une étude régionale sur les entreprises et leurs besoins énergétiques ouvrirait la voie à l'implantation de nouvelles industries qui verraient alors un avantage à promouvoir leurs rejets thermiques. Dès lors, la complémentarité entre les entreprises émettrices d'énergie et les entreprises réceptrices deviendrait un des facteurs de la localisation sur le territoire et sans aucun doute un moteur pour le développement de la région.

¹⁰⁴ Ibid.

¹⁰⁵ Ibid.

Potentiels de remplacement énergétiques

Mesures applicables au secteur du transport

Les énergies d'origine fossile sont largement utilisées, à toute échelle et dans tout secteur. Au Québec, le pétrole représente 38% de l'énergie totale consommée, et une grande partie est utilisée pour le transport. En effet, 72% de la consommation pétrolière sert au secteur des transports. Ce secteur était responsable, en 2009, de 40% des émissions totales de GES de la province, ce qui se chiffrait à 35,6 tonnes d'éq. CO₂.¹⁰⁶ Dans ces circonstances, le Réseau des ingénieurs du Québec considère urgent de prendre un virage électrique. À cet effet, il souligne que «la balance commerciale avec l'électricité est demeurée stable de 1980 à 2005 avec un solde positif alors que celle liée au pétrole connaît des fluctuations qui ont tendance aujourd'hui à se situer plus vers le bas avec un solde négatif de -8 G\$ en 2005.»¹⁰⁷

L'électrification des transports, principalement des transports en commun, s'avère pratiquement incontournable pour plusieurs raisons. D'une part, on peut penser que la majorité des émissions de GES issues du transport proviennent des déplacements entre le lieu de résidence et le lieu de travail, principalement en régions urbaines et périurbaines, aux heures de pointes. L'offre de transport en commun est actuellement orientée sur quelques axes principaux, et souvent dans une seule direction, vers le centre-ville de Montréal. Dans

de nombreux cas, il peut alors être difficile d'éviter le recours à la voiture personnelle. Le transport en commun doit donc faire l'objet d'une attention particulière.¹⁰⁸

D'autre part, compte tenu que le Québec possède à la fois des industries de véhicules spécialisés pour les transports en commun et une expertise dans des technologies novatrices, il devient pertinent d'investir dans cette voie. Ainsi, si l'on tient compte de nos besoins et de nos ressources, on peut évoquer que l'augmentation des transports en commun en milieu urbain et périurbain ainsi que l'électrification de ces systèmes vont de pair.¹⁰⁹

Bien que le tissu industriel québécois n'inclue pas de constructeurs de véhicules personnels, l'électrification de ces derniers est aussi une tendance. En fait, des actions posées dans l'électrification des transports, qu'ils servent aux individus, aux collectivités ou aux marchandises, seraient bénéfiques. L'électrification des transports permet de réduire notre dépendance au pétrole, d'améliorer notre sécurité financière et d'améliorer notre bilan de GES, sans compter les effets sur la qualité de l'air, laquelle a un impact non négligeable sur notre santé.

¹⁰⁶ MRN, 2013

¹⁰⁷ Ibid.

¹⁰⁸ Ouellette, M., 2011

¹⁰⁹ Ibid.

En matière d'électrification des transports, de nombreux groupes et organisations travaillent à élaborer et à promouvoir de nouvelles technologies. Plusieurs solutions orientées en ce sens sont très prometteuses. Quant à l'effet sur la demande en électricité, la province dispose, selon le réseau des ingénieurs du Québec, d'une assez grande quantité d'électricité pour effectuer le virage de l'électrification des transports, et ce, sans avoir à construire de nouveaux barrages. Il semblerait que pour alimenter plus d'un million de voitures électriques, il faudrait moins de 2% de l'électricité consommée actuellement par les québécois.¹¹⁰

Véhicules personnels hybrides branchables ou tout électrique

Les voitures hybrides branchables ainsi que les voitures et scooters tout électriques présentent différentes caractéristiques qui peuvent s'avérer avantageuses selon les circonstances.

La voiture hybride branchable possède une petite batterie et deux moteurs, dont l'un est thermique et l'autre est électrique. Elle utilise 10 à 15 fois moins de carburant qu'une voiture à essence pour une autonomie de près de 600 km. Ce type de véhicule utilise l'électricité pour environ 80% du kilométrage parcouru. La voiture hybride a également l'avantage de pouvoir faire le plein aux stations-services en plus de nécessiter peu d'infrastructure de recharge. La technologie est bien adaptée aux vastes territoires et aux températures froides. Pour rouler

dans le contexte québécois, la voiture hybride branchable semble donc être une technologie idéale.¹¹¹

La voiture tout électrique offre un usage plus restreint que la voiture hybride. Son autonomie est en effet moindre que la précédente, de sorte qu'elle est mieux adaptée pour les flottes d'entreprises dont le périmètre d'intervention est limité. Les voitures électriques peuvent parcourir environ 120 à 160 km avec une seule charge, distance qui peut être réduite entre 90 et 120 km en hiver. Le coût de ces voitures est relativement élevé et le poids des batteries l'est également.¹¹² L'ensemble de ces caractéristiques fait de cette voiture un choix moins intéressant pour le citoyen qui se déplace fréquemment sur de moyennes ou longues distances.

Le scooter est quant à lui bien adapté au tout électrique. Il nécessite une petite batterie (pour un véhicule de faible poids) qui bénéficie d'une autonomie d'une soixantaine de kilomètres. Le scooter électrique peut atteindre 60 km/h, ce qui le rend, dans son ensemble, bien adapté aux déplacements en milieu urbain. Il est également avantageux financièrement puisque les économies de carburant qu'il génère épongent pratiquement le coût du scooter lui-même.¹¹³ Évidemment, le véhicule tout électrique n'émet aucun GES.

¹¹⁰ Langlois et Lavoie, 2011

¹¹¹ Ibid.

¹¹² Ibid.

¹¹³ Ibid.

Métros, tramways, trolleybus et autobus électriques

Les véhicules qui nécessitent des infrastructures fixes sont particulièrement propices à l'électrification. C'est le cas notamment des métros, des tramways et des trolleybus. Ces modes de transport ont démontré qu'ils étaient efficaces, mais ils sont coûteux. Certains d'entre eux sont par ailleurs accompagnés de nombreux fils, pour leur électrification, ce qui n'est pas sans conséquences sur le paysage urbain. C'est notamment le cas du trolleybus qui, justement à cause des fils, reçoit une certaine opposition de la population. Cette réticence vient aussi à cause des coûts élevés d'installation et d'entretien des caténaires. Quant aux autobus électriques, ils font tranquillement leur apparition au sein des municipalités. Leur utilisation est propice au transport urbain, dont le circuit est limité. De la même façon que pour les voitures, les autobus tout électriques répondent difficilement au transport interurbain.

Une technologie qui semble prometteuse, selon le réseau des ingénieurs du Québec, ce sont les autobus électriques biberonnés. Il s'agit d'autobus qui sont alimentés par des bornes de recharge rapide, placées à certains arrêts le long du parcours. Ces autobus peuvent parcourir une distance de 10 à 15 km avant d'être rechargé. Cette technologie rend possible l'électrification complète d'un parc d'autobus urbains, sans fils au-dessus des rues. La STM et la STL regardent cette technologie de près.¹¹⁴

¹¹⁴ Ibid.

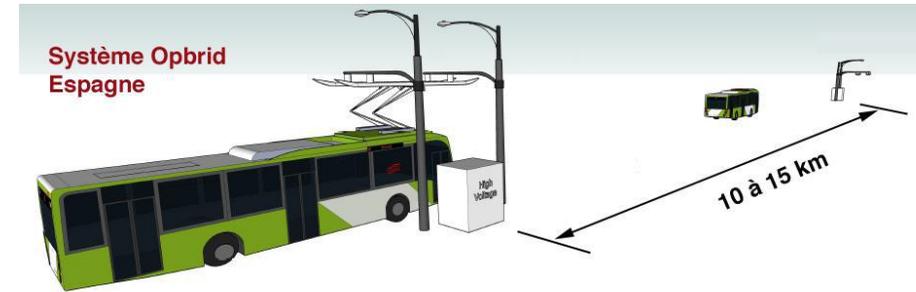


Figure 11 : Système d'autobus électrique biberonné¹¹⁵

¹¹⁵ Ibid.

Monorail rapide suspendu



Figure 12 : Monorail rapide suspendu ¹¹⁶

Une autre technologie qui pourrait être envisagée en matière de transport collectif interurbain est le monorail rapide suspendu. Celui-ci a l'avantage de pouvoir à la fois assurer le transport de personnes et celui de marchandises.

¹¹⁶ Langlois, 2011

Le monorail rapide suspendu remplacerait avantageusement un projet de TGV reliant Montréal-Québec. Les calculs qui ont été faits à propos d'un TGV démontrent que le projet serait très coûteux, et n'auraient que très peu d'effet pour réduire les émissions de GES liées au transport. En effet, les coûts exorbitants de la seule construction d'une ligne Montréal-Québec pourrait atteindre près de 9G\$, pour ne retirer de la route que 15 000 personnes par jour. En comparaison, une ligne Tours-Bordeaux, en France, anticipe un achalandage de 50 000 personnes par jour. Un projet Montréal-Québec n'engendrerait une diminution que de 0,5% des GES liés au transport. Par ailleurs, il serait impensable qu'un projet de TGV au Québec puisse desservir les régions, sans compter qu'un TGV est très peu compatible avec la neige et nos hivers rigoureux.¹¹⁷

En comparaison, le monorail rapide suspendu offre des performances tout aussi intéressantes qu'un TGV, mais semble mieux adapté à la réalité québécoise. Il a notamment l'avantage d'utiliser un système de rails recouverts, de sorte qu'il n'est pas soumis aux aléas des accumulations de neige. Il peut monter des côtes contrairement au TGV de sorte qu'il offre une plus grande souplesse pour localiser son circuit et qu'il n'est pas nécessaire de tout retravailler le sol pour que le terrain soit plat. Outre ces avantages qui le rendent plus approprié à la situation du Québec, le monorail rapide suspendu coûterait trois fois moins cher que le TGV pour la même ligne Montréal-Québec. Ce coût moindre permettrait alors d'élaborer un réseau régional, correspondant mieux aux besoins de la province, moins densément peuplée.

En termes techniques, le monorail rapide est constitué de navettes pouvant transporter 60 passagers, ou des marchandises jusqu'à un poids de 15 tonnes. À l'aide de 16 moteurs-

¹¹⁷ Ibid

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

roues, le monorail peut atteindre sa vitesse de 250 km/h en 20 secondes.¹¹⁸ Il peut par ailleurs être utilisé sur de courtes distances; certaines grandes villes du monde en utilisent à l'échelle urbaine. Bref, le monorail rapide suspendu répondrait bien à notre faible densité de population, s'adapterait bien à nos conditions climatiques et contribuerait également au développement des régions.

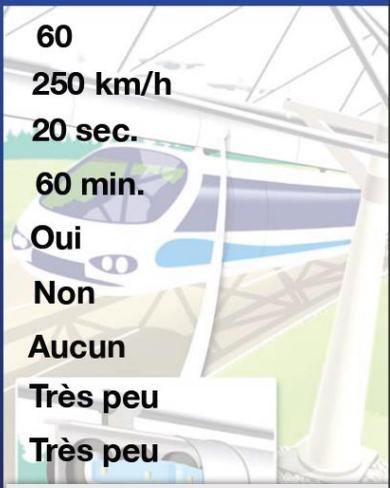
	<p>360 320 km/h 8 min. 56 min. Non Oui Beaucoup Beaucoup Beaucoup</p>	<p>Places Vitesse Temps d'accélé. Québec-Montréal Monter les côtes Déneigement Viaducs Travaux au sol Expropriations</p>	
Québec-Montréal ≈ 9 G\$	COÛTS		Québec-Montréal ≈ 3 G\$
NON	RÉGIONS		OUI

Figure 13 : Comparaison entre le TGV et le monorail rapide suspendu pour une ligne reliant Montréal-Québec.¹¹⁹

¹¹⁸ Ibid.

¹¹⁹ Ibid

Camions électriques et hybrides branchables

Tout comme pour les voitures, les camions tout électriques sont peu adaptés pour parcourir de très longues distances. Ces derniers n'ont en effet qu'une autonomie de 160 km et une vitesse maximale de 80 km/h.¹²⁰ Ils conviennent donc mieux au transport à l'échelle urbaine, dans un périmètre bien défini, ou dans une relative proximité régionale comme ce pourrait être le cas dans le sud des Laurentides.

Toutefois, comme dans le cas des autobus biberonnés, il semble que les camions commerciaux pourraient aussi fonctionner avec la charge par induction. Selon Bombardier, il n'y a plus de raisons pour que les exploitants de flottes commerciales hésitent à changer leurs véhicules, puisque «le transfert d'énergie à haute puissance et les procédures automatiques font de la recharge un processus simple et rapide, qui garantit des opérations fluides et une utilisation maximale des véhicules commerciaux.»¹²¹

Outre le tout électrique, le camion hybride branchable peut constituer une alternative intéressante. Ces derniers permettent notamment de réduire la consommation de pétrole et de diminuer les émissions de GES. Ils sont capables de rouler à plus grande vitesse que les camions électriques et leur autonomie est également plus grande.¹²²

L'électrification de gros camions de marchandises n'est pas, jusqu'à maintenant, considéré comme une avenue potentielle notamment en raison des grandes distances à parcourir. Pour de très longues distances (au-delà de 500 km), le Réseau des ingénieurs du Québec suggère que les camions électriques soient eux-mêmes transportés par trains avant de terminer leur

¹²⁰ Réseau des ingénieurs du Québec, 2011

¹²¹ Bombardier, 2013

¹²² Réseau des ingénieurs du Québec, 2011

itinéraire jusqu'à la destination finale. Cette option n'est par contre que très peu envisageable au Québec, et encore moins à l'échelle régionale comme dans les Laurentides.



Figure 14 : Camion électrique

Camions au gaz naturel

Au Québec, les émissions de GES attribuables au secteur des transports est de l'ordre de 40%. Les véhicules lourds au diesel émettent à eux seuls plus de 31% de cette part, alors qu'ils ne représentent que 3% des véhicules de la province.¹²³

Puisque l'électrification est peu adaptée aux gros camions qui requièrent une plus grande puissance, on tente plutôt, dans le cas de ces derniers, d'exploiter les biocarburants, ou du moins, des formes similaires et moins polluantes d'énergie. Les camions au gaz naturel (comprimé ou liquéfié) peuvent donc s'avérer des alternatives intéressantes et ainsi contribuer à la réduction des gaz à effet de serre et à la diminution des polluants atmosphériques. Il s'agit d'ailleurs de l'unique source préconisée par le MTQ dans sa Politique québécoise sur le transport routier de marchandises 2009-2014.¹²⁴

Le gaz naturel, tel qu'on le connaît habituellement, est une énergie fossile. Bien qu'il soit moins polluant que les produits pétroliers, il constitue tout de même une source d'énergie non renouvelable. Le gaz naturel extrait du sous-sol représente donc un entre-deux,

¹²³ MDDEFP, 2013 et SAAQ, 2011

¹²⁴ MTQ, 2009

comportant des avantages et des inconvénients sur le plan environnemental. Quant au biogaz issu de la biométhanisation, il est très près, chimiquement, du gaz naturel, mais est considéré comme une source d'énergie renouvelable. Dans les deux cas, le méthane en est le principal constituant. Une fois épuré, le biométhane peut en effet être intégré au réseau de gaz naturel déjà en place.

L'utilisation de gaz naturel à la place du diesel permettrait de réduire de 25% les émissions de GES. Cette réduction passe à 85% si c'est le biométhane qui alimente les véhicules. Fait intéressant, les véhicules au gaz naturel peuvent, sans aucune modification, utiliser le biométhane comme carburant.¹²⁵ Les véhicules au gaz naturel les plus répandus sont les camions lourds, les véhicules-outils et les autobus.

¹²⁵ Gaz métro, n.d.

Mesures applicables aux bâtiments

Le portrait énergétique de la région des Laurentides a permis de démontrer, de façon générale, que l'électricité était la principale source d'énergie utilisée dans les bâtiments. Selon les différents secteurs analysés, la proportion d'électricité par rapport aux autres sources est variable. Si elle représente 70% de l'énergie consommée par les résidences, la proportion est moindre dans d'autres secteurs. Bien entendu, l'hydroélectricité du Québec constitue un choix judicieux tant sur le plan environnemental que sur celui de la réduction de la dépendance aux énergies fossiles. Ceci étant dit, le portrait énergétique régional nous indique donc que d'autres sources d'énergie sont également utilisées pour alimenter les bâtiments de la région.¹²⁶ Certaines de ces sources sont particulièrement polluantes et sont responsables de l'émission d'une grande quantité de GES.

C'est notamment le cas du mazout, qui est une huile provenant du raffinement du pétrole. Puisqu'il s'agit d'un combustible fossile, le mazout est une énergie non renouvelable. La combustion incomplète du mazout génère de nombreux polluants, parmi lesquels on compte des composés organiques volatils (COV), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), du monoxyde et du dioxyde d'azote, une grande quantité de CO₂, sans compter de nombreuses particules résiduelles qui restent en suspension dans l'atmosphère.¹²⁷ Plusieurs de ces composés ont des effets néfastes sur la santé : certains sont réputés cancérigènes et d'autres causent d'importants problèmes respiratoires. Ils ont aussi des impacts sur

l'environnement. Le dioxyde d'azote (NO₂), par exemple, est un GES 310 fois plus puissant que le CO₂.

L'utilisation du mazout dans les résidences représente 11% de l'énergie qu'elles consomment.¹²⁸ Il y a donc un certain nombre d'actions qui peuvent être entreprises pour favoriser le remplacement de ces systèmes. Les industries, les commerces, les institutions et le secteur agricole comportent aussi des bâtiments qui utilisent du mazout comme source d'énergie et peuvent également être ciblés dans des mesures de remplacement énergétique.

Le gaz naturel est quant à lui largement utilisé dans les industries, les commerces et institutions. Moins polluant que le mazout, il provient en grande partie de gisements souterrains. Extrait du sol, il s'agit d'une énergie fossile dont l'extraction s'avère polluante. Par contre, le gaz naturel peut aussi être issu de la biométhanisation de la matière organique, constituant alors une énergie renouvelable. S'il est préconisé pour remplacer le mazout ou le diesel comme carburant dans les camions lourds, le gaz naturel ne devrait pas être privilégié pour alimenter les bâtiments en énergie, puisqu'il existe de nombreuses autres ressources alternatives qui ont fait leurs preuves et qui sont plus respectueuses de l'environnement. L'hydroélectricité en est un exemple, et ses coûts sont similaires à ceux du gaz naturel.

Dans les Laurentides, le propane est utilisé en moins grande quantité que les autres sources d'énergie. Le propane n'est toutefois pas à négliger puisqu'il représente tout de même près de 12% de l'énergie consommée dans le secteur agricole. Plus polluante que le gaz naturel

¹²⁶ CRE Laurentides, 2013

¹²⁷ Écohabitation, n.d.

¹²⁸ CRE Laurentides, 2013

mais moins que le mazout, la combustion du propane émet des GES dont l'intensité se trouve à mi-chemin. Le propane, tout comme le mazout, est issu du pétrole, et il est difficile de prévoir comment fluctueront les coûts compte tenu des inconnues entourant son exploitation.

Il existe plusieurs procédés qui pourraient être explorés afin de remplacer les énergies fossiles utilisées par certains bâtiments des Laurentides. Les recherches sur les énergies renouvelables sont de plus en plus nombreuses, et certaines technologies pourraient sans aucun doute être mises à profit.

Pour produire de l'électricité, on peut par exemple compter sur les barrages hydroélectriques, sur les hydroturbines, sur les éoliennes, sur les cellules photovoltaïques et sur la biométhanisation. Pour remplacer la production de chaleur, on peut utiliser les procédés qui favorisent les échanges thermiques. Ces procédés génèrent d'importantes économies d'énergie, puisqu'une grande part de la consommation énergétique des bâtiments sert aux fins de chauffage et de climatisation. La géothermie, l'hydrothermie, le solaire thermique actif et l'utilisation de réseaux de chaleurs répondent très bien à ce type de besoin. Enfin, la biométhanisation permet de produire du biométhane qui peut être intégré au réseau de gaz

naturel compte tenu de leurs similitudes. Si le biométhane peut être une source de remplacement énergétique dans les transports (principalement pour les camions lourds), il peut également l'être pour les bâtiments tant résidentiels, commerciaux, institutionnels qu'industriels.

Toutefois, ces technologies qui visent à réduire notre consommation d'énergie, notre dépendance aux énergies fossiles et qui visent à réduire nos émissions de GES n'offrent pas toutes les mêmes résultats. Certaines d'entre elles sont par ailleurs mieux adaptées que d'autres à la région compte tenu des conditions qui y règnent. Les connaissances propres à chacune ne sont pas non plus au même niveau, de sorte que certaines ont encore besoin de recherches et d'expérimentations avant d'être réellement envisageables.

Il importe donc de décrire ces différents procédés pour comprendre où en est la technologie, mais aussi pour estimer sommairement quel est leur potentiel d'utilisation dans les bâtiments des Laurentides.

Ressources énergétiques renouvelables de remplacement

Énergie du sol

Géothermie

Description

À quelques mètres seulement de profondeur, la terre affiche une température relativement constante durant toute l'année. Au Québec, on estime que la température de la terre est d'environ 8°C. À cette profondeur, la terre est soumise à l'énergie thermique du soleil qui est captée et emmagasinée dans le sol et dans l'eau. Ce réservoir d'énergie, gratuite et renouvelable, constitue une ressource permettant d'assurer, selon les saisons, le chauffage et la climatisation des bâtiments¹²⁹.

La géothermie consiste en un échange de température entre le sol et l'air du bâtiment. Le système de géothermie est muni d'une thermopompe et de boucles de tuyauterie installées sous terre. En été, la thermopompe va concentrer la chaleur du bâtiment dans le liquide caloporteur des tuyaux, lequel va se refroidir sous terre avant d'être retourné dans le bâtiment. Inversement, l'hiver, c'est la chaleur du sol qui va être captée puis être transportée vers le bâtiment¹³⁰. Le système de géothermie peut-être installé dans des constructions neuves ou déjà existantes, bien qu'il soit plus coûteux pour ces dernières.

¹²⁹ Hébert, 2004

¹³⁰ Hydro-Québec, n.d.

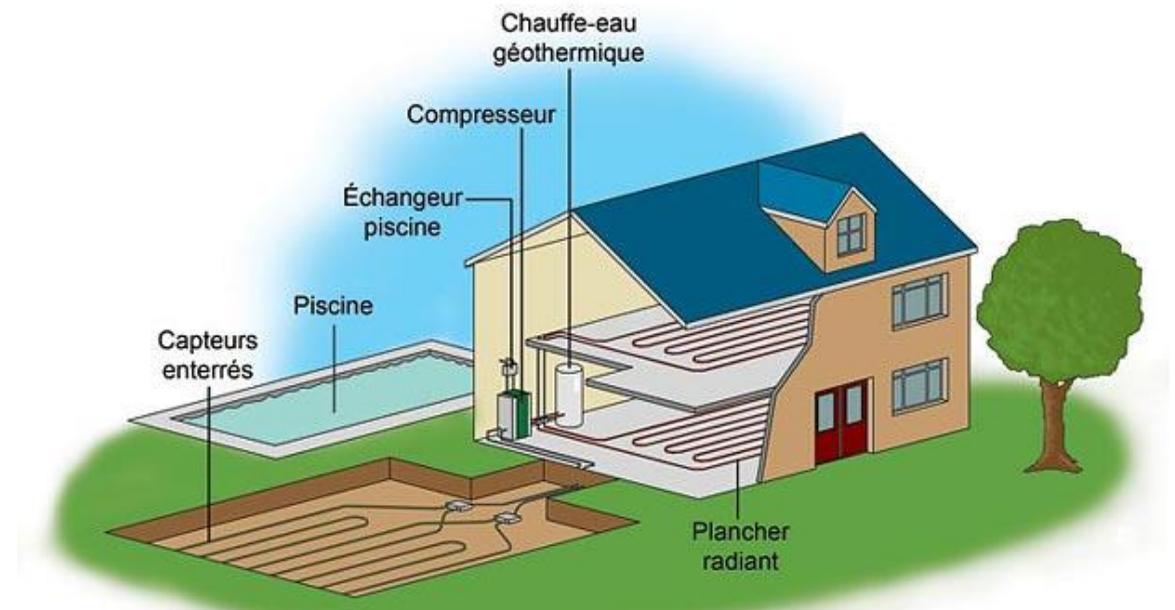


Figure 15 : Exemple de fonctionnement d'un système de géothermie¹³¹

¹³¹ Au cœur du monde – Domaine écologique, 2008

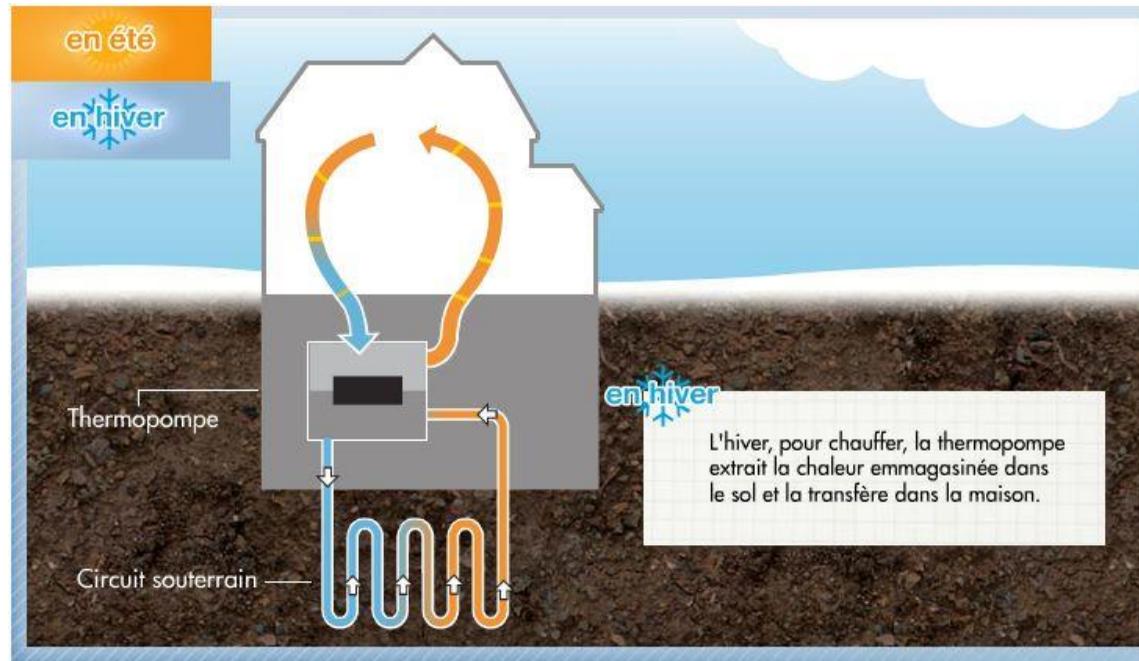


Figure 16 : Circuit de géothermie en hiver¹³²

¹³² Hydro-Québec, n.d.

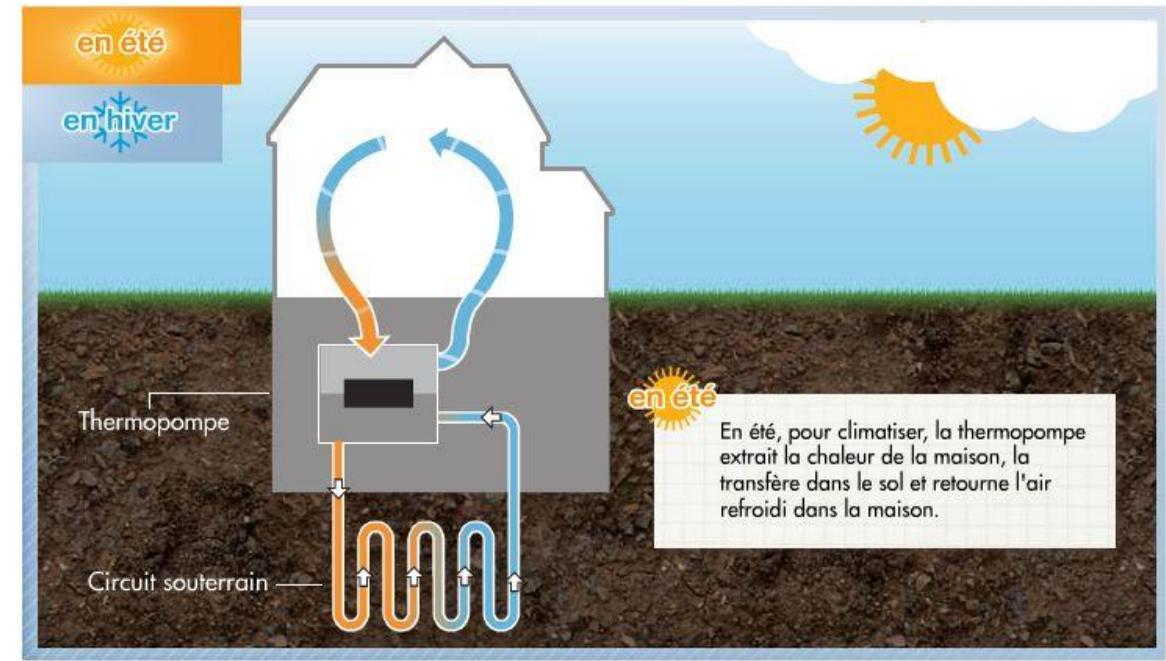


Figure 17 : Circuit de géothermie en été¹³³

¹³³ Ibid.

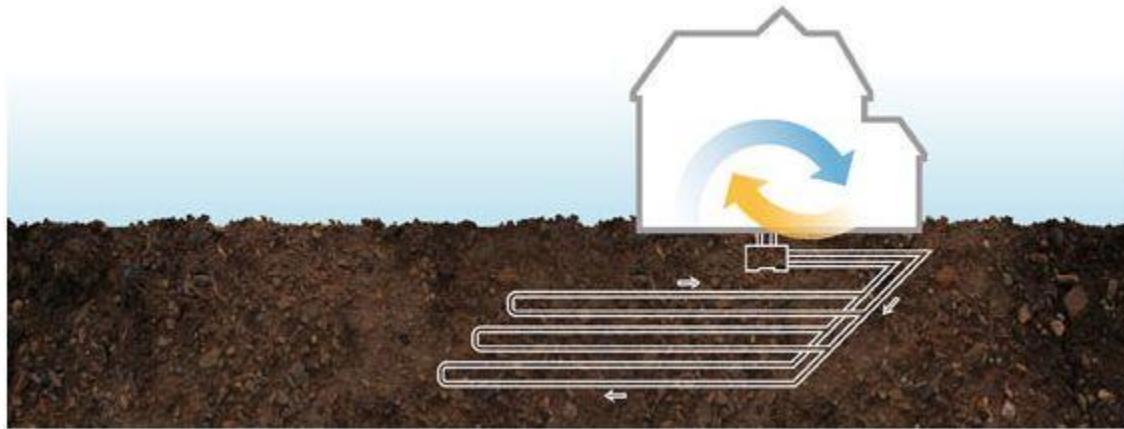


Figure 18 : Circuit fermé, boucle horizontale¹³⁴



Figure 19 : Circuit fermé, boucle verticale¹³⁵

¹³⁴ Ibid.
¹³⁵ Ibid.

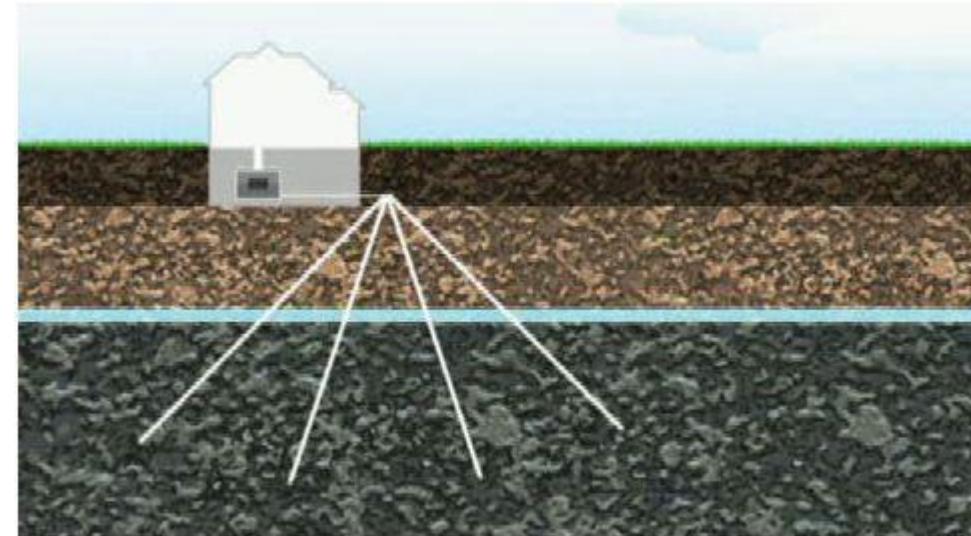


Figure 20 : Circuit fermé, détente directe¹³⁶

Les boucles de géothermie sont organisées en circuit fermé. Le circuit peut être installé sous terre de façon verticale ou horizontale, ce qui est préconisé dans les cas de nouvelles constructions. Pour les constructions existantes, il est préférable d'utiliser le circuit souterrain à détente directe, où circule un liquide frigorigère dans des tuyaux de cuivre, qui nécessite des forages moins profonds (une trentaine de mètres dans le sol). Cette technologie est également recommandée en milieu urbain.¹³⁷

¹³⁶ Ibid.
¹³⁷ Ibid.

De façon générale, la géothermie apparaît comme une solution particulièrement efficace pour réduire la consommation d'énergie des bâtiments. L'efficacité et la rentabilité sont plus élevées pour les bâtiments de grandes superficies qui ont des coûts de chauffage élevés, notamment pour les secteurs institutionnel et industriel^{138 139}. Pour le secteur résidentiel, le potentiel économique est moins intéressant. En effet, les coûts d'installation élevés d'un système de géothermie rendent difficile la compétition avec les tarifs d'électricité. Sa rentabilité s'échelonne donc sur une plus longue période.

Il existe toutefois plusieurs programmes de subventions pour l'installation de systèmes de géothermie. Ceux-ci peuvent prendre la forme d'aides financières ou de crédits à des taux avantageux. Il faut noter que l'installation d'un système de géothermie augmente la valeur foncière de la propriété entraînant ainsi une augmentation des taxes municipales¹⁴⁰. La coalition canadienne de l'énergie géothermique estime le coût de l'appareil de géothermie pour une maison neuve à 23 000\$. À 8,6 années, le système de géothermie (installation et coût de fonctionnement) rejoint le coût d'un système de chauffage traditionnel. Au-delà de cette période, des économies de plus de 500\$ annuels seront attendues avec un système de géothermie plutôt qu'un système de chauffage traditionnel.¹⁴¹ L'existence de programmes de subventions a favorisé l'augmentation du nombre d'installations géothermiques. On estime actuellement que la croissance annuelle varie entre 10% et 30%¹⁴².

¹³⁸ Hydro-Québec, n.d.

¹³⁹ Agrinova, 2009

¹⁴⁰ Hydro-Québec, n.d.

¹⁴¹ Coalition canadienne de l'énergie géothermique, n.d.

¹⁴² Hébert, 2004

Centrales géothermiques

Le principe de géothermie décrit jusqu'à maintenant pour le chauffage et la climatisation des bâtiments utilise l'énergie emmagasinée dans le sol pour effectuer un échange thermique. Or, il existe un autre principe de géothermie, utilisé par les centrales géothermiques, dont l'objectif est, non plus de subvenir aux besoins en chauffage et climatisation de bâtiments, mais de produire de l'électricité à partir de l'énergie de la croûte terrestre. La chaleur doit être suffisamment élevée pour produire de la vapeur qui actionnera alors des turbines. Afin de capter cette chaleur, les puits doivent donc normalement être creusés beaucoup plus profondément (entre 2000 et 4000 mètres)¹⁴³. La hausse de la température liée à l'augmentation de la profondeur est appelée « gradient géothermique ». Celui-ci augmente en moyenne de 3,3 °C par 100 mètres, mais peut être beaucoup plus élevé selon la géologie, comme c'est le cas dans une zone d'activité volcanique¹⁴⁴.

Bien qu'il s'agisse également d'une énergie renouvelable, la fracturation hydraulique que nécessite ce système peut susciter une vive opposition de la part de certains groupes de citoyens.

Maturité

L'utilisation de la chaleur de la terre est une méthode qui remonte aux années 1940 en Amérique du Nord et en Europe. Elle a fait son apparition au Québec dans les années 1980. À la fin des années 1990, le marché de la thermopompe a presque doublé et n'a cessé

¹⁴³ EDF, n.d.

¹⁴⁴ OQLF, 1985

d'augmenter depuis. De nombreux bâtiments institutionnels en sont d'ailleurs équipés (écoles, bases militaires, édifices gouvernementaux). La géothermie connaît également un véritable succès dans les régions froides. À titre d'exemple, 27 000 unités ont été installées en Suède en 2001, ce qui correspond à la quasi-totalité des constructions neuves de cette année-là.¹⁴⁵

Mondialement, on estime la production d'énergie par géothermie (échange thermique avec thermopompe) à 23 270 TJ. L'utilisation de la géothermie est devenue dans les secteurs résidentiels, institutionnels, commerciaux et industriels, un moyen de réaliser des économies financières et énergétiques tout en limitant les émissions de GES. Le marché non résidentiel commence à dominer ce secteur en termes de capacité installée.¹⁴⁶

Même si la technique est désormais fiable et bien maîtrisée, des travaux de recherche sont toujours en cours afin de tenter de réduire les coûts de la thermopompe¹⁴⁷. Par ailleurs, afin d'encadrer l'installation des systèmes géothermiques, la Coalition canadienne de l'énergie géothermique accrédite les professionnels de la géothermie et délivre une qualification aux compagnies qui répondent à différents critères. La Coalition dénombre, sur le territoire des Laurentides, 18 professionnels et compagnies de géothermie. Ceux-ci sont établis dans les municipalités de Prévost, Boisbriand, Saint-Colomban, Deux-Montagnes, Mirabel, Saint-Jérôme, Piedmont, Saint-Eustache et Blainville.¹⁴⁸

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Bien qu'il soit admis que la géothermie est efficace pour réduire la consommation d'énergie des bâtiments, certains éléments propres à la région sont à considérer avant d'envisager l'installation d'un tel système.

Rendement de la thermopompe

Le coefficient de performance (CP) indique le rendement d'un système de thermopompe comparativement à l'énergie dont il a besoin pour fonctionner. Si un système possède d'un CP de 3, cela signifie donc qu'il produit 3 fois plus d'énergie qu'il n'en consomme¹⁴⁹. Ce coefficient comporte l'inconvénient d'être établi dans des conditions climatiques normalisées, correspondant le plus souvent à la région de fabrication du système. Or les pompes disponibles sur le marché québécois proviennent le plus souvent des États-Unis¹⁵⁰. À cause de ce biais, le CP indiqué théoriquement pour chaque thermopompe ne reflète pas le CP réel de la thermopompe une fois installée dans nos régions.

Le coefficient de performance de la saison de chauffage (CPSC) est plus réaliste puisqu'il comprend l'énergie utilisée pour le chauffage supplémentaire¹⁵¹. Les CPSC ont été déterminés par l'Office de l'Efficacité Énergétique et sont disponibles pour l'ensemble des régions du Canada¹⁵².

À partir des CPSC, on est en mesure de calculer le CP réel des thermopompes installées sur le territoire. Le CP réel est calculé en divisant le CPSC par 3,413, ce qui correspond à la

¹⁴⁵ Hébert, 2004

¹⁴⁶ Ibid.

¹⁴⁷ Ibid.

¹⁴⁸ Coalition canadienne de l'énergie géothermique, n.d.

¹⁴⁹ Office de l'Efficacité Énergétique, n.d.

¹⁵⁰ Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P., 2011

¹⁵¹ Ibid.

¹⁵² Office de l'Efficacité Énergétique, n.d.

conversion de Btu en Wattheure¹⁵³. En comparant ces données avec les CP théoriques indiqués par les fabricants de thermopompes, nous sommes en mesure de rendre compte de l'efficacité réelle de ces appareils. L'objectif ultime étant de déterminer si, au regard des thermopompes disponibles sur le marché, l'installation d'un système de géothermie dans la région est réellement efficace.

D'après les cartes disponibles sur le site Internet de l'Office de l'Efficacité Énergétique, nous pouvons dresser le tableau suivant :

Tableau 8 : CPSC d'un système fermé pour la région des Laurentides ¹⁵⁴

	CPSC	CP réel	CP théorique
Système fermé	8,7 à 10,4	2,55 à 3,05	2,5 à 3,8

Pour être efficace, un système de géothermie doit avoir un CP d'au moins 2,5. La géothermie apparaît donc comme une alternative intéressante pour le chauffage des bâtiments dans la région des Laurentides. Il faut toutefois noter que la géothermie ne peut être le seul moyen de chauffer un bâtiment et qu'un système de chauffage complémentaire est nécessaire.

Type de sol

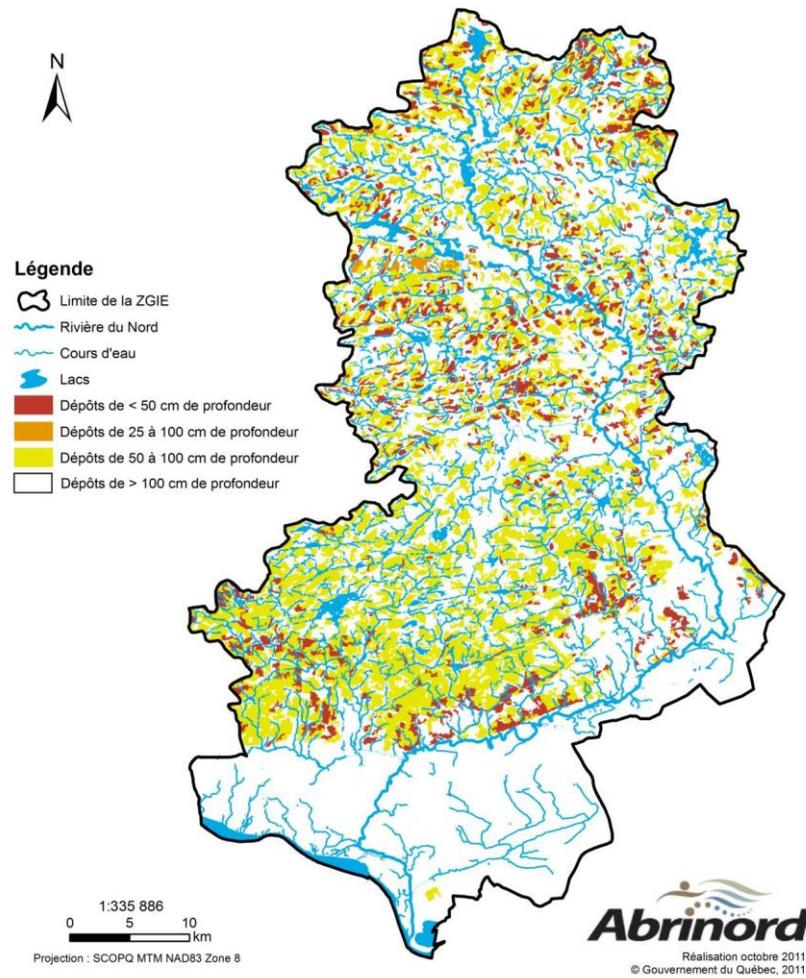
Le Plateau laurentien est constitué de sols qui présentent de nombreux affleurements rocheux et comporte donc ce que l'on appelle des « sols minces ». Les sols minces sont des endroits où il y a moins d'un mètre d'épaisseur de sol meuble reposant sur la roche mère¹⁵⁵. Dans ces circonstances, l'installation d'un système géothermique peut être problématique, à plusieurs endroits du territoire. Il peut en effet s'avérer coûteux de creuser le roc pour installer un tel système. Dans ces circonstances, l'investissement peut ne pas valoir la peine.

La figure suivante illustre les endroits, dans le bassin versant de la Rivière-du-Nord, où les sols ont moins d'un mètre d'épaisseur. Les zones rouges ont moins de 50 cm d'épaisseur. Seules les zones blanches ont plus d'un mètre. Bien que la zone ne couvre pas l'ensemble des Laurentides, on peut avoir un certain aperçu de la situation à l'échelle de la région.

¹⁵³ Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P., 2011

¹⁵⁴ Office de l'Efficacité Énergétique, n.d.

¹⁵⁵ IRDA, 2007



Plusieurs installations géothermiques sont déjà présentes sur le territoire laurentien. Parmi les plus connus, notons les exemples de l'hôpital de Saint-Jérôme, de la Polyvalente Sainte-Thérèse, de l'École secondaire de Mirabel et du pavillon principal du CAMMAC. Toutefois, la géothermie n'est peut-être pas la solution à préconiser partout dans les Laurentides. La connaissance du terrain s'avère en effet nécessaire avant d'envisager cette ressource énergétique de remplacement.

Figure 21 : Dépôts de surface minces dans le bassin versant de la Rivière-du-Nord¹⁵⁶

¹⁵⁶ Abrinord, 2011

Énergie de l'eau

Hydroélectricité

Description

Afin de produire de l'électricité à partir d'un cours d'eau, il faut tout d'abord être en présence d'un dénivelé. Une prise d'eau et des conduites forcées permettent d'acheminer l'eau du point le plus haut vers des turbines situées en bas¹⁵⁷.

Le barrage situé en amont retient l'eau afin de constituer un réservoir. Celui-ci va permettre d'ajuster le débit d'eau afin que la production d'électricité ne subisse pas de variations au cours des saisons et afin qu'elle puisse être adaptée en fonction de la demande. Pour être efficaces, le barrage et les digues doivent pouvoir retenir des milliers de mètres cubes d'eau et accroître la hauteur de chute¹⁵⁸.

L'eau arrive par la conduite forcée vers l'usine de pied de barrage, où elle vient activer des turbines qui atteignent une vitesse maximale de 90 tours minute. L'énergie ainsi produite est ensuite acheminée vers une génératrice qui va la transformer en électricité. L'électricité produite est finalement dirigée vers un transformateur grâce auquel elle va être adaptée afin de pouvoir être intégrée au réseau¹⁵⁹. La figure suivante illustre les composantes d'un complexe hydroélectrique.

¹⁵⁷ Cité de l'Énergie, 2010

¹⁵⁸ Ibid.

¹⁵⁹ Centre info énergie, n.d.

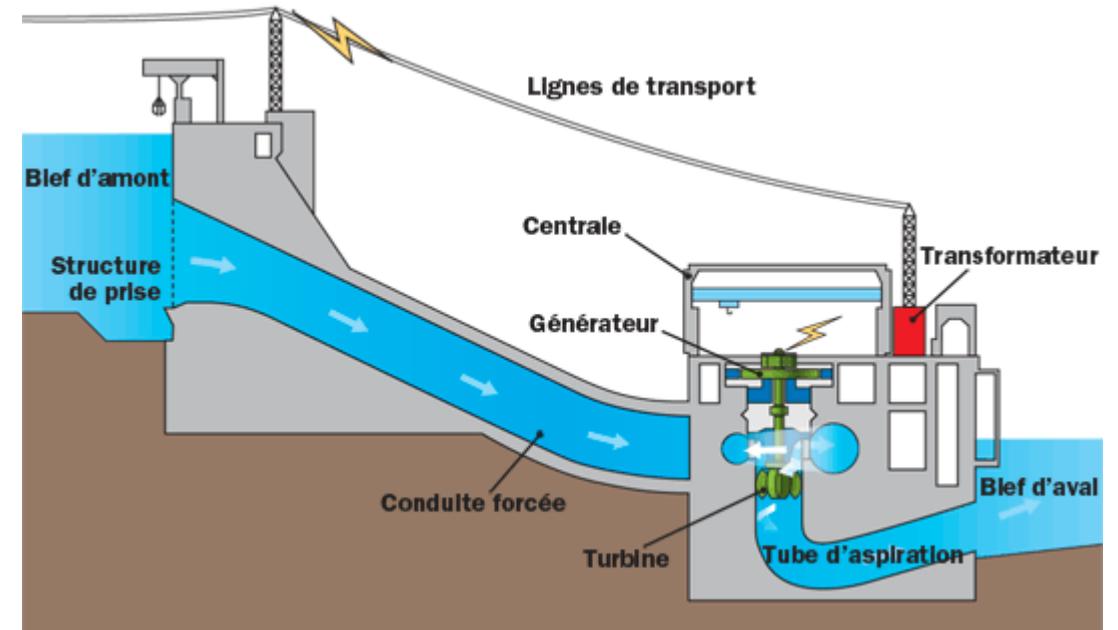


Figure 22 : Complexe hydroélectrique¹⁶⁰

¹⁶⁰ Énergie NB power, n.d.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Les centrales au fil de l'eau utilisent directement le débit du cours d'eau pour produire de l'électricité. Elles ne comportent pas de gros réservoirs d'eau comme ce qui a été décrit précédemment. Ces centrales constituent de plus petits ouvrages et sont moins coûteuses. Leur mécanisme de production d'électricité est sensiblement le même que dans l'exemple précédent. Elles nécessitent toutefois de faibles réserves d'eau et un dénivelé moindre¹⁶¹.

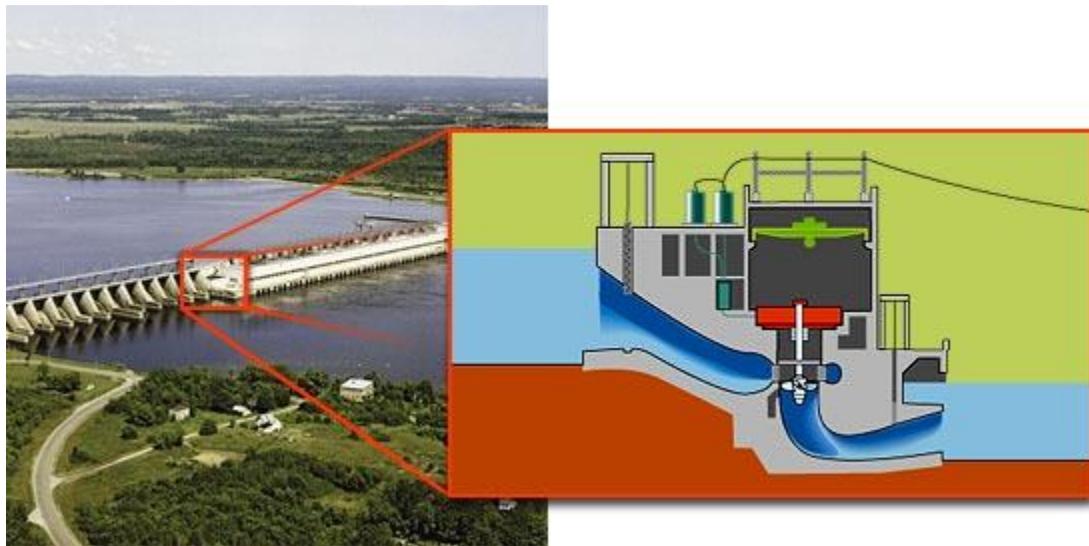


Figure 23 : Centrale au fil de l'eau, l'exemple de Carillon¹⁶²

Il est par ailleurs intéressant de noter que les centrales électriques au fil de l'eau sont celles, parmi les modes de production d'électricité qui existent au Québec, qui émettent le moins de gaz à effet de serre. La figure suivante illustre les émissions de gaz à effet de serre pour différentes filières énergétiques.

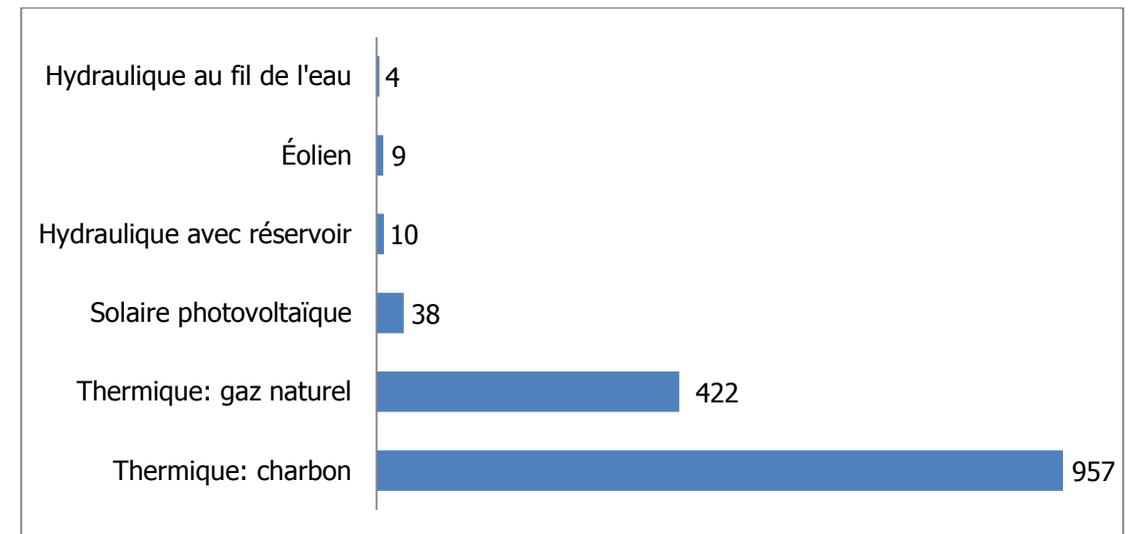


Figure 24 : Émissions de gaz à effet de serre de différentes filières énergétiques (g éq. CO₂/kWh)¹⁶³

¹⁶¹ Connaissance des énergies, 2011 et Hydro-Québec, n.d.a

¹⁶² Hydro-Québec, n.d.a

¹⁶³ Hydro-Québec, n.d.b

Les micros, mini et petites centrales hydroélectriques, désignées ainsi selon la quantité d'électricité qu'elles produisent, peuvent fonctionner soit avec barrage et réservoir, soit au fil de l'eau. Ces centrales peuvent être utilisées pour l'autoproduction d'électricité et être reliées ou non au réseau d'Hydro-Québec.

Maturité

L'hydroélectricité est la filière énergétique la plus développée au Québec. Les centrales hydroélectriques ont d'ailleurs produit, en 2009, 191 510 GWh d'électricité, soit 95,99% de la production totale du Québec¹⁶⁴. Il s'agit d'une technologie mature et très bien maîtrisée tant à petite qu'à très grande échelle.

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Les ressources hydrauliques sont présentes dans de nombreux milieux ruraux. De plus, l'entretien et la maintenance des plus petites centrales sont réalisables localement, et il est facile, du point de vue technique, d'acheminer l'électricité produite vers le réseau d'Hydro-Québec. Par contre la compétitivité d'un tel système est directement liée à la qualité du potentiel hydraulique du site sur lequel il est installé et à l'isolation du milieu dans lequel il est situé. En effet, il faut d'abord avoir le réseau hydrographique qui permet d'obtenir une pression d'eau suffisante en un point précis pour que la production soit significative. Les micro, mini et petites centrales seront ainsi plus compétitives en milieu isolé¹⁶⁵.

Compte tenu que les Laurentides comportent un vaste réseau hydrographique, on peut se demander si on y trouve des cours d'eau dont le potentiel hydraulique est intéressant pour y installer des centrales. Une étude d'Hydro-Québec ayant pour objectif d'estimer le potentiel hydroélectrique de l'ensemble du Québec a été produite en 1980, mais les résultats de cette étude ne sont plus considérés valides actuellement.¹⁶⁶ Il est donc difficile de connaître le potentiel hydroélectrique de la région. Toutefois, un certain nombre de petites installations sont déjà présentes sur le territoire. Le tableau 9 dresse la liste des centrales hydroélectriques présentes sur le territoire des Laurentides. La production de ces centrales représente environ 2,03% de la production hydroélectrique totale du Québec.

¹⁶⁴ MRNF, 2010

¹⁶⁵ Agrinova, 2009

¹⁶⁶ Mathieu Boucher (Hydro-Québec) cité dans Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P., 2011.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Tableau 9 : Description des stations hydroélectriques installées dans la région des Laurentides¹⁶⁷

Station hydroélectrique	Propriétaire de la station	Date de mise en service ¹	Puissance installée
Carillon	Hydro-Québec	1962-1964	752,7 MW
Chute-Bell	Hydro-Québec	1915-1999	10,0 MW
Ayers-1 ²	Ayers Limitée	1929	4,71 MW
Ayers-2 ²	Ayers Limitée	1994	1,05 MW
Saint-Jérôme ²	Mini-centrales de l'Est inc.	1888-1969	1,5 MW
Saint-Jovite ²	Les Apôtres de l'amour infini	1985	0,3 MW
Daniel-Larocque ²	Électricité Algonquin (Mont-Laurier), SOCOM / Algonquin Power Fund (Canada) inc.	1912-1987	3,11 MW
Rapide-des-Cèdres ²	Énergie la Lièvre, SOCOM	2005	9,30 MW
TOTAL centrale Hydro-Québec			762,7 MW
TOTAL centrales privées			19,97 MW
TOTAL centrales			782,67 MW

¹ : Date de mise en service du premier et du dernier groupe

² : Centrale hydroélectrique privée

Par ailleurs, l'ajout de nouvelles centrales sur les rivières ne seraient pas sans susciter des réactions de la part des communautés locales. En effet, les Laurentides sont reconnues comme un milieu de villégiature, et nombreux sont les gens qui souhaitent conserver les rivières et les paysages intacts. Par ailleurs, il faut rappeler que même si l'hydroélectricité est une filière renouvelable et très faiblement émettrice de gaz à effet de serre, elle n'en est pas

pour autant sans risque pour l'environnement. Plusieurs études démontrent notamment des impacts sur l'habitat du poisson, sur la température de l'eau, sur l'érosion et sur la concentration en mercure¹⁶⁸. Pour les petites centrales, on signale la modification du milieu dans lequel sont installées les centrales et la perturbation de la faune et de la flore qui en résulte, la perte de l'intégrité environnementale du site (tant au niveau des paysages que des écosystèmes) et le frein aux loisirs tels que la nage, le kayak, etc.¹⁶⁹ Concernant les grandes centrales, le réservoir d'eau et l'enneigement qu'il suscite libère le mercure présent dans le sol qui est alors transféré vers les espèces aquatiques, de plus, les matières organiques inondées vont en se décomposant émettre des GES. L'ampleur de ces barrages constitue également des perturbations écosystémiques importantes (changement éventuels de la température de l'eau, obstacle à la circulation des nutriments et organismes, destruction de la végétation riveraine, etc.). Ces projets ont également des impacts sur la pratique d'activités traditionnelles telles que la chasse, la trappe et la pêche¹⁷⁰.

Bref, avant d'envisager le développement de nouvelles centrales hydroélectriques dans les Laurentides, il faudrait savoir si les gains possibles, selon le potentiel du réseau hydrique, dépasseraient les inconvénients environnementaux et sociaux, compte tenu de la vocation que l'on reconnaît à la région.

¹⁶⁷ Hydro-Québec, 2011 et MRNF, n.d.a

¹⁶⁸ Denis, R., n.d.; Pêches et Océans Canada, 2004

¹⁶⁹ Fondation Rivières, 2007

¹⁷⁰ Ibid.

Hydrolienne

Description

Le fonctionnement de l'hydrolienne, mécanisme capable de produire de l'électricité à partir de l'énergie cinétique de l'eau, est très proche de celui de l'éolienne. L'hydrolienne est en quelque sorte une turbine placée sous l'eau, dont les pales sont activées par les courants marins ou les cours d'eau¹⁷¹. Les hydroliennes sont généralement beaucoup plus petites que les éoliennes : le fait que la masse volumique de l'eau soit 800 fois plus importante que celle du vent permet de produire la même quantité d'énergie, malgré que la vitesse des courants soit inférieure à celle du vent.¹⁷² La turbine de l'hydrolienne transforme l'énergie cinétique en énergie mécanique et cette énergie est ensuite transmise à un alternateur qui la transforme en électricité¹⁷³. Les hydroliennes utilisent une énergie inépuisable, et les faibles émissions de GES qu'elles génèrent sont reliées à leur fabrication et leur transport.

Il existe plusieurs types d'hydroliennes. Une des différences tient dans la présence ou non d'un mât. En effet, certaines hydroliennes sont ancrées sur un mât afin de faciliter leur maintenance. Les hydroliennes qui ne disposent pas de mâts sont quant à elles montées sur un bâti constitué d'un tripode, lequel est fixé dans les fonds marins à l'aide d'une barge. Cette méthode d'installation est plus simple que celle pour le mât, mais la maintenance de l'hydrolienne est alors plus complexe¹⁷⁴. Les hydroliennes fluviales sont tout simplement déposées sur son lit sans aucun ancrage, forage ni travaux de génie civil.¹⁷⁵

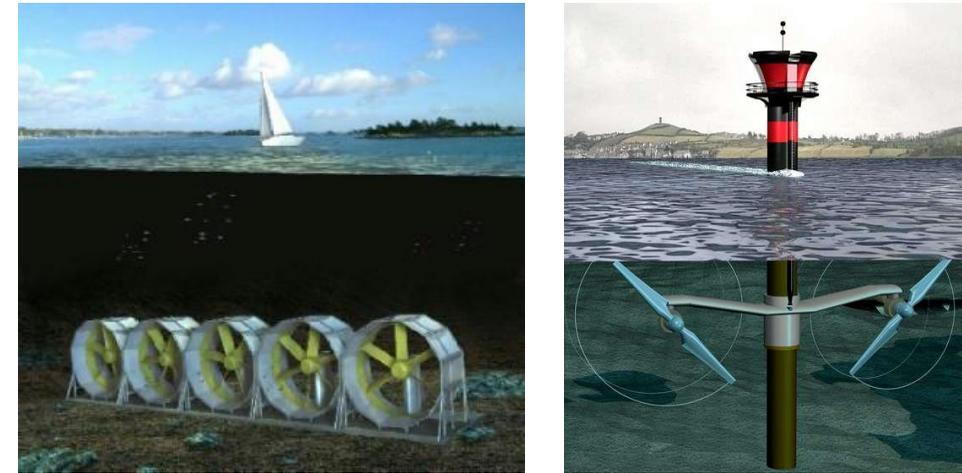


Figure 25 : Hydroliennes de la firme hydroélix en haute mer et hydrolienne Seagen¹⁷⁶

Les hydroliennes, qui utilisent les courants marins ou les courants fluviaux, ont l'avantage de fournir sensiblement toujours la même quantité d'énergie. Alors que les éoliennes dépendent de la force des vents et que le solaire est tributaire de la présence du soleil, les hydroliennes fluviales, elles, peuvent bénéficier du débit constant des cours d'eau, lequel reste essentiellement le même tout le long de l'année.¹⁷⁷ Les courants marins, quant à eux, sont prévisibles puisqu'ils sont directement reliés au phénomène des marées. Lorsque le courant se retourne, les hydroliennes marines cessent de produire de l'électricité et recommencent quand celui-ci atteint une vitesse de 2,5 nœuds.¹⁷⁸

¹⁷¹ Équipe Projet Maelstrom, 2010

¹⁷² Agrinova, 2009

¹⁷³ Équipe Projet Maelstrom, 2010

¹⁷⁴ connaissancedesenergies.org

¹⁷⁵ RER, n.d.

¹⁷⁶ CETE, 2011

¹⁷⁷ Les Affaires, 2011

¹⁷⁸ connaissancedesenergies.org

Les hydroliennes de rivières permettent d'exploiter les écoulements fluviaux. La puissance tirée de cette technologie est certes tributaire du débit des rivières, dont la vitesse d'écoulement minimale pour produire de l'électricité se situe généralement entre 1,2 m/s et 1,5 m/s, selon le type d'hydrolienne. La quantité d'électricité générée augmente en fonction du débit d'eau qui actionne la turbine, jusqu'à un seuil maximal.

Si certaines hydroliennes sont en mesure de produire suffisamment d'électricité l'acheminer vers un réseau de distribution, d'autres, plus petites, peuvent permettre la production d'énergie sur site.

Maturité

Si la production d'électricité à partir de l'énergie hydraulique est utilisée depuis plus d'une centaine d'années, notamment avec l'hydroélectricité, la technologie des hydroliennes, surtout pour les rivières, est encore en plein développement.

L'Écosse, la France et le Royaume-Uni, possèdent des prototypes d'hydroliennes océaniques très puissants et ont déjà conduit plusieurs projets pilotes.¹⁷⁹ Depuis 2003, ces engins captent avec succès l'énergie des courants marins et des marées. L'année 2013 semble marquer un tournant, puisque l'hydrolienne utilisant ces deux formes de courants passe à l'ère de la commercialisation et de la production industrielle. Déjà, deux usines marémotrices

(l'une en France et l'autre en Corée) produisent un total de 517 MW d'électricité. La technologie est désormais considérée mature.¹⁸⁰

La situation est tout autre pour les hydroliennes fluviales. La technologie est encore au stade expérimental, et les initiatives, notamment au Québec, restent peu nombreuses. Quelques projets commencent tout de même à émerger et annoncent des perspectives relativement intéressantes.

Une équipe de l'Université Sherbrooke et du CITEC (Consortium Innovation Technologique Énergie Côte-Nord) réalise le projet Maelstrom qui vise le développement d'hydroliennes adaptées aux rivières du Québec. L'objectif visé avec le prototype est une puissance de 1 kW pour une masse maximale de 250 kg, répartie en modules de 50 kg. Cette technologie, flottante, minimiserait les impacts sur les cours d'eau et les berges¹⁸¹.

Une équipe de l'Université Laval tente elle aussi de produire un prototype d'hydrolienne adaptée aux rivières grâce au projet HAO 2^{ème} génération. La turbine HAO (Hydrolienne à ailes oscillantes) a la particularité d'harnacher l'énergie des courants d'eau en utilisant des ailes effectuant un mouvement d'oscillation plutôt que des pales rotatives comme celles des éoliennes. D'après les chercheurs, cette technologie fonctionnerait mieux que les pales rotatives en eau peu profonde, et serait donc mieux adaptée à la réalité de la plupart des rivières du Québec.¹⁸²

¹⁷⁹ Ben Elghali, S.E., 2008

¹⁸⁰ Marc Le Boulluec, cité dans Sciences et Avenir, 2013

¹⁸¹ Équipe Projet Maelstrom, 2010

¹⁸² Projet HAO, n.d.

L'entreprise québécoise RER (Recherche en énergie renouvelable) semble se positionner comme chef de file dans le développement industriel des hydroliennes servant à exploiter l'écoulement fluvial de grandes rivières. Depuis 2010, elle a pu expérimenter la technologie de son hydrolienne TRÉC (turbine de récupération de l'énergie cinétique) dans le fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de Montréal. Le bilan s'est avéré positif : chacune des deux hydroliennes testées dans le fleuve, d'une capacité de 250 kW, génère assez d'électricité pour subvenir aux besoins de 120 foyers, et aucune n'a subi de défaillance ou d'arrêt pour maintenance depuis son installation. L'entreprise a par ailleurs signé des ententes pour la production d'électricité, notamment avec Hydro-Québec.¹⁸³ Cette étape, qui constituait la première phase du projet, s'inscrit dans un autre de plus grande envergure. La deuxième phase comportera la mise en place d'une vingtaine d'hydroliennes, puis les suivantes comportent l'installation d'un parc d'environ 200 hydroliennes dans ce même secteur.

Tableau 10 : Quantité d'électricité produite par l'hydrolienne TRÉC selon le débit¹⁸⁴

Débit	Électricité produite
3,0 m ³ /s	100 kW
4,1 m ³ /s	250 kW
4,5 m ³ /s	340 kW

En exploitant la force du courant, ce type d'hydrolienne permettrait d'utiliser des potentiels inaccessibles avec la technologie hydroélectrique traditionnelle, tout en ayant un impact environnemental relativement faible.¹⁸⁵ Comme pour les autres hydroliennes, il y a peu

d'émissions de GES, lesquelles sont liées uniquement à la fabrication et au transport de l'appareil. Parmi les autres avantages mentionnés, on note l'absence de pollution visuelle et sonore et l'absence de création de barrage, ce qui, selon le fabricant, laisse le libre passage aux espèces piscicoles. La lenteur des pales ne nuit pas à leur passage.¹⁸⁶ À propos des espèces piscicoles, Pêches et Océan Canada, a émis des recommandations pour suivre l'impact des hydroliennes TRÉC dans le fleuve Saint-Laurent sur le passage des poissons. Les préoccupations de la Direction de la gestion de l'habitat du poisson (DGHP) touchent principalement « l'évaluation du passage de poissons à travers les turbines, lié notamment à la dévalaison passive d'anguilles et de larves ainsi que le déplacement de poissons dans ce secteur étant donné les exigences de leur cycle de vie ».¹⁸⁷



Figure 26 : Hydrolienne TRÉC¹⁸⁸

¹⁸³ Les Affaires, 2011

¹⁸⁴ Ibid.

¹⁸⁵ Agrinova, 2009

¹⁸⁶ RER, 2010

¹⁸⁷ MPO, 2012

¹⁸⁸ RER, n.d.

À plus petite échelle, une autre entreprise québécoise a mis au point une petite hydrolienne permettant d'assurer l'approvisionnement d'une résidence en électricité, excluant les appareils contenant des éléments chauffants, tels que la cuisinière ou la sècheuse. Selon les concepteurs, les résidences isolées pour qui il est coûteux de se raccorder au réseau en place tireraient avantage de cette technologie, en y combinant d'autres sources d'appoint pour assurer l'ensemble des besoins. La figure suivante illustre comment les différentes technologies, dont l'hydrolienne, peuvent intervenir en complémentarité dans un réseau isolé.



Figure 27 : Exemple de résidence autonome en alimentation électrique.¹⁸⁹

Cette petite hydrolienne de 1,2 m sur 0,6 m fonctionne avec de l'eau circulant à une vitesse variant entre 1,2 et 2,5 m/s, pour une puissance de 50 à 320 W. Selon la vitesse de l'eau, la production annuelle d'électricité se situe donc entre 420 et 2800 kWh. Cette hydrolienne sera commercialisée à partir de 2013 et devrait obtenir une certification CSA en 2014.¹⁹⁰



Figure 28 : Hydrolienne Idénergie¹⁹¹

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Bien entendu, l'absence d'océan et de marées dans les Laurentides élimine d'emblée la production d'électricité par une hydrolienne marine. Quant à l'hydrolienne TRÉC, destinée aux vastes cours d'eau de grande puissance, elle n'est également pas envisageable dans la région. Pour ce type d'hydrolienne, le potentiel canadien se trouverait à seulement 3% au Québec, et les 97% restants de trouveraient en Colombie-Britannique. Cette différence de potentiel réside dans la différence de topographie des deux provinces. Le débit des rivières québécoises est considérablement moins élevé en raison de son terrain peu accidenté, alors que dans l'Ouest canadien, les cours d'eau sont beaucoup plus rapides.¹⁹²

¹⁸⁹ Idénergie, 2012

¹⁹⁰ Ibid.

¹⁹¹ Ibid.

¹⁹² Les Affaires, 2011

Au Québec, la force du courant dans le fleuve St-Laurent permet d'envisager l'installation d'un grand nombre d'hydroliennes de cette technologie, sans impact majeur, semble-t-il, sur les courants et la faune.

Pour l'utilisation d'hydroliennes dans les Laurentides, il ne reste donc que les petites hydroliennes personnelles. La région comporte de nombreux cours d'eau qui pourraient sans aucun doute être exploités avec ces dernières. Par contre, puisque la filière des hydroliennes en rivières est à un stade encore expérimental, il est prématuré de conclure à l'existence ou à l'absence de conséquences sur l'environnement. Ainsi, il est possible que le risque de voir se multiplier le nombre de petites hydroliennes dans les cours d'eau inquiète la population sur les effets qu'elles peuvent poser sur la faune aquatique.

Hydrothermie

Description

Basée sur le même principe que la géothermie, l'exploitation de l'hydrothermie consiste à réaliser des échanges de température entre un bâtiment et de l'eau située à proximité. Il peut s'agir de l'eau d'un lac, d'un cours d'eau ou d'une nappe d'eau. L'eau des lacs, à compter d'une profondeur de 7m, ainsi que l'eau des nappes, présente une température relativement stable durant toute l'année, se maintenant autour de 4°C. Il faut donc une profondeur appropriée pour utiliser l'eau des lacs et des cours d'eau. Si le lac est moins profond, la température va s'abaisser davantage en hiver, ce qui va influencer directement la rentabilité du système.¹⁹³

Le système d'exploitation est très similaire à celui de la géothermie. Une thermopompe est reliée à un système de tuyauterie dans lequel circule un liquide caloporteur (souvent de l'eau, contenant ou non un antigel). Les tuyaux immergés en contact avec l'eau froide vont permettre les échanges de chaleur.

Le circuit peut être ouvert ou fermé. Dans le cas des circuits fermés, le système pratiquement identique à celui de la géothermie, la tuyauterie étant placée au fond d'un lac, d'un cours d'eau ou directement dans une nappe d'eau plutôt que dans le sol. Dans ce système, l'eau et le liquide caloporteur n'entrent jamais en contact. La figure suivante illustre un système d'hydrothermie en circuit fermé.

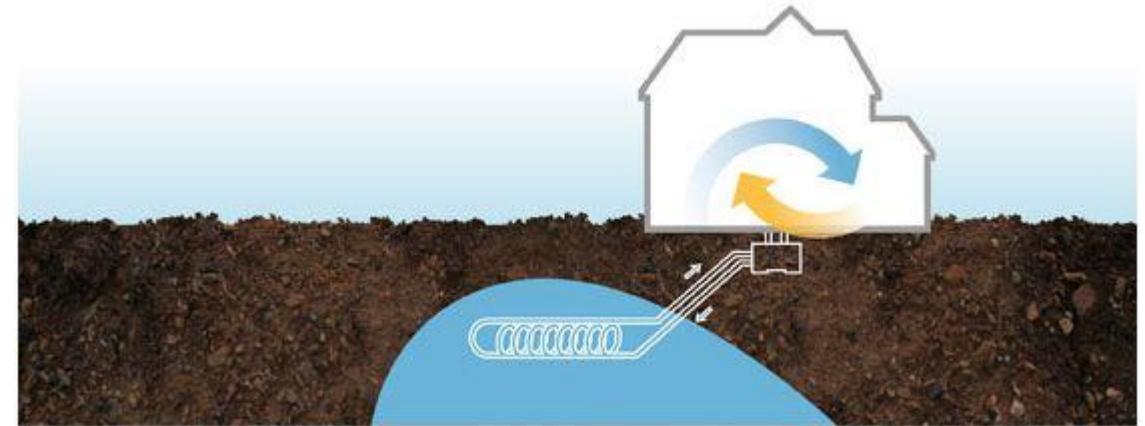


Figure 29 : Hydrothermie : circuit fermé¹⁹⁴

Le circuit ouvert consiste, quant à lui, à intégrer l'eau de la nappe dans le circuit. Le système peut comporter deux forages, l'un servant à prélever l'eau d'un puits pour la rejeter dans un autre après l'échange de température, ce qui va permettre de réinjecter l'eau puisée directement dans la nappe et éviter ainsi de tarir la source.¹⁹⁵ Le système peut aussi ne comporter qu'un seul forage. Dans ce cas, l'eau prélevée dans la nappe est ensuite rejetée dans un plan d'eau, une rivière ou un réseau pluvial.¹⁹⁶ Il faut noter que les systèmes ouverts (puisqu'ils captent de l'eau) sont soumis à la réglementation sur les eaux souterraines¹⁹⁷.

¹⁹³ Hydrogéothermie, n.d.

¹⁹⁴ Hydro-Québec, n.d.

¹⁹⁵ Ibid.

¹⁹⁶ CETE (France), 2011

¹⁹⁷ MDDEP, 2008.

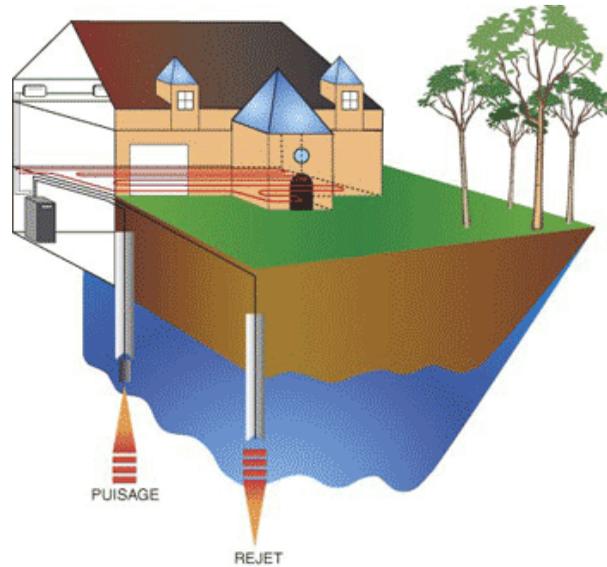


Figure 30 : Hydrothermie : circuit ouvert comportant deux forages¹⁹⁸

Pour utiliser une nappe d'eau, il est essentiel que cette dernière ne soit pas trop profonde, c'est-à-dire de ne pas dépasser une profondeur de 100 m. La pompe qui sert à puiser l'eau fonctionnant à l'électricité, il lui faudra utiliser davantage d'énergie pour faire circuler l'eau si la nappe est profonde. En d'autres termes, plus la nappe est profonde, moins le système est rentable.

¹⁹⁸ Éco-énergie, n.d.

Maturité

Il existe généralement peu d'information qui traite directement de l'hydrothermie, car elle est souvent confondue avec la géothermie ou traitée avec elle. Mais les deux systèmes étant très similaires du point de vue technique, on peut estimer que, tout comme la géothermie, l'hydrothermie est un procédé bien maîtrisé.

Un projet de référence en matière d'hydrothermie dans un lac a été réalisé par le CAMMAC (Canadian Amateur Musicians/Musiciens Amateurs du Canada) à Harrington, dans la région des Laurentides. Le système en circuit fermé permet l'échange de température entre le lac MacDonald et le bâtiment. Le projet s'avère être un succès.

Un autre projet vient de voir le jour dans les Laurentides. Il s'agit du nouveau Centre de découverte et de services du parc national du Mont-Tremblant qui fait appel à plusieurs procédés de remplacement énergétique en synergie, dont l'hydrothermie. Des échangeurs thermiques, se présentant sous forme de plaques d'acier inoxydable, sont installés au fond du lac Monroe, et utilisent l'éthanol comme liquide caloporteur. Déposées sous l'eau à une profondeur de 12 à 16 mètres, la grande dimension des plaques optimise le transfert de chaleur.¹⁹⁹

¹⁹⁹ Voir vert, 2012

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Comme dans tout nouveau projet, les citoyens sont susceptibles de manifester certaines inquiétudes lors de la mise en place d'un système d'hydrothermie. La contamination de l'eau par le liquide caloporteur en cas de fuite est l'une de ces craintes. À cet effet, l'éthanol utilisé dans le système au parc du Mont-Tremblant est réputé sans danger pour le milieu aquatique.²⁰⁰ Une autre des inquiétudes qui peut être manifestée est l'idée que l'hydrothermie risque d'entraîner une augmentation de la température de l'eau. Les installations au lac Monroe feront d'ailleurs l'objet d'une recherche visant à déterminer l'effet sur la température de l'eau dans le lac. « Des sondes seront ainsi installées sur les échangeurs afin de procéder au monitoring des températures à différentes distances des plaques. »²⁰¹

Comme dans le cas de la géothermie, l'hydrothermie utilise le coefficient de performance (CP) afin de rendre compte du rendement des thermopompes. De la même manière, il convient d'étudier un autre indice, soit le coefficient de performance de la saison de chauffage (CPSC), afin d'estimer leur rendement réel dans la région.²⁰² Il est important de noter que les données disponibles permettent d'évaluer uniquement le cas des projets en circuits ouverts, tel que démontré dans le tableau suivant. Nous ne possédons pas de CPSC pour le cas des circuits fermés installés au fond des lacs. Il semble toutefois que l'hydrothermie, qu'elle soit en circuit ouvert ou fermé, soit une solution qui permette d'obtenir

un CP supérieur à celui de la géothermie.²⁰³ Dans le cas spécifique du Centre de découverte du Parc du Mont-Tremblant, le CP est de 3,8.²⁰⁴

Tableau 11 : CPSC d'un système ouvert d'hydrothermie pour la région des Laurentides²⁰⁵

	CPSC	CP réel	CP théorique
Système ouvert	9,9 à 11,7	2,9 à 3,43	2,5 à 3,8

Tableau 12 : CPSC d'un système de géothermie pour la région des Laurentides²⁰⁶

	CPSC	CP réel	CP théorique
Système fermé	8,7 à 10,4	2,55 à 3,05	2,5 à 3,8

Dans la mesure les Laurentides comportent de nombreux lacs et cours d'eau, l'hydrothermie pourrait s'avérer une solution intéressante. Par contre, afin de pouvoir procéder à de tels aménagements, des études d'impact environnemental doivent être réalisées afin d'obtenir les autorisations nécessaires. Le développement de cette filière devra également être bien encadré. Bien que les perspectives dépendent des projets et des lacs concernés, le potentiel dans la région est bel et bien réel.

²⁰⁰ Ibid.

²⁰¹ Ibid.

²⁰² Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P., 2011

²⁰³ Voir vert, 2012

²⁰⁴ Ibid.

²⁰⁵ Office de l'Efficacité Énergétique, n.d.

²⁰⁶ Ibid.

Énergie du vent

Éolien

Description

Une éolienne est un système destiné à transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique ou, le plus souvent, en énergie électrique. La force du vent fait tourner des pales et actionne une turbine. C'est lorsque ces dernières atteignent une vitesse de 10 à 20 tours par minute qu'elles produisent une énergie mécanique.²⁰⁷ Par contre, pour produire de l'électricité, la plupart des générateurs ont besoin de tourner à une très grande vitesse (1 000 à 2 000 tours par minute). Plus l'éolienne est grande, plus les pales vont tourner lentement. L'éolienne comporte donc aussi un multiplicateur permettant d'accélérer le mouvement. L'électricité produite est ensuite traitée par le transformateur, de manière à pouvoir être intégrée au réseau de distribution ou à être utilisée par le consommateur²⁰⁸.

Il existe deux grandes classes d'éoliennes : les petites éoliennes (moins de 50kW) et les grandes éoliennes (de 50kW à plus de 1MW). Les grandes éoliennes sont le plus souvent regroupées dans un parc de manière à produire une grande quantité d'énergie destinée à alimenter le réseau public d'électricité. Les petites éoliennes sont quant à elles directement installées sur le site à alimenter.²⁰⁹

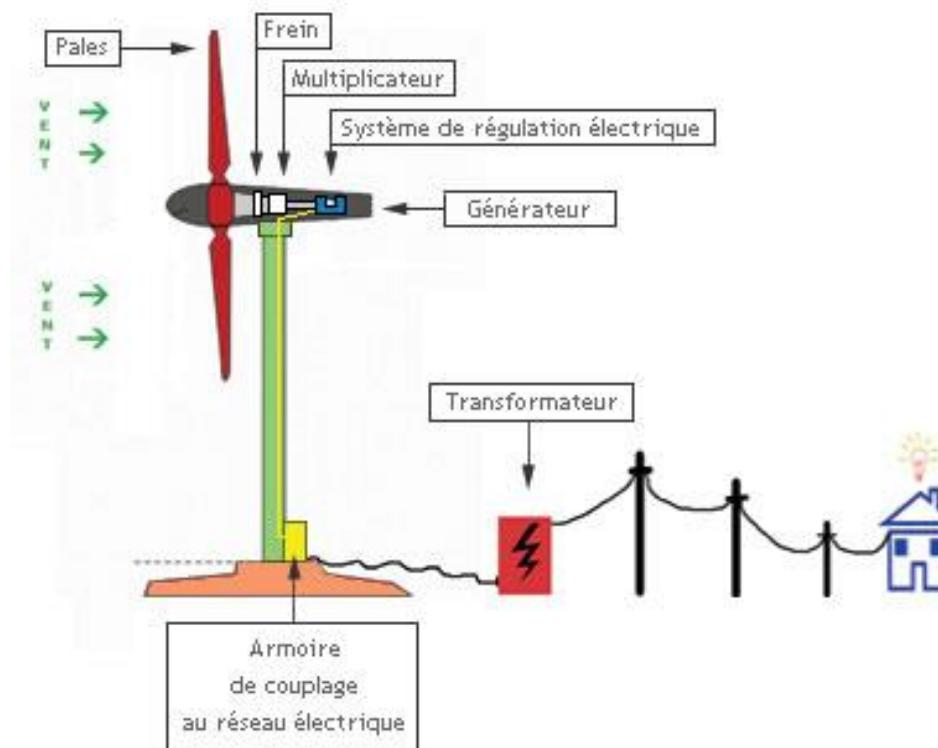


Figure 31 : Fonctionnement d'une éolienne²¹⁰

²⁰⁷ Hydro-Québec, n.d.

²⁰⁸ Syndicat des énergies éoliennes et France Énergie Éolienne, 2009

²⁰⁹ Association canadienne de l'énergie éolienne, n.d.

²¹⁰ Porte du Var, n.d.

Les éoliennes, petites et grandes, peuvent être à axe vertical ou à axe horizontal. Les deux types sont illustrés à la figure suivante. Les éoliennes à axe horizontal sont les plus connues et les plus couramment employées.



Figure 32 : Éolienne à axe vertical (à gauche) et à axe horizontal (à droite)²¹¹

La quantité d'énergie produite par cette technologie dépend essentiellement de trois facteurs : la vitesse du vent, qui est le plus important, la surface balayée par les pales et la densité de l'air.²¹² Puisque les vents ont le désavantage d'être intermittents et relativement imprévisibles, la quantité d'électricité produite n'est pas constante, de sorte qu'elle doit être stockée (réservoir hydroélectrique, batteries, etc.) pour s'assurer de répondre aux besoins.²¹³

Sur le plan environnemental, les éoliennes sont très faiblement émettrices de GES. En fait, comme dans le cas des hydroliennes, les émissions liées aux éoliennes découlent principalement de la fabrication et de l'installation. Par contre, il ne semble pas y avoir encore de débouchés pour les matériaux lors du démantèlement des éoliennes en fin de vie.²¹⁴

Maturité

Bien que la technologie éolienne ait mis plus de temps à faire sa place au Québec qu'ailleurs dans le monde (notamment en Europe), elle est désormais suffisamment bien maîtrisée pour être commercialisée. L'énergie éolienne est utilisée comme source énergétique dans plus de 50 pays à travers le monde et, à la fin de 2011, la puissance installée des parcs éoliens à l'échelle du globe totalisait plus de 238 351 MW.²¹⁵ Le Québec compte quant à lui 18 parcs éoliens en activité, mais de nombreux autres sont en construction ou en cours de projet et devraient être opérationnels au plus tard en 2015. Au 13 mars 2013, le Québec comptait 1 716,2 MW de puissance installée sur son territoire.²¹⁶

La recherche doit tout de même se poursuivre afin de contourner certains problèmes liés à l'exploitation des éoliennes. Par exemple, le givre et le verglas, souvent rencontrés dans le climat québécois, peuvent débalancer le rotor et limiter la production d'énergie. De plus, dans les circonstances actuelles, les coûts de construction et d'opération sont relativement élevés par rapport au prix de l'électricité au Québec. Il y a donc encore à faire pour que le coût d'exploitation et la technologie soient mieux adaptés à notre contexte.

²¹¹ MRN, n.d.

²¹² Hydro-Québec, n.d.

²¹³ Ibid. et Agrinova, 2009

²¹⁴ Agrinova, 2009

²¹⁵ MRN, n.d.

²¹⁶ MRN, 2013

La recherche en est également à élaborer des standards de fabrication. Pour le cas spécifique des petites éoliennes, la Canadian Wind Energy Association (CANWEA) et la Small Wind Certification travaillent à établir des normes qui permettraient aux fabricants de turbines et d'équipements éoliens d'obtenir une certification. Avec de tels outils, le gouvernement pourrait alors proposer des programmes de subvention pour l'achat de petites éoliennes répondant aux critères établis.²¹⁷

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

L'énergie éolienne a l'avantage de pouvoir être produite en région rurale et éloignée, en plus d'être facilement exportable vers le réseau d'Hydro-Québec. Par contre les coûts de production sont élevés par rapport à la production hydroélectrique.²¹⁸ Par ailleurs, bien que les parcs éoliens soient très vastes et de faible densité, la modification des paysages et le bruit résultant de la présence d'éoliennes rendent parfois difficile l'acceptabilité sociale.²¹⁹

Potentiel éolien

Comme la production d'énergie éolienne dépend essentiellement de la vitesse des vents, il importe de déterminer, pour une région donnée, son potentiel éolien. Pour ce faire, il est possible d'utiliser la méthode de la classe des vents de Battelle (répondant aux normes de l'Institut Battelle). Plus la classe est élevée, plus la rentabilité d'un projet de parc éolien le sera également. Il faut noter que ce potentiel prend en compte uniquement les territoires

exploitables en dehors des zones de restriction. Les zones non exploitables sont ainsi classifiées dû à l'impossibilité d'y aménager des parcs éoliens. Les contraintes à l'origine de ce classement peuvent être géophysiques, gouvernementales ou liées à un manque de ressources.²²⁰

C'est avec cette classe des vents que les régions à fort potentiel ont été identifiées au Québec. Parmi ces régions, on trouve notamment la péninsule gaspésienne et les Îles de la Madeleine, le Nord québécois, le Bas-St-Laurent et le Saguenay-Lac-St-Jean, soit des régions qui comptent déjà, ou compteront éventuellement, des installations éoliennes. Tel que l'illustrent le tableau et la figure qui suivent, les Laurentides ne possèdent pas un potentiel éolien suffisamment élevé pour y construire un parc destiné à alimenter le réseau.

²¹⁷ Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P., 2011

²¹⁸ Agrinova, 2009

²¹⁹ Ibid.

²²⁰ MRNF, 2005

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Tableau 13 : Potentiel éolien technique au Québec, hors zones restrictives et harmonisées, selon la classe des vents de Battelle ²²¹

	Classe des vents	Potentiel éolien (MW)	Potentiel éolien (TWh)		Classe des vents	Potentiel éolien (MW)	Potentiel éolien (TWh)
01 Bas-Saint-Laurent				10 Nord-du-Québec			
	3	13 962,5	40,6		3	1 301 746,6	3 785,9
	4	1 733,5	5,5		4	1 310 330,9	4 132,3
	5	155,4	0,5		5	621 692,7	2 085,8
	6	50,7	0,2		6	192 367,5	699,3
	7	7,5	0,0		7	46 886,2	216,0
	Total	15 909,4	46,8		Total	3 473 023,9	10 919,4
02 Saguenay-Lac-Saint-Jean				11 Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine			
	3	35 968,4	104,6		3	11 577,4	33,7
	4	3 615,6	11,4		4	3 679,7	11,6
	5	360,3	1,2		5	1 279,0	4,3
	6	280,7	1,0		6	344,0	1,3
	7	54,8	0,3		7	197,8	0,9
	Total	40 279,7	118,5		Total	17 077,9	51,7
03 Capitale-Nationale				12 Chaudières-Appalaches			
	3	851,1	2,5		3	5 215,7	15,2
	4	499,0	1,6		4	891,0	2,8
	5	145,7	0,5		5	102,7	0,3
	6	44,0	0,2		6	30,1	0,1
	7	0,0	0,0		7	0,4	0,0
	Total	1 539,8	4,7		Total	6 239,9	18,4
04 Mauricie				13 Laval			
	3	1 262,8	3,7		3	0,0	0,0
	4	0,0	0,0		4	0,0	0,0
	5	0,0	0,0		5	0,0	0,0
	6	0,0	0,0		6	0,0	0,0
	7	0,0	0,0		7	0,0	0,0
	Total	1 262,8	3,7		Total	0,0	0,0

05 Estrie			14 Lanaudière				
	3	1 454,7	4,2		3	76,2	0,2
	4	257,0	0,8		4	0,7	0,0
	5	34,7	0,1		5	0,0	0,0
	6	7,8	0,0		6	0,0	0,0
	7	1,0	0,0		7	0,0	0,0
	Total	1 755,2	5,2		Total	76,9	0,2
06 Montréal			15 Laurentides				
	3	0,0	0,0		3	239,8	0,7
	4	0,0	0,0		4	10,4	0,0
	5	0,0	0,0		5	0,0	0,0
	6	0,0	0,0		6	0,0	0,0
	7	0,0	0,0		7	0,0	0,0
	Total	0,0	0,0		Total	250,2	0,7
07 Outaouais			16 Montérégie				
	3	81,2	0,2		3	3 726,3	10,8
	4	0,0	0,0		4	266,4	0,8
	5	0,0	0,0		5	0,3	0,0
	6	0,0	0,0		6	0,0	0,0
	7	0,0	0,0		7	0,0	0,0
	Total	81,2	0,2		Total	3 993,1	11,7
08 Abitibi-Témiscamingue			17 Nord-du-Québec				
	3	738,7	2,1		3	1 822,9	5,3
	4	0,4	0,0		4	83,9	0,3
	5	0,0	0,0		5	0,0	0,0
	6	0,0	0,0		6	0,0	0,0
	7	0,0	0,0		7	0,0	0,0
	Total	739,1	2,1		Total	1 906,8	5,6
09 Côte-Nord			Total Québec				
	3	270 041,3	785,4		3	1 648 765,3	4 795,1
	4	74 824,2	236,0		4	1 396 192,8	4 403,0
	5	13 010,7	43,7		5	636 781,3	2 136,5
	6	3 349,0	12,2		6	196 473,8	714,3
	7	262,9	1,2		7	47 410,6	218,5
	Total	361 488,1	1 078,4		Total	3 925 623,8	12 267,3

²²¹ Extrait de MRNF, 2005

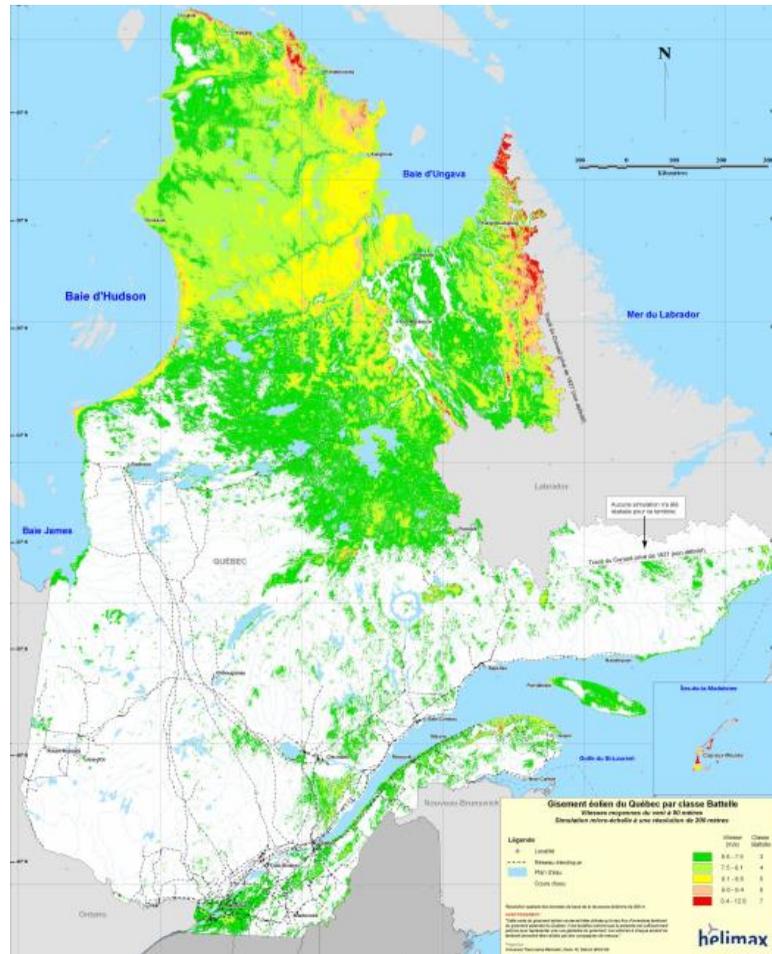


Figure 33 : Gisement éolien du Québec par classe Batelle; vitesse moyenne du vent à 80 mètres au-dessus du sol²²²

²²² MRNF, n.d.

Le potentiel éolien de la région est en effet l'un des plus faibles du Québec. Il est même infime par rapport aux régions à fort potentiel. En fait, l'étendue des parcelles de territoire démontrant un certain potentiel éolien atteint une superficie de seulement 14 km² pour l'ensemble des Laurentides pour une production potentielle de 168 MW.²²³ La plupart des vents qui balayent la région appartiennent à la classe 3 de Battelle, de sorte que la rentabilité d'éoliennes serait particulièrement basse.

Pour ne pas mettre en jeu la fiabilité de son réseau, Hydro-Québec a fixé la limite du développement de l'énergie éolienne à 10% de la puissance hydroélectrique installée.²²⁴ Si Hydro-Québec élargissait la limite de 10% à 15 ou 20% de la puissance hydroélectrique installée, alors un développement de la filière pourrait être de nouveau envisageable. Par contre, le Nord-du-Québec jouit d'un potentiel éolien particulièrement important (88,5% de l'ensemble du Québec), et la faible densité de population réduit considérablement les difficultés d'acceptabilité sociale des projets éoliens. De par ces avantages, le développement de la filière éolienne dans cette région apparaît donc très prometteur.²²⁵

Les petites éoliennes pourraient toutefois s'avérer intéressantes pour les chalets isolés du réseau de distribution hydroélectrique²²⁶.

²²³ BAPE, 2004

²²⁴ Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P., 2011

²²⁵ Ibid.

²²⁶ Ibid.

Énergie solaire

Solaire photovoltaïque

Description

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) produit de l'électricité à partir des rayons du soleil qui réfléchissent sur des cellules photovoltaïques. En d'autres termes, il s'agit de composantes électroniques réagissant à la lumière : les photons issus du soleil activent les électrons de la cellule, lesquels génèrent un courant continu.²²⁷ Cette réaction est possible grâce à deux minces couches de semi-conducteurs (positive et négative), et l'ensemble de ce phénomène s'appelle « l'effet photovoltaïque ». ²²⁸ L'énergie produite est ensuite transmise à un réseau ou branchée sur des batteries de manière à stocker l'énergie.



Figure 34 : Cellules photovoltaïques²²⁹

²²⁷ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011.

²²⁸ Ibid.

²²⁹ Mon-energie-solaire.com, n.d.

Les panneaux PV peuvent être installés sur un toit, sur un poteau ou sur toute autre structure.²³⁰ Bien que la majeure partie des fabricants d'équipements soit située en Ontario, il existe une liste, disponible sur le site d'Énergie solaire Québec (ESQ), des principaux distributeurs et installateurs québécois de produits et équipements solaires.

De façon générale, les modules PV ont un rendement peu performant, c'est-à-dire que le rapport entre l'énergie électrique produite et l'énergie lumineuse incidente est relativement faible. L'efficacité des cellules PV varie en fonction d'un certain nombre de facteurs parmi lesquels on trouve d'abord les matériaux composant la cellule. Le silicium cristallin est au cœur de la production d'énergie dans 84% des cellules PV disponibles sur le marché, et son efficacité maximale, selon sa forme qu'il adopte, varie entre 8% et 23% (tableau suivant). Il existe aussi des modules solaires qui contiennent d'autres éléments.²³¹

Tableau 14 : Efficacité de la cellule PV en fonction de la structure du silicium cristallin²³²

Type de cristallin (silicium cristallin)	Efficacité maximale
silicium monocristallin	23%
polycristallin	18%
cellule amorphe	8%

²³⁰ RNCREQ, 2009.

²³¹ Drolet, B., 2007

²³² Ibid.

Un second facteur à considérer dans l'efficacité des cellules PV est la quantité de rayonnement solaire que reçoit chaque m² sur une surface horizontale. Le courant produit est en effet proportionnel à la quantité de lumière reçue, c'est-à-dire qu'un panneau PV qui reçoit un rayonnement solaire trois fois plus élevé, par exemple, produira trois fois plus d'électricité. L'ensoleillement global moyen, généralement exprimé en kWh/m², varie selon la localisation géographique.

Un troisième facteur important à évaluer pour la production d'électricité est le potentiel PV annuel, exprimé cette fois en kWh/kW. Ce potentiel peut fluctuer en fonction de l'orientation des panneaux et de son angle de rotation. « L'angle d'incidence des rayons du soleil sur les capteurs influence directement l'énergie captée : idéalement, il faut que les rayons frappent la surface des capteurs à angle droit (90°). »²³³ De façon générale, la mesure du potentiel PV annuel se base sur une orientation vers le sud avec une inclinaison égale à la latitude.



Figure 35 : Installation photovoltaïque²³⁴

²³³ Ibid.

²³⁴ Web-pédagogique, 2012

Maturité

Malgré une croissance très rapide de l'implantation des panneaux PV à travers le monde et au Canada, il y a peu de projets utilisant cette technologie au Québec. Il y a quelques projets de maisons solaires, qui sont souvent des projets d'expérimentation et démonstration, ratisant généralement subventions publiques et appuis financiers de partenaires privés. En fait, les meilleures utilisations se trouvent dans les domaines de l'aérospatial, des petits équipements (chargeurs de batteries), des télécommunications, de la signalisation routière et de l'électrification de sites isolées (chalets, pourvoiries, refuges).²³⁵ Pour les bâtiments éloignés, les coûts de raccordement au réseau d'Hydro-Québec sont prohibitifs et l'utilisation du solaire PV se présente donc comme une énergie d'appoint intéressante, d'autant plus que les installations assurent une certaine fiabilité et exigent peu d'entretien.

Des expériences étrangères nous permettent de voir qu'il y a différentes stratégies encourageant la percée du solaire PV sur le marché. En Allemagne, l'énergie solaire PV a contribué, en 2010, à 2% de la production totale d'électricité, soit 12TWh. Le secteur de l'énergie solaire du pays emploie 35 000 personnes. L'Allemagne a mis en place des tarifs incitatifs intéressants pour acheter l'électricité des producteurs d'énergie renouvelable. Bien que le prix de l'électricité soit plus élevé qu'au Québec (équivalent de 0,275\$/kWh), les montants versés pour chaque kWh produits sont très avantageux (0,62 à 0,867\$/kWh) et sont garantis sur de longues périodes (20 ans).²³⁶

Plus près de chez nous, l'Ontario est la province canadienne qui donne l'exemple en stimulant la production d'énergie PV. C'est depuis 2006 que la province propose des tarifs d'achat

²³⁵ Drolet, Benoit, 2007

²³⁶ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011.

d'électricité qui encouragent l'intégration des énergies renouvelables décentralisées. En 2009, les tarifs ont été bonifiés dans le cadre du Green Energy and Green Economy Act. Pour le PV, le producteur d'électricité recevra entre 0,443 et 0,802\$/kWh selon la période journalière de transfert au réseau de l'électricité. De plus, la province encourage la production locale afin de stimuler l'économie et demande au producteur d'énergie PV que 60% du contenu soit produit en Ontario (bien et service). Par ailleurs, une exemption de taxe provinciale est accessible lors de l'achat d'équipement visant à produire des énergies renouvelables tel que le solaire PV. D'autres subventions ont été accordées dans le passé par certaines entreprises privées et organisations gouvernementales. Il est à noter que l'Ontario a intégré une tarification horaire de la consommation d'énergie, ce qui a été un facteur important permettant de réduire les pointes de consommation. Aujourd'hui, la capacité de production d'électricité par le solaire PV en l'Ontario s'élève à 215 MW, ce qui correspond à 10% de la production de l'Amérique du Nord.²³⁷

Défis actuels

Actuellement, la recherche vise principalement deux aspects : l'augmentation de la performance des cellules PV et le moyen d'en diminuer le prix. L'amélioration de l'efficacité des cellules PV passe en ce moment par la recherche de nouvelles composantes (CdTe, CuInSe₂, GaAs, etc.) pour remplacer le silicium multicristallin.²³⁸ L'amélioration de la performance PV des cellules s'avère d'autant plus nécessaire puisque les superficies disponibles pour la captation optimale du rayonnement solaire sont souvent limitées.

L'orientation des bâtiments, l'ombrage des végétaux ou des bâtiments environnants peuvent en effet être des facteurs qui limitent le potentiel PV.

Le prix des installations par rapport à l'énergie produite représente un autre défi qui rend difficile la percée du solaire PV au Québec. Le coût de revient de l'énergie solaire PV se situe généralement entre 0,25 et 0,45\$/kWh²³⁹, et peut même atteindre 0,60 \$/kWh.²⁴⁰ Le solaire PV est actuellement l'une des énergies renouvelables les plus chères.

Dans ce contexte, le solaire PV ne peut pas rivaliser avec l'hydroélectricité du Québec, dont le tarif se situait, en 2011, à 0,0682\$/kWh, soit le plus bas en Amérique du Nord.²⁴¹ Sans aide financière, la période de retour sur investissement est supérieure à la durée de vie des systèmes, qui est de 25 à 30 ans. Pour réduire les coûts, la recherche travaille non seulement à optimiser la production des modules PV, mais aussi à trouver d'autres procédés, moins onéreux, de purification et de cristallisation du silicium multicristallin.²⁴²

Par ailleurs, le marché du solaire PV étant toujours en croissance, jumelé à une diminution déjà observée de son prix, nous permet peut-être d'anticiper éventuellement un prix plus concurrentiel. Pour ce faire, les paliers de gouvernement devront toutefois continuer à s'inspirer des chefs de file en énergie solaire PV comme l'Allemagne, la Californie et l'Ontario et proposer notamment des programmes de subventions, des tarifs de rachat avantageux, etc.

²³⁷ Ibid.

²³⁸ Agrinova, 2009

²³⁹ Agrinova, 2009; Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011

²⁴⁰ Drolet, Benoit. 2007; MRNF, 2012.

²⁴¹ Agrinova, 2009; Hydro-Québec, 2011.

²⁴² Ibid.

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Outre le rendement des cellules PV, les deux principaux facteurs à considérer avant d'envisager le développement de ce type d'énergie solaire sont le potentiel PV (kWh/kW) et le niveau d'ensoleillement (kWh/m²) d'une région. Il existe un répertoire permettant de connaître ces données pour un certain nombre de municipalités du Québec.

Potentiel PV des Laurentides

La figure et les tableaux qui suivent présentent les données exprimant le potentiel PV de la région des Laurentides, du Québec et de certaines villes à travers le Canada et le reste du monde. On constate, sur la carte du potentiel PV au Québec, que la région méridionale, au sud, est là où le potentiel est le plus élevé, se situant entre 1100 et 1300 kWh/kW. La région des Laurentides, possède quant à elle un potentiel PV de 1188 kWh/kW. En comparant ces données à d'autres villes canadiennes, on peut voir que la région serait avantagée par rapport à de nombreuses autres pour le développement de cette filière. En fait, les villes canadiennes qui présentent un potentiel PV supérieur sont, globalement, celles qui se situent dans les prairies. Enfin, en comparant avec les villes d'autres pays, on peut autrement apprécier le potentiel PV des Laurentides; notamment en considérant celui de Berlin (848 kWh/kW), sachant que l'Allemagne est le leader mondial en installation de panneaux PV.

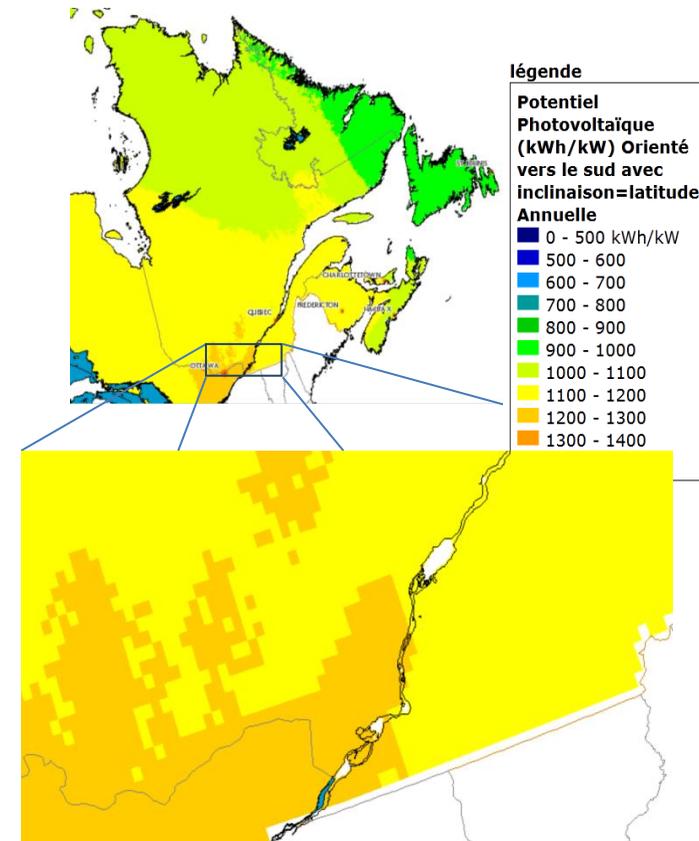


Figure 36 : Carte solaire du potentiel PV en kWh/kW au Québec²⁴³

²⁴³ Ressource naturelle Canada, 2012

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Tableau 15 : Comparaison du potentiel PV annuel (kWh/kW) entre la région administrative des Laurentides et d'autres villes canadiennes²⁴⁴

Municipalité	Potentiel PV annuel (kWh/kW)
Regina (Saskatchewan)	1361
Calgary (Alberta)	1292
Winnipeg (Manitoba)	1277
Edmonton (Alberta)	1245
Ottawa (Ontario)	1198
Région adm. des Laurentides (Québec)	1188
Montréal (Québec)	1185
Toronto (Ontario)	1161
Fredericton (Nouveau-Brunswick)	1145
Québec (Québec)	1134
Charlottetown (Ile-du-Prince-Édouard)	1095
Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest)	1094
Victoria (Colombie-Britannique)	1091
Halifax (Nouvelle-Écosse)	1074
Iqaluit (Nunavut)	1059
Vancouver (Colombie-Britannique)	1009
Whitehorse (Yukon)	960
St-John's (Terre-Neuve/Labrador)	933

Tableau 16 : Comparaison du potentiel PV annuel (kWh/kW) entre la région administrative des Laurentides et d'autres villes dans le monde²⁴⁵

Ville	Potentiel PV annuel (kWh/kW)
Le Caire, Egypte	1635
Le Cap, Afrique du Sud	1538
Delhi, Inde	1523
Los Angeles, É.-U.	1485
Mexico, Mexique	1425
Regina, Saskatchewan	1361
Sydney, Australie	1343
Rome, Italie	1283
Rio de Janeiro, Brésil	1253
Ottawa, Canada	1198
Région adm. des Laurentides (Québec)	1188
Beijing, Chine	1148
Washington, D.C., É.-U.	1133
Paris, France	938
St. John's, Terre-Neuve/Labrador	933
Tokyo, Japon	885
Berlin, Allemagne	848
Moscou, Russie	803
Londres, Angleterre	728

²⁴⁴ Ressources naturelles Canada, 2012

²⁴⁵ Ibid.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

À partir des données disponibles dans la liste des municipalités de Ressources naturelles Canada, il a été possible d'établir les moyennes par MRC. À quelques kWh/kW de différence, les MRC de la région ont sensiblement le même potentiel PV. Les MRC des basses-Laurentides sont très légèrement avantagées par rapport à celles du centre et du nord de la région.

Tableau 17 : Potentiel PV moyen (kWh/kW) et ensoleillement global quotidien moyen (kWh/m²) pour les MRC de la région des Laurentides²⁴⁶

	Potentiel PV moyen de la MRC (kWh/kW) Orienté vers le sud, inclinaison= latitude	Ensoleillement global moyen de la MRC par jour (kWh/m²) Horizon (inclinaison= 0°)
MRC Pays-d'en-Haut	1180	3,5
MRC Rivière-du-Nord	1184	3,5
MRC Laurentides	1186	3,5
MRC Antoine-Labelle	1186	3,5
MRC Argenteuil	1189	3,5
MRC Mirabel	1190	3,5
MRC Thérèse-de-Blainville	1192	3,5
MRC Deux-Montagnes	1194	3,5
Moyenne Laurentides	1188	3,5
Québec	1200	3,2

²⁴⁶ Ibid.

Ensoleillement global moyen des Laurentides

Outre le potentiel PV, le niveau d'ensoleillement est l'autre facteur qui varie en fonction de la localisation géographique, notamment la latitude. Selon l'endroit sur le territoire du Québec, le niveau d'ensoleillement se situe entre 2,5 et 3,9 kWh/m².²⁴⁷ Dans les Laurentides (voir tableau précédent), l'ensoleillement global est le même peu importe si l'on se trouve au nord ou au sud. Avec 3,5 kWh/m², il est légèrement supérieur à la moyenne québécoise de 3,2 kWh/m². À titre de comparaison, l'Allemagne, qui est un chef de file dans l'utilisation de l'énergie solaire, reçoit un ensoleillement global moyen quotidien se situant entre 2,4 et 3,4 kWh/m² (entre 900 et 1300 kWh/m² annuellement).²⁴⁸ La figure suivante illustre le niveau d'ensoleillement (sur une base annuelle) de l'ensemble de l'Europe.

²⁴⁷ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011.

²⁴⁸ Solargis, 2011

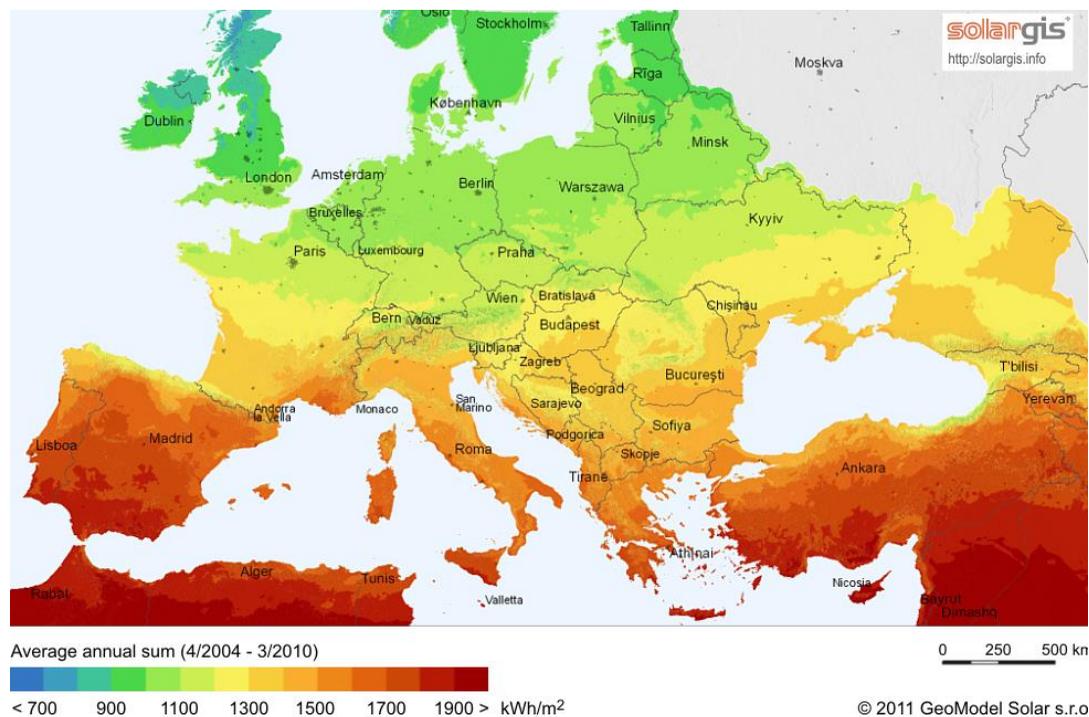


Figure 37 : Ensoleillement global annuel moyen de l'Europe²⁴⁹

Perspectives

Actuellement au Québec, la filière du solaire photovoltaïque ne rassemble pas les conditions favorables pour intégrer massivement le marché de la production électrique. En effet, le coût d'achat élevé des cellules PV et le faible tarif de l'hydroélectricité rendent particulièrement long le retour sur l'investissement, ce qui freine le développement de la filière. Néanmoins, elle reste une option d'appoint intéressante dans certains cas, notamment pour les bâtiments isolés n'étant pas desservis par le réseau d'Hydro-Québec (pouroiries, gîtes, chalets, etc.). Elle n'est toutefois pas adaptée aux utilisations à forte consommation d'énergie comme le chauffage. En milieu urbain, l'utilisation de panneaux PV est en voie d'augmentation. De plus en plus, on voit des panneaux solaires alimenter les bornes de stationnement, les panneaux d'affichage électroniques, les systèmes de télécommunications, l'éclairage public, l'éclairage d'appoint, etc. Ce type d'usage du solaire PV mériterait d'être davantage connu comme solution technologique propre, mobile et adaptable, d'autant plus que la filière jouit d'une forte acceptabilité sociale. Les panneaux solaires PV sont par ailleurs parfois utilisés pour jouer un rôle esthétique dans la conception architecturale.²⁵⁰

Par sa Stratégie énergétique 2006-2015, le gouvernement entrevoit appuyer l'innovation technologique de certaines filières énergétiques, dont l'énergie solaire. Il est donc possible d'accéder à des programmes de financement pour l'innovation technologique et les énergies renouvelables. Par ailleurs, Hydro-Québec met à la disposition des clients produisant jusqu'à 50 kW d'énergie solaire photovoltaïque un programme qui se nomme : « L'option de mesurage net », par lequel ils peuvent injecter leur surplus d'énergie dans le réseau et obtenir en échange des crédits sous forme de kilowattheures.

²⁴⁹ Ibid.

²⁵⁰ Ressources naturelles Canada, 2001; ADEME, 2012; Agrinova, 2009

Solaire thermique actif : capteurs à air

Description

L'énergie solaire thermique se base sur la récupération de la chaleur émise par les rayons du soleil. Les capteurs, de couleur foncée, absorbent la chaleur et l'emmagasinent dans un fluide caloporteur qui peut être de l'air, de l'eau ou un mélange d'antigel et d'eau.²⁵¹ Il y a donc deux principaux types de capteurs : les capteurs thermiques à air et les capteurs thermiques liquides. À partir de ces systèmes, la chaleur récupérée est soit stockée, soit immédiatement utilisée. Cette chaleur permet notamment de chauffer des locaux ou des réservoirs d'eau. Les différents systèmes peuvent être installés sur un toit, sur un mur extérieur ou au sol.

Les capteurs à air sont disponibles en deux types de systèmes. On peut en effet les trouver sous forme de boîtiers ou sous forme de murs solaires. Ces deux systèmes présentent soit une surface vitrée ou une surface avec des plaques perforées. Le fonctionnement des capteurs solaires à air, qu'ils soient vitrés ou avec des plaques métalliques à circulation d'air, se base sur le principe de l'effet de serre, lequel est reproduit à l'intérieur d'un boîtier étanche. Le système est amplifié par un absorbeur, de couleur foncée, et d'ailettes, et peut être relié ou non à un autre système (échangeur d'air, chauffage ou fournaise).²⁵²

Ce type de système est généralement utilisé dans les secteurs résidentiel, institutionnel et commercial, et sert principalement à chauffer ou préchauffer l'air qui entre dans le bâtiment. L'air chaud peut également servir réchauffer l'eau domestique. « De façon conservatrice on

peut calculer que le chauffe-air pourra subvenir à 20-25% des besoins de chauffage d'un espace de 1000 pi.² pour une résidence à haut rendement énergétique. »²⁵³



Figure 38 : Capteurs vitrés (gauche) et capteurs à plaques métalliques (droite)²⁵⁴

²⁵¹ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011.

²⁵² Drolet, Benoit. 2007.

²⁵³ Écosolaris, 2012.

²⁵⁴ Drolet, Benoit. 2007

Le mur solaire est aussi un système efficace pour préchauffer l'air de ventilation. Ce système est conçu avec une série de plaques murales, en verre ou en métal, perforées et exposées au soleil. Ces plaques remplacent en quelque sorte une partie du revêtement extérieur. Derrière le mur métallique ou de verre, un espace de 3 à 12 pouces est laissé afin que l'air y soit réchauffé. La température de l'air derrière le mur peut atteindre jusqu'à 45 °C.²⁵⁵ Dans le haut du mur, un boîtier collecte l'air chaud, qui est ensuite redistribué par un système de ventilation. Des clapets permettent de contourner le système durant les saisons chaudes.²⁵⁶ Le mur solaire est plus souvent utilisé sur les grands bâtiments commerciaux, institutionnels et industriels.



Figure 39 : Murs solaires²⁵⁷

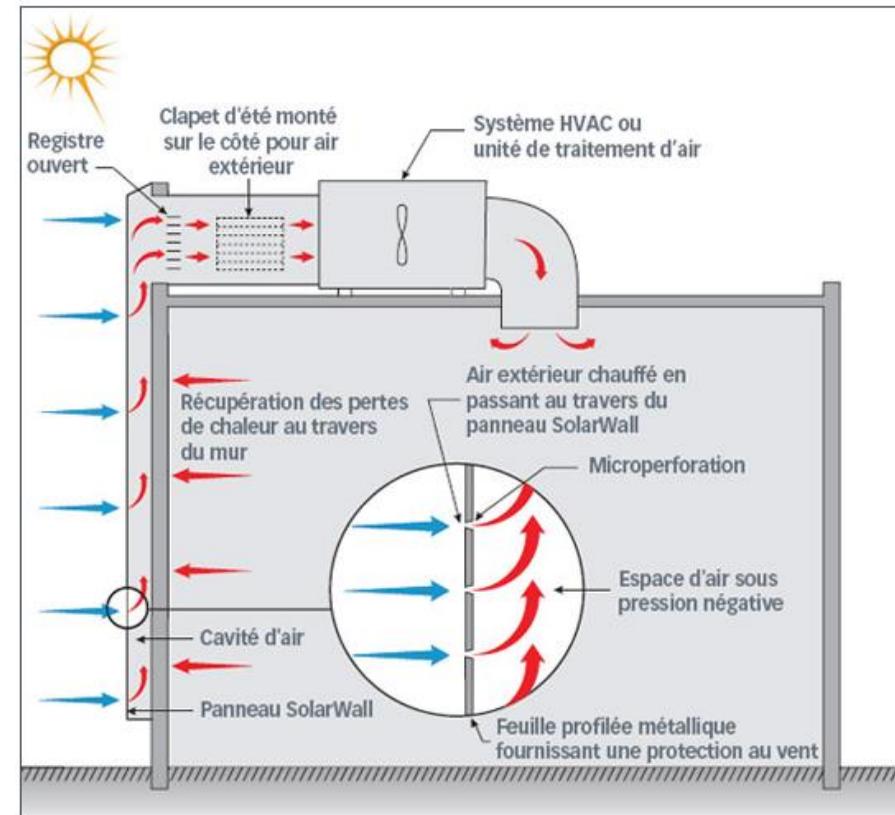


Figure 40 : Unité de captage de l'air en toiture²⁵⁸

²⁵⁵ Froment, Dominique, 2011.

²⁵⁶ Drolet, Benoit, 2007

²⁵⁷ Ibid.

²⁵⁸ Solarwall, 2012

Maturité

Une étude pour le compte du Réseau des ingénieurs du Québec mentionnait que les technologies solaires pour le préchauffage de l'air pouvaient engendrer une réduction de coûts de 25% par rapport aux technologies conventionnelles. L'étude indique également que la période de retour sur investissement est généralement courte, se situant entre 1,7 et 6 ans.²⁵⁹ La rentabilité s'explique notamment parce que le système ne comporte pas d'équipements ou composants coûteux, mais aussi parce qu'il évite en partie, du moins pour les nouveaux bâtiments, l'installation de revêtement extérieur.²⁶⁰ Selon le gouvernement Ontarien, le mur solaire perforé peut coûter, incluant l'installation, jusqu'à 250\$/m².²⁶¹ Lorsqu'il est installé au moment de la construction de nouveaux bâtiments, ce qui est plus facile, les coûts équivalents estimés sont de 0.03\$/kWh.²⁶²

Au Québec, des centaines d'exemples existent sur les bâtiments industriels, commerciaux et institutionnels. Dans la région des Laurentides, Bombardier Aéronautique (Mirabel), Orica Canada (Brownsburg), IGA Boisbriand, le Complexe Aquatique de St-Eustache, IGA Bellefeuille (Saint-Jérôme) et l'Université du Québec en Outaouais (Saint-Jérôme) utilisent la technologie des murs solaires à plaques métalliques perforées. Pour ce qui est des murs solaires à vitrage l'entreprise Paccar, située à Sainte-Thérèse, sert d'exemple. Quant aux capteurs sous forme de boîtiers, on en retrouve à l'extérieur de la région, soit à la Société de Transport de Montréal, au CHSLD de Vaudreuil ou au Cégep de Sherbrooke pour ne nommer que ceux-là.

La technologie des capteurs à air est simple, mature et accessible sur le marché. Leur efficacité est également démontrée, même si leur rendement ne peut couvrir l'ensemble des besoins en chauffage. Une autre source est effectivement nécessaire.

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Compte tenu que le potentiel solaire, avec un ensoleillement quotidien moyen de 3,5 kWh/m², a déjà été démontré dans les Laurentides (voir tableau 17), l'utilisation de capteurs à air comme solution écoénergétique s'avère particulièrement pertinente. Les nombreux avantages énumérés en termes de coût, d'entretien, d'efficacité, etc., en font une source d'énergie à préconiser. L'orientation des bâtiments, l'ombrage des végétaux ou des bâtiments environnants peuvent toutefois être des facteurs limitant le potentiel.

Les capteurs solaires thermiques à air auraient avantage à être plus connus dans les secteurs institutionnel, commercial et industriel. Les bâtiments servant à leurs activités possèdent de grandes surfaces (toiture ou revêtement) qui sont tout indiquées pour l'installation de tels systèmes, d'autant plus qu'ils nécessitent le chauffage d'un volume important d'air. Bien que la technologie semble déjà retenir l'attention de certains d'entre eux, il serait pertinent de promouvoir l'utilisation de ces systèmes. Il serait intéressant que les constructeurs de nouveaux bâtiments tiennent compte systématiquement de cette option, peut-être en l'intégrant au règlement de construction des municipalités.

²⁵⁹ Écoressources consultants, 2009; Drolet, B., 2007

²⁶⁰ Ibid.

²⁶¹ Gouvernement de l'Ontario, 2011.

²⁶² Drolet, B., 2007

Solaire thermique actif : capteurs à eau

Description

L'énergie solaire thermique se base sur la récupération de la chaleur émise par les rayons du soleil. Les capteurs, de couleur foncée, absorbent la chaleur et l'emmagasinent dans un fluide caloporteur qui peut être de l'air, de l'eau ou un mélange d'antigel et d'eau.²⁶³ Il y a donc deux principaux types de capteurs : les capteurs thermiques à air et les capteurs thermiques liquides. À partir de ces systèmes, la chaleur récupérée est soit stockée, soit immédiatement utilisée. Cette chaleur permet notamment de chauffer des locaux ou des réservoirs d'eau. Les différents systèmes peuvent être installés sur un toit, sur un mur extérieur ou au sol.

On trouve deux catégories de capteurs à eau : les capteurs sous vide et les capteurs plans. Les capteurs sous vide sont faits d'une série de grands cylindres transparents soutenus par un cadre métallique. Ces conduits cylindrés sont reliés par un tuyau dans lequel circule un liquide caloporteur (eau, propylène glycol).²⁶⁴ Le liquide absorbe la chaleur et se dirige vers un condensateur. Un transfert de chaleur s'effectue alors soit pour le chauffage de l'air ou de l'eau, soit pour le stockage des joules contenus dans le liquide. Les capteurs sous vide sont davantage utilisés pour chauffer l'eau des résidences et des commerces, ainsi que pour chauffer des bâtiments et des piscines intérieures.²⁶⁵ Ils ont un rendement plus élevé que les capteurs plans, mais sont également plus coûteux. Ce système peut en effet atteindre des températures variant entre 50 et 90°C.



Figure 41 : Capteurs sous vide²⁶⁶

Les capteurs plans se présentent avec ou sans vitrage. L'installation sans vitrage convient lorsque le besoin thermique de l'eau est inférieur à 30°C. Ces capteurs sont composés principalement d'un absorbeur noir (métallique ou synthétique) formant une membrane. Cette dernière est sillonnée par un réseau de tubes cylindriques ou ovalisés dans lequel circule le liquide caloporteur.²⁶⁷ Le modèle sans vitrage représente le modèle le plus installé, chaque année, et sert principalement à chauffer l'air par radiation (planchers ou panneaux).

Les capteurs plans avec vitrage visent des applications dont la température du liquide se situe entre 30 et 70°C. Sur les toits, ce modèle peut se confondre avec les panneaux photovoltaïques, car les capteurs sont dans des caissons vitrés dont le fond est de couleur

²⁶³ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011.

²⁶⁴ Gpso-energie, 2011.

²⁶⁵ Drolet, Benoit. 2007.

²⁶⁶ Mon-energie-solaire.com, n.d.

²⁶⁷ GUIDEnR Solaire thermique, 2012.

foncée. Ils reprennent le principe des capteurs plans sans vitrage, mais profitent en plus de la chaleur emmagasinée dans la boîte vitrée, lui conférant ainsi un rendement plus élevé.



Figure 42 : Capteurs plans sans vitrage (gauche)²⁶⁸ et capteurs plans avec vitrage (droite)²⁶⁹

Maturité

Les capteurs à eau sont des technologies matures et qu'on retrouve sur le marché québécois depuis les années 1980. Le rendement de ces capteurs ne peut généralement couvrir l'ensemble des besoins en eau chaude ou chauffage. Dès lors, une source d'appoint est nécessaire. Les capteurs sans vitrage sont davantage observés sur des bâtiments de grandes surfaces de types commercial, institutionnel et industriel, et les capteurs avec vitrage se retrouvent sur les toitures ou les murs des bâtiments résidentiels et commerciaux le plus souvent.

En ce qui a trait aux chauffe-eau solaires, l'intérêt se trouve davantage dans les secteurs résidentiel, institutionnel et commercial. Ces chauffe-eau peuvent répondre à des besoins en eau chaude variant entre 40 et 70%, selon différents fabricants, l'Agence de l'Efficacité Énergétique du Québec et les études de cas à partir du logiciel RETScreen International.²⁷⁰ Par contre, un banc d'essai réalisé par le Laboratoire des technologies de l'énergie d'Hydro-Québec (LTE) avec des systèmes sous vide et à panneaux vitrés a conclu à une réduction moyenne de 35% des besoins en eau chaude pour une résidence unifamiliale de quatre personnes, générant ainsi des économies annuelles de 110\$.²⁷¹ Cette étude conclut que la période de rentabilité est beaucoup plus longue que la durée de vie des équipements. La durée de vie de ces systèmes est d'environ 25 ans bien que certaines composantes soient à changer au cours de cette période (fluide, réservoir, pompe).

Dans le cas d'une maison pour une famille de 3 personnes (2,5 dans les Laurentides), Hydro-Québec estime la consommation annuelle d'énergie pour l'eau chaude à 5 743kWh. Pour des capteurs solaires à eau d'environ 6 m², on évalue une production annuelle d'environ 3 000kWh. Ceci représente donc une réduction d'un peu plus de 50% de la consommation en eau chaude. Le coût moyen d'achat d'équipement et d'installation se situe entre 9 850\$ et 11 950\$. Selon l'étude de Drolet, le coût de revient pour les capteurs solaire eau est estimé entre 0,09 et 0,154\$/kWh.²⁷² Ce qui n'est pas avantageux au Québec compte tenu des tarifs d'Hydro-Québec. La diminution des coûts de fabrication et d'installation reste le principal défi pour rendre les capteurs eau plus attrayants.²⁷³

²⁶⁸ Ressources naturelles Canada, 2012

²⁶⁹ Terrasource-énergie solaire, 2010

²⁷⁰ Écosolaris, 2012; Bédard, Normand et Marie-Andrée Leduc, 2011; Drolet, Benoit, 2007.

²⁷¹ Normand et Marie-Andrée Leduc, 2011.

²⁷² Drolet, Benoit, 2007.

²⁷³ Agrinova, 2009

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Compte tenu que le potentiel solaire, avec un ensoleillement quotidien moyen de 3,5 kWh/m², a déjà été démontré dans les Laurentides (voir tableau 17), l'utilisation de capteurs à eau, tant pour les capteurs sous vide que pour les capteurs plans, s'avère pertinente comme solution écoénergétique. Selon le choix des capteurs, ce type d'énergie peut convenir à tous les types de bâtiments. Les coûts initiaux élevés pour le secteur résidentiel rendent par contre cette technologie moins intéressante pour les maisons unifamiliales.

Les capteurs solaires thermiques à eau auraient avantage à être plus connus dans les secteurs institutionnel, commercial et industriel. Les bâtiments servant à leurs activités possèdent de grandes surfaces (toiture ou revêtement) qui sont tout indiquées pour l'installation de tels systèmes, d'autant plus qu'ils nécessitent le chauffage d'un volume important d'air. Il serait intéressant que les constructeurs de nouveaux bâtiments, du moins pour ces secteurs d'activité, tiennent davantage compte de cette option, notamment pour les capteurs sous vide.

Toutefois, les superficies disponibles pour la captation optimale du rayonnement solaire peuvent présenter certaines limites. L'orientation des bâtiments, l'ombrage des végétaux ou des bâtiments environnant peuvent en effet limiter le potentiel.

Solaire thermique actif : électrique

Description

L'énergie solaire thermique se base sur la récupération de la chaleur émise par les rayons du soleil. Les capteurs, de couleur foncée, absorbent la chaleur et l'emmagasinent dans un fluide caloporteur qui peut être de l'air, de l'eau ou un mélange d'antigel et d'eau.²⁷⁴ Il y a donc deux principaux types de capteurs : les capteurs thermiques à air et les capteurs thermiques liquides. Les différents systèmes peuvent être installés sur un toit, sur un mur extérieur ou au sol. À partir de ces systèmes, la chaleur récupérée est soit stockée, soit immédiatement utilisée. Tel qu'il a été vu précédemment, cette chaleur permet de chauffer des locaux ou des réservoirs d'eau, mais aussi, elle permet de produire de l'électricité.

Dans le cas des systèmes produisant de l'électricité, l'énergie solaire est concentrée en un point focal (méthode de focalisation) et réchauffe un fluide (liquide ou gaz) jusqu'à une haute température. Le fluide passe par un mécanisme afin de produire de la vapeur surchauffée (fluide liquide) ou de générer une force mécanique (fluide gazeux). La vapeur fait ensuite tourner une turbine qui entraîne un alternateur afin de produire de l'électricité.²⁷⁵

Il existe, à grande échelle, trois formes de centrales solaires thermiques qui produisent de l'électricité.

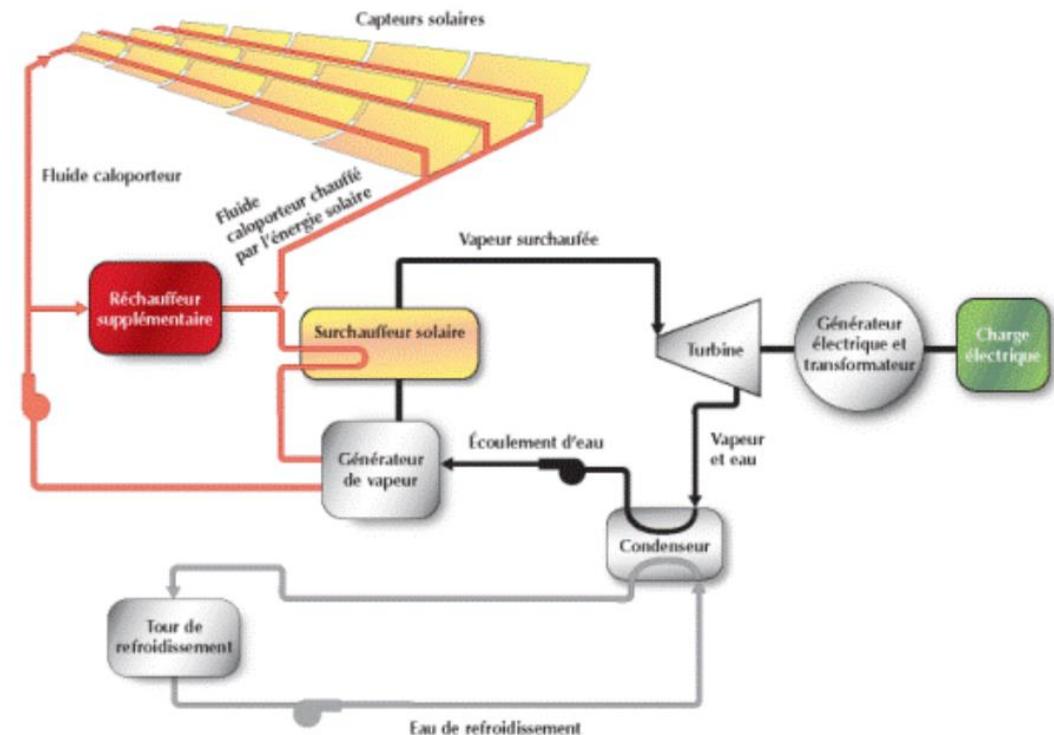


Figure 43 : Système solaire thermique électrique²⁷⁶

²⁷⁴ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011.

²⁷⁵ Ressources naturelles Canada, 2012.

²⁷⁶ Ressources naturelles Canada, 2012

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

La technologie à collecteurs cylindroparaboliques capte le rayonnement du soleil sur des grands miroirs distribués en rangées. Ces rangées sont orientées d'est en ouest, et les miroirs suivent la course du soleil. Ces derniers concentrent de 30 à 100 fois le rayonnement du soleil en un point focal du miroir parabolique, où un tuyau comportant un liquide caloporteur passe afin de récupérer la chaleur et élever la température jusqu'à 400°C.²⁷⁷ Un transfert de chaleur s'effectue afin de créer de la vapeur, laquelle permet ensuite de faire fonctionner une turbine servant à produire l'électricité.



Figure 44 : Parc solaire de collecteurs cylindroparaboliques²⁷⁸

Le procédé du collecteur parabolique ressemble beaucoup au précédent. Ce qui le distingue principalement, c'est le design des miroirs focaux, ainsi que le petit moteur Stirling qui se trouve au point focal. Les miroirs sont à l'image d'un récepteur satellite et font converger la lumière vers une boîte où se trouve le moteur Stirling. Ce moteur comporte un gaz (fluide) qui est soumis à un cycle de variation de température et de pression. « Ce moteur convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique et ensuite en électricité. »²⁷⁹



Figure 45 : Collecteur parabolique²⁸⁰

²⁷⁷ Planète-Énergie, 2010

²⁷⁸ Outil solaire, 2012

²⁷⁹ Écosources, 2008

²⁸⁰ Écoressources, 2009

La technologie des centrales à tour repose cette fois sur des miroirs distribués sous forme de cercles concentriques. Ces miroirs réfléchissent la lumière du soleil vers une tour élevée au centre. La lumière réfléchie réchauffe une chaudière au haut de la tour, dans laquelle circule un fluide caloporteur. Le procédé thermodynamique de production d'électricité est le même que la technologie à collecteurs cylindroparaboliques.



Figure 46 : Centrale à tour²⁸¹

²⁸¹ Énergine, 2012.

Maturité

Le modèle le plus connu de centrale à tour est celui du projet Gemasolar, en Espagne, qui produit 19,9 MW et électrifie 27 500 ménages.²⁸² Parmi les centrales à capteurs cylindro-paraboliques et paraboliques, la Californie se distingue avec différents projets, dont un méga projet à Blythe qui produira 962 MW,²⁸³ soit presque le double du barrage Eastmain-1. La technologie semble donc avoir atteint un certain niveau de maturité. Elle peut donc être intéressante à certains endroits, malgré les coûts élevés de construction.

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Il n'existe pas, au Québec, de projet de production d'électricité utilisant l'énergie solaire. Les coûts élevés pour la construction de ces systèmes dépassent ceux nécessaires pour la construction des barrages hydroélectriques ainsi que pour la plupart des autres filières de production d'électricité. Par ailleurs, ces centrales nécessitent un taux de radiation très élevé, de l'ordre de 2000 kWh par année, afin d'être attrayante économiquement.²⁸⁴ Or, dans les Laurentides ou dans le sud du Québec, le taux de radiation ne dépasse pas les 1500 kWh. L'intensité solaire de la région ne permet donc pas vraiment d'envisager ce genre de système.

²⁸² Énergine, 2012.

²⁸³ Ibid.

²⁸⁴ Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011.

Énergie de la biomasse

La biomasse désigne l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine animale ou végétale. C'est tout ce qui compose la matière vivante et ses résidus, qui a été transformé ou non. La biomasse englobe aussi bien les résidus de jardins, les cadavres animaux, les feuilles mortes, les résidus de table, les boues provenant des stations d'épuration municipales ou des fosses septiques, les résidus de foresterie ou les résidus de bois (transformé ou non), les fumiers et lisiers, etc. Bref, elle comprend tout ce qui a été vivant un jour ou l'autre ou qui en est issu. La biomasse a la particularité d'être riche en carbone, ce qui fait qu'elle peut potentiellement être utilisée comme source d'énergie.²⁸⁵ Elle peut être brûlée, convertie en électricité ou en carburants.

Au Québec, à l'heure actuelle, les matières organiques sont soit enfouies, soit incinérées, et quelquefois valorisées dans des systèmes de cogénération et des réseaux de chaleur, compostées ou utilisées directement comme matières fertilisantes. La valorisation n'implique donc pas systématiquement une utilisation comme source énergétique. Actuellement, si l'enfouissement et l'incinération sont souvent choisis au Québec, c'est principalement en raison de leur faible coût. Ces méthodes d'élimination ont toutefois des impacts non négligeables sur l'environnement²⁸⁶. Les matières organiques envoyées vers un site d'enfouissement ou incinérées constituent une source importante d'émissions de GES. La figure suivante illustre, à titre d'exemple, la quantité de GES émis pour différents modes de gestion des boues municipales.

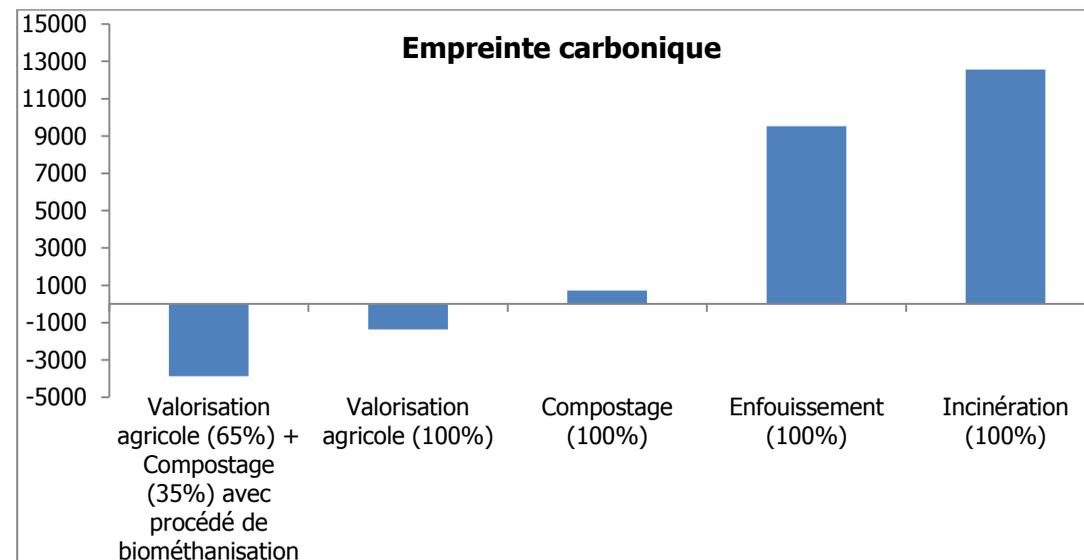


Figure 47 : Empreinte carbonique des différentes techniques de valorisation des boues, estimation faite pour la Ville de Saguenay²⁸⁷

Dans le site d'enfouissement, la dégradation des matières organiques se fait en milieu anaérobie. Ainsi privées d'oxygène, ces matières riches en carbone vont produire du méthane et, en moindre quantité, d'autres GES. D'autres effusions vont se produire lors de la dégradation, dont des composés riches en azote et en soufre, responsables des pluies

²⁸⁵ Fondation d'entreprise ALCEN pour la connaissance des énergies, n.d.

²⁸⁶ Villeneuve, C. et Dussereault, P.-L. pour le MDDEP, 2011

²⁸⁷ Ibid.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

acides, et des composés organiques volatiles (COV)²⁸⁸. L'enfouissement des matières organiques nécessite donc des systèmes pour capter les biogaz.

En plus des émissions de GES, l'enfouissement de la matière organique constitue un risque de libérer des agents pathogènes dans l'environnement, notamment via les eaux de lixiviation. Ces dernières doivent être recueillies et traitées pour éviter la contamination des eaux souterraines par les métaux lourds et les agents pathogènes. En effet, le processus de décomposition engendre la production d'acides susceptibles de dissoudre les métaux lourds présents dans le site. Ceux-ci risquent alors d'être emportés par les eaux de ruissellement, les pluies et la fonte des neiges et de contaminer les plans d'eau souterrains ou de surface. La présence de matières putrescibles dans un site d'enfouissement augmente donc sa charge polluante.²⁸⁹ L'ensemble de ces problèmes constituent la motivation principale du gouvernement pour interdire leur enfouissement.

Selon le degré de contamination de la matière organique, l'incinération peut aussi produire des résidus dangereux. Il peut d'abord s'agir de fumées toxiques dégagées durant le procédé, lesquelles doivent alors être captées et traitées. Ces fumées peuvent en effet contenir de l'arsenic, du mercure, du plomb ou d'autres substances toxiques, notamment des dioxines et furanes si la combustion est incomplète ou effectuée à une température insuffisamment élevée. Quant aux cendres issues du procédé, elles peuvent être fortement concentrées en métaux lourds, devant alors être enfouies dans un site sécuritaire. De plus, même si la matière organique est peu contaminée, l'incinération produit une grande quantité de GES, comme le démontre la figure 47. Toutefois, lorsqu'elle est réalisée dans des

conditions adéquates, la combustion de la biomasse peut devenir un mode de valorisation (notamment énergétique).

Au lieu de l'enfouir ou de simplement la brûler, la matière organique a tout intérêt à être valorisée. Non seulement on évite alors qu'elle ne devienne un polluant dans un site d'enfouissement, mais elle devient en plus une source d'énergie propre qui permet de remplacer d'autres sources polluantes. De plus, après sa valorisation énergétique, la matière organique résiduelle peut encore être utilisée comme matière fertilisante. Il y a donc toute une synergie d'effets positifs.

Il existe plusieurs procédés pour valoriser la biomasse. Les boues d'épuration, les matières ligneuses (d'origine forestière ou agricole) et les matières putrescibles ont des caractéristiques différentes, de sorte qu'elles sont plus adaptées à certains types de procédés. Le tableau qui suit résume sommairement les procédés les plus pertinents selon le type de matière à valoriser.

Tableau 18 : Principaux modes de valorisation de différents types de matières organiques.

	Biométhanisation	Combustion avec cogénération et réseau de chaleur	Production de biocarburants	Compostage
Matière ligneuse		X	X	X
Boues d'épuration et de fosses septiques	X	X		X
Matières putrescibles (restes alimentaires, restes d'épicerie, d'abattoirs, etc.)	X		X	X

Note : Le compostage n'est pas un procédé de valorisation énergétique, mais il est incontournable lorsqu'il est question de la gestion de la matière organique (voir encadré).

²⁸⁸ Ibid.

²⁸⁹ Ibid.

Procédé : Biométhanisation

Description

La biométhanisation est un procédé qui permet de valoriser la matière organique par fermentation. Elle consiste à placer la biomasse dans un digesteur en absence d'oxygène (milieu anaérobie) et de la soumettre à l'action de microorganismes. De cette réaction résulte un dégagement de biogaz, composé principalement de méthane (CH_4), mais aussi de petites quantités de dioxyde de carbone (CO_2) et d'hydrogène sulfuré (H_2S)²⁹⁰. Le biogaz est ensuite envoyé vers une unité d'épuration afin que sa composition devienne similaire à celle du gaz naturel du réseau de distribution. Les autres gaz initialement présents vont être libérés dans l'atmosphère. Ces gaz ont la propriété de ne pas augmenter les gaz à effet de serre puisque leur neutralité leur permet d'être absorbés par une nouvelle matière organique.²⁹¹

Du point de vue environnemental, la biométhanisation comporte plusieurs avantages. Le biogaz peut être utilisé à différentes fins. L'injection de biométhane dans le réseau gazier n'est que l'une des utilisations potentielles du biogaz. Celui-ci peut également remplacer le pétrole dans les transports lourds, servir de carburant de chauffage pour les édifices et même produire de l'électricité, grâce à des unités de cogénération.²⁹² C'est ainsi que la matière organique peut servir à des fins de valorisation énergétique et être considérée comme une source d'énergie renouvelable. Quant au digestat (le résidu solide restant), il peut servir de fertilisant ou être transformé en compost. Il constitue alors un compost désodorisé

et hygiénisé pouvant alors être vendu en sac, ou en vrac auprès des agriculteurs et des pépinières.

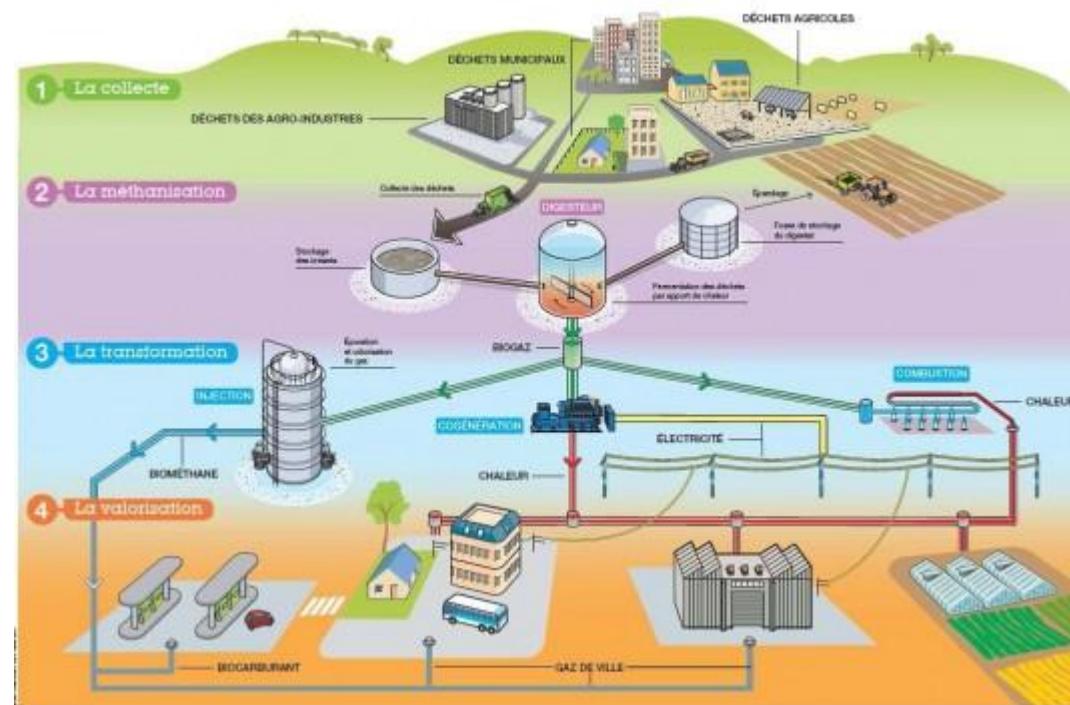


Figure 48 : Valorisation des matières organiques par biométhanisation²⁹³

²⁹⁰ Bonnier, S., 2008

²⁹¹ Agriréseau, 2012

²⁹² AQPER, n.d.

²⁹³ Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (France), 2011

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

En ce qui a trait aux émissions de GES, la biométhanisation est également très avantageuse. En effet, non seulement le procédé n'émet pas de GES, mais aussi, lorsque le biogaz remplace la consommation d'énergies fossiles, il réduit les émissions totales de GES. Autrement dit, la biométhanisation permet de retirer des GES du système d'émissions (voir figure 47).

Selon le type de matière organique, la biométhanisation n'offre toutefois pas le même rendement en termes de production de méthane. Le potentiel méthanogène d'une substance représente le volume maximal de méthane produit pour une quantité donnée de matière introduite dans un réacteur de digestion anaérobie.²⁹⁴ Le tableau suivant indique le pouvoir méthanogène de quelques substances, exprimé en m^3 de méthane (CH_4) par tonne de matière organique.

Tableau 19 : Pouvoir méthanogène de certaines matières²⁹⁵

Matière	Potentiel méthanogène ($\text{m}^3\text{CH}_4/\text{tonne MO}^*$)
Déchets de cuisine	397
Déchets verts (feuilles, branches, pelouse, etc.)	196
Déchets de brasserie	373
Graisses usagées	398
Graisses	785
Boues	450
Lisier de porc	288

*MO : Matière organique

D'après ces données, on constate que les graisses sont les matières ayant le plus fort potentiel méthanogène. À l'instar de ces dernières, les résidus de table et les boues sont particulièrement bien adaptés à la biométhanisation. Si les résidus verts ont un potentiel de production de méthane inférieur aux autres, c'est parce qu'une certaine quantité de carbone se trouve sous forme de cellulose. La cellulose est en effet plus difficile à dégrader en anaérobiose. Cette réalité explique pourquoi le pouvoir méthanogène des matières brunes n'est pas indiqué. Les résidus du bois, ou matières ligneuses, comportent en effet entre 65% et 80% de cellulose. Ils sont donc moins adaptés à la biométhanisation que les résidus alimentaires, les graisses et les boues, où le carbone se présente sous une forme plus facile à dégrader en absence d'oxygène. La plupart du temps, les matières ligneuses sont séparées des résidus organiques au début du procédé. Elles sont réutilisées par la suite lors du compostage du digestat.²⁹⁶ Les matières ligneuses peuvent également servir à d'autres fins énergétiques dont nous discuterons plus tard.

Maturité

L'utilisation de biogaz provenant de la fermentation de la matière organique n'est pas nouvelle. Il semble qu'en Europe, l'utilisation de nombreux réacteurs servaient à la digestion des rejets de fermes. Avec le choc pétrolier des années 70, l'intérêt pour la méthanisation s'est développé davantage et, plus récemment, les préoccupations écologiques ainsi que les besoins de trouver des nouvelles sources d'énergies ont incité l'Europe à développer la biométhanisation de manière plus industrialisée. Au Québec, les faibles coûts de l'électricité,

²⁹⁴ INRA, n.d.

²⁹⁵ ADEME, 2011

²⁹⁶ Ville de Laval, 2009.

notamment, ont retardé le développement des autres filières énergétiques, ce qui fait que la province accuse un retard marqué par rapport à l'Europe. Quelques projets commencent à poindre, en partie à cause de l'objectif de réduire de 60% l'enfouissement des matières organiques imposée par la Politique de gestion des matières résiduelles du gouvernement québécois.²⁹⁷

La MRC de Rivière-du-Loup est actuellement en train de réaliser un projet de valorisation de plusieurs matières organiques par biométhanisation avec une entente de partenariat public/privé. À cette fin, la Société d'économie mixte d'énergie renouvelable de la région de Rivière-du-Loup a été constituée en 2008 afin de regrouper la MRC de Rivière-du-Loup, la Ville de Rivière-du-Loup et le Groupe Valorr inc. Plusieurs programmes de financement ont contribué à la mise en place de l'usine qui devrait être en opération au printemps 2014. Déjà en 2012, le projet en lui-même enregistrait des retombées économiques majeures, notamment par les emplois créés et les ententes prises avec des partenaires, dont Gaz Métro. En plus de créer plusieurs emplois directs et indirects, l'usine de biométhanisation pourra offrir du biométhane et du gaz naturel liquéfié aux camions remorques des entreprises de la région, à moindre coût, pour remplacer le diesel.²⁹⁸ La Ville de Saint-Hyacinthe a également adopté le processus de biométhanisation pour valoriser ses boues municipales. L'usine étant déjà en opération, ce sont 73 000 tonnes de boues qui sont traitées annuellement depuis 2010. Le système comporte trois digesteurs qui produisent 150 m³ de biogaz par heure. Ces biogaz sont ensuite intégrés au réseau gazier québécois. La chaleur émise par le procédé est récupérée afin de préchauffer la biomasse entrante. Quant au digestat, il est séché (à partir de l'énergie des biogaz) et valorisé dans l'agriculture de la

région.²⁹⁹ Quelques autres projets sont en cours de réalisation au Québec, mais déjà, on peut constater que les retombées économiques, sociales et environnementales sont avantageuses, malgré des frais d'installation élevés. La vente de biogaz (et à l'économie de diesel par la même occasion), de crédits carbone et de fertilisants en sont quelques exemples. Les municipalités ou MRC qui choisiraient ce mode de traitement pour leurs matières organiques pourraient faire appel à des programmes de subventions.

Si les biogaz ne sont pas encore beaucoup produits par les procédés industriels de manière à valoriser la biomasse, il faut toutefois noter qu'une certaine quantité est récupérée des sites d'enfouissement depuis un moment déjà. Afin d'éviter le plus possible leur rejet dans l'atmosphère, les biogaz de différents sites d'enfouissement sont captés et réinjectés dans le réseau gazier québécois. À titre d'exemple, le site de Sainte-Sophie est relié à un réseau d'oléoduc et fournit à l'usine Rolland de Cascades, à Saint-Jérôme, ses biogaz. À l'aide de ces derniers, l'usine satisfait plus de 83% de ses besoins en énergie thermique.³⁰⁰

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Pour mettre en place une usine de biométhanisation, il faut avoir des quantités suffisantes de matières organiques pour l'alimenter. Or, il semble que cette ressource serait amplement suffisante. En effet, si l'on considère l'ensemble des résidus agricoles (tiges et feuilles restant des récoltes, fumier et lisier, etc.), l'ensemble des boues d'épuration (boues de fosses septiques et boues municipales), l'ensemble des résidus organiques résidentiels (feuilles

²⁹⁷ Amarante, J. 2010

²⁹⁸ Morin, M., 2012

²⁹⁹ Bio-méthantech, n.d.

³⁰⁰ Amarante, J. 2010

mortes, résidus de jardinage, déchets de table, etc.), et d'autres sources potentielles comme les papiers, cartons, certains résidus de construction, etc., il est difficilement pensable que la ressource ne vienne à manquer. D'ailleurs, pour le gouvernement du Québec, la gestion des matières organiques est l'un des prochains défis de la gestion des matières résiduelles, d'où la mise en place de programmes de subventions.

À titre indicatif, on peut effectuer une comparaison avec les usines de Rivière-du-Loup et celle de Saint-Hyacinthe. La première desservira plus de 118 000 personnes, soit la population des MRC de Rivière-du-Loup, de Kamouraska, des Basques, de La Haute-Gaspésie, de La Mitis et de La Matapédia.³⁰¹ Le transport des matières putrescibles s'effectuera donc sur un territoire de près de 17 500 km². Pour desservir le même nombre de personnes dans les hautes Laurentides, il faudrait regrouper les MRC des Pays-d'en-Haut, des Laurentides et d'Antoine-Labelle. Ces trois MRC ont ensemble une superficie de 17 900 km².³⁰² Le contexte des deux emplacements offre donc une certaine similitude. Si la biométhanisation des boues et des autres matières putrescibles s'avère avantageuse à Rivière-du-Loup, il y a donc lieu de penser qu'elle le serait également même dans les hautes Laurentides. Pour les basses Laurentides, beaucoup plus densément peuplées, la pertinence de la biométhanisation devient alors évidente. Quant à Saint-Hyacinthe, les quantités d'intrants utilisées pour faire fonctionner trois bioréacteurs démontrent que le potentiel existe aussi bel et bien dans les Laurentides, compte tenu des quantités de matières organiques qui y sont générées (voir section sur les boues et sur les matières putrescibles).

³⁰¹ MDDEP, 2012

³⁰² Institut de la statistique du Québec, 2011a

Quelques contraintes sont tout de même à considérer outre la quantité de la ressource. Le faible coût à l'enfouissement, par exemple, incite encore les municipalités à choisir ce mode d'élimination des matières organiques. Il est en effet souvent plus économique d'enfouir les matières organiques que de les traiter de n'importe quelle façon utile.³⁰³

Une autre contrainte à cette technologie qui semble pourtant prometteuse est le faible coût de l'énergie au Québec. L'énergie hydroélectrique est à tel point bon marché qu'il devient peu intéressant d'investir dans le développement d'énergies alternatives. En Europe, au contraire, les coûts élevés de l'électricité ont favorisé la recherche de solutions pour la produire autrement, principalement à partir de biogaz. Il en va de même pour le gaz naturel, nettement moins cher au Québec. L'énergie ainsi disponible est donc un frein au développement de la biométhanisation.³⁰⁴

Finalement, on peut aussi noter que le climat québécois représente quelques défis supplémentaires à la biométhanisation. Compte tenu que le processus de fermentation qui se déroule dans le réacteur s'effectue à une certaine température, il peut être nécessaire de fournir un apport extérieur de chaleur. Ainsi, il peut donc y avoir un apport important d'énergie durant les mois d'hiver. Par contre, nos étés chauds représentent un avantage certain.³⁰⁵

³⁰³ Ibid.

³⁰⁴ Ibid.

³⁰⁵ Ibid.

Procédé : combustion avec cogénération et réseaux de chaleur

Description

Combustion

La façon la plus simple, la plus répandue et la plus ancienne d'utiliser la biomasse consiste à la brûler pour produire de la chaleur. La combustion n'est donc pas un processus nouveau, bien au contraire. La combustion peut servir à chauffer l'espace à proximité de la source, l'air de ventilation et l'eau, autant des maisons que des institutions, des commerces, des bureaux et des industries. La combustion peut également servir à produire la chaleur nécessaire aux procédés industriels, comme pour générer de l'électricité en produisant de la vapeur d'eau pour actionner des turbines, par exemple.³⁰⁶

Cogénération

La cogénération consiste à produire deux formes d'énergie, généralement de l'électricité et de la chaleur utile, à partir d'une même source et dans un même processus. Elle nécessite à la base une source de chaleur élevée. Cette source peut provenir de la combustion ou de la gazéification de combustibles (mazout lourd, gaz naturel, résidus de bois), du sol (géothermie profonde), ou encore du soleil (concentration solaire). « Au Québec, la biomasse forestière est actuellement la principale source d'énergie utilisée pour la cogénération. »³⁰⁷

La principale utilité de la cogénération est d'augmenter le rendement énergétique de la source primaire d'énergie. Dans une installation classique, le rendement électrique est

d'environ 35%, ce qui implique que près de 65% de l'énergie est perdue sous forme de chaleur. Dans un système en cogénération, on conserve sensiblement le même rendement électrique (entre 30 et 35%) grâce à un alternateur, mais on récupère de 50 à 55% de la chaleur (sur les 65% disponibles) pour chauffer un circuit d'eau au travers d'un échangeur. Cette eau peut être utilisée pour le chauffage des bâtiments, pour l'eau chaude sanitaire ou pour des procédés industriels. L'électricité produite peut quant à elle être consommée sur place ou être revendue sur le réseau public.³⁰⁸ La cogénération permet donc d'optimiser la consommation du combustible initial en plus de réduire les émissions de GES.

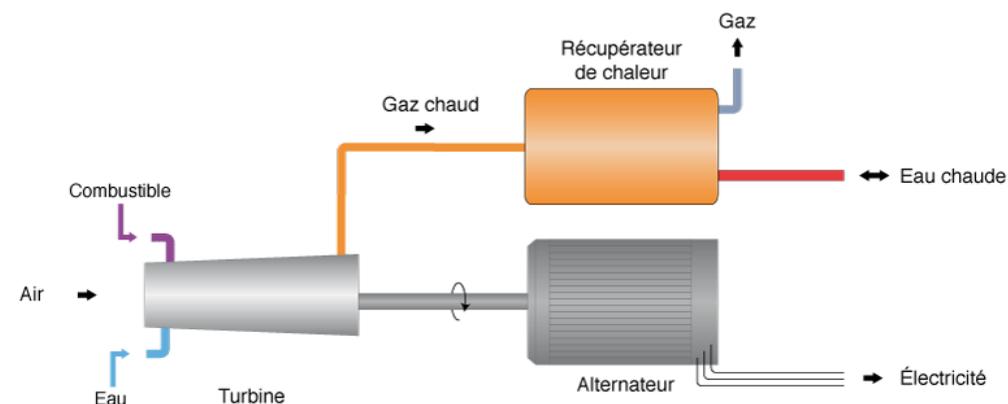


Figure 49 : Principe de fonctionnement de la cogénération³⁰⁹

³⁰⁶ Agrinova, 2009

³⁰⁷ Agrinova, 2009

³⁰⁸ Connaissance des énergies, 2011

³⁰⁹ Ibid.

Réseau de chaleur

Un réseau de chaleur est un ensemble d'installations comprenant un système de production et un réseau de distribution de chaleur. La chaleur est produite dans une unité centralisée, et est ensuite transportée à différents lieux de consommation via des canalisations aux travers desquelles circule un liquide caloporteur (généralement de la vapeur d'eau sous pression ou de l'eau chaude). Les tuyaux d'alimentation et de retour formant un circuit fermé sont le plus souvent souterrains. Ce système favorise l'émergence des énergies renouvelables avec la production de chaleur via la géothermie ou les chaudières à bois par exemple.³¹⁰

Certains quartiers sont pourvus d'un système de distribution de la chaleur centralisé à partir d'un même centre de production de l'énergie. La chaleur est véhiculée dans un réseau d'eau, d'air ou de vapeur à travers un système de tuyauterie la plupart du temps souterrain. Le particulier peut alors être raccordé au réseau pour bénéficier de cette diffusion de la chaleur. À Montréal, le CCUM (Centre de chauffage urbain de Montréal) alimente en chaleur toute une partie du centre-ville.

Les réseaux de chaleur permettent de chauffer les espaces, l'air de ventilation, l'eau ainsi que les procédés qui requièrent d'atteindre une température. La chaleur produite peut donc être utilisée dans les bâtiments institutionnels (hôpitaux, écoles, etc.), commerciaux (bureaux, entrepôts, etc.), résidentiels (édifices à logements, maisons, etc.) et industriels (serres, industries agroalimentaires, etc.).³¹¹

³¹⁰ Écohabitation, n.d.

³¹¹ Agrinova, 2009

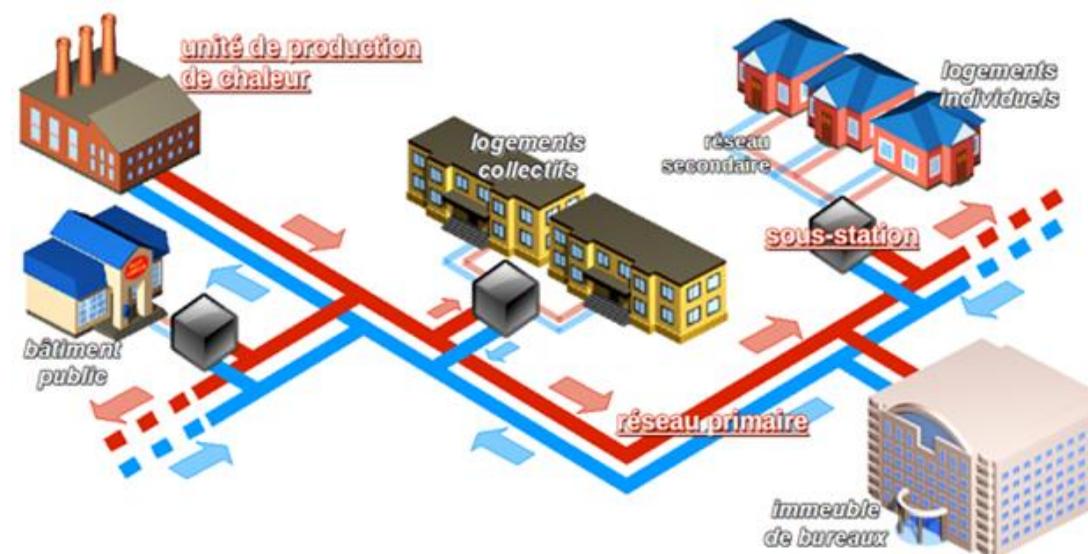


Figure 50 : Exemple typique de réseau de chaleur en France³¹²

La construction de réseaux de chaleur est surtout avantageuse là où des bâtiments sont concentrés sur une superficie relativement compacte. Les coûts liés à ces installations sont relativement élevés, notamment à cause de la longueur de tuyaux souterrains requis, d'où l'intérêt de maximiser les installations sur un minimum de superficie.

³¹² Écohabitation, n.d.

Maturité

Combustion

L'enjeu dans la combustion de la biomasse consiste à optimiser le rendement et à réduire les émissions atmosphériques. Selon la nature de la biomasse, la combustion peut produire des résidus de différents types qui peuvent avoir des effets sur la santé et sur l'environnement. La combustion de matière organique émet des oxydes de soufre (SO_x), des oxydes d'azote (NO_x), des particules, des composés organiques volatils (COV) et du monoxyde de carbone (CO). Si elle est contaminée, les fumées peuvent en plus contenir de l'arsenic, du mercure, du plomb ou d'autres substances toxiques, notamment des dioxines et furanes. Il est donc crucial, dans un système de combustion, d'utiliser des intrants qui soient exempts de substances polluantes.³¹³

Dans le secteur résidentiel, la technologie a beaucoup évolué depuis l'apparition des fournaies et des chaudières au bois dans les années 1950. C'est vers la fin des années 1980 que sont apparus les poêles à émissions très réduites. Désormais, de nombreux appareils répondent aux normes de l'Association canadienne de normalisation et de l'United States Environmental Protection Agency (EPA). Les systèmes de chauffage qui obtiennent ces certifications produisent jusqu'à 90% moins d'émissions atmosphériques que les anciens poêles à combustion lente et consomment jusqu'à 30% moins de bois. La technologie des systèmes de combustion est donc considérée mature, mais la technologie cherche à réduire davantage les émissions atmosphériques.³¹⁴

Du côté des systèmes de combustion à grande échelle, qui ont vu le jour dans les années 1940, la technologie est aussi mature, mais on continue d'apporter, comme pour les usages résidentiels, des améliorations pour maximiser le rendement énergétique et réduire les émissions atmosphériques. L'utilisation de biomasse de faible densité énergétique et ayant un taux d'humidité élevé ainsi que la possibilité d'accepter une gamme variée d'intrants de différentes qualités constituent également des enjeux technologiques auxquels doivent faire face les utilisateurs à grande échelle.³¹⁵

Cogénération

La technologie de cogénération utilisant la biomasse comme source primaire d'énergie est mature et répandue. La production d'électricité à partir de la biomasse et exclusivement par la cogénération a presque doublé au cours des 20 dernières années. Au Québec, la majorité des usines de cogénération appartiennent à l'industrie forestière. Hydro-Québec a signé des contrats avec six entreprises pour acheter l'électricité produite, totalisant près de 167,53 MW. Au-delà de l'électricité vendue à Hydro-Québec, plusieurs de ces usines produisent l'électricité et la vapeur requises par l'industrie locale. C'est le cas notamment des régions éloignées, hors réseau, où la communauté et ses industries sont les clients de l'électricité et de la chaleur. Souvent, toutefois, la chaleur n'est valorisée que partiellement, entre autres parce qu'elle doit être utilisée localement, limitant ainsi les possibilités.³¹⁶

³¹³ MDDEP, 2004

³¹⁴ Agrinova, 2009

³¹⁵ Agrinova, 2009

³¹⁶ Agrinova, 2009

Les usines de cogénération en opération utilisent des turbines à vapeur et génèrent des puissances entre 25 et 50 MW. Cette technologie peut tout de même générer des puissances variant entre 10 et 900 MW.³¹⁷ En deçà de 10 MW, « le procédé devient assez inefficace et la rentabilité est normalement perdue ». ³¹⁸ Par contre, pour une capacité inférieure à 5 MW, il pourrait y avoir des applications efficaces et rentables à venir, notamment à cause de la simplicité relative du système et des coûts d'opération réduits.³¹⁹

Réseaux de chaleur

Les réseaux de chaleur sont des systèmes répandus un peu partout dans le monde, et particulièrement en Europe. Ils ont fait leur apparition au Québec en 1992, il y a donc plus de vingt ans. Les réseaux de chaleur sont considérés comme des technologies éprouvées, et sont accessibles sur le marché.

Le développement actuel de cette technologie concerne notamment le chauffage institutionnel et communautaire. En effet, traditionnellement, les réseaux de chaleur étaient utilisés seulement lorsque d'importantes sources d'énergies thermiques non valorisées étaient disponibles, provenant principalement d'industries. Désormais, on intègre de plus en plus la chaleur résiduelle d'un procédé comme une source de chauffage. L'application n'est plus seulement industrielle.

Si le principe des réseaux de chaleur est bien maîtrisé, c'est plutôt l'utilisation des nouvelles sources d'énergie qui doit être développée. Jusqu'à présent, de nombreuses unités générant

de la chaleur fonctionnent au mazout, mais la valorisation de la biomasse dans les réseaux de chaleur commence à voir le jour. La biomasse dont il est question pour remplacer les énergies fossiles concerne principalement les résidus forestiers, mais aussi la matière ligneuse d'origine agricole. Les résidus de cuisine sont inappropriés pour ce procédé, compte tenu, entre autres choses, de leur taux d'humidité. Il est peu question de boues d'épuration granulées, bien qu'elles puissent être transformées en combustibles pouvant servir à la cogénération. D'autres procédés sont préconisés pour la gestion des boues, en regard des consignes du Gouvernement du Québec dans sa politique de gestion des matières résiduelles. Selon cette dernière, «le recyclage de la matière organique putrescible, soit l'épandage sur le sol ainsi que le compostage et la biométhanisation en vue de l'amendement des sols, doivent être privilégiés par rapport aux autres formes de valorisation, dont la valorisation énergétique.»³²⁰

Un projet de réseau de chaleur est en voie de se réaliser à Saint-Félicien. La centrale de cogénération de 25 MW utilisant des résidus forestiers émet de la chaleur qui n'est actuellement pas valorisée. Le projet propose de réunir des entreprises agro-industrielles, aquacoles et forestières autour de la centrale, leur permettant de substituer l'énergie traditionnelle qu'elles utilisent par la chaleur de cette dernière. Pour utiliser efficacement la chaleur produite, les utilisateurs doivent toutefois se trouver à moins de 5 km de la centrale. Les entreprises du secteur pourraient réaliser des économies annuelles sur leurs frais de chauffage en plus de réduire les émissions de GES et de produire des emplois durables.

³¹⁷ MRN, 2011

³¹⁸ Agrinova, 2009

³¹⁹ Ibid.

³²⁰ Gouvernement du Québec, 2013

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Les systèmes de combustion résidentiels devraient être envisagés dans les Laurentides pour substituer les systèmes de chauffage au mazout, au gaz naturel et au propane. Il en va de même dans le secteur industriel, surtout si les systèmes sont adaptés pour la cogénération et couplés à des réseaux de chaleur. Le coût d'approvisionnement pour les systèmes à la biomasse est compétitif par rapport aux autres sources d'énergie. Les tableaux qui suivent indiquent les différents coûts des sources d'énergie pour le secteur résidentiel, mais aussi pour l'approvisionnement à grande échelle.

Tableau 20 : Coût d'approvisionnement de différentes sources d'énergie en 2009 (grande échelle)³²¹

Source d'énergie	Tarif/unité	Tarif/GJ
Électricité (tarif D, G et M)	entre 0,059 et 0,113\$/kWh	16,26 à 31,50\$/GJ
Mazout Léger (rendement 95%)	0,750 à 1,286\$/L	20,41 à 35,16\$/GJ
Gaz naturel (rendement 95%)	0,31 à 0,7739\$/m ³	8,61 à 22,63\$/GJ
Propane (rendement 92%)	0,999\$/L	42,6\$/GJ
Biomasse forestière (résidus de récolte et de l'industrie du sciage, rendement 80%)	24 à 100\$/tMS	1,44 à 6,16\$/GJ
Biomasse densifiée (granules de bois)	175 à 200\$/tMS	10,47 à 12,32\$/GJ

³²¹ Agrinova, 2009

Tableau 21 : Coût d'approvisionnement de différentes sources d'énergie en 2009 (résidentiel)³²²

Source d'énergie	Tarif/unité	Tarif/GJ
Électricité	0,078\$/kWh	21,7\$/GJ
Mazout Léger (rendement 95%)	0,931\$/L	25,4\$/GJ
Gaz naturel (rendement 95%)	0,7739\$/m ³	21,5\$/GJ
Propane (rendement 92%)	0,999\$/L	42,6\$/GJ
Bûches de bois (poêle EPA rendement 80%)	77\$/cordeau (16" X 4' X 8')	10,9\$/GJ
Granules (poêle EPA rendement 80%)	4,5\$/sac de 18,1 kg	15,31\$/GJ

Pour que cette filière énergétique soit intéressante du point de vue environnemental, il faut notamment s'assurer que les émissions particulières issues de la combustion répondent aux normes prévues par le Règlement sur la qualité de l'atmosphère. Ainsi, si elle peut s'avérer avantageuse par rapport à l'utilisation de combustibles fossiles, l'hydroélectricité reste à privilégier, du moins dans le secteur résidentiel.

Cogénération

Le potentiel dans les Laurentides pour la cogénération et la mise en place de réseaux de chaleur, avec la biomasse comme source d'énergie, dépend d'abord de la disponibilité de cette dernière. Comme il y a des activités forestières dans le nord des Laurentides, on peut penser que cette avenue peut avoir un certain potentiel. En fait, la rentabilité d'un tel système dépend essentiellement de la possibilité ou non de s'approvisionner en biomasse à

³²² Agrinova, 2009

bon marché et de la capacité à valoriser la chaleur produite. En 2009, le coût des résidus d'usines de bois d'œuvre et les écorces variait tout au plus de 10 à 15\$ la tonne humide. Pour approvisionner une centrale de 30 MW, cela équivalait à un coût approximatif de 0,01 à 0,06%/kWh.³²³ Selon une étude réalisée pour le compte de la fédération québécoise des coopératives forestières, le prix de la biomasse devrait, à l'instar de l'électricité, rester relativement stable au cours des prochaines années.³²⁴ En 2009, le MRN a annoncé son Programme d'attribution de la biomasse forestière afin de favoriser l'accès à la biomasse dans les forêts publiques pour des projets de remplacement de combustibles fossiles. Des appels de propositions étaient alors disponibles dans les Laurentides.³²⁵ Il y a donc un certain potentiel pour développer des centrales de cogénération dans la région.

Réseaux de chaleur

De prime abord, le développement de réseaux de chaleur semble tout de même intéressant dans la région, soit dans les villes où il y a des bâtiments énergivores, ainsi que dans les villes ou villages où des bâtiments sont concentrés sur une superficie relativement compacte. L'intérêt est encore plus grand dans la mesure où des activités de production ou de transformation (culture en serre, aquaculture, agroalimentaire, etc.) peuvent être développées sur un territoire. Le projet peut alors devenir particulièrement avantageux. Par contre, le faible coût de l'électricité et la facilité d'installer les systèmes électriques peut faire concurrence à la complexité de la planification et de l'installation de réseaux de chaleur.³²⁶

Compte tenu du développement démographique, il est certain que les besoins en énergie des Laurentides s'accroîtront dans les prochaines années. La perspective d'une maîtrise de l'énergie dans ce contexte passe donc sans aucun doute par la récupération de l'énergie perdue, tel que le permet les réseaux de chaleur. En effet, la densification, entraînant des besoins concentrés en énergie, risque fort de créer les conditions appropriées au développement de cette technologie.

Les projets qui intègrent les réseaux de chaleur auraient donc tout intérêt à être envisagés, notamment lorsqu'on planifie la construction de parcs industriels, d'infrastructures institutionnelles ou communautaires, ou de tout autre bâtiment énergivore.

Il serait également possible d'envisager la construction de tels réseaux dans les secteurs industriels déjà établis qui génèrent de la chaleur. Il est certes plus coûteux d'installer la tuyauterie dans les secteurs déjà bâtis, mais s'il peut y avoir un gain significatif en économie d'énergie, l'investissement peut valoir la peine.

Compte tenu de la grande diversité des situations existantes, des études préalables sont nécessaires avant de pouvoir confirmer l'intérêt économique, environnemental et social d'un projet à un endroit précis. Ces études doivent notamment évaluer les synergies et les optimisations possibles entre les besoins en énergie de chacun des établissements et les potentiels de cogénération et de production de chaleur résiduelle.

³²³ Agrinova, 2009

³²⁴ Écoressources, 2012.

³²⁵ MRN, n.d.

³²⁶ MAMROT, 2009

Procédé : Production de biocarburants

Description

Les biocarburants sont des produits élaborés à partir de matières organiques. Il peut s'agir de résidus organiques ou encore de biomasse cultivée à cette fin. Les biocarburants sont produits dans le but de remplacer les produits pétroliers d'origine fossile, non renouvelables. Les biocarburants font partie de deux principales grandes familles, soit les substituts à l'essence (bioéthanol, biobutanol et biométhanol) et les substituts au carburant diesel (biodiesel). Les substituts du mazout (biomazout, ou biohuile) font également l'objet de recherches ou sont en voie d'intégrer le marché. L'éthanol et le biodiesel sont actuellement les deux principaux biocarburants utilisés dans le monde.³²⁷

Jusqu'à récemment, la fabrication de biocarburants ne se faisait qu'à partir de maïs et de blé. Seuls les organes de réserve de la plante (grains, tubercules, etc.) étaient utilisés pour la production des carburants, dits alors de première génération. Maintenant, des biocarburants de seconde génération commencent à voir le jour. Ils sont issus de la plante entière en utilisant notamment la partie lignocellulosique.³²⁸ Une troisième génération s'apprête également à faire son apparition, soit les biocarburants fabriqués à partir d'algues.³²⁹

Le biocombustible à produire dépend d'abord des espèces cultivées. En effet, chaque matière première est mieux adaptée à une production de combustible particulier. Le type de biocombustible généré en fonction de l'espèce cultivée est illustré à la figure suivante.

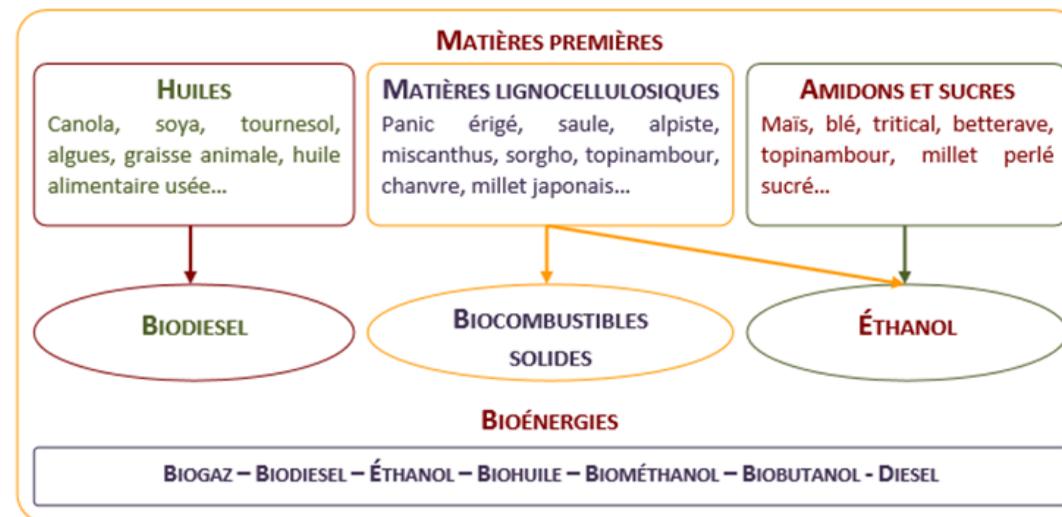


Figure 51 : Production de bioénergie en fonction du type de matière agricole utilisée³³⁰

- Le **biodiesel** est un biocarburant produit à partir de graisses traitées. Elles peuvent provenir de la culture du canola, du soya ou du tournesol (qui contiennent typiquement entre 15 et 50% d'huile), par exemple, mais il peut aussi s'agir d'autres graisses, comme par exemple l'huile de friture usée ou le gras animal. Le biodiesel peut être utilisé pur ou être mélangé au diesel.³³¹ Il peut être utilisé comme combustible dans les transports mais aussi dans les génératrices fonctionnant au diesel. Il peut également servir pour le chauffage dans des chaudières ou fournaies en remplacement du mazout.³³²

³²⁷ CRAAQ, 2008

³²⁸ ADEME, n.d.

³²⁹ Université de Perpignan, n.d.

³³⁰ Agrinova, 2009

³³¹ Forge, F., 2007

³³² Agrinova, 2009

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Le biodiesel a l'avantage d'être biodégradable, ce qui n'est pas le cas du diesel. Sa combustion, par rapport au diesel, réduit les émissions atmosphériques de matières particulaires (MP), d'hydrocarbures et de monoxyde de carbone (CO). Il contribue ainsi à la réduction du smog, des pluies acides et de la pollution de l'air.³³³

Le biodiesel est généralement peu utilisé au Canada, bien que plusieurs flottes de véhicules de transport urbain, à Toronto, Saskatoon et Montréal, utilisent ce biocarburant. Le biodiesel dans un contexte normal d'utilisation et par temps froid a été évalué sur les autobus de Montréal en 2002-2003. Les résultats de ce projet pilote ont été très positifs.³³⁴

- L'**éthanol** est un alcool tiré de la fermentation des sucres. Il peut se mélanger à l'essence ordinaire ou être utilisé à l'état pur. Les mélanges de carburant contenant jusqu'à 10 % d'éthanol ne demandent pas d'adaptation du moteur et sont les plus répandus à l'heure actuelle. Les plantes amidonnées et sucrées ont été les premières sources de matière utilisée, fournissant un substrat facile à fermenter. Ce sont ces sources qui constituent les biocarburants de première génération. L'éthanol peut aussi être fabriqué à partir des déchets agricoles et ligneux, ainsi que d'arbres à croissance rapide. Il s'agit alors d'éthanol cellulosique, lequel est un biocarburant de deuxième génération. Les propriétés de l'éthanol et de l'éthanol cellulosique sont les mêmes, mais leur effet sur le bilan énergétique et les réductions de GES diffèrent quelque peu.³³⁵

L'éthanol (cellulosique ou non) est particulièrement délicat à transporter, notamment par pipeline, à cause de sa tendance à absorber les molécules d'eau. Il est, par ailleurs, relativement corrosif, et il s'évapore facilement.³³⁶

- Le **biobutanol** est un alcool qui peut être obtenu par fermentation à partir des mêmes sources que l'éthanol. Par rapport à ce dernier, le biobutanol a l'avantage d'être plus énergétique, de s'évaporer plus lentement et de pouvoir être transporté par pipeline. Le biobutanol affiche une performance plus proche de l'essence sans plomb que celle des biocarburants actuels. Par ailleurs, des quantités plus élevées de biobutanol peuvent être mélangées à l'essence sans nécessiter de modifier les véhicules. Pour ces raisons, plusieurs entreprises cherchent à modifier leur usine d'éthanol pour produire du biobutanol.

- Le **biomazout**, parfois appelé « biohuile » ou « biohuile pyrolytique », est un condensat liquide noir fabriqué notamment à partir de résidus forestiers et agricoles. Il peut remplacer le mazout pour le chauffage domestique ou pour alimenter des chaudières ou des turbines, afin de produire de l'électricité. La production s'effectue typiquement par le procédé de pyrolyse. Puisque la technologie liée au biomazout est encore aux premières phases de mise en marché, elle ne contribue pas encore de façon importante à l'approvisionnement énergétique du Canada.

- Le **biogaz**, constitué de **biométhane**, est issu du procédé de biométhanisation (voir section). Il peut être utilisé comme un biocarburant, puisque, une fois comprimé ou liquéfié, il sert en remplacement du diesel dans les camions lourds et les véhicules-outils.

³³³ CRAAQ, 2008a

³³⁴ Partenariat innovation forêt, 2008

³³⁵ Partenariat innovation forêt, 2008 et Forge, F., 2007

³³⁶ Forge, F., 2007

Bilan de GES des biocarburants

Pour que l'utilisation de biocarburants issus de la culture énergétique soit rentable du point de vue environnemental, cela suppose entre autres que l'ensemble des GES émis seront inférieurs à ceux qui seraient rejetés par l'énergie à remplacer.³³⁷

En tenant compte de l'analyse du cycle de vie (« du puits à la roue » ou « du champ à la roue ») d'un biocarburant par rapport à son équivalent pétrolier, le premier émet moins de GES. Par exemple, selon la matière première utilisée, le biodiesel pur a un potentiel de réduction des émissions de GES de 64 à 92% par rapport au diesel pétrolier. De la même façon, le bioéthanol de première génération pourrait relâcher de 40 à 60% moins de GES que l'essence, alors que ce potentiel est de 85 % pour l'éthanol cellulosique.³³⁸ Cette différence s'explique essentiellement par la différence de consommation d'énergie lors de la culture des plantes, les cultures de maïs et de céréales étant beaucoup plus intensives.³³⁹

L'analyse du cycle révèle que la majorité des émissions de GES des carburants fossiles ont lieu durant leur combustion. Dans le cas des biocarburants, c'est surtout la culture de la matière première qui est émettrice, principalement à travers la fabrication des engrais appliqués et les émissions d'oxyde nitreux dans les champs. L'oxyde nitreux est un gaz à effet de serre 310 fois plus puissant que le CO₂.

Le choix de l'espèce cultivée, qui influence la production d'oxyde nitreux, vient donc également jouer un rôle sur le bilan des GES. En effet, selon la source (maïs, canola,

tournesol, betterave à sucre, par exemple), les émissions de GES seront variables (voir tableau suivant). Dans le cas cycle de vie de l'éthanol issu de la culture du canola, la production d'oxyde nitreux est responsable de 40% des GES. L'oxyde nitreux compte pour 20% des GES de l'éthanol de betterave et pour 30% dans le cas du blé.³⁴⁰

Tableau 22 : Émissions de GES du «champ à la roue» (sans changement d'affectation des sols)³⁴¹

Carburant	Source	GES émis (g. CO ₂ éq/Mj)
Essence	Fossile	90,1
Éthanol (mélange 10% éthanol-90% essence)	Betterave	30,4
	Blé	46,2
	Maïs	39,8
	Canne	25,3
Diesel	Fossile	91,4
Biodiesel (mélange 10% esther-90% diesel)	Canola	37,3
	Tournesol	25,1
	Soya	21,1
	Palme	21,8

Il faut aussi noter que les émissions de GES sur le cycle de vie complet de l'éthanol peuvent varier selon les sources d'énergie qui alimentent les usines lors de la transformation de la matière première. Les usines qui sont alimentées au gaz naturel émettent moins de GES que les usines alimentées au charbon, par exemple, ce qui vient influencer le bilan net de GES.³⁴²

³³⁷ Conseil québécois de la coopération et de la mutualité, 2011

³³⁸ Forge, F., 2007 et Partenariat innovation forêt, 2008

³³⁹ CRAAQ, 2008b

³⁴⁰ ADEME, 2010

³⁴¹ Ibid.

³⁴² Forge, F., 2007

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Pour exercer un effet sur les émissions totales d'un pays, certains affirment qu'il faut cibler les biocarburants provenant de matières cellulosiques ou des déchets (huile, graisse animale, etc.). À titre de comparaison, un mélange d'essence et de 10% d'éthanol provenant du maïs permettrait de réduire les GES de 3 à 4% par rapport à de l'essence pur, alors qu'un mélange d'essence et de 10% d'éthanol cellulosique permettrait de les réduire de 6 à 8 %. À l'heure actuelle, le remplacement de 5% du carburant par des biocarburants aurait donc un effet relativement faible sur la réduction des émissions nationales de GES.³⁴³

Il est important de noter que l'utilisation de biocarburants suscite des réactions, et qu'il plane une incertitude quant aux gains réels de leur utilisation par rapport aux carburants fossiles. Des scientifiques américains ayant publié une étude dans le journal *Chemistry & Industry* affirment par exemple que les biocarburants ne réduisent pas les émissions de GES.³⁴⁴

En fait, les données présentées jusqu'à maintenant excluent un facteur, soit le changement d'affectation des sols (CAS). Ce facteur n'est pas intégré dans l'analyse du cycle de vie des biocarburants, se trouvant en quelque sorte en marge de celui-ci. Les impacts liés au changement d'affectation des sols sont particulièrement complexes à évaluer, mais les chercheurs s'entendent pour dire que ce facteur sans doute encore plus important que les autres dans le bilan GES d'un biocarburant. La complexité de ce facteur rend très difficile les analyses, de sorte que les résultats présentent de grandes variabilités. Malgré tout, de plus en plus de chercheurs y accordent une importance cruciale.³⁴⁵

Selon l'ADEME, une importante synthèse des travaux de recherche sur le changement d'affectation des sols a été réalisée et « accrédi terait les hypothèses suivant lesquelles le développement de cultures énergétiques à des fins de production de biocarburants conduit à des changements d'affectation des sols susceptibles d'alourdir le bilan net en émissions de GES des biocarburants ».³⁴⁶ Selon certains scénarios reliés au changement d'affectation des sols, les biocarburants issus de certaines cultures (comme le soya, la palme et la canne à sucre) deviendraient alors plus émettrices de GES que leur équivalent pétrolier.³⁴⁷ Certains chercheurs abondent dans le même sens et affirment que la production d'éthanol à partir du maïs émettrait de 0,9 à 1,5 fois plus de GES que les combustibles traditionnels.³⁴⁸

Dans cette perspective, certains déclarent que si le sol était utilisé pour planter des arbres à la place du canola, les émissions de GES seraient plus faibles pour le diesel pétrolier que pour le biodiesel, puisque les arbres fixent une grande quantité de carbone durant leur croissance.³⁴⁹ L'ADEME indique également que « lorsque le développement de cultures utilisées pour la production de biocarburants aboutit, directement ou indirectement, à la disparition de prairies, de zones humides, ou de forêts primaires, le bilan de gaz à effet de serre des biocarburants peut s'avérer négatif. »³⁵⁰ Il semblerait également que les émissions de GES liées aux changements d'affectation des sols soient plus importantes pour le biodiesel que pour l'éthanol.³⁵¹ Si les conséquences du changement d'affectation des sols ne peuvent être établies clairement, la plupart des recherches s'entendent néanmoins pour dire que la prise

³⁴³ Forge, F., 2007

³⁴⁴ United Press International, 2007

³⁴⁵ ADEME, 2012; United Press International, 2007; Gernot P. and C. Vietze, 2012

³⁴⁶ ADEME 2012

³⁴⁷ ADEME, 2010

³⁴⁸ P. Crutzen, 2007 cité par le Conseil québécois de la coopération et de la mutualité, 2011

³⁴⁹ United Press International, 2007

³⁵⁰ ADEME, n.d.

³⁵¹ ADEME, 2012 et ADEME 2010

en compte de ce facteur aboutit à un bilan total d'émissions de GES qui donne des résultats fort variables de sorte qu'il est difficile de les interpréter adéquatement. Chose certaine, le fait d'utiliser des résidus organiques au lieu d'une biomasse cultivée représente donc un avantage majeur sur le bilan des GES des biocarburants. En ce qui concerne le changement d'affectation des sols, d'autres recherches seront donc nécessaires pour mettre au point des méthodologies de calcul qui soient significatives et permettent de dresser un portrait plus exhaustif des émissions de GES.

Le bilan des émissions de GES des biocarburants dépend donc de nombreux facteurs, dont la matière première utilisée (canola, soya, huile recyclée, etc.), le procédé de fabrication plus ou moins énergivore et polluant, la proximité de la matière première par rapport au lieu de transformation et, s'il s'agit d'une culture dédiée, de l'impact du changement d'affectation du sol.³⁵² Le fait de produire des biocarburants de première ou de deuxième génération joue également un rôle sur ce bilan.³⁵³

Bilan énergétique des biocarburants

Du point de vue énergétique, les biocarburants ont en général un pouvoir calorifique quelque peu inférieur à celui de l'essence ou du diesel. Le tableau suivant indique le pouvoir calorifique de quelques substances.

Tableau 23 : Pouvoir calorifique de quelques combustibles³⁵⁴

Carburant	Pouvoir calorifique (MJ/unité)
Essence (L)	34,66
Diesel (L)	38,68
Propane (L)	25,53
Gaz naturel (m ³)	37,89
Éthanol (L)	21,3
Biodiesel (L)	34,1
Biohuile (L)	20,4
Électricité (kWh)	3,6
Biogaz (m ³)	24,9

Le pouvoir calorifique d'une substance, qui indique uniquement l'énergie fournie durant sa combustion, n'est pas le seul facteur à considérer pour évaluer le rendement énergétique des biocarburants. En effet, pour que l'utilisation de biocarburants puisse constituer un avantage, cela suppose également que l'énergie produite est supérieure à celle qui est requise pour la générer.³⁵⁵

Selon le type de biocarburant, le ratio entre l'énergie produite par rapport à l'énergie fossile consommée pour sa production est variable. Ce ratio varie également en fonction des matières premières utilisées. Par exemple, pour le biodiesel produit à partir de canola, l'énergie contenue sera de 1,2 à 3,7 fois supérieure à la quantité d'énergie fossile utilisée dans sa fabrication. Si le biodiesel est généré à partir d'huiles alimentaires usées, ce ratio se

³⁵² CRAAQ, 2008a et ADEME, 2012

³⁵³ Forge, F., 2007

³⁵⁴ Agence de l'efficacité énergétique du Québec, 2009 et Agrinova, 2009

³⁵⁵ Conseil québécois de la coopération et de la mutualité, 2011

situe entre 4,9 et 7,8.³⁵⁶ Fait à noter, l'efficacité énergétique de conversion des huiles et graisses est plus grande pour la production de biodiesel que pour celle du méthane dans les procédés de digestion anaérobie.³⁵⁷

En ce qui concerne l'éthanol cellulosique issu du panic érigé, il contient 4 fois plus d'énergie que l'énergie fossile nécessaire pour le produire. Toutefois, certains résultats suggèrent plutôt un bilan énergétique négatif de 0,5 unité d'énergie disponible sous forme d'éthanol par unité d'énergie fossile consommée. Le rendement énergétique disponible par rapport à l'énergie fossile utilisée offre, pour le panic érigé, de bien meilleurs résultats lorsqu'il est transformé en biogaz ou en granule combustible, une granule contenant généralement 14 fois plus d'énergie que l'énergie fossile nécessaire à sa production.³⁵⁸

Concrètement, l'incorporation de 10% d'éthanol dans l'essence ne réduit que de 3% la puissance du moteur. Par ailleurs, l'ajout d'éthanol comporte d'autres avantages, notamment celui de favoriser une meilleure combustion. Par ailleurs, l'éthanol possède un indice d'octane très élevé ce qui assure une haute performance du moteur.³⁵⁹

Si l'efficacité énergétique des biocarburants est difficile à évaluer et que leur contribution dans la lutte aux changements climatiques est incertaine, les biocarburants offrent à tout le moins l'avantage, lorsque pris sur l'ensemble de leur cycle de vie, de réduire la consommation d'énergies non renouvelables.³⁶⁰ Par le fait même, ils contribuent à réduire la dépendance aux combustibles fossiles en remplaçant une partie de ces derniers. Par contre,

cet avantage est à prendre avec une certaine réserve. Actuellement, « la production mondiale est encore trop faible et les besoins en matières premières trop importants pour que l'offre de biocarburants puisse avoir un effet suffisamment important sur le marché des carburants et faire contrepoids aux carburants d'origine fossile ».³⁶¹

À cet effet, le rendement des cultures vient jouer un rôle important, et il convient de rappeler qu'il diffère considérablement selon la matière utilisée. Par exemple, un hectare de canne à sucre cultivé au Brésil produit presque deux fois plus d'éthanol que la même superficie de maïs cultivé au Canada. Selon Agriculture et Agroalimentaire Canada, pour que l'éthanol et le biodiesel atteignent 5% des carburants consommés au pays, il faudrait utiliser de 48 à 52% de la superficieensemencée en maïs, de 11 à 12% de la superficieensemencée en blé et environ 8% de la superficieensemencée en canola.³⁶² Une autre étude en arrive à des conclusions semblables, indiquant que le Canada devrait utiliser 36% de sa superficie agricole pour remplacer, par du biocarburant, 10% du carburant utilisé dans le transport.³⁶³ Dans ce contexte, la production des biocarburants à partir de matière riche en cellulose, quoiqu'elle soit bien plus coûteuse, devient d'autant plus pertinente. Les biocarburants de deuxième génération peuvent en effet être fabriqués à partir de résidus agricoles, de paille, de copeaux de bois, etc., laissant ainsi les terres cultivables disponibles pour la production alimentaire. La production de biobutanol s'avère une autre solution envisageable, puisqu'il est plus énergétique que l'éthanol, tout en utilisant la même matière première.³⁶⁴

³⁵⁶ Agrinova, 2009

³⁵⁷ Perron, F., 2010

³⁵⁸ Agrinova, 2009 et CRAAQ, 2008b

³⁵⁹ CRAAQ, 2008b

³⁶⁰ ADEME, n.d.

³⁶¹ Forge, F., 2007

³⁶² Agriculture et Agroalimentaire Canada, dans Forge, F., 2007

³⁶³ *New Scientist*, 23 septembre 2006, dans Forge, F., 2007

³⁶⁴ Forge, F., 2007

Maturité

À l'heure actuelle, les enjeux en matière de biocarburants concernent principalement le rendement énergétique des cultures. Ensuite, selon le type de biocarburant produit, la technologie est plus ou moins maîtrisée, et chacune fait face à ses propres défis. En fait, la recherche sur les biocarburants est en croissance, et les procédés, selon le type de biocarburant, ne sont pas tous au même point d'avancement technologique.

La production de biodiesel à partir d'huile végétale a été inventée dans les années 1850 et sa commercialisation a débuté au début des années 1990. La conversion du biodiesel peut s'effectuer avec trois technologies différentes. Celle utilisant la transestérification est bien maîtrisée et est très répandue au Brésil, en Europe et aux États-Unis. Au Québec, quelques usines produisent du biodiesel. L'usine de Rothsay à Montréal et l'usine Biodiesel Québec à Saint-Alexis-des-Monts ont une capacité respective de 35 millions et de 10 millions de litres.³⁶⁵ L'usine Biocardel Québec, située à Richemond, a quant à elle une capacité annuelle de 50 millions de litres.³⁶⁶ Les principaux défis concernant la production du biodiesel concernent le développement de nouveaux procédés économiquement rentables, la production à partir de nouvelles matières premières (résidus forestiers, paille, etc.), ainsi que le développement de nouvelles variétés de matières premières.³⁶⁷

La production d'éthanol à partir de grains est effectuée par fermentation. Ce processus est le même que ce soit pour l'éthanol ajouté aux carburants ou l'éthanol des boissons alcoolisées. Il s'agit donc d'un procédé mature, très bien maîtrisé à l'échelle industrielle. Le principal

enjeu technologique de la production d'éthanol de première génération réside dans l'efficacité énergétique des procédés. Toutefois, compte tenu des enjeux environnementaux et de la compétition pour la production alimentaire, l'éthanol issu de grains et produit à des fins énergétiques est voué à être remplacé par l'éthanol lignocellulosique.³⁶⁸

La compagnie canadienne Logen, située à Ottawa, produit annuellement 2 millions de litres d'éthanol cellulosique à partir de paille de blé, d'orge et d'avoine. Enerkem, à Westbury, a également entamé la production d'éthanol cellulosique au printemps 2012. Au Québec, peu de projets existent. Éthanol cellulosique Varennes est en cours de développement et devrait être opérationnelle en 2014, pour une production annuelle de 38 millions de litres.³⁶⁹

La production d'éthanol cellulosique fait face tout de même à certains défis. L'optimisation des procédés afin d'améliorer le rendement de la biomasse est l'un de ceux-ci. Par exemple, la technologie actuelle permet d'obtenir entre 110 et 300 litres d'éthanol pour une tonne (base matière sèche) de biomasse, mais on estime qu'avec de meilleurs procédés, ce rendement pourrait atteindre 400 litres/tms. La réduction des coûts et du temps de traitement font aussi partie des défis de la production d'éthanol cellulosique. Enfin, l'approvisionnement en matières premières constitue un autre enjeu, puisque la stabilité et les volumes d'approvisionnement ont un impact majeur sur la rentabilité et sur le bilan environnemental de la production d'éthanol.³⁷⁰

Finalement, en ce qui concerne le biobutanol et la biohuile, ils sont encore peu mis en marché et nécessitent encore des étapes de recherche et développement.

³⁶⁵ Agrinova, 2009

³⁶⁶ Hebert, J., 2013

³⁶⁷ Agrinova, 2009

³⁶⁸ Agrinova, 2009

³⁶⁹ Hebert, J., 2013

³⁷⁰ Agrinova, 2009

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Le développement de la filière dépend de plusieurs facteurs, lesquels peuvent varier selon le type de biocarburant envisagé. La disponibilité de la biomasse, par exemple, doit être suffisante et constante pour assurer la production et la rentabilité des installations. Il faut voir, également, si l'échelle de production des biocarburants est envisageable dans des endroits plus ruraux, ce qui n'est pas le cas pour chacun d'entre eux.

La production d'éthanol cellulosique, par exemple, semble moins bien adaptée aux communautés rurales, malgré la disponibilité des terres et la proximité de ressources forestières. Il semble en effet que la technologie ne soit rentable qu'à grande échelle, ce qui va à contre-sens d'un circuit court de valorisation (production locale de matière première, transformation locale et utilisation locale du produit final).³⁷¹ Pour être intéressante, la production d'éthanol cellulosique devrait donc être envisagée à l'échelle régionale, et encore. La matière première est disponible au nord, mais il faut des investissements importants en capitaux ainsi que des installations de grandes tailles pour en tirer des bénéfices économiques.

La production de biodiesel en milieu éloigné est plus simple. En effet, les procédés pour la transformation de la matière première nécessitent peu d'opérations, ce qui diminue les équipements nécessaires et le recours à une expertise complexe. Ce qui est peut-être plus difficile dans les Laurentides, c'est l'approvisionnement de la matière première. En effet, le biodiesel est fabriqué à partir d'huiles alimentaires usées, de graisses animales et d'huiles végétales. Il est difficile d'évaluer les quantités disponibles dans la région, d'autant plus que

³⁷¹ Agrinova, 2009

les huiles et les graisses doivent avoir un certain degré de pureté et être de très bonne qualité pour pouvoir être utilisées dans le procédé. En ce sens, la biométhanisation est moins exigeante face aux mêmes intrants.³⁷²

En ce qui concerne la disponibilité de la biomasse, il est toujours possible de cultiver certaines espèces végétales pour produire des biocarburants. Toutefois, la culture énergétique ne doit pas se faire au détriment de la culture des sols à des fins alimentaires. La biomasse issue de culture énergétique devrait provenir de terres marginales, désignées comme telles, ou de résidus forestiers. L'agriculture n'étant pas une activité dominante dans les Laurentides, il y a lieu de se demander si les intrants de cette nature peuvent être suffisants pour assurer la fabrication de biocarburants. De la même façon, il faut évaluer si les résidus forestiers sont suffisamment abondants pour cette même fin. Il en sera question plus loin.

Chose certaine, les besoins en matières premières sont trop importants et le potentiel de production de biocarburants est encore trop faible pour que ces derniers puissent faire contrepoids aux carburants d'origine fossile.

³⁷² Perron, F., 2010

Compostage

Bien que le compostage soit un procédé de valorisation de la biomasse, il ne constitue pas un procédé de valorisation **énergétique**. En effet, le compostage ne produit ni chaleur ni électricité à intégrer dans des réseaux, et ne génère pas non plus de sous-produit pouvant être récupéré comme source d'énergie. Il s'agit d'un procédé qui permet d'éviter l'enfouissement, et donc, de gérer adéquatement la biomasse de toute origine.

Lorsque les matières organiques sont enfouies, leur dégradation se fait en absence d'oxygène. Réalisée dans ces conditions, la décomposition produit principalement du méthane (CH_4), un GES 23 fois plus puissant que le CO_2 , ainsi que d'autres GES, en quantité moindre. Les émissions nettes de GES varient selon que le site d'enfouissement est équipé ou non d'un système de captage des biogaz. Le compostage des matières organiques permet donc de réduire considérablement les émissions de GES.³⁷³

Le compostage est un procédé de digestion biologique des matières organiques. Ces dernières sont décomposées à l'aide de microorganismes, en présence d'oxygène. Le compost issu du procédé peut servir à remplacer les engrais et autres fertilisants en agriculture, en foresterie, en pépinière, etc. Il permet d'enrichir et de structurer les sols, de sorte qu'il est également utilisé lors de la restauration de sites.

Si le compostage ne produit pas d'énergie, l'utilisation du compost permet à tout le moins de réduire la consommation d'énergie liée à la fabrication et au transport d'engrais. Le compost pouvant se faire autant à l'échelle régionale que résidentielle.



Figure 52 : Compostage en andain³⁷⁴

³⁷³ Recyc-Québec, 2010

³⁷⁴ Solinov, 2013

Source de biomasse : matières ligneuses d'origines forestière et agricole

Description

L'utilisation de biomasse forestière et agricole comme source d'énergie fait généralement référence à deux types d'intrants. Il peut s'agir de végétaux cultivés ou prélevés de la nature expressément à des fins de valorisation énergétique, mais il peut également s'agir de déchets agricoles ou forestiers détournés de l'enfouissement.

La biomasse forestière et agricole représentent des sources d'énergies intéressantes permettant d'obtenir des combustibles solides (bûches, granules), des combustibles liquides (bioéthanol, biodiésel, biohuile, etc.) et des combustibles gazeux (biogaz, méthane). Ces produits sont en mesure de remplacer efficacement les combustibles issus du pétrole. Dans la perspective de réduire la dépendance aux énergies fossiles, il y a un certain intérêt. Toutefois, dans le but de trouver des énergies à moindre émissions de CO₂, toutes les formes de transformation de la biomasse ne sont pas avantageuses.³⁷⁵ Une chose est certaine, le choix de l'intrant et la technologie utilisée pour son traitement doivent être étudiés avec soin afin que les bénéfices nets soient réels.

Biomasse forestière

La biomasse forestière est l'ensemble des arbres ou des parties d'arbres, transformés ou non. Elle peut provenir de la forêt naturelle, comprenant les parties non utilisées lors de la récolte du bois sur les parterres de coupes (les cimes et les branches), les arbres non commercialisables, les résidus du débroussaillage et de l'élagage. Elle peut également

provenir des sous-produits de la transformation du bois, incluant les rebuts des travaux de construction, de rénovation ou de démolition (réduits en copeaux), les résidus industriels du sciage (écorces, sciures, copeaux), les résidus provenant de l'industrie de deuxième transformation du bois. Finalement, la biomasse forestière peut être issue des cultures énergétiques ligneuses (saule, peuplier, etc.). Ces dernières étant également parfois considérées dans la biomasse agricole. Il existe plusieurs méthodes de ligniculture : il peut s'agir de cultures intensives en courtes rotations ou de systèmes de cultures intercalaires, par exemple. La première se caractérise par une haute densité de plantation, une récolte selon des cycles de 3 à 4 ans et une forte densité de rejet de souches après la coupe. Un espace peut être cultivé durant environ 25 ans avant d'être essouché. Ce type de culture offre un rendement moyen qui varie de 10 à 15 tonnes sèches de biomasse/ha/an. Dans le cas de la culture intercalaire, par exemple, les plantes herbacées sont intercalées entre des rangées d'arbres et d'arbustes.³⁷⁶

La biomasse forestière peut permettre d'obtenir de l'énergie soit sous forme de chaleur (alimentation des chaufferies institutionnelles et des poêles résidentiels), d'électricité (par exemple, en chauffant de l'eau dans un circuit fermé dans lequel la pression créée fait tourner une turbine) ou de carburants (fabrication de combustibles liquides). La biomasse forestière utilisée pour le chauffage se présente soit sous forme de copeaux, de bûches ou de granules faites à partir de sciures compactées. Quant aux combustibles liquides, ils peuvent servir de carburant pour actionner des moteurs à piston (éthanol cellulosique), ou pour alimenter les fournaies industrielles (biomazout) en remplacement du mazout lourd.³⁷⁷

³⁷⁵ Conseil québécois de la coopération et de la mutualité, 2011

³⁷⁶ Partenariat innovation forêt, 2008 et Agrinova, 2009

³⁷⁷ Partenariat innovation forêt, 2008

Certains sols supportent mieux que d'autres la récolte de la biomasse forestière. Plusieurs pays qui utilisent depuis un bon moment la biomasse forestière à des fins énergétiques ont commencé à développer des indicateurs pour évaluer la sensibilité des sites. La texture du sol, par exemple, qui décrit la quantité de sable, de limon et d'argile qui le compose, permet d'en connaître les propriétés comme sa capacité à retenir l'eau et les éléments nutritifs. Un site plus sensible peut donc avoir besoin qu'on laisse une partie de la biomasse sur place pour lui fournir des nutriments essentiels à la croissance des végétaux. Le niveau de fertilité d'un site est également déterminant pour adapter la récolte, tout comme le sont également d'autres facteurs bien connus en foresterie.³⁷⁸

Biomasse agricole

La biomasse agricole destinée à la production d'énergie peut quant à elle provenir de certaines espèces végétales cultivées spécifiquement à cette fin (culture dédiée), ou provenir des résidus d'autres cultures (culture alimentaire, culture horticole, etc.).³⁷⁹ Les cultures agricoles vouées à la production d'énergie peuvent être classées en trois principales catégories : les cultures lignocellulosiques, les cultures amylacées (ou sucrées) et les cultures oléagineuses. Les premières comprennent notamment les plantes comme le panic érigé, le miscanthus, le saule, le sorgho, le topinambour, le chanvre et le millet japonais. Ces cultures sont recherchées pour leur production très importante de biomasse par unité de surface tout en nécessitant peu d'intrants et d'entretien. Les cultures lignocellulosiques sont aussi celles qui sont typiques de la biomasse forestière. Elles sont, en quelque sorte, à l'intersection de l'agriculture et de la foresterie. Les cultures amylacées, quant à elles, sont recherchées pour

leur composition élevée en sucres ou en amidon facilement fermentescibles. Ce sont principalement les maïs-grain, blé, triticales, betterave, topinambour, millet perlé sucré et sorgho sucré. Enfin, les cultures oléagineuses, comprenant le soya, le canola, le tournesol et les algues, sont recherchées pour leur composition élevée en huiles.³⁸⁰

Les cultures énergétiques (ou cultures dédiées) sont choisies principalement en fonction de leur production de biomasse et de leur rendement énergétique. Toutefois, d'autres facteurs sont également à considérer dans le choix des espèces à cultiver, dont les exigences en fertilisation, les effets sur la qualité des sols et leur productivité sur des sols marginaux. En effet, puisque la production alimentaire doit rester prioritaire, la vocation première des terres doit également rester comme telle. Ainsi, les cultures énergétiques doivent davantage être envisagées afin de revaloriser des terres abandonnées ou inaptées à la culture alimentaire.

La biomasse d'origine agricole peut être utilisée directement comme combustible pour produire de la chaleur (combustion directe). Elle peut alors se présenter sous forme brute (balles, copeaux) ou densifiée (granules ou bûches). La biomasse agricole peut aussi servir d'intrant dans la production de combustibles liquides comme l'éthanol, le biodiesel, la biohuile, ou dans la production d'autres formes d'énergie comme le biogaz, l'électricité ou les gaz synthétiques.³⁸¹

³⁷⁸ Partenariat innovation forêt, 2008

³⁷⁹ Agrinova, 2009

³⁸⁰ Ibid.

³⁸¹ Ibid.

Maturité

L'utilisation de la biomasse forestière à des fins énergétiques n'est pas complètement nouvelle. En effet, le bois a été l'une des premières matières à servir à la combustion directe, soit pour la production de chaleur ou la production de vapeur de procédé. Ce qui est plus récent, c'est de récupérer certains types de résidus forestiers en particulier, comme les sciures, ou d'utiliser la biomasse forestière pour produire certains types de biocarburants.

La production de bois densifié, soit sous forme de bûches ou de granules, est assez répandue à l'heure actuelle. Quant à la production de biocarburant à partir de biomasse forestière, elle est encore peu mature. En effet, la production d'éthanol cellulosique présente encore beaucoup de défis, compte tenu des coûts et de la complexité des procédés qui entrent dans la transformation. Quant à la production de biohuile (biomazout), elle est encore au stade de recherche pour la pré-commercialisation.

Les cultures énergétiques sont en pleine expansion, notamment depuis que le Gouvernement canadien a mis en place une stratégie visant à augmenter l'usage de biocarburants. Cette stratégie a d'une part donné lieu à un règlement sur les carburants renouvelables, dont l'objectif était que ces derniers représentent 5% de la consommation totale de carburant en 2010, ainsi qu'un Programme sur l'expansion de l'éthanol. Cette stratégie a suscité un intérêt important dans le milieu agricole, qui s'attendait donc à voir la demande de maïs augmenter. L'éthanol produit à partir de maïs est le biocarburant qui domine le marché canadien, à l'heure actuelle. En termes d'occupation du sol, une étude de 2007 disait que « pour remplacer par du biocarburant 10% du carburant utilisé actuellement pour le transport, le

Canada devrait utiliser 36% de sa superficie agricole. »³⁸² On peut donc estimer que pour produire de l'éthanol en quantité suffisante, cela implique d'utiliser près de 18% de la superficie agricole du Canada, et ce, sans compter la demande croissante en carburant.

La culture énergétique pose également de nombreuses controverses notamment parce qu'elle entre en concurrence avec la production alimentaire. En effet, la demande pour le maïs pour la production d'éthanol fait augmenter les prix et rend, à l'échelle mondiale, la ressource moins abordable pour les populations les plus démunies. D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation, « l'essor de la production d'éthanol à partir de maïs est la principale raison de la baisse des stocks mondiaux de céréales au cours de la première moitié de l'année 2006. »³⁸³ L'industrie de l'élevage craint également que l'expansion du marché des biocarburants influe sur la disponibilité et le prix des céréales qu'elle utilise en alimentation animale.³⁸⁴

La performance de la biomasse, la recherche d'autres sources et la culture sur des terres marginales s'avèrent donc des enjeux primordiaux dans la production d'éthanol. La culture sur des terres marginales pose de nombreux défis, dont les méthodes de récoltes qui sont plus coûteuses parce qu'elles nécessitent des techniques plus complexes. La culture sur de telles terres n'est donc pas encore tout à fait parvenue à maturité.

La biomasse forestière et la biomasse agricole sont bien adaptées pour d'autres formes de valorisation énergétique. Leur utilisation comme combustible solide est en effet l'une des méthodes privilégiée. L'analyse des différentes utilisations de la biomasse forestière a conduit

³⁸² Forge, F., 2007

³⁸³ Ibid.

³⁸⁴ Ibid.

la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et ses coopératives à privilégier le créneau des chaufferies institutionnelles, car c'est celui qui utilise le plus efficacement l'énergie qui y est contenue, qui est parmi les plus performants dans le bilan du carbone pour la réduction des GES (principalement grâce à son utilisation la plus près possible de la source d'approvisionnement) et qui génère le plus d'emplois locaux.³⁸⁵ La conversion de la biomasse agricole en combustible solide est plus récente mais de plus en plus usitée. Des recherches sont toujours en cours afin d'obtenir des cultures avec de meilleurs rendements énergétiques.

Les cultures énergétiques, surtout les cultures oléagineuses sont également adaptées à la biométhanisation.

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Biomasse forestière

Pour l'ensemble du Québec, et à plus forte raison pour certaines régions, les ressources forestières constituent un facteur de premier plan dans son développement économique. La biomasse forestière pouvant servir à des fins énergétiques a l'avantage, en plus d'être renouvelable, d'être disponible à peu près partout dans la province, facilitant ainsi l'approvisionnement de proximité. La disponibilité de la biomasse est l'élément principal qui doit être considéré avant d'envisager son utilisation à des fins énergétiques. En effet, avant

de se baser sur une ressource pour produire de l'énergie, il faut s'assurer de la constance des intrants.

À partir des données sur la disponibilité de certaines essences sur le territoire québécois, le MRNF a estimé la quantité de biomasse qui peut être exploitée, tant en forêt publique que privée. D'après les résultats, il semblerait qu'environ 6,45 millions de tonnes métriques sèches (tms) de biomasse soit disponible annuellement pour l'ensemble du Québec. Le tableau qui suit illustre les quantités disponibles et leur provenance.

Tableau 24 : Volume de biomasse disponible sur le territoire québécois en milliers de tonnes métriques sèches (TMS)³⁸⁶

	Forêt publique		Forêt privée		Total
	Résineux	Feuillus	Résineux	Feuillus	
Troncs	130	1446	344	1626	3546
Cimes et branches	1269	838	415	381	2903
Total	1399	2248	759	2007	6449

Dans les Laurentides, la biomasse disponible annuellement est évaluée à 483 457 tonnes métriques sèches. Avec cette quantité, la région s'affiche au sixième rang, sur 17, par rapport aux autres régions administratives. Elle possède donc un bon potentiel d'utilisation de la

³⁸⁵ Conseil québécois de la coopération et de la mutualité, 2011

³⁸⁶ MRNF, 2008 dans Partenariat innovation forêt, 2008

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

biomasse forestière à des fins énergétiques. Ce potentiel s'avère particulièrement important pour le nord des Laurentides, puisque c'est là qu'ont lieu la majorité des activités forestières.

Par contre, la récolte de la biomasse doit être encadrée afin d'assurer la durabilité de la ressource. Par exemple, la biomasse forestière joue un rôle essentiel dans le maintien de la fertilité des sols, de sorte qu'il est important de laisser une certaine quantité de débris ligneux sur place lors de la récolte. Il faut également tenir compte de la sensibilité des sols et de leur texture. Par ailleurs, bien que la biomasse forestière puisse provenir de toutes les parties de l'arbre, les billes de qualité supérieure devraient être utilisées à d'autres fins (sciage, déroulage) que la production d'énergie.³⁸⁷

L'utilisation de la biomasse forestière semble davantage pertinente pour produire des combustibles solides. C'est ce moins ce que préconise la Fédération québécoise des coopératives forestières. C'est également ce qui ressort des analyses faites par le groupe AGÉCO-Agrinova, dans lesquels la production de biomasse densifiée semble à la fois compétitive sur le marché, en plus d'offrir des retombées locales avantageuses tant sur le plan économique, social qu'environnemental. La mise en place de réseaux de chaleur associés à des systèmes de combustion de la biomasse pourrait contribuer à l'activité économique de la région, profitant autant au secteur de la foresterie qu'à celui de la construction et à celui de l'exploitation de l'énergie.³⁸⁸

Biomasse agricole

La région des Laurentides compte 194 233 hectares de terres agricoles. Cette surface représente près de 9% de son territoire. Les terres agricoles se retrouvent principalement en deux endroits : au niveau de la plaine du Saint-Laurent, d'une part, où se trouvent des sols d'excellente qualité, et, d'autre part, dans les vallées des rivières Rouge et du Lièvre. Ses plus grandes superficies se concentrent dans les MRC de Mirabel et d'Argenteuil.³⁸⁹ Comme il importe de conserver la vocation alimentaire des terres agricoles, il faut considérer le potentiel de résidus que peuvent offrir ces terres et non le rendement de la culture proprement dite. Or, il est difficile d'établir la quantité de résidus agricoles puisqu'il ne s'agit habituellement pas de la matière d'intérêt d'une culture, de sorte que ce ne sont pas les résidus qui sont quantifiés.

L'une des possibilités, mis à part l'utilisation des résidus, est de cultiver certaines espèces ayant un certain potentiel énergétiques. Pour éviter d'utiliser les terres servant aux cultures alimentaires, il est possible de valoriser les terres abandonnées, dites « en friche ». Toutefois, d'après Agriculture et agroalimentaire Canada, bien qu'il n'y ait pas eu d'inventaire réalisé dans la région, les Laurentides comporteraient peu de terres en friches. Cette avenue n'est donc peut-être pas très pertinente, à moins de ne servir de complément à d'autres sources.

³⁸⁷ Partenariat innovation forêt, 2008

³⁸⁸ MAMROT, 2009

³⁸⁹ MRN, 2013

Source de biomasse : boues municipales

Description

Les boues municipales sont les résidus solides ou pâteux obtenus après le traitement biologique ou physicochimiques et la filtration des eaux usées provenant soit des installations septiques ou des usines d'épuration. Elles sont aussi appelées biosolides ou boues d'épuration. Au Québec, la majeure partie de ces boues sont, à l'instar des autres matières putrescibles, soit incinérées, soit enfouies. Par contre, elles peuvent également être valorisées à la fois comme source énergétique et comme matière fertilisante, mais aussi à d'autres fins. Elles peuvent en effet servir pour le compostage, pour l'épandage agricole et sylvicole, pour la réhabilitation de sites, la fabrication de matériaux de construction, la production de combustibles, etc. C'est la composition et la consistance des boues qui détermine les procédés de traitement et de valorisation à utiliser et l'usage qui peut être fait des produits extraits de ces boues. Il est important de savoir que certaines utilisations des boues valorisées, telles que l'épandage, la réhabilitation de sites et la production de terreau horticoles sont règlementés de façon très stricte. Elles nécessitent un traitement préalable des boues pour éliminer les pathogènes et certains composés chimiques. La qualité des boues d'épuration augmente leur potentiel de valorisation. Toutefois, malgré leur qualité croissante compte tenu de la réduction des contaminants à la source, moins du tiers des biosolides municipaux sont valorisés comme matière fertilisante. Quant au reste, 22% sont mis en décharge, avec un captage partiel du biogaz, et 48% sont incinérées.³⁹⁰ Les sols

cultivés ayant reçu des biosolides comme matière fertilisante ne représentent pour leur part que 0,2% de l'ensemble des terres agricoles.³⁹¹

Selon que les boues soient fortement contaminées ou non par différents composés ou éléments chimiques, leur valorisation ou leur élimination peut représenter certains risques. À l'enfouissement, la littérature fait état des mêmes risques que pour les autres matières organiques : dégagement de produits toxiques, de GES, contamination des eaux souterraines par les métaux lourds et autres composés chimiques. Lors de leur incinération, si elles sont brûlées avec d'autres matières comme des plastiques ou autres types de matières, il peut se dégager des résidus dangereux : fumées toxiques pouvant contenir de l'arsenic, du mercure, du plomb, des dioxines et furanes, etc., et des cendres fortement concentrées en métaux lourds. La qualité de départ des boues peut aussi faire en sorte de générer plus ou moins de produits dangereux, mais il est important de mentionner que depuis plusieurs années, de nombreux efforts ont été faits pour éliminer les produits dangereux des réseaux d'égouts. Les biosolides municipaux contiennent désormais peu de métaux lourds et de composés organiques toxiques, et ont sensiblement la même composition que celles des fosses septiques.³⁹²

Les émissions de GES engendrées par l'incinération sont importantes. Le contenu riche en azote des boues municipales et de fosses septiques produit, lors de leur combustion, de l'oxyde nitreux. Ce dernier est un puissant gaz à effet de serre dont le potentiel de réchauffement global est 310 fois supérieur à celui du CO₂. La figure suivante démontre l'empreinte carbonique élevée de l'incinération des boues. Les calculs à l'origine de ce

³⁹⁰ Hébert, M., 2012

³⁹¹ MDDEP, 2004

³⁹² Ibid.

graphique proviennent d'estimations basées sur le cas de la Ville de Saguenay³⁹³. Toutefois, et il en va de même dans le cas des dioxines et furanes, il est possible de réduire les émissions d'oxyde nitreux en maintenant une température de combustion suffisamment élevée et durant un laps de temps approprié.

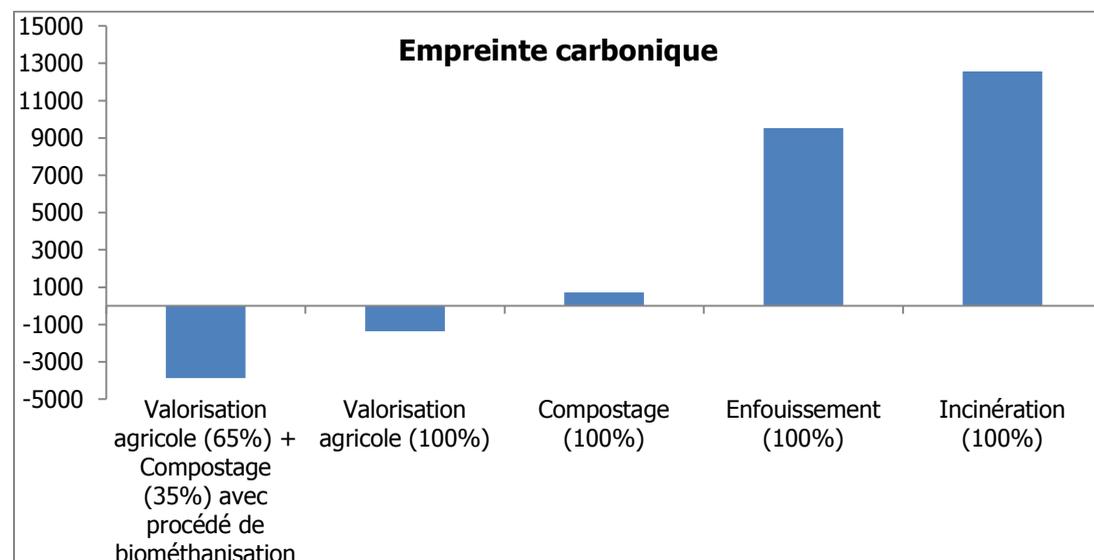


Figure 53 : Empreinte carbonique des différentes techniques de valorisation des boues, estimation faite pour la Ville de Saguenay³⁹⁴

Le compostage est aussi l'une des avenues possibles pour gérer adéquatement les boues d'épuration et de fosses septiques. Le compost qui en est issu comporte l'avantage d'être moins odorant que les boues fraîches. Par contre, des odeurs sont souvent générées durant le processus et peuvent être inconfortables pour les secteurs près des installations. Les composts qui satisfont aux exigences de qualité du Ministère peuvent être épandus sur les sols agricoles et peuvent également recevoir une certification BNQ, s'ils répondent à certains critères.³⁹⁵

Le compostage des boues génère beaucoup moins de GES que leur enfouissement ou leur incinération. Bien qu'il y ait effectivement des émissions, ce mode de valorisation est près de la carboneutralité (voir figure 53).³⁹⁶

Valorisation énergétique

La combustion peut aussi être considérée comme un moyen de valorisation énergétique des boues, bien que le gouvernement québécois privilégie d'autres utilisations pour cette matière.³⁹⁷ Il s'agit par contre d'une tout autre chose que de la simple incinération de la matière. Dans le but de produire de la chaleur, les boues sont asséchées et transformées en granules combustibles. L'utilisation des biosolides comme combustible a l'avantage de ne pas nécessiter de traitement ou de stabilisation préalable des boues municipales et des boues de fosses septiques, contrairement à l'épandage, par exemple. Ceci peut donc aussi réduire les coûts associés à la gestion de ces boues.³⁹⁸

³⁹³ Villeneuve, C. et Dussereault, P.-L. pour le MDDEP, 2011

³⁹⁴ Ibid.

³⁹⁵ MDDEP, 2004

³⁹⁶ Ibid.

³⁹⁷ Gouvernement du Québec, 2013

³⁹⁸ Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2012

Les granules combustibles sont utilisées, par exemple, pour produire de la vapeur d'eau servant à faire tourner des turbines afin de produire de l'énergie électrique. Même si ce procédé est fréquemment utilisé, il a l'inconvénient de concentrer les métaux lourds dans les cendres qui en résultent. Selon les taux qu'elles comportent, les cendres peuvent être utilisées ou transportées vers un site d'enfouissement sécuritaire³⁹⁹. Selon le Conseil canadien des ministres de l'environnement, la combustion des boues d'épuration doit satisfaire à certains critères pour être considérée comme une méthode de valorisation :

- Elle doit respecter toutes les normes de qualité de l'air pertinentes des autorités compétentes
- Elle doit présenter un bilan énergétique positif
- Il doit y avoir récupération et utilisation d'une quantité considérable de cendres
- Les émissions d'oxyde nitreux et autres contaminants à la sortie de la cheminée doivent être faibles

Si ces critères sont respectés, certaines provinces pourraient également considérer la combustion des biosolides municipaux comme une source d'énergie renouvelable. Par ailleurs, selon leur composition, les cendres peuvent également être valorisées. Elles contiennent des concentrations de cations basiques et de phosphore utiles aux plantes cultivées. Elles ont également un pH élevé et peuvent donc remplacer la chaux pour l'amendement des sols acides.⁴⁰⁰

Comme pour les autres matières organiques, le traitement des boues par la biométhanisation comporte plusieurs avantages. De façon plus spécifique, elle réduit la charge organique des boues (stabilisation). La réduction de la charge organique permet de diminuer le processus de fermentation et les odeurs, ce qui facilite ainsi le stockage du digestat pour une utilisation ultérieure. De plus, la digestion des boues en milieu anaérobie permet de réduire les agents pathogènes et leurs risques dans l'environnement. Les boues ainsi transformées peuvent alors servir pour l'épandage ou le compostage avec d'autres matières⁴⁰¹.

Tel que mentionné précédemment, la biométhanisation occasionne un bilan négatif d'émissions de GES : le procédé n'en produit pas, et l'utilisation des biogaz en remplacement des produits pétroliers permet de retirer les GES qui auraient été émis (figure 53).

Maturité

Au Québec, seules quelques municipalités produisent à elles seules la quasi-totalité des boues qui sont valorisées⁴⁰². Toutefois, peu de projets intègrent une valorisation énergétique des boues par biométhanisation; la valorisation se limitant le plus souvent à la transformation des boues en compost⁴⁰³.

Comme pour le reste de la matière organique, la valorisation des boues, apparaît comme une solution efficace pour atteindre l'objectif de réduction des matières organiques envoyées au site d'enfouissement. Actuellement au Québec, deux usines de biométhanisation utilisent les

³⁹⁹ MRC des Pays-d'en-Haut, 2004

⁴⁰⁰ Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2012

⁴⁰¹ Ibid.

⁴⁰² Villeneuve, C. et Dussereault, P.-L. pour le MDDEP, 2011

⁴⁰³ MDDEP, 2007

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

boues dans leur procédé. D'autres projets devraient voir le jour, notamment dans la Vallée du Richelieu et à Laprairie.

Les projets de valorisation des boues, particulièrement pour l'utilisation agricole du digestat issu de la biométhanisation, peuvent être perçus de la part de la population comme sources de risques sanitaires. Toutefois, plusieurs études scientifiques produites par le MDDEP et dont les conclusions ont été rendues publiques peuvent servir à rassurer la population quant à l'absence de risques significatifs liés à l'utilisation des boues comme fertilisant agricole⁴⁰⁴.

Dans la mesure où les cendres issues de la combustion ne satisfont pas les critères pour l'épandage, elles peuvent toujours entrer dans la composition du ciment. Certaines cimenteries utilisent d'ailleurs les boues comme combustibles, et réutilisent ensuite les cendres avec ses matières premières.

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

Afin d'évaluer le potentiel des différents procédés de valorisation des boues pour la région, il faut dans un premier temps déterminer les quantités disponibles. À cet effet, la quantité de boues générées sur un territoire est bien souvent inconnue des municipalités. Quelques stations d'épuration peuvent les quantifier avoir une idée plus précise cette information. Dans tous les autres cas, la quantité de boues est difficile à évaluer. Pour les fosses septiques, elles sont vidangées par des entreprises privées qui transigent souvent directement avec les citoyens. Certaines estimations ont tout de même pu être faites en établissant une capacité

⁴⁰⁴ MDDEP, n.d.

moyenne des fosses septiques (vidangées aux deux ou quatre ans) et en connaissant le nombre de fosses sur un territoire donné. Quant aux boues municipales, elles ont été estimées à partir d'une moyenne générée par habitant pour une année. Le tableau qui suit présente les estimations des boues de fosses septiques et des boues municipales, à prendre avec une certaine réserve d'après les auteurs des études puisqu'il ne s'agit que d'approximations.

Tableau 25 : Quelques estimations du volume de boues produit annuellement pour un territoire donné

Territoire	Boues de fosses septiques Volume humide (m ³)	Boues d'épuration (m ³)
MRC Rivière du Nord (2011) ⁴⁰⁵	27 350	n.d.
MRC Antoine-Labelle (2001) ⁴⁰⁶	25 079	1955
MRC Laurentides (2001) ⁴⁰⁷	26 000	n.d.
MRC Pays d'en Haut (2001) ⁴⁰⁸	16 334	1752
MRC Argenteuil (2001) ⁴⁰⁹	10 731	2089
Territoire de la couronne nord-ouest de la CMM (2001) ⁴¹⁰	n.d.	35 690
Territoire de la RIDR (MRC des Pays d'en haut + MRC Laurentides + une partie de la MRC d'Antoine-Labelle) (2011) ⁴¹¹	76 500	12 300

⁴⁰⁵ Solinov, 2012

⁴⁰⁶ MRC Antoine-Labelle, 2004

⁴⁰⁷ MRC Laurentides, 2004

⁴⁰⁸ MRC Pays d'en haut, 2004

⁴⁰⁹ MRC Argenteuil, 2004

⁴¹⁰ CMM, 2006

⁴¹¹ AECOM, 2013

Actuellement, dans les Laurentides, la majorité des boues produites sont, à l'instar du reste de la province, soit enfouies, soit incinérées. Les boues municipales sont dans certains cas traitées par lagunage dans des étangs aérés. Cette technique d'épuration des eaux n'exige que l'on vide ces étangs qu'une fois aux 10 ou 15 ans, de sorte que les boues ne sont alors pas réellement considérées comme un problème. Le lagunage permet ensuite de valoriser les boues par épandage. La municipalité de Saint-André-d'Argenteuil, quant à elle, a mis en place une technique d'épuration des eaux par marais filtrant, desservant 84 résidents et ne générant aucun volume de boues.⁴¹² Bien que ces techniques permettent de gérer adéquatement eaux usées, elles ne permettent pas de retirer l'énergie disponible dans cette biomasse. Toutes proportions gardées, ces techniques restent peu utilisées si l'on considère la quantité totale de boues produites annuellement dans la région. L'enfouissement et l'incinération sont encore prédominants dans les Laurentides. Dans plusieurs cas, les boues de fosses septiques sont acheminées à l'usine d'épuration des eaux à Montréal. La plupart d'entre elles sont enfouies après traitement.

En fait, on peut penser que, dans les régions où la densité de population est forte, la quantité de boues est assurément suffisante pour instaurer n'importe quel procédé. Il faut surtout voir quelle manière de la valorisation apporte le plus de services à la communauté.

La production de combustibles à partir des boues déshydratées est l'une des avenues possible. Ces granules de biomasse pourraient ensuite servir à produire de l'électricité et de la chaleur pour des entreprises avoisinantes (cogénération et réseaux de chaleur). Toutefois, selon l'article 7.4 de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles «le recyclage de la matière organique putrescible, soit l'épandage sur le sol ainsi que le compostage et la

biométhanisation en vue de l'amendement des sols, doivent être privilégiés par rapport aux autres formes de valorisation, dont la valorisation énergétique.»⁴¹³ L'objectif de cette démarche est de permettre à la matière organique de compléter son cycle de retour à la terre. La biométhanisation permet à la fois la valorisation énergétique de la biomasse et le retour à la terre du digestat.

Du point de vue de la valorisation et de la valorisation énergétique des boues, les régions du centre et du sud des Laurentides auraient sans aucun doute tout à gagner de mettre en place des usines de biométhanisation. D'autant plus qu'aux boues peuvent s'ajouter les matières putrescibles provenant du milieu résidentiel. Dans le nord des Laurentides, il y a lieu de se demander si les quantités de boues (et des autres matières putrescibles) sont suffisantes, tout en tenant compte de leur transport. Il faut en effet s'assurer d'avoir assez de matières à méthaniser, mais il faut aussi que les bénéfices qui découleront du procédé aillent au-delà des inconvénients financiers, sociaux et environnementaux. Les résultats obtenus ailleurs au Québec semblent donner des résultats positifs. Par exemple, à Saint-Hyacinthe, ce sont 73 000 tonnes de boues qui sont traitées annuellement depuis 2010. Le système comporte trois digesteurs qui produisent 150 m³ de biogaz par heure.⁴¹⁴

Une chose est certaine, il serait pertinent de gérer les boues localement. Actuellement, les boues des vidanges de fosses septiques des Laurentides sont très souvent transportées à l'usine d'épuration de Montréal. Ceci implique donc à la fois des dépenses énergétiques, des émissions de GES et des coûts financiers supplémentaires qui pourraient être évités.

⁴¹² MRC d'Argenteuil, 2004

⁴¹³ Gouvernement du Québec, 2013

⁴¹⁴ Bio-méthantech, n.d.

Source de biomasse : matières putrescibles

Description

Techniquement, les matières putrescibles forment une vaste catégorie de la matière organique. Elle comprend l'ensemble de la biomasse, incluant les résidus ligneux, agricoles et les boues d'épuration dont il a été question précédemment. Dans cette section du guide, les matières putrescibles représentent celles qui sont issues de la collecte des ordures ménagères ou de la deuxième et de la troisième voie. Ces matières peuvent être subdivisées en trois principales catégories, à savoir : les résidus alimentaires, les résidus verts et les autres résidus organiques.

- Les **résidus alimentaires** sont produits lors de la préparation des repas ou proviennent des restes de table, principalement. Ces matières sont les plus susceptibles d'être à l'origine des nuisances, notamment à cause des viandes et matières grasses qui dégagent des odeurs lors de leur décomposition. Ces odeurs attirent également la vermine, ce qui peut constituer un problème supplémentaire. Ce sont les principales raisons pour lesquelles elles sont exclues du compostage domestique. Ces matières sont générées en quantité relativement constante tout au long de l'année.⁴¹⁵ Elles proviennent à la fois des ménages et des ICI.
- Les **résidus verts** regroupent les feuilles mortes, le gazon et les autres herbes coupées, les résidus horticoles, les retailles d'arbustes les sapins de Noël. Ils sont issus de l'aménagement et de l'entretien des espaces verts, autant résidentiels que publics. Leur production varie beaucoup au fil de l'année, selon les saisons.

⁴¹⁵ AECOM, 2013

- Les **autres résidus** comprennent le papier et le carton souillés par la nourriture, les fibres sanitaires, de résidus d'emportage, de sciure et de copeaux de bois (autres que ceux d'origine industrielle), de cendres, de litières d'animaux et autres. Ces matières sont également produites en quantité constante tout au long de l'année.

L'enfouissement est, comme pour le reste de la matière organique, l'avenue la plus souvent choisie pour gérer les matières putrescibles. La situation est d'autant plus vraie pour les résidus de la catégorie «autres» qui ont, jusqu'à maintenant, eu peu d'intérêt à être valorisés. Quant à l'incinération, constituant aussi souvent une option, elle est inappropriée pour gérer certaines des matières putrescibles, notamment les résidus alimentaires. En effet, ces dernières ont une grande teneur en eau qui abaisse la température des fours lors de la combustion. La situation est alors propice aux émissions de dioxines et de furanes si des matières contaminantes sont aussi dans l'incinérateur.⁴¹⁶

Les résidus verts sont, à l'heure actuelle, davantage valorisés que le reste des matières putrescibles. Plusieurs municipalités ont mis sur pied des collectes spéciales pour ramasser et composter spécifiquement ce type de matière, notamment en automne lorsque les feuilles tombent et à Noël.

Les résidus alimentaires sont aussi parfois compostés mais ce type de gestion reste encore marginal à l'échelle de la province. Le compostage domestique est, certes, de plus en plus pratiqué, mais ne permet que de gérer une quantité limitée de l'ensemble des matières putrescibles.

⁴¹⁶ Olivier, M., 2010

Valorisation énergétique

Compte tenu du pouvoir méthanogène des résidus alimentaires et de nombreuses autres matières putrescibles (graisses usagées, résidus d'abattoirs, fibres sanitaires, litières d'animaux, etc.), et de leur impropriété à la combustion, la biométhanisation s'avère un bon moyen de les valoriser en source énergétique. L'autre possibilité de tirer l'énergie des matières putrescibles est d'en faire des biocarburants, principalement de biodiesel (issu des graisses). Dans la mesure où il ne s'agit pas de culture énergétique mais bien de l'utilisation de résidus, la réduction de GES liée à l'utilisation de biocarburants est assurée. Quant aux résidus verts, plus près de la biomasse agricole ou forestière, ils sont généralement plus à même d'être transformés en combustibles solides ou également en biocarburants (biodiesel ou éthanol cellulosique). Le compostage reste une avenue de gestion des matières putrescibles, mais ne permet pas d'extraire l'énergie de la biomasse.

Maturité

La Politique québécoise de gestion des matières résiduelles a pour objectif de bannir l'enfouissement des matières putrescibles avant 2020. Comme première étape, la politique vise, avant 2015, une diminution de 60% de la quantité de ces matières conduites au site d'enfouissement.⁴¹⁷ Si l'objectif peut paraître ambitieux, il faut toutefois considérer que l'ensemble des matières putrescibles peuvent être valorisées grâce à des procédés connus et maîtrisés.

⁴¹⁷ Gouvernement du Québec, 2011

En fait, il existe au Québec à la fois des usines de biométhanisation et des chaudières fonctionnant à la biomasse, de sorte que la valorisation des matières putrescibles comme source d'énergie est désormais considérée comme mature. La technologie actuelle permet donc d'utiliser toutes ces matières comme source d'énergie et réduire les émissions de GES liées à leur enfouissement ou leur incinération.

À défaut de valorisation énergétique, il reste toujours le compostage, lui aussi bien maîtrisé, pour éviter l'enfouissement et l'incinération. Toutefois, selon Envirogaz, une entreprise spécialisée dans la gestion des matières organiques et dans le compostage, il est plus difficile, à grande échelle, de traiter les résidus alimentaires par compostage en raison de leur fort potentiel fermentescible. « Ces matières ont la propension de causer des problèmes d'odeurs en plus de nécessiter une intervention dynamique afin de dissiper l'énergie (chauffage) que produit la digestion aérobie. Pour contrer le risque de causer des odeurs nauséabondes et pour éviter d'avoir à jeter l'énergie en envoyant dans l'atmosphère le surplus de chaleur, nous nous sommes très rapidement intéressés à la biométhanisation. »⁴¹⁸

Plusieurs municipalités procèdent à la collecte des matières putrescibles, de sorte que les procédures de collecte sont aussi au point. Les populations sont d'ordinaire très enclines à participer au tri des déchets organiques si la collecte est directement faite à leur porte⁴¹⁹.

⁴¹⁸ AQME, 2010

⁴¹⁹ MRC des Pays-d'en-Haut, 2004

Développement de la filière dans les Laurentides et recommandations

La quantité de matières organiques disponibles est le facteur déterminant dans le choix d'une gestion adéquate. On peut les traiter soit par compostage, soit par biométhanisation. Toutefois, seule la seconde option permet d'en faire une source d'énergie. Si les matières putrescibles sont insuffisantes à elles seules, d'autres intrants, tels que les boues d'épuration, peuvent être ajoutés de manière à obtenir les volumes nécessaires.

La quantité de matières putrescibles générées dans la région est difficile à quantifier. Des estimations ont été faites par les MRC ou par les firmes mandatées pour les évaluer. Les résultats, comme dans le cas des boues, sont à prendre avec une certaine réserve d'après les auteurs des études puisqu'il s'agit d'approximations. Dans les Laurentides, quelques MRC ou organisations ont tenté l'exercice, produisant les données présentées au tableau suivant.

Tableau 26 : Estimation des matières putrescibles générées sur certains territoires des Laurentides

Territoire	Municipalités (t/an)	ICI (t/an)
MRC Rivière du Nord (2011) ⁴²⁰	14 600	5400
Territoire de la couronne nord-ouest de la CMM ¹ (2001) ⁴²¹	43 800	n.d.
Territoire de la RIDR ² (2011) ⁴²²	21 870	17 789

¹ : Comprend les MRC Thérèse-De Blainville, Deux-Montagnes et Mirabel

² : Comprend la MRC des Pays d'en haut + MRC Laurentides + une partie de la MRC d'Antoine-Labelle

⁴²⁰ Solinov, 2012

⁴²¹ CMM, 2006

⁴²² AECOM, 2013

La quantité de matières putrescibles produite sur le territoire des Laurentides est amplement suffisante pour favoriser la production d'énergie à partir de la biométhanisation. Cela devient encore plus pertinent dans la mesure où l'on peut intégrer d'autres matières au procédé, comme les boues, puisque la quantité d'énergie produite sera encore plus significative. À titre de comparaison, la ville de Saint-Hyacinthe fait fonctionner trois bioréacteurs avec 73 000 tonnes de boues utilisées annuellement.

L'utilisation des matières putrescibles à des fins de production de biocarburants est quant à elle plus mitigée. Que ce soit pour la production de biodiésel à partir de graisses ou pour la production d'éthanol de première ou de seconde génération (à partir de céréales ou de matières ligneuses), il faut utiliser des intrants plus purs. Un problème de tri à la source se présente alors. Néanmoins, dans la mesure où les résidus suffisamment épurés se trouveraient en quantité suffisante pour instaurer un procédé de production de biocarburants, l'option peut s'avérer intéressante.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Bilan des ressources énergétiques renouvelables de remplacement

	Géothermie	Hydrothermie	Hydroélectricité	Hydrolienne	Éolienne	Solaire PV	Solaire passif	Solaire thermique	Solaire thermique-électrique	Biométhanisation	Combustion	Biocarburant
Échelle	Individuelle petits réseaux	Individuelle Petits réseaux	Petits réseaux Collectivité	Individuelle Collectivité	Individuelle Collectivité	Individuelle	Individuelle	Individuelle Petits réseaux	Collectivités	Collectivités	Individuelle Petits réseaux Collectivités	Collectivités
Potentiel dans les Laurentides	Surtout au sud	Centre et nord	Secteurs isolés Plus ou moins	Seulement pour individuelles	Seulement pour individuelles	oui	oui	Seulement pour individuelles	non	oui	oui	Plus ou moins (éthanol cellulosique, pas de biodiesel)
Degré de potentiel	+++	+++	+	++	+ OU -	+	+++	++	-	+++	+++	+ OU -
Type d'énergie	Échange thermique	Échange thermique	Production d'électricité	Production d'électricité	Production d'électricité	Production d'électricité	Échange thermique	Échange thermique	Production d'électricité	Production d'une nouvelle source d'énergie Production d'électricité Production de chaleur	Production de chaleur Production d'électricité	Production d'une nouvelle source d'énergie
Champ d'application	Bâtiment	Bâtiment	Bâtiment Transport	Bâtiment Transport	Bâtiment Transport	Bâtiment	Bâtiment	Bâtiment	Bâtiment Transport	Bâtiment Transport lourd Procédés industriels	Bâtiment Procédés industriels	Bâtiment Transport
Notes		Aspect réglementaire inadéquat pour l'utilisation résidentielle		Aspect réglementaire inadéquat pour l'utilisation résidentielle						Coûts élevés	Peu de GES comptabilisés mais émissions de particules dans l'atmosphère	Potentiel pour le biodiesel si suffisamment de sols valorisés et sans interférence avec production alimentaire

Formes d'énergies disponibles

À la lumière de ce qui a été décrit précédemment, on constate que les ressources énergétiques de remplacement peuvent prendre principalement trois formes. Il peut d'abord s'agir de technologies qui favorisent les échanges thermiques, permettant ainsi d'économiser l'énergie normalement utilisée pour réchauffer ou climatiser un bâtiment. Ensuite, il peut s'agir d'un moyen de produire de l'électricité ou finalement, de générer une nouvelle source d'énergie, telle que les biocarburants, par exemple.

Échanges thermiques

Les technologies qui favorisent les échanges thermiques ne sont généralement pas applicables à grande échelle. En effet, les échanges de chaleur se faisant sur place, les procédés de géothermie, d'hydrothermie, de solaire passif ou de solaire thermique sont applicables sur un site ou sur un réseau restreint de bâtiments. Dans ces circonstances, il incombe davantage aux propriétaires (particuliers, entreprises, institutions, etc.) ou aux constructeurs de les intégrer aux bâtiments. De telles mesures peuvent néanmoins être encouragées par les différents paliers gouvernementaux, en instaurant des mesures incitatives à de tels projets. Les techniques intégrant le solaire passif, par exemple, ne requièrent pas nécessairement d'équipements coûteux; il suffit simplement de penser les constructions en considérant quelques principes. Dans les autres cas (géothermie, hydrothermie et capteurs solaires), des incitatifs financiers doivent être envisagés puisque ces techniques exigent des installations et une expertise appropriées.

Le recours à l'ensemble des technologies qui favorisent les échanges thermiques devrait faire l'objet d'une priorité dans une perspective de maîtrise de l'énergie, puisqu'elles

permettent en réalité de réduire la demande énergétique des bâtiments. L'énergie ainsi économisée, principalement de l'électricité, pourrait donc être utilisée à d'autres fins.

Production d'électricité

La production d'électricité est plus ou moins intéressante dans les Laurentides. En effet, la plupart des technologies qui produisent de l'électricité n'offrent pas un potentiel suffisamment grand pour approvisionner l'ensemble de la collectivité. L'électricité produite en assez grande quantité pour être intégrée au réseau collectif peut ensuite servir à alimenter autant les bâtiments que les véhicules électriques. À l'heure actuelle, la production individuelle d'électricité n'est pas suffisante pour alimenter un véhicule personnel. La technologie n'est pas non plus développée à cet effet. Bref, l'échelle de production détermine la finalité de l'utilisation.

Quelques barrages hydroélectriques existent déjà dans les Laurentides et intègrent leur production d'électricité au réseau d'Hydro-Québec. Compte tenu du potentiel hydroélectrique plus ou moins important de la région, des conséquences de l'implantation de nouvelles centrales et de l'acceptabilité sociale incertaine d'un tel projet dans un milieu de villégiature, il est peu probable que cette avenue soit intéressante. Quant aux hydroliennes, éoliennes et cellules solaires photovoltaïques, elles peuvent avoir un intérêt uniquement pour une alimentation individuelle, puisque les Laurentides n'offrent pas les conditions nécessaires (débit d'eau, vent, intensité solaire) à une production de grande envergure. Le solaire thermique actif servant à produire de l'électricité n'est pas non plus envisageable dans les Laurentides. En effet, l'ensoleillement de la région ne permet pas de générer suffisamment d'énergie pour que la technologie soit rentable. Deux technologies permettraient de produire suffisamment d'électricité pour alimenter les collectivités laurentiennes : la biométhanisation

et la cogénération à partir de la combustion de la biomasse forestière. Bien entendu, avant d'envisager l'une ou l'autre des avenues, il faut se demander quels sont les besoins de la région en électricité. Le recours à des technologies qui permettent d'abord de réduire la consommation d'électricité ou d'une autre forme d'énergie, telles que l'hydrothermie, la géothermie, le solaire passif et les capteurs solaires, devrait être priorisé.

Production d'une nouvelle source d'énergie

Il est également possible de produire des nouvelles sources d'énergie, et ce, à partir de la biomasse disponible (boues d'épuration, graisses, matières putrescibles, résidus forestiers, résidus agricoles, cultures énergétiques, feuilles mortes, etc.). Selon la composition de cette dernière et selon la technologie utilisée pour la transformer, il est possible d'obtenir des biogaz et des biocarburants. La production de biobutanol et de biohuile n'est pas encore suffisamment au point pour être intéressante. La production de biodiesel est facilement accessible, mais les ressources ne sont pas suffisantes dans la région pour qu'elle puisse être envisagée. Les Laurentides possèdent la ressource appropriée, c'est-à-dire suffisamment de biomasse forestière, pour produire de l'éthanol cellulosique. Il s'agit donc de l'une des avenues possible pour valoriser la biomasse forestière. Par contre, la production d'éthanol cellulosique est très complexe et requiert des installations d'envergure. La production d'éthanol cellulosique n'est en effet rentable qu'à grande échelle. La production de biogaz par la biométhanisation est une autre avenue, laquelle s'avère plus accessible pour la région. Non seulement la technologie a fait ses preuves et s'avère rapidement rentable, mais les intrants servant au procédé peuvent être de nature très variée. En fait, pratiquement seuls les résidus forestiers, trop ligneux, ne sont pas appropriés. La biométhanisation a également l'avantage de pouvoir détourner de l'enfouissement une grande quantité de matières organiques. Dans une moindre mesure, la production d'éthanol cellulosique permet également un certain

détournement, utilisant, au contraire de la biométhanisation, principalement les produits ligneux.

Champ d'application des sources d'énergies renouvelables

Les sources d'énergies produites peuvent servir à différentes fins, selon le type et la quantité produite. Ainsi, les procédés qui favorisent les échanges thermiques sont généralement applicables aux bâtiments, qu'ils soient résidentiels, institutionnels, commerciaux, etc. Les technologies qui permettent de produire de l'électricité peuvent approvisionner soit les bâtiments soit certains véhicules, selon l'échelle de production. La production de chaleur, quant à elle, peut servir pour chauffer les bâtiments, mais peut également entrer dans les procédés industriels. À l'échelle individuelle, et à l'instar des échanges thermiques, la production de chaleur peut permettre de réduire la consommation d'électricité. Toutefois, à cette échelle, l'électricité reste avantageuse par rapport à la combustion de biomasse. En effet, cette dernière, même si elle n'émet pas de GES comptabilisés dans le bilan, rejette tout de même de nombreuses particules atmosphériques qui peuvent nuire à la qualité de l'air et à la santé respiratoire de certaines personnes. À plus grande échelle, des systèmes d'épuration des fumées sont généralement en place afin de respecter les normes gouvernementales d'émissions atmosphériques résultant de la combustion. La production de chaleur à partir du biogaz issu de la biométhanisation, à petite ou à grande échelle, s'avère également une alternative de choix, concurrentielle à l'électricité.

Les technologies qui produisent une énergie applicable au transport méritent une certaine attention. Les technologies qui produisent de l'électricité peuvent certes contribuer à alimenter certains véhicules. Par contre, dans le cas des véhicules lourds et dans l'état actuel

des choses, seule une nouvelle source de carburant peut servir d'énergie. En fait, on peut procéder soit en incorporant du biodiesel au diesel ou un utilisant des véhicules fonctionnant au biogaz comprimé ou au gaz naturel liquéfié.

Dans les Laurentides, la production de biodiesel n'est à peu près pas envisageable. Il est en effet peu probable de pouvoir compter sur la culture des oléagineux, d'autant plus que les bénéfices sont incertains compte tenu des changements d'affectation des sols, et la disponibilité des graisses et des huiles végétales usées n'est pas assurée. Il faudrait d'abord savoir quelle quantité peut être générée à l'échelle industrielle et considérer qu'il y a par ailleurs une certaine concurrence pour ces produits à l'état relativement pur. En revanche, la production de biogaz est à la portée des Laurentides, qui pourraient participer à la réduction des GES émis dans le secteur des véhicules lourds. Il faut noter que plus de 31% des GES attribués au transport routier sont émis par les véhicules lourds, alors qu'ils ne représentent que 3% des véhicules sur les routes. Il s'agit donc d'un secteur qui contribue fortement aux changements climatiques et pour lequel il serait particulièrement important d'intervenir. L'utilisation de biogaz est d'autant plus avantageuse puisque ce dernier peut également s'intégrer au diesel. Par ailleurs, la Politique québécoise sur le transport routier de marchandises 2009-2014 indique que seul le gaz naturel peut remplacer le diesel dans ce secteur et contribuer à la réduction des GES. Il faut aussi considérer qu'une nouvelle usine de transformation du biogaz en biométhane sera construite à Terrebonne, laquelle devrait être opérationnelle dès la mi-année de 2014. Si des partenariats sont possibles, les débouchés pour le biogaz produit seront alors assurés. Dans ces circonstances, entre autres, il serait souhaitable d'envisager sérieusement la construction d'usines de biométhanisation dans la région.

Recommandations pour une meilleure gestion de l'énergie dans les Laurentides

La réduction de la consommation d'énergie, tant de la part de la population, des entreprises que des institutions, est la première voie à envisager. Que ce soit par les transports, les bâtiments ou les procédés industriels, tous ont à gagner de rendre plus efficace l'utilisation de l'énergie. La récupération de l'énergie perdue va également en ce sens.

Parallèlement à la réduction et la récupération de l'énergie, celle qui devra encore être utilisée pour répondre aux besoins de la société en général doit faire l'objet d'un choix judicieux. Certaines actions et certaines formes d'énergies seraient ainsi plus profitables que d'autres pour les Laurentides. Dans cette perspective, et à la lumière de ce qui a été décrit dans ce document, on peut envisager un certain nombre de recommandations de ce qui serait souhaitable pour la région en vue d'une meilleure maîtrise de l'énergie.

- **Sensibiliser la population à l'importance de la maîtrise de l'énergie, tant sur le plan individuel que collectivement.**

Au-delà de la consommation énergétique directe, les gens doivent prendre conscience que leur consommation de biens et de services, en général, est tributaire de l'énergie utilisée et des GES émis à plus grande échelle. D'une diminution globale de cette consommation, il en découlera d'une part des économies sur la facture de chacun, mais aussi une gestion plus saine de l'énergie à une échelle beaucoup plus grande.

Bien entendu, la sensibilisation reste toujours une action importante dès que l'on vise des changements de comportements. Mais outre cette dernière, il faut également que soient

mises en place des mesures pour faciliter la tâche des individus et des organisations et les inciter à opérer ces changements.

- **Faire en sorte que le coût de l'énergie soit le juste reflet de son utilisation.**

Le faible coût d'une ressource, quelle qu'elle soit, occasionne souvent les abus et le gaspillage. Or, si l'on veut parvenir à gérer l'énergie de manière rationnelle et efficace, il faut mettre en place des mesures visant à réduire les pertes et l'utilisation inutile d'énergie. La tarification différente de l'énergie, en fonction des usages, pourrait par exemple être envisagée. L'énergie doit rester abordable pour satisfaire à certains besoins, mais au-delà d'un seuil, le principe d'utilisateur payeur pourrait devenir plus important. Il s'agit, en quelque sorte, de faire une distinction entre l'énergie qui répond à un besoin et celle qui est le reflet d'un choix de vie.

- **Favoriser le solaire passif dans toute nouvelle construction et l'encourager lors de la rénovation de bâtiments existants.**

L'information est la première chose à faire, notamment lors de l'émission de permis, pour encourager promoteurs et individus à avoir recours au solaire passif. La réglementation est aussi parfois un frein, ne permettant pas toujours d'orienter les fenêtres, par exemple, dans l'axe le plus favorable. La réglementation devrait donc être adaptée, lorsque possible, pour faciliter ce type de construction. L'aménagement de nouveaux quartiers résidentiels devrait également être pensé en conséquence.

- **Favoriser l'installation de systèmes permettant les échanges thermiques, surtout dans les nouveaux bâtiments, les bâtiments énergivores et les secteurs densément développés.**

La géothermie, l'hydrothermie et les capteurs solaires devraient être envisagés plus systématiquement lors de la construction de nouveaux bâtiments. Les systèmes géothermique et hydrothermique peuvent aussi être aménagés en réseaux dans des nouveaux quartiers résidentiels. Le coût de telles installations est toutefois élevé, de sorte qu'il serait intéressant de chercher des moyens d'en financer une partie.

Les réseaux de chaleur devraient aussi faire l'objet d'une attention lors de la construction de gros bâtiments ou lors de travaux majeurs dans secteurs urbains densément occupés. De la même façon, il serait pertinent de revoir les parcs industriels de la région afin de voir comment peut être optimisée l'utilisation et la récupération d'énergie. Advenant la production d'électricité à partir de la biomasse forestière, la récupération de la chaleur, pour intégrer à un réseau, chauffer des serres ou servir à d'autres fins, est primordiale.

- **Aménager le territoire afin de faciliter l'intermodalité dans les transports.**

Le secteur des transports à lui seul consomme plus de la moitié de l'énergie utilisée. Il devient donc essentiel, dans une perspective de maîtrise de l'énergie, de gérer autrement ce secteur. La réduction de la demande énergétique en transport passe, certes, par le changement de comportement des usagers, mais aussi, pour les y inciter, par la mise en place d'infrastructures et l'aménagement du territoire qui soient appropriés. Ainsi, il faut faciliter le transport en commun tout comme il faut aussi faciliter le covoiturage et le transport actif. L'amélioration de l'offre est une chose, encore faut-il rendre accessible le réseau en favorisant l'intermodalité entre les moyens de transport. Les stationnements

incitatifs et les supports à vélos, par exemple, devraient être disponibles en de multiples points, tant pour favoriser le transport en commun que le covoiturage.

Par ailleurs, afin de maximiser le transport actif, plusieurs villes des Laurentides devraient sécuriser davantage certaines rues et intersections. De la même façon, les commerces et institutions auraient intérêt à travailler de concert avec les villes et municipalités pour optimiser l'intermodalité des transports.

De même que pour le transport de personnes, le transport de marchandises a lui aussi besoin d'être revu. Les plateformes intermodales permettraient ainsi de désengorger les villes en diminuant la taille des véhicules qui y circulent et en réorganisant la logistique des approvisionnements.

- **Améliorer le réseau du transport collectif**

Lorsqu'il est question de transport en commun, on pense le plus souvent aux transports qui permettent de se rendre au travail ou aux études. Il s'agit en effet des trajets les plus courants qu'empruntent les gens. L'amélioration continue en matière de transport en commun sur une base quotidienne passe donc soit par une augmentation de la fréquence sur un circuit, soit par l'ajout de circuits. Des efforts y sont, certes, consentis, mais ces derniers doivent être encore plus importants pour interpeller le maximum d'usagers.

Outre le transport collectif auquel on pense habituellement, il faudrait envisager, dans les Laurentides, un transport collectif de villégiature. Les fins de semaines, la région fait face à un degré de congestion rencontré pratiquement nulle part ailleurs au Québec. La situation est telle qu'elle nécessite même un bulletin de circulation le dimanche après-midi. Ainsi, il

faudrait optimiser les allées entre Montréal et les hautes Laurentides et les arrimer à un système qui devrait être en place dans chaque localité.

- **Électrifier les transports collectifs.**

Malgré la réduction de la consommation d'énergie, cette dernière reste nécessaire. Dans le cas du transport collectif, il existe des moyens prometteurs pour recourir à une énergie propre. L'électrification des transports, notamment collectifs, est une avenue à privilégier, puisqu'en plus de réduire la consommation de combustibles fossiles, on encourage l'économie québécoise, reconnue pour la construction d'autobus et de trains électriques, par exemple.

À long terme, il pourrait être pertinent d'envisager la construction d'un monorail rapide suspendu. Ce dernier apparaît efficace pour desservir les régions plus éloignées et comporte de nombreux avantages par rapport à notre réalité.

- **Intervenir dans le transport routier lourd**

Le transport lourd, que ce soit pour le transport de marchandises ou pour les camions outils, doit aussi faire l'objet d'interventions. Tel que mentionné précédemment, les plateformes intermodales pour le transbordement de marchandises permettraient de réorganiser la logistique des approvisionnements et des expéditions, favorisant ainsi le désengorgement des villes et réduisant la congestion. Mais en plus, il faudrait avoir recours de plus en plus à des véhicules fonctionnant au gaz naturel comprimé, à condition que ce dernier soit d'origine renouvelable (provenant de la biométhanisation ou des sites d'enfouissement) et non d'origine fossile.

- **Instaurer des usines de biométhanisation dans les Laurentides**

Bien qu'elles soient coûteuses à implanter, les usines de biométhanisation offrent de multiples avantages, autant dans la gestion des intrants que dans les produits qu'elles génèrent, sans compter la création d'emplois, directs et indirects, qui en résulte. Tout d'abord, elle permet de récupérer la matière organique d'un territoire, plutôt que de l'envoyer à l'enfouissement. Ensuite, le biogaz peut servir à différentes fins, que ce soit pour produire de l'électricité à redistribuer dans le réseau, pour produire de la chaleur ou de l'énergie à des industries de la région ou pour être raffiné en biométhane et servir aux véhicules lourds.

- **Faire de la biomasse forestière une source d'énergie soit en produisant de la chaleur directe, soit en faisant de la cogénération pour produire de l'électricité.**

La biomasse forestière est une ressource abondante dans les Laurentides, et son exploitation peut être un levier économique important. Il serait donc possible pour la région de produire des combustibles ligneux qui pourraient être utilisés soit directement pour le chauffage dans des procédés industriels ou pour faire de la cogénération, c'est-à-dire, produire de l'électricité pour alimenter le réseau d'Hydro-Québec et utiliser la chaleur à d'autres fins, soit dans d'autres procédés industriels ou dans un réseau de chaleur.

- **Considérer ensemble différents secteurs d'activité, notamment les secteurs du transport, des bâtiments, des procédés industriels, des matières résiduelles et de l'énergie pour en faire une gestion intégrée.**

Pour que la maîtrise de l'énergie devienne une réalité dans les Laurentides, il faut considérer dans leur ensemble, de manière à les gérer adéquatement, chacun des secteurs qui consomment ou produisent de l'énergie.

Par exemple, on sait que dans une étude, l'une des raisons pour lesquelles la biométhanisation n'a pas été retenue pour gérer les matières putrescibles, concerne la quantité de biomasse disponible. Or, le mandat ne tenait pas compte de l'ensemble de la biomasse, mais seulement les résidus organiques récoltés dans la collecte des ordures municipales (restes de table, résidus verts, feuilles mortes, etc.), les boues d'épuration et de fosses septiques étant écartées. Dès qu'on les inclut, la donne change du tout au tout. Du strict point de vue de la valorisation des matières putrescibles, la biométhanisation et le compostage s'avèrent deux choix possibles, avec pour chacun des avantages et des inconvénients. Toutefois, dans un contexte de gestion intégrée, où l'on considère ensemble plusieurs problématiques, on en arrive à un autre constat. En effet, on peut « travailler en silo » et gérer, dans plusieurs dossiers séparés, les matières putrescibles, les boues ainsi que la dépendance aux énergies fossiles. Par contre, dès que l'on regarde simultanément chacune des problématiques, on constate qu'elles convergent toutes vers une solution commune : le problème à l'une devient en partie la solution de l'autre. À tout le moins, dans une perspective d'économie d'énergie, les boues devraient être gérées de façon locale pour éviter les coûts, les GES et la dépense d'énergie liés à leur transport.

En réduisant la demande énergétique des bâtiments et en favorisant les échanges thermiques, on économise une énergie, principalement de l'électricité, qui peut être utilisée par exemple pour le transport collectif. En optimisant les transports collectifs électriques, on peut espérer une réduction de l'utilisation de l'automobile, et donc des énergies fossiles. Cette réduction d'énergies fossiles peut devenir encore plus importante en optimisant également le transport de marchandises, et en optant pour des véhicules fonctionnant au biométhane comprimé. La biométhanisation, qui réduit également l'enfouissement des matières organiques, vient contribuer à la réduction des GES émis par les transports routiers lourds et peut participer aux procédés industriels. La chaleur nécessaire à ces derniers peut aussi être comblée en partie par la biomasse forestière, stimulant du coup l'économie régionale.

Conclusion

L'énergie est une ressource que l'on considère de plus en plus comme un bien de consommation. C'est ainsi, avec la perspective d'une possible rareté de certaines formes d'énergie et de la volatilité de leur prix, que l'on prend conscience qu'elle doit être gérée de manière judicieuse. Qui plus est, le choix de l'énergie a aussi ses conséquences, notamment sur les changements climatiques s'il s'agit d'énergie fossile. La maîtrise de l'énergie, tant sa production que sa consommation, devient donc un enjeu primordial qui doit être envisagé non seulement à l'échelle planétaire, mais aussi sur de petits territoires. La gestion locale étant souvent un facteur d'économies, du moins sur le plan énergétique.

Techniquement, plusieurs moyens existent désormais pour réduire la consommation d'énergie et récupérer celle qui est perdue, et les alternatives aux énergies fossiles offrent de plus en plus de possibilités, compte tenu des nombreuses recherches qui vont en ce sens. Mais au-delà des possibilités techniques, il faut également susciter la réflexion de manière à opérer de réels changements et faire en sorte que la consommation d'énergie réponde plus efficacement aux principaux besoins de la société.

À l'échelle régionale, les Laurentides ont tout ce qu'il faut pour se positionner comme chef de file de la maîtrise de l'énergie et la réduction de la dépendance aux énergies fossiles. Elles possèdent par exemple des moyens pour favoriser les échanges thermiques (géothermie, hydrothermie et solaire), et réduire ainsi la demande énergétique des bâtiments, et possèdent également les ressources pour produire de la chaleur (biomasse forestière) et des nouvelles sources de carburant (biométhane). Ainsi, la région a le potentiel d'intervenir sur la consommation d'énergie des bâtiments, sur l'énergie calorifique requise par les procédés

industriels, ainsi que sur les carburants nécessaires aux camions lourds fortement émetteurs de GES. L'amélioration de l'offre, notamment par le développement du transport en commun de villégiature, l'électrification des transports collectifs et l'aménagement du territoire viennent finalement boucler la boucle de la maîtrise de l'énergie dans la région. Certes, il y a beaucoup à faire, mais une gestion intégrée permettra de mettre la bonne énergie à la bonne place.

La maîtrise de l'énergie est donc un défi de taille. Plus que d'avoir recours à certaines technologies, c'est une révolution dans notre façon de voir les choses et de gérer toutes nos actions. Pour que les changements soient significatifs et durables, ils devront être envisagés de manière intégrée et faire appel aux acteurs de tous les secteurs d'activité. La région des Laurentides le pouvoir de devenir un leader dans la gestion rationnelle et efficace de l'énergie, et poser des gestes qui auront des retombées positives, à la fois sur les plans environnemental qu'économique et social, sur tout son territoire.

Bibliographie

Les 3R de l'énergie

- AQME. n.d.a. *Maîtrise de l'énergie – Une définition*. En ligne, http://aqme.org/maitrise_energie.aspx, page consultée le 1^{er} août 2012.
- AQME. n.d.b. *Portrait de l'efficacité énergétique*. En ligne, <http://aqme.org/Afficher.aspx?section=39&langue=fr>, page consultée le 1^{er} août 2012.
- AQME. 2011. *Mettre en œuvre les mesures d'efficacité énergétique selon le principe des 3R*. En ligne, <http://www.municipaliteefficace.ca/117-efficacite-energetique-ges-mettre-en-oeuvre-les-mesures-defficacite-energetique-selon-le-principe-des-3r.html#texte>, page consultée le 16 octobre 2012.

Potentiels de réduction et de récupération énergétiques

Mesures applicables au transport

- ADEME. 2005. *Les CDU; quels outils d'évaluation environnementale?* En ligne, <http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=les%20cdu%20quels%20outils%20d%20e2%80%99%20c3%A9valuation%20environnementale%3F%20ademe&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CD8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww2.ademe.fr%2Fservelet%2FgetBin%3Fname%3D4E70BE0920D46A3843B32E2EB61B697E1138788971892.pdf&ei=8Q6RUfYI4vO0QGzuYGoCw&usq=AFOjCNFqTNSbNGy4E5bWZdvSIHDyrUHNQ&bvm=bv.46340616,d.dmQ>, page consultée le 27 mars 2013.
- Bigras, Yvon. 2011. *L'efficacité dans l'organisation du transport de marchandises*, Forum régional sur l'énergie des Laurentides, Saint-Jérôme, 27 janvier 2011
- Bigras, Yvon. 2011. *La mobilité durable au Québec : enjeux et perspectives*. En ligne, <http://www.crelaurentides.org/forumenergie/images/conferenciers/2-%20Pierre%20Langlois%20et%20Yves%20Lavoie.pdf>, page consultée le 18 mars 2013.
- Bigras, Yvon. 2007. *Logistique urbaine*. En ligne, <http://www.chairecrsnglogistique.ugam.ca/pdf/Bigras.pdf>, page consultée le 26 mars 2013.
- Bio-intelligence service et ADEME. 2009. *Impact environnemental du transport de fruits et légumes importés*. En ligne, http://www.inrets.fr/fileadmin/ur/dest/PDF/Journee_Supply-Chain/Cruyenninck.pdf, page consultée le 25 mars 2013.
- CDTA. 2006. *Analyse économétrique du taux de chargement des camions se déplaçant au Québec*. En ligne, http://web.hec.ca/congres2006/articles/Barla_P.pdf, page consultée le 29 mars 2013.
- Daudelin, A. 2002. *Le centre de distribution de Couche-Tard : une réussite totalement québécoise*. En ligne, <http://www.komintl.com/pub/eng/wpapers/reprints/Couche-Tard.pdf>, page consultée le 25 mars 2013.
- Engelhaupt, E. 2008. *Do Food Miles Matter?* Environmental Science & Technology, 42, 3482.
- Gouvernement du Québec. 2007. *Guide de sensibilisation à la réduction de la consommation de carburant et des émissions de gaz à effet de serre en transport*. 52 p. En ligne, http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/guide_sensibilisation_transport.pdf Page consultée le 1^{er} novembre 2012.
- Hydro-Québec. 2006. *Émissions de gaz à effet de serre des options de transport des personnes et des marchandises*. En ligne, http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/documentation/pdf/options_energetiques/transport_fr_2006.pdf
- Institut de la statistique du Québec. 2009. *Perspectives de la population selon le groupe d'âge et le sexe, Laurentides et ensemble du Québec, scénario A¹, 2006, 2011, 2016, 2021, 2026 et 2031*. En ligne, http://www.stat.gouv.qc.ca/regions/profils/profil15/societe/demographie/pers_demo/pers_demo15.htm, page consultée le 26 mars 2013.
- IREC, n.d. *L'indépendance énergétique et la mobilité durable: l'enjeu de l'électrification du transport collectif*. En ligne, <http://www.irec.net/index.jsp?p=82>, page consultée le 22 avril 2013.
- Langlois, P. et Lavoie, Y. 2011. *La mobilité durable au Québec : enjeux et perspectives*. Réseau des ingénieurs du Québec. En ligne, <http://www.crelaurentides.org/forumenergie/images/conferenciers/2-%20Pierre%20Langlois%20et%20Yves%20Lavoie.pdf>, page consultée le 21 mars 2013.
- LeChasseur, M.-A. et Doyon, H. 2010. *Les tendances émergentes en matière de gestion de l'étalement urbain*. *Urbanité*, Automne 2010, p. 38-40.
- MAMROT. 2011. *L'aménagement et l'écomobilité, Guide des bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable*. 232 p. En ligne, http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/grands_dossiers/developpement_durable/amenagement_ecomobilitate.pdf Page consultée le 1^{er} novembre 2012.
- MDDEFP, 2013. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2010 et leur évolution depuis 1990*. En ligne, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2010/inventaire1990-2010.pdf>, page consultée le 22 avril 2013.
- MRN, 2013. *Tableau de la Base de données complète sur la consommation d'énergie*. En ligne, <http://oe.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/showTable.cfm?type=CP§or=tran&juris>

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

- [=qc&rn=8&page=4&CFID=29550750&CFTOKEN=7356ead2ec4e4b67-21BAEF2F-F5B5-969B-F2E77435A68D1493](#), page consultée le 22 mars 2013.
- MRN, 2008. *Portrait énergétique*. En ligne, <http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/mes-deplacements/portrait-energetique/> page consultée le 18 mars 2013.
- MTQ, 2013. *Systèmes de transport intelligents*. En ligne, http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/ministere/ministere/recherche_innovation/systemes_transport_intelligents, page consultée le 29 mars 2013.
- MTQ, 2012. *Guide des bonnes pratiques environnementales sur le plan technologique*. En ligne, http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/ministere/programmes_aide/eff_ener_transp_march/PEET.Guidedesbonnespratiquesenvironnementalesurleplantechnologique.pdf, page consultée le 29 mars 2013.
- MTQ, 2009. *Politique 2009-2014 sur le transport routier des marchandises*. En ligne, http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/camionnage/pol_transport_march_camionnage.pdf, page consultée le 28 mars 2013.
- MTQ, 2009. *Évaluation des coûts de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 2003*. In Publications. En ligne, http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/regions/montreal/etude_eval_coouts_congestion_mtl.pdf, page consultée le 20 mars 2013.
- OCDE, 2002. *Logistique des transports; défis et solutions*. En ligne, <http://internationaltransportforum.org/Pub/pdf/02LogisticsF.pdf>, page consultée le 22 mars 2013.
- OCDE, 1997. *Les incidences sur l'environnement du transport de marchandises*. En ligne, <http://www.oecd.org/fr/environnement/envech/2386739.pdf>, page consultée le 26 mars 2013.
- Ouellet, M. 2006. *Le Smart Growth et le Nouvel Urbanisme : synthèse de la littérature récente et regard sur la situation canadienne*. *Cahiers de Géographie du Québec*, 50(140), p. 175-193.
- Ouellette, M. 2011. *Colloque sur l'électrification des transports*. En ligne, <http://www.irec.net/upload/File/Maxime%20Ouellet200111.pdf>, page consultée le 22 avril 2013.
- Réseau des ingénieurs du Québec, Hiver 2010-2011. *La rue à la sauce multimodale*. Imagine, p. 5-8. En ligne, <http://www.reseauiq.qc.ca/fichiers/imagine/numero9.pdf>, page consultée le 26 mars 2013.
- Smart growth america. 2010. En ligne, www.smartgrowthamerica.org, page consultée le 21 mars 2013.
- Ville de Montréal, 2007. *Plan de transport 2007*. En ligne, http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/LIBRAIRIE_FR/DOCUMENTS/PLAN_DE_TRANSPORT.PDF, page consultée le 28 mars 2013.
- ## Mesures applicables aux bâtiments
- Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011. *Le potentiel des énergies solaires au Québec*. Greenpeace. En ligne, le 15 mai 2012 : <http://www.greenpeace.org/canada/fr/actualites/solaire-au-quebec/>
- Demers, C. et al. 2004. *Le chauffage solaire passif comme stratégie bioclimatique, Esquisses, Ordre des Architectes du Québec*, vol. 15, n° 1, p. 1-2.
- Drolet, Benoit, 2007. *Développement de l'énergie solaire*. Rapport préparé pour l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec déposé à la Régie de l'énergie (R-3671-2008, AEE-9, Document 4), 104 p.
- Ecohabitation. 2013. *Les Pages Vertes écohabitation, 2^e édition*. Avec la participation de Recyc-Québec. 132 p. En ligne, http://issuu.com/ecohabitation/docs/pagesvertes_ecohabitation2013_emagazine?mode=window, page consultée le 23 mai 2013.
- Ecohabitation. 2011. *Les Pages Vertes écohabitation, Guide et Annuaire*. En collaboration avec la Société d'Habitation du Québec. 96 p.
- Écohabitation, n.d. *La ressource en habitation écologique*. En ligne, le 7 novembre 2012 : <http://www.ecohabitation.com/guide>
- Funk, David, 2010. *L'énergie solaire : Circonstances et conditions d'exploitation au Québec*. Université de Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement, Essai, 88 pages.
- OEE, 2009. Section 7 – Fenêtre à haut rendement énergétique. En ligne, le 3 novembre 2012 : <http://oee.nrcan.gc.ca/node/2632>
- Paradis Bolduc, Lydia et Emmanuelle Walter, 2012. *Chronique Écohabitation : Zéro énergie contre solaire passif*. Écohabitation. En ligne, le 6 novembre 2012 : http://www.oaq.com/esquisses/la_commande_publique/tout_le_reste/chronique_ecohabitation.html
- Perrier, Yves, 2009. *Comment utiliser la masse thermique dans les maisons solaires*. Revue La Maison du 21^e siècle, Printemps 2009, p. 90-97. En ligne, maisonsaine.ca/wp-content/uploads/masse_thermique.pdf consulté en ligne le 18 août 2012
- Robertson, Keith et Andreas Athienitis, 2010. *L'énergie solaire pour les bâtiments : Introduction à la conception de bâtiments solaires*. Société canadienne d'hypothèques et de logement, 33 pages.
- International Polar Foundation. (n.d.). *L'énergie grise : les dépenses cachées de l'énergie*. En ligne, http://www.educapoles.org/fr/multimedia/animation_detail/lnergie_grise_les_dpenses_caches_dnergie Page consultée le 16 octobre 2012.
- ## Mesures applicables au secteur industriel
- BCS Incorporated, 2008. *Waste Heat Recovery : Technology and Opportunities in US Industry*. Publié par US Department of Energy, Mars 2008. En ligne, http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf
- Brochu Marco, 2012. *Le projet vert de Sorel-Tracy : Des pertes thermiques au bénéfice de la communauté*. Revue Vecteur Environnement, janvier 2012, pages 20-21.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

CanmetÉnergie – Ressources naturelles Canada, 2008. *Plan stratégique 2009-2013 : Programme industrie*. En ligne, <http://canmetenergie.rncan.gc.ca/procedes-industriels/optimisation-procedes-industriels/publications/3004>

Energetics, 2004. *Energy loss reduction and recovery in industrial energy systems*. États-Unis, U.S. Department of Energy, novembre 2004. En ligne, http://www.eere.energy.gov/industry/energy_systems/

INNOVAGRO consultants, 2010. *Potentiels énergétiques des rejets thermiques industriels au Québec*. Publié par le Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire. En ligne, http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/developpement_regional/ruralite/groupe_travail/potentiel_energetique_rejets_thermiques.pdf

Innovagro consultant, n.d. *Pourquoi valoriser les rejets thermiques industriels*. En ligne, <http://www.innovagro.net/pdf/pourquoi%20valoriser%20les%20rejets%20thermiques%20industriels.pdf>

Khennich Mohammed, 2010. *Optimisation de cycles de puissance visant à récupérer et à valoriser les rejets thermiques industriels*. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, ISBN 978-0-494-79807-2, 126 pages.

Stricker, S. et al., 2006. *Market study on waste heat and requirements for cooling and refrigeration in Canadian industry : Final report : main report*. Richmond Hill, Stricker associates, 49 pages.

Potentiels de remplacement énergétiques

Mesures applicables au secteur du transport

Bombardier, 2013. *Partenaires en mobilité électrique*. En ligne, <http://primove.bombardier.com/fr/a-propos/parties-prenantes/#/faq/exploitants-de-flottes>, page consultée le 2 avril 2013.

Gaz Métro, n.d. *Le transport lourd au gaz naturel : une alternative accessible, économique et propre*. En ligne, http://www.gazmetrost.com/images/GMST_fr.pdf, page consultée le 11 juin 2013.

Langlois, Y. 2011. *Un réseau national de monorails rapides*. En ligne, <http://www.irec.net/upload/File/ConferenceMonorailB%282%29.pdf>, page consultée le 24 avril 2013.

Langlois, P. et Lavoie, Y., 2011. *La mobilité durable au Québec : enjeux et perspectives*. Réseau des ingénieurs du Québec. En ligne, <http://www.crelaurentides.org/forumenergie/images/conferenciers/2-%20Pierre%20Langlois%20et%20Yves%20Lavoie.pdf>, page consultée le 21 mars 2013.

MDDEFP. 2013. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2010 et leur évolution depuis 1990*. En ligne, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2010/inventaire1990-2010.pdf>, page consultée le 22 avril 2013.

MRN, 2013. *Tableau de la Base de données complète sur la consommation d'énergie*. En ligne, <http://oe.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/showTable.cfm?type=CP§or=tran&juris=qc&rn=8&page=4&CFID=295507508&CFTOKEN=7356ead2ec4e4b67-21BAEF2F-F5B5-969B-F2E77435A68D1493>, page consultée le 22 mars 2013.

MTQ, 2009. *Politique 2009-2014 sur le transport routier des marchandises*. En ligne, http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/camionnage/pol_transport_march_camionnage.pdf, page consultée le 28 mars 2013.

Ouellette, M. 2011. *Colloque sur l'électrification des transports*. En ligne, <http://www.irec.net/upload/File/Maxime%20Ouellet200111.pdf>, page consultée le 22 avril 2013.

Réseau des ingénieurs du Québec, Hiver 2010-2011. *La rue à la sauce multimodale*. Imagine, p. 5-8. En ligne, <http://www.reseauiq.qc.ca/fichiers/imagine/numero9.pdf>, page consultée le 26 mars 2013.

SAAQ, 2011. *Obligations des utilisateurs de véhicules lourds*. En ligne, http://www.saaq.gouv.qc.ca/publications/lourds/obligations_lourds.pdf, page consultée le 13 août 2013.

Mesures applicables aux bâtiments

CRE Laurentides. 2013. *Portrait énergétique régional*. 123 p.

Écohabitation, n.d. *La ressource en habitation écologique*. En ligne, <http://www.ecohabitation.com/guide>, page consultée le 6 juin 2013.

Énergies renouvelables de remplacement

Énergie du sol

Abrinord, Organisme de bassin versant de la rivière du Nord. 2013. *Portrait de la zone de gestion intégrée de l'eau d'Abrinord – version préliminaire*. Saint-Jérôme, 279 pages. En ligne, http://www.abrinord.qc.ca/pde/pde_2013-2018/portrait_nv_pde.pdf, page consultée le 13 juin 2013.

Agrinova. 2009. *Milieu rural comme producteur d'énergie - Fiches synthèses*. En ligne, <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/developpement-regional-et-rural/ruralite/groupe-travail/milieu-rural-comme-producteur-denergie/fiches-syntheses/>, page consultée le 26 juillet 2012.

Au cœur du monde-Domaine écologique. 2008. *Géothermie*. En ligne, <http://www.aucoeurdumonde.ca/pages/accueil/maisons-vivantes/efficacite-energetique/geothermie.php>, page consultée le 11 juillet 2012.

Coalition canadienne de l'énergie géothermique, n.d. En ligne, http://www.geo-exchange.ca/fr/accreditations_search.php?seachInstallers=on&seachDesigners=on&seachQualifiedCompany=on&idCountry=1&idProvince=1&postalCode=&postalCodeRadius=30&companyName=&contactName=&accreditationNum=&doSearch=1&page=1, page consultée le 11 juillet 2012.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P. 2011. *Portrait énergétique préliminaire de l'Abitibi-Témiscamingue*. 90 p. En ligne, http://www.confereceregionale.ca/documents/files/portrait_energetique_regional_mars2011.pdf Page consultée le 26 juillet 2012.

EDF, n.d. http://www.edf.com/html/panorama/transversal/media_geo/geo_anim_02.html

Hébert, B. 2004. *Rapport d'expertise présenté devant la régie de l'énergie du Québec dans le cadre de la demande d'avis du ministre des ressources naturelles, de la faune et des parcs relativement à la sécurité énergétique des québécois à l'égard des approvisionnements électriques et la contribution du projet du Suroît*. 24 p. En ligne, http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3526-04/MemoiresParticip3526/Memoire_AQLPA-SE-GS-6Doc-5_ExpertHebert_2revisee_12mai04.pdf, Page consultée le 25 juillet 2012.

Hydro-Québec. (n.d.). *Géothermie : Comprenez son fonctionnement*. En ligne, <http://www.hydroquebec.com/residentiel/economiser-l-energie/chauffage/geothermie/fonctionnement/>, page consultée le 11 juillet 2012.

IRDA. 2007. *Catégories de sols agricoles du Québec méridional*. En ligne, http://www.irda.qc.ca/ftbFiles/documents%20sur%20les%20sols/Carte5_categ.pdf, page consultée le 13 juin 2013.

Office de l'efficacité énergétique. (n.d.). *Thermopompes à air*. En ligne, <http://oe.e.rncan.gc.ca/equipement/chauffage/10415> Page consultée le 26 juillet 2012.

OQLF. 1985. *Gradient géothermique*. Grand dictionnaire terminologique. En ligne, http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8416784, page consultée le 10 juin 2013.

Énergie de l'eau

Agrinova. 2009. *Milieu rural comme producteur d'énergie - Fiches synthèses*. En ligne, <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/developpement-regional-et-rural/ruralite/groupe-de-travail/milieu-rural-comme-producteur-denergie/fiches-syntheses/>, page consultée le 1^{er} août 2012.

Ben Elghali, S.E. 2008. *Modélisation et commande d'une hydrolenne équipée d'une génératrice asynchrone double alimentation*. JCGE'08, 16 et 17 décembre. 6 p. En ligne, <http://iep.perso.neuf.fr/Nouveau%20dossier/maxence/images/mod%E9lisation.pdf> Page consultée le 3 août 2012.

Centre Info Énergie. (n.d.). *Comment fonctionne une centrale hydroélectrique?* En ligne, <http://www.centreinfo-energie.com/silos/hydro/generator.asp?xml=/silos/hydro/hydroOverview03XML.asp&template=1,6> Page consultée le 31 juillet 2012.

CETE Méditerranée et Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (France). 2011. *Annexes : fiches*. 47 p. En ligne, http://www.languedoc-roussillon.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Annexes_cle218751-3.pdf Page consultée le 09 août 2011.

Cité de l'Énergie. 2010. *Le complexe hydroélectrique*. En ligne, <http://www.hydroelectricite.ca/fr/le-complexe-hydroelectrique.php> Page consultée le 31 juillet 2012.

Connaissance des énergies. (2011). *Hydroélectricité*. En ligne, <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite> Page consultée le 31 juillet 2012.

Denis, R. (n.d.). *Suivi environnemental du complexe hydroélectrique La Grande (Baie-James, Canada)*. Repéré à : <http://www.polymtl.ca/pub/sites/eie/etudescas/baiejames.php> Page consultée le 1^{er} août 2012.

Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P. 2011. *Portrait énergétique préliminaire de l'Abitibi-Témiscamingue*. 90 p. En ligne, http://www.confereceregionale.ca/documents/files/portrait_energetique_regional_mars2011.pdf Page consulté le 15 août 2012.

Éco-énergie, n.d. En ligne, http://eco-energie.fr/textes/terre/geothermie/geothermie_fonctionnement.html

Énergie NB power (n.d.). *Centrale hydroélectrique*. En ligne, www.nbpower.com/html/fr/safety_learning/learning/electricity_generated/hydro/hydro.html, page consultée le 31 juillet 2012.

Équipe Projet Maelstrom, 2010. *Projet Maelstrom : Une hydrolenne conçue par des étudiants de Sherbrooke*. En ligne, <http://www.projetmaelstrom.com/>, page consultée le 3 août 2012.

Fondation Rivières. 2007. *Commentaires de la Fondation Rivières, Projet de stratégie gouvernementale de développement durable*. Présenté à la Commission des transports et de l'environnement. 14p. En ligne, http://www.mddep.gouv.qc.ca/developpement/strategie_gouvernementale/memoires/76D.pdf Page consultée le 15 août 2012.

Hydrogéothermie, n.d. *Circuit fermé à l'antigel en boucles de lac, de rivière ou d'étang*. En ligne, <http://hydrogeothermie.ca/geothermie/circuit-ferme-a-lantigel-en-boucles-de-lac-de-riviere-ou-detang.html>, page consultée le 11 juillet 2012.

Hydro-Québec. 2011. *Profil régional des activités d'Hydro-Québec 2010*. 114 p. En ligne, http://www.hydroquebec.com/publications/fr/profil_regional/pdf/2010/profil-regional-2010.pdf Page consultée le 12 juillet 2012.

Hydro-Québec. (n.d.). *Géothermie : Comprenez son fonctionnement*. En ligne, <http://www.hydroquebec.com/residentiel/geothermie/fonctionnement.html> Page consultée le 11 juillet 2012.

Hydro-Québec. (n.d.a). *L'hydroélectricité : centrales*. En ligne, <http://www.hydroquebec.com/comprendre/hydroelectricite/types-centrales.html> Page consultée le 1^{er} août 2012.

Hydro-Québec. (n.d.b). *Le bilan carbone des filières énergétiques*. En ligne, <http://hydrosourcedavenir.com/capsules/25/le-bilan-carbone-des-filieres-energetiques> Page consultée le 1^{er} août 2012.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

- Idenergie, 2012. *Qu'est-ce qu'une hydrolienne?* En ligne, http://www.idenergie.ca/water-turbine_explication.html, page consultée le 18 juin 2013.
- Les Affaires, 2011. *Des hydroliennes québécoises à la conquête du marché nord-américain.* En ligne, <http://www.lesaffaires.com/archives/generale/des-hydroliennes-quebecoises-a-la-conquete-du-marche-nord-americain/534885#.UcBr8pzDJJL>, page consultée le 18 juin 2013.
- Marc Le Boulluec, cité dans Sciences et Avenir, 2013. *2013, l'année de l'hydrolienne.* En ligne, <http://sciencesetavenir.nouvelobs.com/infographies/20130411.OBS7692/2013-l-annee-de-l-hydrolienne.html>, page consultée le 18 juin 2013.
- MDDEP. 2008. *Guide technique : Captage d'eau souterraine pour des résidences isolées.* Mise à jour : janvier 2008. 67 p. En ligne, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/guide.pdf#page=33> Page consultée le 08 août 2012.
- MPO 2012. *Projet d'implantation d'hydroliennes dans le fleuve Saint-Laurent – impact des turbines sur le passage des poissons.* Secr. can. de consult. sci. duMPO. Rép. des Sci. 2012/005. En ligne, http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScR-RS/2012/2012_005-fra.pdf, page consultée le 17 juin 2013.
- MRNF 2010. *La production d'électricité par source d'énergie (1984-2009).* En ligne, <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-production-electricite.jsp> Page consultée le 31 juillet 2012.
- MRNF. 2005b. *Évaluation de la capacité d'intégration du réseau intégré d'Hydro-Québec au regard de l'ajout de parcs de production d'électricité à partir d'énergie éolienne.* 133 p. En ligne, http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/eolien/vent_inventaire_evaluation_2005.pdf Page consultée le 25 juillet 2012.
- MRNF. (n.d.a). *Aménagements hydroélectriques selon les régions administratives et les bassins versants.* En ligne, <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/hydroelectricite/barrages-repertoire-amenagements.jsp#15> Page consultée le 12 juillet 2012.
- MRNF. (n.d.b). *Octroi des forces hydrauliques du domaine de l'État pour les centrales de 50MW et moins.* 29 p. En ligne, http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/octroi_forces_hydraulique.pdf Page consultée le 1^{er} août 2012.
- Office de l'efficacité énergétique. (n.d.). *Thermopompes à air.* En ligne, <http://oe.e.rncan.gc.ca/equipement/chauffage/10415> Page consultée le 26 juillet 2012.
- Pêches et Océans Canada. 2004. *Aménagement hydroélectrique de la Péribonka : Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, rapport d'étude approfondi.* 125 p. En ligne, http://www.ceaa.gc.ca/88300D06-C97C-4ECA-BA9A-109121F80AD8/report_f.pdf Page consultée le 1^{er} août 2012.
- Projet HAO, n.d. *Hydrolienne à ailes oscillantes.* En ligne, http://www.hydrolienne.fsg.ulaval.ca/ha0_2, page consultée le 3 août 2012.
- RER, 2010. *Hydrolienne : turbine récupérant l'énergie hydrocinétique des rivières et des fleuves.* En ligne, http://www.rerhydro.com/img/RER_Brochure_TREK_2_French.pdf, page consultée le 18 juin 2013.
- RER, n.d. *Hydroliennes.* En ligne, <http://www.rerhydro.com/turbines.php>, page consultée le 17 juin 2013.
- Voir vert 2012. *Centre de découverte et de services du parc national du Mont-Tremblant.* En ligne, <http://www.voirvert.ca/projets/projet-etude/centre-decouverte-et-services-du-parc-national-du-mont-tremblant>, page consultée le 28 juin 2013.

Énergie du vent

- Agrinova. 2009. *Milieu rural comme producteur d'énergie - Fiches synthèses.* En ligne, <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/developpement-rural-ruralite/groupe-de-travail/milieu-rural-comme-producteur-denergie/fiches-syntheses/>, page consultée le 26 juillet 2012.
- Association canadienne de l'énergie éolienne, n.d. *Systèmes éoliens 101.* En ligne, <http://www.canwea.ca/swe/overview.php?id=2&ls=fr>, page consultée le 24 juillet 2012
- BAPE. 2004. *Étude sur l'évaluation du potentiel éolien, de son prix de revient et des retombées économiques pouvant en découler au Québec.* 71 p. En ligne, <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/sismiques/documents/DM18-annexe.pdf> Page consultée le 12 juillet 2012.
- Déry, P., Laquerre, S. et Charron, P. 2011. *Portrait énergétique préliminaire de l'Abitibi-Témiscamingue.* 90 p. En ligne, http://www.conferenceregionale.ca/documents/files/portrait_energetique_regional_mars2011.pdf Page consulté le 25 juillet 2012.
- Hydro Québec. (n.d.). *Énergie éolienne : Comment ça fonctionne?* En ligne, <http://www.hydroquebec.com/comprendre/eolienne/index.html> Page consultée le 11 juillet 2012.
- Porte du Var, n.d. *L'énergie éolienne en Europe.* En ligne, http://www.porteduvar.fr/economie_eolienne_europe.php, page consultée le 24 juillet 2012.
- MRN, 2013. *Projets éoliens au Québec.* En ligne, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/eolien/eolien-projets.jsp>, page consultée le 2 juillet 2013.
- MRN n.d. *Énergie éolienne.* En ligne, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/eolien/index.jsp>, Page consultée le 2 juillet 2013.
- MRNF. 2005a. *Inventaire du potentiel éolien exploitable au Québec.* 60 p. En ligne, http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/eolien/vent_inventaire_inventaire_2005.pdf Page consultée le 12 juillet 2012.
- Syndicat des énergies renouvelables et France Énergie Éolienne. 2009. *Le fonctionnement d'une éolienne.* 2 p. En ligne, http://www.enr.fr/docs/2009204808_FEEKitEolien200903LDRGB14Fonctionnement.pdf Page consultée le 25 juillet 2012.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

Énergie solaire

ADEME, 2012. Énergie solaire photovoltaïque. En ligne : http://www.ademe.fr/midi-pyrenees/a_2_08.html

Agrinova. 2009. *Milieu rural comme producteur d'énergie - Fiches synthèses*. En ligne, <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/developpement-regional-et-rural/ruralite/groupe-de-travail/milieu-rural-comme-producteur-denergie/fiches-syntheses/>, page consultée le 26 juillet 2012.

Athienitis, Andrea et Diane Bastien, 2011. *Le potentiel des énergies solaires au Québec*. Greenpeace, En ligne, le 15 mai 2012 : <http://www.greenpeace.org/canada/fr/actualites/solaire-au-quebec/>

Bédard, Normand et Marie-Andrée Leduc, 2011. *Bilan d'opération de systèmes solaires thermiques au LTE*. Le Bulletin L'Infobec du Chapitre de Québec, février 2011, volume 35, numéro 1, En ligne, le 25 août 2012 : <http://ebookbrowse.com/gdoc.php?id=94360534&url=f0345c7e02d18237dbfd4b6fb028f9e2>

Drolet, Benoit, 2007. *Développement de l'énergie solaire*. Rapport préparé pour l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec déposé à la Régie de l'énergie (R-3671-2008, AEE-9, Document 4), 104 p. En ligne, http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3671-08/EngAEE_3671-08/B-9-AEE-9doc4_Eng4_EnergieSolaire_3671_24sept08.pdf,

Écoressources consultants, 2009. *Le développement énergétique du Québec dans un contexte de développement durable*. Préparé pour le Réseau des Ingénieurs du Québec, 30 avril 2009, En ligne, le 16 mai 2012 : http://www.reseauiq.qc.ca/fr/rayonnement/enquete_etudes/developpement_energetique/etude_developpement_energetique.html

Écosolaris, 2012. *Installation de chauffe-eau solaire au Québec*. En ligne, le 28 août 2012 : http://www.ecosolaris.ca/fr/produits_et_services/chauffe-eau-solaire.php

Écosources, 2008. *Les centrales à capteurs paraboliques*. Consulté en ligne le 18 août 2012 : http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_capteur_parabolique

Énergine, 2012. *L'Espagne inaugure une centrale solaire ultramoderne*. En ligne, le 17 août 2012 : <http://www.energine.com/1/13314+lespagne-inaugure-une-centrale-solaire-ultramoderne+.html>

Froment, Dominique, 2011. *Énerconcept, le petit géant du solaire*. Journal Les Affaires, 3 septembre 2011, page 20. En ligne, le 28 août 2012 : <http://www.enerconcept.com/wp-content/uploads/2012/04/LesAffaires.pdf>

Gouvernement de l'Ontario, 2011. Consulté en ligne le 27 août 2012 : http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/sol_air.htm#4

Gpso-energie, 2011. *Solaire thermique : les capteurs sous vide*. Fiche technique – Grand Paris Seine Ouest Énergie, En ligne, le 15 août 2012 : http://www.gpso-energie.fr/sites/default/files/FT_CSTSV_web.pdf

GUIDENr Solaire thermique, 2012. En ligne, le 16 août 2012 : <http://www.solairethermique.guidenr.fr/>

Hydro-Québec, 2011. *Comparaison des prix de l'électricité dans les grandes villes Nord-Américaines. Tarifs en vigueur le 1er avril 2011*, En ligne, le 16 août 2012 : http://www.hydroquebec.com/publications/fr/comparaison_prix/pdf/comp_2011_fr.pdf

Mon énergie solaire, n.d. *Thermique, Photovoltaïque et Pratique, Informations sur l'énergie solaire: d'où vient-elle ? comment la capter ?* En ligne, <http://mon-energie-solaire.com/>

Outil solaire, 2012. En ligne, <http://www.outilssolaires.com/pv/prin-centraleA.htm>

Planète-Énergie, 2010. *Les centrales solaires thermodynamiques : démultiplier une énergie abondante*. 14 septembre 2010, En ligne, le 20 août 2012 : <http://www.planete-energies.com/fr/les-sources-d-energie/le-soleil/les-centrales-solaires-demultiplier-une-energie-abondante-200020.html>

Ressources naturelles Canada, 2012. *Électricité solaire thermique*. Retscreen, En ligne, le 15 août 2012 : http://www.retscreen.net/fr/power_projects_solar_thermal_power.php

Ressources naturelles Canada, 2001. *Introduction aux systèmes photovoltaïques*. En ligne : <http://www.habiter-autrement.org/12.energies/contributions-12/Intoduction-aux-systemes-photovoltaiques.pdf> ;

RNCREQ, 2009. *Chalets et lieux de villégiature : Guides énergies renouvelables*. En ligne, le 18 août 2012 : <http://www.guide-er.org/>

Solargis, 2011. *Global Horizontal Irradiation (GHI)* En ligne, <http://solargis.info/>, page consultée le 3 juillet 2013.

Solarwall, n.d.. En ligne, <http://solarwall.com/fr/produits/chauffage-de-lair-solarwall/comment-ca-marche.php>

Terrasource-énergie solaire, 2010 : En ligne, http://www.terrasource.info/energie_solaire_thermique.html

Web-pédagogique, 2012. *Énergie solaire thermique*. En ligne, <http://lewebpedagogique.com/technojromains06/?p=2892>

Énergie de la biomasse

ADEME, 2012. *Les Biocarburants de 1ère génération*, 6 p. En ligne, <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=20205>, page consultée le 29 juillet 2013.

ADEME. 2011. *Guide des valeurs Dia'terre®*. En ligne, http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=guide%20des%20valeur%20dia%27terre&source=web&cd=2&ved=0CDEQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww2.ademe.fr%2FServlet%2FgetBin%3Fname%3D5E4A099BCA7D2167104D8253488F2F2E_tomcatlocal1323852246395.pdf&ei=3SCNUeeTAqaR0OGC_4HADq&usq=AFOjCNHefNpdU36oFy38W-Y4F-14X7Y11w&bvm=bv.46340616,d.dmg&cad=rja, page consultée le 9 mai 2013.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

- ADEME, 2010. *Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France*, 236 p. En ligne, <http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=E165461F117687A14917DF98AE2290E51270654186793.pdf>, page consultée le 29 juillet 2013.
- ADEME, n.d. *Énergies et matières renouvelables. Biocarburants : de quoi parle-t-on?* En ligne, <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=23697>, page consultée le 29 juillet 2013.
- AECOM, 2013. *Gestion des matières résiduelles. Scénarios de gestion des matières organiques. Présenté à la Régie intermunicipale des déchets de la Rouge*. 162 pages et annexes.
- Agence de l'efficacité énergétique du Québec, 2009. *Facteurs d'émission et de conversion*. En ligne, http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/facteurs_emission.pdf, page consultée le 2 août 2013.
- Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2008. *Les friches agricoles au Québec : état des lieux et approches de valorisation*. En ligne, http://www.agrireseau.qc.ca/Agroforesterie/documents/Rapport_friches_agricoles_QC_2007_Fr_Fin_al.pdf, page consultée le 12 août 2013.
- AgriNova, 2009. *Milieu rural comme producteur d'énergie - Fiches synthèses*. En ligne, <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/developpement-regional-et-rural/ruralite/groupe-de-travail/milieu-rural-comme-producteur-denergie/fiches-syntheses/>, page consultée le 7 mai 2013.
- AgriRéseau, 2012. *Biométhanisation : produire de l'énergie verte sur sa ferme*. 3 p. En ligne, <http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/Fiche%20biom%C3%A9thanisation-mcb.pdf> Page consultée le 19 juillet 2012
- Amarante, J. 2010. *Biométhanisation des déchets putrescibles municipaux – Technologies disponibles et enjeux pour le Québec*. En ligne, http://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2010/Amarante_J_10-07-2010_.pdf, page consultée le 2 mai 2013.
- AQME, n.d. *Réseau de chaleur*. Ma municipalité efficace. En ligne, <http://www.municipaliteefficace.ca/142-efficacite-energetique-ges-reseau-de-chaleur.html>, page consultée le 8 mai 2013.
- AQME, 2010. « *Conversion de la matière organique : production d'énergie renouvelable à Rivière-du-Loup* ». La Maîtrise de l'énergie, vol. 25, numéro 1, mars 2010, p.17.
- AQPER (n.d.). *Appui des gouvernements au projet de traitement des matières organiques par biométhanisation à Saint-Hyacinthe : Les premiers pas de la biométhanisation au Québec!* En ligne, <http://aqper.com/index.php/voir-tous-les-articles-biogaz/1466-les-premiers-pas-de-la-biomechanisation-au-quebec>, page consultée le 29 avril 2013.
- Bio-méthantech (n.d.). *Expérience d'installation – Saint-Hyacinthe, Canada*. En ligne, http://bio-methatech.com/installations_fr.html#municipal, page consultée le 30 avril 2013.
- Bonnier, S. 2008. *État de la valorisation du biogaz sur site de station d'épuration en France et en Europe*. 19 p. En ligne, <http://www.agroparistech.fr/IMG/pdf/mtp-synth08-Bonnier.pdf> Page consultée le 20 juillet 2012.
- Chamard, CRIQ et Roche. (2000). *Caractérisation des matières résiduelles au Québec*. 454 p. En ligne, http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/prorecyc/docs/caracterisation_mat_resi.pdf Page consultée le 17 juillet 2012
- Connaissance des énergies, 2011. *Qu'est-ce que la cogénération?* En ligne, <http://www.connaissancedesenergies.org/qu-est-ce-que-la-cogeneration>
- Conseil canadien des ministres de l'environnement 2012. *Guide pour la valorisation des biosolides municipaux, des boues municipales et des boues de fosses septiques traitées*. En ligne, http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1474_biosolids_guidance_fr_1.0.pdf, Page consultée le 30 avril 2013.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2010. *Un examen de l'actuel cadre législatif des biosolides municipaux au Canada*. 73 p. En ligne, http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1447_biosolids_leg_review_fr.pdf Page consultée le 11 juillet 2012.
- Conseil québécois de la coopération et de la mutualité, 2011. *Biocarburants ou bioénergies? Vers une solution coopérative; Outil de prise de décision éclairée*. Mars 2011, 45 p.
- CMM, 2006. *Plan métropolitain de gestion des matières résiduelles*. Avril 2006, 79 p.
- CRAAQ, 2008a. *La production de biodiesel à partir de cultures oléagineuses*. En ligne, <http://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC031.pdf>, page consultée le 5 août 2013.
- CRAAQ, 2008b. *La production d'éthanol à partir de matière lignocellulosique*. En ligne, <http://www.craaq.qc.ca/data/documents/evc030.pdf>, page consultée le 5 août 2013.
- Écohabitation (n.d.). *Les réseaux de chaleur en multilogement*. En ligne, <http://www.ecohabitation.com/guide/fiches/reseaux-chaleur-multilogement>, page consultée le 8 mai 2013.
- Éco ressources, 2012. *Évaluation économique de la filière de la biomasse forestière destinée aux projets de chaufferies* En ligne, http://jc.fqcf.coop/wp-content/uploads/Chauffage_biomasse_CI_FQCF_2012_03_12.pdf
- Fondation d'entreprise ALCEN pour la connaissance des énergies (n.d.). *Biomasse – Définition et catégories*. En ligne, <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse>, page consultée le 29 avril 2013.
- Forge, F. 2007. *Les biocarburants – Politique énergétique, environnementale ou agricole?* Bibliothèque du Parlement. 11 p. En ligne, <http://www.parl.gc.ca/Content/LOP/researchpublications/prb0637-f.htm>, page consultée le 1^{er} août 2013.
- Gernot Pehnelt and Christoph Vietze, 2012. *Uncertainties about the GHG Emissions Saving of Rapeseed Biodiesel*. Jena Economic Research Papers En ligne, <http://zs.thulb.uni->

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

- jena.de/servlets/MCRFileNodeServlet/jportal_derivate_00224352/wp_2012_039.pdf page consultée le 2 août 2013.
- Gouvernement du Québec. 2011. *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles*. 11 p. En ligne, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/pgmr/politique-go.pdf> Page consultée le 18 juillet 2012
- Hebert, Josiane, 2013. *Quel avenir pour le développement des biocarburants de deuxième génération au Québec?* En ligne, http://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2013/Hebert_J_2013-03-07_.pdf, page consultée le 2 août 2013.
- Hébert, M., 2012. *Boues municipales Politiques de recyclage et évaluation des émissions de GES* En ligne, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/articles/boues-municipales-pol.pdf>
- Hydro-Québec, 2012. *Programme d'achat d'électricité provenant de centrales de cogénération à base de biomasse forestière résiduelle* <http://www.hydroquebec.com/distribution/fr/marchequbecois/pae-201101/>
- INRA, (n.d.). *Glossaire*. En ligne, <http://www.methanisation.info/glossaire.html>, page consultée le 30 avril 2013.
- Institut de la Statistique du Québec. 2011a. *Estimation de la population des MRC et des territoires équivalents, 1er juillet des années 1996, 2001, 2006 à 2011* (découpage géographiques au 1^{er} juillet 2011). En ligne, http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/dons_regnl/regional/mrc_total.htm Page consultée le 18 juillet 2012.
- Institut de la Statistique du Québec. 2011. *Perspectives démographiques des MRC du Québec, 2006-2031*. En ligne, http://www.stat.gouv.qc.ca/publications/demograp/pdf2009/perspectives_demo_MRC.pdf Page consultée le 18 juillet 2012
- Institut de la Statistique du Québec. 2012. *Bulletin statistique régional, édition 2012 : Laurentides*. 34 p. En ligne, http://www.bdso.gouv.qc.ca/docs-ken/multimedia/PB01608FR_RA15_2012A00F00.pdf Page consultée le 19 juillet 2012
- MDDEFP, (n.d.). *Questions et réponses sur la valorisation agricole des matières résiduelles fertilisantes*. En ligne, http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/faq.htm, page consultée le 30 avril 2013.
- MDDEP, 2012. *Traitement des matières organiques par biométhanisation dans la région du Bas-Saint-Laurent ; Un projet de plus grande envergure sous le signe de l'innovation* En ligne, <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/infuseur/communique.asp?no=2202>
- MDDEP. 2007. *Les boues : le mouton noir du recyclage*. URBA, décembre 2007. 4 p. En ligne, <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/publications/boues-mouton-noir-recyclage.pdf> Page consulté le 23 juillet 2012.
- MDDEP 2004. *Questions et réponses sur des éléments soulevés par le documentaire Tabou(e)! sur la valorisation agricole des boues municipales*. En ligne, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/articles/documentaire/tabou%28e%29.asp>, page consultée le 29 avril 2013.
- Morin, M. 2012. *Retombées économiques majeures de la biométhanisation pour toutes nos entreprises*. En ligne, <http://www.ville.riviere-du-loup.qc.ca/view.php?what=document&id=2164>, page consultée le 30 avril 2013.
- MRC Antoine-Labelle, 2004. *Plan de gestion des matières résiduelles*. Août 2004, 160 p.
- MRC Argenteuil, 2004. *Plan de gestion des matières résiduelles*. Juin 2003, 85 p.
- MRC des Laurentides, 2004. *Plan de gestion des matières résiduelles 2004-2008 : un enjeu collectif, un choix de société*. Juillet 2004, 146 p.
- MRC des Pays-d'en-Haut. 2004. *Plan de gestion des matières résiduelles*. 115 p. En ligne, http://www.lespaysdenhaut.com/DATA/TEXTE/196_fr.pdf Page consultée le 19 juillet 2012
- MRN, 2013. *Portrait territorial*, Laurentides. 91 p. En ligne, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/territoire/planification/portrait-laurentides.pdf>, page consultée le 12 août 2013.
- MRN, 2011. *Profil des produits forestiers - Technologies de bioénergies à base de biomasse forestière*. En ligne, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/bioenergies-biomasse.pdf>
- MRN, n.d. *Programme d'attribution de biomasse forestière – Laurentides* En ligne, <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-transformation-biomasse.jsp>
- Olivier, Marc, 2010. *Matières résiduelles et 3RV-E*. Les productions Jacques Bernier, Lévis (Québec), 3^e édition, 308 p.
- Ostrem, K. 2004. *Greening waste : Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes*. Mémoire de maîtrise, Columbia University : New-York.
- Partenariat innovation forêt, 2008. *Publications*. En ligne, <http://www.partenariat.qc.ca/publications.php>, page consultée le 16 juillet 2013.
- Perron, F., 2010. *Potentiel énergétique et gains environnementaux générés par la biométhanisation des matières organiques résiduelles au Québec*. En ligne, http://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2010/Perron_F_17-11-2010_.pdf, page consultée le 2 mai 2013.
- Recyc-Québec. 2010. *La gestion des matières résiduelle, cas à succès : la MRC de Rivière-du-Loup*. En ligne, <http://organique.recyc-quebec.gouv.qc.ca/2010/09/mrc-de-riviere-du-loup/> Page consultée le 24 juillet 2012.
- Recyc-Québec, 2010. *Compostage et réduction de GES*. En ligne, <http://organique.recyc-quebec.gouv.qc.ca/2010/09/la-collecte-et-le-compostage-des-matieres-organiques/>
- RecycQuébec. (n.d.). *Fiches informatives : Les matières organiques*. 15 p. En ligne, <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Fiche-compost.pdf> Page consultée le 18 juillet 2012.

Guide d'information sur les mesures de réduction, de récupération et de remplacement énergétiques

- Solinov, 2012. *Évaluation de scénarios de gestion des matières résiduelles organiques adaptés au contexte de la MRC de La Rivière-du-Nord*. Octobre 2012, 48 p.
- United Press International, 2007. *Study warns against biodiesel fuels*. En ligne, http://www.upi.com/Science_News/2007/04/23/Study-warns-against-biodiesel-fuels/UPI-28441177353209/, page consultée le 1^{er} août 2013.
- Université de Perpignan, n.d. *Les énergies renouvelables : état des lieux et perspectives*. En ligne, http://uved.univ-perp.fr/module2/co/biocarburants_3G.html, page consultée le 2 août 2013.
- Ville de Laval 2009. *Préparation du plan de gestion des matières résiduelles*. En ligne, http://www.ville.laval.qc.ca/wlav2/docs/folders/portail/fr/environnement/plan_gestion_matiere_residuelles/documents/preparation_plan_gestion_matiere_residuelles_rapport_3.pdf, page consultée le 8 mai 2013.
- Ville de Rivière-du-Loup. 2009. *Communiqué : captage et destruction des biogaz au lieu d'enfouissement sanitaire*. Émis le 26 janvier 2009.
- Villeneuve, C. et Dussereault, P.-L. pour le MDDEP. 2011. *Biosolides municipaux : Quelle est la meilleure option pour le climat*. *Vecteur Environnement*, Septembre 2011. 5 p. En ligne, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matiere/articles/biosolides-municipaux-climat.pdf> Page consultée le 11 juillet 2012.

Annexes

Annexe 1 – Quelques concepts en matière d'énergie

La **maîtrise de l'énergie** est un terme général qui englobe toutes les facettes relatives à la gestion et à la consommation des différentes ressources énergétique. La maîtrise de l'énergie poursuit ainsi l'objectif d'une utilisation rationnelle et efficace de l'énergie disponible dans une perspective d'économie et de préservation des ressources. Les moyens pour atteindre cet objectif sont divers et complémentaires, ils passent par :

- La diminution des besoins énergétiques (planification et consommation)
- Une gestion plus adéquate de la demande énergétique
- L'augmentation de l'efficacité énergétique des systèmes et technologies employés
- La conservation stratégique de la ressource et une utilisation rationnelle des ressources selon les besoins
- Le développement des énergies renouvelables⁴²³

L'**efficacité énergétique** est donc un concept moins large mais lié à la maîtrise de l'énergie. Il s'agit d'une approche rationnelle qui vise à améliorer le rendement énergétique d'un système par rapport à son apport en énergie, entraînant ainsi une diminution des coûts

d'opération tout en utilisant moins la ressource. Cette approche permet une réduction de l'empreinte écologique qui se traduit par une réduction des émissions de GES⁴²⁴.

L'**économie d'énergie** vise, quant à elle, une diminution de la consommation réelle d'énergie, et ce, non pas seulement pour une filière énergétique mais pour l'énergie en général⁴²⁵.

Le concept d'**énergie renouvelable** est lié non plus à l'utilisation de l'électricité mais à la ressource énergétique utilisée pour la production d'électricité. Ainsi une énergie renouvelable est une énergie primaire inépuisable à long terme. Cette caractéristique des énergies renouvelables vient du fait qu'elles sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants⁴²⁶. Sont considérées comme inépuisables toutes les sources d'énergie qui se renouvellent suffisamment rapidement pour que leur exploitation n'affecte aucunement leur disponibilité. Les énergies renouvelables sont nombreuses, on dénombre par exemple : l'énergie solaire, la biomasse, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la géothermie, etc.⁴²⁷

⁴²³ AQME, n.d.a

⁴²⁴ AQME, n.d.b et actu-environnement.com

⁴²⁵ Déry, P. Laquerre, S. et Charron, P., 2011

⁴²⁶ Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (France), 2010

⁴²⁷ eonologie.com

Il est important de saisir qu'une énergie renouvelable n'est pas nécessairement une **énergie propre** (ou **énergie verte**). En effet, une énergie propre est une source d'énergie dont l'exploitation produit des quantités négligeables de polluants⁴²⁸. Ainsi toute énergie renouvelable dont l'exploitation engendre une quantité importante de polluants ne peut pas être considérée comme une énergie propre. Cette définition de l'énergie propre est toutefois très controversée. En effet, une telle définition ne considère pas la nature de la ressource mais uniquement la production de polluants lors de son exploitation, tout comme elle omet de considérer les impacts autres que la pollution sur l'environnement. C'est en se basant sur cette définition que certains qualifient par exemple l'énergie nucléaire d'énergie propre, puisque même s'il elle est issue d'une ressource non renouvelable son exploitation n'est que très faiblement émettrice de gaz à effet de serre. Ainsi, plusieurs préfèrent définir une

énergie propre comme une énergie renouvelable dont l'exploitation a un impact négligeable sur l'environnement.

L'énergie **grise** est quant à elle l'énergie cachée dans un produit, c'est-à-dire que c'est l'énergie qu'il faut pour l'extraire de la nature ou le cultiver, le fabriquer, l'emballer, le transporter, l'utiliser, l'entretenir et le recycler. Ainsi, par exemple, une pomme cultivée localement aura une énergie grise beaucoup plus faible qu'une pomme importée bien qu'il s'agisse du même produit. On estime qu'un ménage consomme au moins deux fois plus d'énergie grise qu'il n'en consomme directement (éclairage, chauffage, déplacements, etc.).⁴²⁹

⁴²⁸ techno-science.net

⁴²⁹ International Polar Foundation, n.d.

Annexe 2 – Intégration d'électricité au réseau public

Tableau 27 : Capacité d'intégration du réseau Hydro-Québec de la région des Laurentides⁴³⁰

Postes	Lignes	Capacité d'intégration (MW)	Commentaires
Chénier (15-01) 735/315 kV			
	Lignes 315 kV vers :		
	Lafontaine (15-02)	1 000	
	Chomedey (13-02)	1 000	
	Vignan (07-02)	1 000	
Lafontaine (15-02) 315/120 kV			
	Lignes 120 kV vers :		
	Lachute (15-03)	200	
	Calumet (15-04)	200	
	Roland/Arthur-Buies (15-05/06)	2 x 200	
	Paquin (15-07)	200	
	Paquin/Doc-Grignon/Arthur-Buies (15-07/08/06)	200	
	Paquin/St-Sauveur/Ste-Agathe (15-07/09/10)	200	
Grand-Brûlé (15-11) 735/120 kV			
	Lignes 120 kV vers :		
	Sainte-Agathe/Saint-Sauveur (15-10/09)	200	
	Saint-Donat/Quimet (14-01/15-12)	200	
	Joly/L'annonciation/Mont-Laurier (15-13/14/15)	2 x 50	Limite thermique
	Lac-des-Îles/Notre-Dame-du-Laus (15-16/17)	---	Intégration de centrales, capacité non évaluée

La Vérendrye (15-18) 735-25 kV			10	
Lignes 161 kV vers :				
Parent	(04-02)	200	Capacité d'intégration d'éoliennes a été limitée, due aux services auxiliaires	

Note : La capacité d'intégration sans l'ajout d'infrastructures de la région des Laurentides est de 5 670 MW, partagée avec les régions de l'Outaouais et de Laval.

⁴³⁰ MRNF, 2005b

Annexe 3 – Valeur calorifique de certains combustibles

Valeur calorifique de certains combustibles renouvelables							
Combustible	Unité	Base anhydre		Base humide			
		Pouvoir calorifique supérieur ¹		Taux d'humidité		Pouvoir calorifique supérieur ¹	
		MJ ² /unité		%		MJ ² /unité	
		Min	Max	Faible	Fort	Min	Max
Résidu forestier							
Bois rond	kg	19,7	26,7	20	40	11,8	21,4
Copeau, plaquette, sciure	kg	19,7	26,7	5	65	6,9	25,4
Granule	kg	19,7	26,7	2,7	10	17,7	26,0
Résidu de coupe	kg	19,7	26,7	30	50	9,9	18,7
Résidu de coupe	L	5,9	13,4	30	50	3,0	9,4
Culture énergétique							
Copeau de saule	kg	18,6	19,8	20	51	9,1	15,8
Granule							
<i>Alpiste roseau</i>	kg	18,4	18,8	2,7	10	16,6	18,3
<i>Panic érigé</i>	kg	18,2	19,1	2,7	10	16,4	18,6
<i>Saule</i>	kg	18,6	19,8	2,7	10	16,7	19,2
Liquide							
Biohuile	kg	14,1	19,1	20	35	9,2	15,3
Biohuile	L	15,6	24,8	20	35	10,1	19,8
Gaz							
Biogaz	m ³	19,9	29,8	s. o.	s. o.		
Gaz de synthèse	m ³	3,2	17,8	s. o.	s. o.		

1 : Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) inclut l'énergie contenue dans la vapeur d'eau produite lors de la combustion. Peu d'équipements récupèrent la chaleur de cette vapeur. L'efficacité des équipements baisse en fonction du taux d'humidité du combustible puisqu'un plus grand pourcentage de l'énergie thermique s'échappe comme vapeur. Un fort taux d'humidité peut aussi causer des problèmes d'érosion si les équipements ne sont pas conçus pour des combustibles fortement humides. L'efficacité de récupération de la chaleur produite des chaudières et bouilloires peut varier de 55 à 85 %.

2 : 1 MJ égale 948 BTU; 1 MJ égale 278 kWh (thermique).

Source : Agrinova, 2009

Annexe 4 – Comparaison du territoire desservi par l'usine de biométhanisation de Rivière-du-Loup avec un exemple équivalent dans les Laurentides

	RDL	Laurentides (par exemple, pour être équivalent)
Territoire couvert	MRC de Rivière-du-Loup, de Kamouraska, des Basques, de La Haute-Gaspésie, de La Mitis et de La Matapédia. ⁴³¹	MRC des Pays-d'en-Haut, des Laurentides et d'Antoine-Labelle
Nombre de personnes desservies	118 000 personnes	121 000 personnes
Superficie	près de 17 500 km ²	près de 17 900 km ² . ⁴³²
Quantité de matière organique	25 700 tonnes	Environ 39 500 tonnes ⁴³³

Pour les basses Laurentides, beaucoup plus densément peuplées, la biométhanisation semble encore plus appropriée.

⁴³¹ MDDEP, 2012

⁴³² Institut de la statistique du Québec, 2012

⁴³³ AECOM, 2013