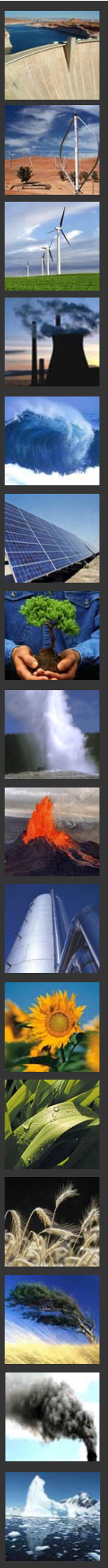


ANNEXE 2
RÉPONSE À LA QUESTION 46.1



Les énergies renouvelables

Sommaire des technologies alternatives à l'usage unique du diesel en réseaux autonomes

Préparé par :
Carl Dumais, ing.

Unité Plans et Expertise technique Transport et Production
Hydro-Québec Distribution

Révision 1
Octobre 2007

Table des matières

Introduction.....	3
1. Sommaire des technologies d'énergies renouvelables.....	4
1.1 Les combustibles alternatifs	4
1.1.1 Les biomasses comme combustible solide	4
1.1.2 Le biogaz comme combustible.....	5
1.1.3 Les biocarburants à l'état liquide.....	6
1.1.4 Sommaire des combustibles alternatifs.....	7
1.1.5 Comparatif de l'efficacité énergétique des combustibles (bio vs fossile).....	8
1.1.6 Prix des combustibles (bio vs fossile).....	9
1.1.7 Un mot sur l'hydrogène comme carburant	9
1.2 Sommaire des technologies de conversion.....	10
1.2.1 Bases de calculs et sources d'information	10
1.2.2 Classement des technologies.....	10
1.2.3 Continuité et variabilité du gisement et de la production	10
1.2.4 Remarques sur les fiches.....	11
1.2.5 Fiches des technologies de conversion des énergies renouvelables	11
▪ Petite hydraulique.....	11
▪ Technologies hydrocinétiques.....	12
▪ Technologies houlomotrices.....	13
▪ Technologies marémotrices.....	14
▪ Océanothermie moteur	15
▪ Océanothermie/lacustre.....	16
▪ Géothermie du sol.....	17
▪ Petites éoliennes.....	18
▪ Solaire photovoltaïque.....	19
▪ Solaire thermique.....	20
▪ Fournaies à granules de bois.....	21
▪ Fournaies eau/air intégrées.....	22
▪ Microturbines à gaz.....	23
▪ Bioréacteurs.....	24
▪ Groupes électrogènes.....	25
▪ Piles à combustible	26
▪ Turbines à vapeur (air/gaz).....	27
1.3 Technologies et principes d'optimisation.....	28
1.3.1 Bases de calculs et sources d'information	28
1.3.2 Fiche synthèse sur la cogénération	28
1.3.3 Fiches synthèses sur le stockage	29
▪ Production d'hydrogène.....	30
▪ Air comprimé	30
▪ Pompage hydraulique (station de pompage-turbinage)	31
▪ Demande différable et optionnelle.....	31
▪ Masse ou réservoir thermique (liquide/solide)	31
▪ Hypercondensateurs.....	32
▪ Volant d'inertie	32
1.3.4 Fiche synthèse sur le jumelage.....	33
1.3.5 Fiche synthèse sur la centralisation/décentralisation	33
▪ Autoproductions	33
▪ Chauffage urbain.....	33
1.4 Sommaire des technologies d'énergies renouvelables.....	34
1.4.1 Synthèse des technologies alternatives.....	34
1.4.2 Principaux points en résumé.....	35

Table des matières (suite)

1.5	Recommandations (pour information interne à Hydro-Québec).....	36
1.5.1	Suites envisageables.....	36
1.5.2	Mises à jour du document.....	36
1.5.3	Outils complémentaires.....	36
1.6	Autres points d'intérêt	36
1.7	Conclusions et recommandations d'études externes	37
1.7.1	Les conclusions de BBA et d'HELIOS.....	37
1.7.2	Les recommandations de BBA et d'HELIOS.....	37
2.	Annexes	38
2.1	Définitions	39
2.1.1	Les énergies renouvelables.....	39
2.1.2	Les principaux gaz à effet de serre	41
2.1.3	Classification des GES	42
2.1.4	Le mécanisme de l'effet de serre	43
2.1.5	Les GES, les polluants et la santé.....	43
2.1.6	Marché boursier du CO ₂	44
2.1.7	Niveau de pénétration des énergies renouvelables	45
2.2	Quelques intrants à la recherche de solutions alternatives.....	46
2.2.1	Ressources et facteurs limitatifs.....	46
2.2.2	Demande énergétique et démographie (2006-2021)	47
2.2.3	Gisements éoliens et solaires	48
2.2.4	Niveaux d'intégration des technologies d'énergies renouvelables.....	49
2.2.5	Technologies dont la ressource peut être transportée et stockée.....	49
2.2.6	Fournisseurs et contacts de technologies d'énergies renouvelables	50
3.	Références et sources	51

Liste des abréviations et sigles

kW _{th}	Capacité ou puissance thermique
kW _{el} ou kW _e	Capacité ou puissance électrique

Introduction

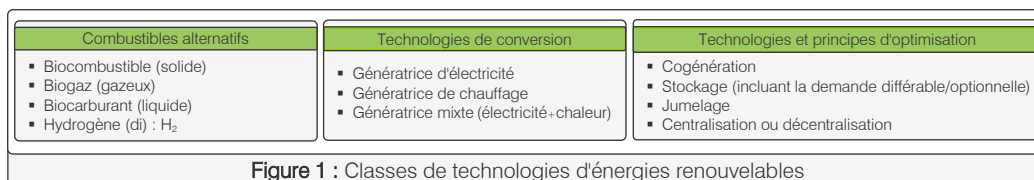
L'environnement et la hausse notable du coût de l'énergie, principalement pour les carburants fossiles, présentent aujourd'hui un réel défi de société. Pour Hydro-Québec, chef de file en hydro-électricité, le véritable enjeu réside dans l'alimentation de ses centrales thermiques. En fait, plus d'une vingtaine de communautés éloignées et ne pouvant être reliées au réseau principal, puisqu'économiquement non justifiable à l'échelle provinciale, sont alimentées par des groupes électrogènes au diesel (d'ailleurs, uniquement pour les 14 villages du Nunavik, le projet de bouclage a été estimé en 2003 à plus d'1G\$).^[1]

Bien que l'intégration d'énergie renouvelable soit déjà une réalité (jumelage éolien-diesel, ajout de biocarburant, petite hydraulique, etc.), la recherche d'alternatives demeure un processus complexe. Le territoire du Québec étant très vaste (plus de 500000km² pour le Nunavik)^[2], les conditions naturelles, les ressources, les particularités et les contraintes diffèrent considérablement d'une communauté à l'autre. De plus, malgré la multiplication des technologies, peu d'entre elles ont atteint un statut commercial et une maturité permettant d'assurer la viabilité économique et technique d'un projet, une qualité de service adéquate et un coût de production acceptable.

Le présent ouvrage se veut donc et d'abord un répertoire des technologies d'énergies renouvelables et un outil-support à la sélection d'alternatives à l'usage unique des groupes diesels. Présenté principalement sous forme de fiches descriptives, le document intègre définitions, coûts paramétriques, avantages, inconvénients, perspectives ainsi que les principaux impacts environnementaux, pour chacune des technologies. Enfin, certaines informations complémentaires aux fiches ont été ajoutées en annexe afin d'aider à la compréhension, entre autres, une définition des énergies renouvelables et des gaz à effet de serre.

1. Sommaire des technologies d'énergies renouvelables

Les fiches présentées aux sections qui suivent permettent d'obtenir une brève description de chacune des technologies d'énergies renouvelables, ainsi que les spécifications techniques pour comparer les options et d'évaluer l'applicabilité de chacune d'elles. Les fiches couvrent les combustibles alternatifs, les systèmes de conversion d'énergies renouvelables et les principales techniques d'optimisation.



1.1 Les combustibles alternatifs

1.1.1 Les biomasses comme combustible solide

D'un point de vue énergétique, les biomasses sont par définition toutes matières organiques pouvant devenir une source d'énergie. En ce sens et puisque la matière organique s'incorpore au cycle de la vie, les biomasses figurent parmi les énergies renouvelables (évidemment, tant aussi longtemps que le besoin n'excède pas la disponibilité de la ressource). Les biomasses peuvent être exploitées en tant que biocombustible solide, soit sans transformation importante (séchage) ou sous une forme carbonisée, telle que le charbon de bois. La nature de l'énergie produite par la combustion des biomasses est essentiellement thermique. Toutefois, la production électrique demeure possible, suite à une conversion de la chaleur, par exemple, à l'aide d'une turbine à vapeur.

Fiche 1 : Les biomasses	
Description	
Toute matière organique solide pouvant servir de source d'énergie.	
Spécifications	
Biomasses principalement exploitées sous forme de biocombustibles (solide)	Généralement les biomasses de type lignocellulosique : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Produits forestiers et dérivés (bois, granules de bois, charbon de bois) ▪ Produits agricoles (paille et fourrage)
Milieux de disponibilité de la ressource	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zones forestières et agricoles ▪ Autrement : via transport et stockage
Points techniques de comparaison	Pour la granule de bois (exemple) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2,2kg (~3,35L) correspond à environ 1L de diesel, soit environ 11,2 kWh ▪ Le prix d'achat des granules de bois est d'environ 200\$/tonne ^[4] ▪ Le coût est volatile et suit généralement la hausse du pétrole ^[4] ▪ Le transport au Nunavik est estimé à 300\$/tonne ^[4]
Avantages généraux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Énergie renouvelable (tant que la demande est inférieure à la ressource) ▪ L'utilisation des granules de bois permet une valorisation des résidus de l'industrie de transformation du bois ▪ La combustion directe de biomasses pour obtenir de la chaleur s'effectue généralement avec un rendement élevé (voir fournaies à granules, section 1.2)
Inconvénients généraux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Même si renouvelable, la combustion est génératrice de gaz à effet de serre comme le CO₂ et divers polluants tels que les poussières et COV ▪ La disponibilité locale des ressources n'est pas garantie et il peut être nécessaire de considérer le transport et le stockage (exemple : Nunavik) ▪ Les biocombustibles solides sont moins adaptés à la production d'énergie électrique étant donné les conversions nécessaires à partir du thermique

1.1.2 Le biogaz comme combustible

Le biogaz est à la base issue d'un processus naturel de dégradation des matières organiques (biomasses), tel que la fermentation ou la décomposition. Il peut aussi être obtenu par un processus accéléré ou spécifique comme la gazéification (sublimation de la matière) ou la méthanisation (décomposition en absence d'oxygène ou anaérobique). Le biogaz s'apparente au gaz naturel fossile en terme de composition chimique. Tout comme ce dernier, la concentration relative des composantes, lors de la biodégradation, dépend du milieu (compactage, oxygénation, bactéries, etc.), de la composition initiale des matières organiques et de la durée du processus. Par contre, contrairement au gaz naturel, la production de biogaz permet une valorisation des matières biodégradables et renouvelables et consiste, en quelque sorte, en une activité de dépollution. Enfin, le biogaz peut être employé pour produire une énergie purement thermique, par combustion directe, ou de nature électrique, entre autres, par injection dans un moteur à gaz ou une turbine.

Fiche 2 : Le biogaz

Description	
Gaz obtenu à partir de la dégradation naturelle, accélérée ou spécifique des biomasses (matières organiques)	
Spécifications	
Composantes principales du biogaz	<p>La quantité et la composition dépendent de la nature des biomasses et du traitement :</p> <ul style="list-style-type: none"> La dégradation naturelle crée un biogaz dont les composantes principales sont : <ul style="list-style-type: none"> 50 à 90% de méthane (CH₄) - incolore et explosif 10 à 40 % de dioxyde de carbone (CO₂) – ininflammable 0,1% (environ) d'hydrogène sulfuré (H₂S) - inflammable La dégradation spécifique (artificielle) telle que la méthanisation permet l'extraction ciblée du méthane, évitant la production de CO₂, un GES important (voir bioréacteurs ou digesteur ; section 1.2, fiche 14) Le reformage (par vaporeformage ou par voie bactérienne) du (bio) méthane permet de produire du (bio) dihydrogène [H₂, puisque 2 atomes d'hydrogène en résultent], toutefois le procédé libère du dioxyde de carbone (CO₂)
Milieux de disponibilité de la ressource	<p>La production est possible partout où les biomasses sont disponibles, entre autres :</p> <ul style="list-style-type: none"> Dépotoirs ou sites d'enfouissement en utilisation les puits de captages Exploitants agricoles (fosses à purin) et produits agricoles, rizière,... Industries agro-alimentaires, chimiques et papetières Stations d'épuration/traitement des eaux usées et des boues Collectivités (récupération des matières biodégradables, etc.) Autrement : via transport et stockage
Points techniques de comparaison	<ul style="list-style-type: none"> Le méthane est le seul hydrocarbure pouvant être obtenu naturellement 0\$/m³ lorsqu'issu d'un procédé existant localement (traitement de boues,...) 1,2m³ de méthane (CH₄) équivaut environ à 1L de diesel ou 11,2 kWh Le méthane gazeux peut être liquéfié pour augmenter sa densité de 600X
Avantages généraux	<ul style="list-style-type: none"> De source renouvelable contrairement au gaz naturel fossile Dans un contexte de revalorisation de la biomasse : dépollution La récupération de biogaz permet d'éviter l'émission de GES Le méthane est plus propre que l'essence et le pétrole (hydrocarbure ayant la plus courte chaîne de carbone, donc moins de CO₂) Peut être utilisé dans des moteurs dits « dual-fuel » : moteurs diesel alimentés en majorité par du méthane ou biogaz et pour lesquels l'explosion est assurée par un léger apport de biodiesel/huile ou gazole
Inconvénients généraux	<ul style="list-style-type: none"> Problème de corrosion pouvant être causé par la présence d'eau et de H₂S (dans les générateurs biogaz) Difficulté de stockage pour le méthane : volume important sous forme gazeuse et température de -162°C requis pour le stockage du méthane liquide (le méthane liquide est toutefois transportable par bateau et citerne)

1.1.3 Les biocarburants à l'état liquide

Aussi connus sous le nom de carburant vert ou végétal, les biocarburants sont, tout comme pour le biogaz, obtenus à partir d'un processus de transformation de la matière organique (à l'exception de l'hydrogène d'électrolyse - voir point 1.1.7 plus bas). Plus précisément, les biomasses de nature oléagineuse (riches en lipides) comme le maïs et le colza, conviennent davantage à la production d'huile, alors que celles dites à glucide sont plus adéquates à la production d'alcool. Les processus généralement employés pour l'extraction des huiles et des alcools sont respectivement le pressage à froid ou de type chimique (thermique, solvants, etc.) et la fermentation ou la pyrolyse. Ceci dit, une seconde génération de biocarburants émerge progressivement. Actuellement au stade expérimental, ces nouvelles technologies de carburants ne sont pas dépendantes des productions agricoles et devraient permettre une amélioration considérable des rendements énergétiques, une réduction des impacts environnementaux, une production de masse, tout en demeurant abordables. Plusieurs avenues sont étudiées, dont l'exploitation des biomasses cellulosiques ou lignines comme le bois et la paille (composées de la macromolécule la plus commune sur Terre) ou encore l'extraction des huiles de micro algues (30 à 100X plus performantes que les huiles de source oléagineuse et nécessitant 13% de CO₂ pour se développer, donc récupération possible de GES).

Fiche 3 : Les carburants liquides	
Description	
Les biocarburants sont des carburants renouvelables extraits de matières organiques, principalement de nature oléagineuse (huiles) ou à sucre (alcool).	
Spécifications	
Biocarburants principalement exploités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biodiesel (huile) : Adéquat pour les groupes électrogènes. Un processus chimique de transestérification avec molécules d'éthanol ou de méthanol et un catalyseur permet d'obtenir respectivement un ester éthylique d'huile végétale ou animale (EEHV ou EEHA) ou un ester méthylique d'huile végétale ou animale (EMHV ou EMHA). Ces esters sont appelés biodiesel. À noter que les EEHV sont un type de biodiesel sans soufre, non toxique et biodégradable qui est bien adapté à l'alimentation de moteur à allumage par compression. ▪ Biomazout (huile) : équivalence du mazout pour le chauffage : L'huile végétale carburant peut également être utilisée dans les chaudières à mazout, jusqu'à 30%, avec un brûleur classique. On peut utiliser jusqu'à 100%, mais en prenant soin de préchauffer l'huile à environ 60°C pour obtenir une fluidité suffisante. On peut aussi faire appel à un brûleur dit à huile, qui aura l'avantage d'être conçu pour cela et qui pourra en cas de besoin fonctionner au mazout. ▪ L'Huile Végétale Brute (HVB, ou HVP) peut être utilisée directement dans les moteurs diesels adaptés (notamment à cause de sa viscosité relativement élevée). – voir moteur Elsbett. ▪ Méthanol (alcool) : Alcool méthylique ou alcool de bois, alcool le plus simple, très toxique pour l'organisme. Utilisé comme antigel, solvant, carburant et comme dénaturant pour l'alcool éthylique. ▪ Éthanol (alcool) : lorsqu'obtenu par fermentation, 15L de CO₂ pour 50L d'éthanol sont générés <p>Remarque : le pétrole brut de synthèse n'est pas un biocarburant, même s'il en résulte une combustion plus propre que le diesel (de sources non renouvelables comme les sables bitumineux, le charbon et le gaz naturel)</p>
Milieux concernés et disponibilité de la ressource	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Huiles - sources oléagineuses - par pressage à froid ou extraction chimique : L'huile de tournesol, huiles de fritures usagées, huiles d'abattoirs ou de poissonneries, huiles de vidange, etc. ▪ Alcool – sources de sucre ou d'amidon – par fermentation ou hydrolyse : Céréales, canne à sucre, betterave sucrière, maïs, blé, l'ulve, etc. ▪ Alcool – sources cellulosiques – par hydrolyse : Bois, feuilles et tiges, etc.
Points techniques (ex.: biodiesel)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendement énergétique inférieur : 9,6kWh/L vs 11,2kWh/L (bio vs diesel) ▪ Émissions polluantes non négligeables (NOx...) ▪ Notation standard pour les groupes électrogènes et moteurs : la forme de B%, est utilisée pour préciser la teneur en biodiesel dans un mélange bio-fossile, par exemple, 30% de biodiesel pour 70% de diesel est exprimé par B30

Fiche 3 : Les carburants liquides (suite)

Spécifications	
Avantages généraux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2ième génération : expérimentale, mais prometteuse (30 à 100X plus efficace, plus adapté à la production de masse, récupération possible de CO₂, etc.) ▪ Sur les sources oléagineuses, l'utilisation d'un solvant organique permet un niveau d'extraction des huiles de 99%, mais à un coût plus élevé ▪ Permet l'alimentation de moteur existant ou sans modifications majeures ▪ En faible quantité, le biodiesel permet une lubrification des composantes mécaniques supérieure aux carburants fossiles
Inconvénients généraux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Surexploitation agricole, déforestation, utilisation massive d'engrais, transport et distribution coûteuse en énergie (1re génération) ▪ Source renouvelable, mais de certains procédés (par exemple : la fermentation des sucres) : la production du biocarburant s'accompagne d'une production importante de CO₂ (GES) ▪ L'huile peut s'oxyder, elle sèche et peut générer des problèmes dans les réservoirs ▪ La température d'auto-inflammation plus élevée (de l'ordre de 450°C, soit une centaine de degrés de plus que le gazole ou les méthyl-esters). Cela cause parfois des problèmes au démarrage des moteurs ▪ La température de solidification est assez élevée (les huiles végétales provenant du colza ou du tournesol figent entre -5 et -15°C), ce qui est problématique dans les pays froids ▪ La contamination résiduelle (particules, fibres, eau..) est susceptible de colmater les filtres (pour la partie arrêtée par ceux-ci) et d'accélérer l'usure du système d'injection (pour la partie qui ne serait pas arrêtée par ces filtres) ▪ La combustion des huiles végétales pures ne produit pas les CO₂, CO, de soufre, etc., mais émet des COV comme l'acroléine qui est un irritant majeur présent dans la fumée de cigarette ▪ Le biodiesel est un solvant qui agit sur certaines matières et pourrait ne pas être compatible avec certains matériaux ▪ Si le biocarburant ne respecte pas les normes de qualité, il peut occasionner des problèmes de fonctionnement (colmatage de filtres, etc.)

1.1.4 Sommaire des combustibles alternatifs

En résumé, l'ensemble des combustibles alternatifs provient de la biomasse, à l'exception de l'hydrogène d'électrolyse. La biomasse peut elle-même servir de combustible ou être transformée par des processus chimiques ou naturels en biogaz et biocarburant (état liquide). De la pyrolyse, par exemple, la combustion des matières organiques sous atmosphère inerte et à des températures entre 250 et 1000°C et permet d'obtenir 60 à 75 % de gaz condensable (transformable en biocarburant), 10 à 20% de gaz non condensable (biogaz) et une portion de 15 à 25% de charbon due à la carbonisation des matières résiduelles. ^[3]

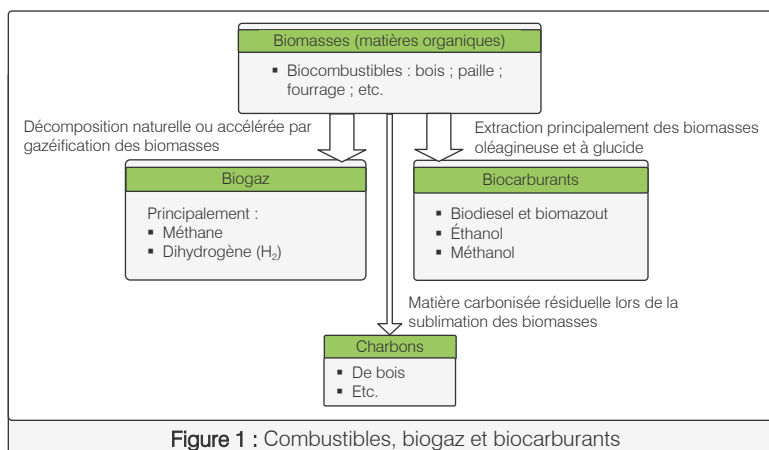


Figure 1 : Combustibles, biogaz et biocarburants

Il importe de mentionner que, de façon générale, les biocarburants demeurent pour l'instant une solution d'appoint au remplacement des carburants fossiles. L'intérêt économique et technique pour ceux-ci dépend, en partie, de la disponibilité locale des ressources, des coûts de production, du transport et du stockage.

1.1.5 Comparatif de l'efficacité énergétique des combustibles (bio vs fossile)

Le coût de conversion en énergie électrique ou thermique et le stockage sont généralement plus importants pour les combustibles alternatifs que les dérivés fossiles, entre autres, à cause d'une efficacité énergétique moindre. Pour illustrer ce propos, il est possible d'effectuer une comparaison des combustibles basée sur leur indice PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur). Cet indice correspond à la quantité d'énergie obtenue par la combustion directe et complète, excluant l'énergie dégagée par la condensation de la vapeur résultante. Le tableau qui suit présente, pour quelques-uns des biocombustibles décrits précédemment, le PCI ainsi que l'efficacité moyenne, le volume équivalent par rapport au diesel et une approximation de la densité énergétique (expliquer plus bas).

Tableau 1 : Comparaison de combustibles sur la base du PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)

Nature	Combustibles	PCI MJ/Kg (MJ/L)	Efficacité moyenne par rapport au diesel	Volume moyen par rapport au diesel (L)	Densité énergétique (kWh/L)
Liquide	Essence	45-48,3 (32-34,8)	0,83	1,20	9,3
	Diesel	48,1 (40,3)	1,00	1,00	11,2
	Biodiesel	37,8 (33,3 -35,7)	0,86	1,16	9,6
	Méthanol	19,9-22,7 (15,9)	0,39	2,56	4,4
	Éthanol	23,4-26,8 (23,4)	0,58	1,72	6,5
Gaz (liquéfié)	Méthane	55,0-55,7 (23,0-23,3)	0,57	1,75	6,4
	Dihydrogène	120-142 (8,5-10,1)	0,23	4,35	2,6
Solide	Granules de bois	16-21 (n/d)	0,46	2,17	5,1 (kWh/kg)

Bien que les valeurs présentées soient à titre indicatif, puisqu'en réalité l'efficacité moyenne dépend également du rendement des technologies de conversion, il est possible d'estimer qu'une combustion à granule de bois, par exemple, nécessite environ 2 fois le volume de stockage du diesel. Aussi, à partir du PCI, l'énergie en joules peut être convertie sous la forme de Wh (1MJ ≈ 0,278kWh), puis en considérant le volume, en densité énergétique (dernière colonne du tableau). Ceci permet d'évaluer, par exemple, qu'un litre de diesel peut libérer environ 11,2kWh, comparativement au biodiesel qui, pour la même quantité, fournit approximativement 9,6kWh.

Cela dit, il est rapidement possible de constater que la teneur énergétique du diesel est relativement élevée, ce qui peut rendre difficile le remplacement par certaines alternatives plus propres. Pour donner un ordre de grandeur ou pour aider à quantifier, le tableau suivant présente l'efficacité du diesel en termes de masse de stockage équivalente.

Tableau 2 : Masse requise pour stocker l'équivalent d'un kg de diesel (environ 11,6kWh) ^[5]

Diesel	Bois	Batteries Plomb/Acide	Hydrogène Comprimé	Masse en Mouvement	Eau en altitude	Uranium	Chaleur
1kg	2,2kg	Plus de 300kg	De 15 à 30kg de réservoir, occupant un peu moins de 30L	2 camions de 40 tonnes lancés à 116km/h	43 Tonnes d'eau pouvant effectuer 100m de chute	1mg	10°C d'élévation de la température d'une tonne d'eau ou 50°C d'élévation pour 200kg d'eau

Évidemment, il ne serait pas pratique d'emmagasiner de l'énergie cinétique en mettant en mouvement des camions lourds, seulement l'exemple démontre l'importance du niveau d'énergie contenue dans ce carburant fossile.

1.1.6 Prix des combustibles (bio vs fossile)

En plus d'une efficacité énergétique moindre et donc d'un coût de conversion de l'énergie et d'un stockage plus important pour plusieurs biocombustibles, le prix de base peut aussi être un désavantage par rapport aux combustibles fossiles. Lorsqu'il n'est pas possible d'exploiter une source d'énergie renouvelable locale, abondante et disponible naturellement, le prix des biocombustibles est généralement affecté à la hausse par des frais de transformation et de transport de la ressource, ainsi que par la considération de l'offre et de la demande. Le tableau ci-dessous relève l'écart de prix pour le diesel et le mazout fossile par rapport à leur « équivalence » bio.

Tableau 3 : Prix (\$2006) par litre du diesel/mazout fossile et biologique

Combustibles	Prix de base	Prix final (taxes incluses)
Diesel	67¢*	0,959\$ (accises 4¢ Fed, 12,4¢ RA)
Biodiesel	87¢**	1,000\$
Mazout	69¢*	0,794\$
Biomazout	89¢**	1,020\$

Source : * RNCan, mars 2006 (Québec) ; ** Rothsay

Il est à noter qu'en général le prix des biocombustibles suit la tendance du marché des carburants fossiles, parce que leur exploitation dépend, plus souvent qu'autrement, de l'usage du pétrole. Par ailleurs, pour le diesel clair, alimentant les groupes électrogènes, la taxe d'accise québécoise est moins importante en réseaux autonomes que dans les grands centres. Par exemple, pour la région de Montréal elle est d'environ 16,2¢, contrairement à 12,4¢ pour la communauté de Puvirnituk. Enfin, malgré que le mazout soit essentiellement du diesel, la coloration ajoutée pour des fins d'identification augmente légèrement son coût (approximativement 20¢ de plus).^[4]

1.1.7 Un mot sur l'hydrogène comme carburant

Avant de discuter des technologies de conversion (prochaine section), il convient d'apporter quelques précisions au sujet de l'hydrogène comme carburant. D'abord, l'hydrogène est un combustible d'intérêt pour les technologies d'énergies renouvelables. D'ailleurs plusieurs développements récents, notamment dans le domaine des transports, ont fait évoluer les technologies qui exploitent ce type de carburant (comme la pile à combustible, décrite à la section 1.2.5). Ensuite, l'appellation « hydrogènes » est souvent employée malgré qu'il s'agisse en fait de dihydrogène, lorsque constitué de 2 atomes d'hydrogène (H₂). Le dihydrogène, à proprement dit, peut être obtenu de la biomasse comme mentionné précédemment ou encore par l'électrolyse de l'eau (discuté à la section 1.3 en tant que technologie permettant le stockage d'énergie). Enfin, l'hydrogène a un avantage important sur les autres biocarburants au sens où il peut être produit et exploité sans qu'il y ait d'émission polluante ou de gaz à effet de serre.

1.2 Sommaire des technologies de conversion

Une technologie de conversion des énergies renouvelables est un système qui permet de convertir une énergie renouvelable en énergie électrique ou thermique. En fait, il s'agit du cœur du sujet ici traité, puisque ce sont ces technologies qui permettent une production d'énergie plus propre. À titre d'exemple, une éolienne est une technologie de conversion puisqu'elle transforme l'énergie cinétique du vent en électricité (le vent résultant du rayonnement solaire – voir annexe 2.1.1, figure 4). Une description détaillée des systèmes ou technologies de conversion des énergies renouvelables est présentée à cette section, sous forme de fiches.

1.2.1 Bases de calculs et sources d'information

Il est à noter que les fiches présentant les technologies de conversions sont basées sur les études effectuées par les firmes HELIOS^[4] et BBA^[3]. Les calculs pour les différentes spécifications peuvent être retrouvés à même ces études.

1.2.2 Classement des technologies

Puisque l'objectif principal de ce document est de faciliter la recherche d'alternatives aux groupes électrogènes diesel, le classement proposé présente les options sous deux angles : la source d'énergie nécessaire et le type d'énergie obtenue par la conversion (électrique ou thermique). Cette approche permet de cibler rapidement les technologies de conversion qui permettent une exploitation des gisements disponibles dans chaque région en fonction du besoin (électricité, chauffage ou climatisation).

Tableau 1 : Classement des technologies de conversion des énergies renouvelables

Sources renouvelables	Énergies exploitables	Technologies de conversion	Continuité de la production	Produit énergétique utile résultant de la conversion
Eau	Énergie potentielle	Petite hydraulique	Continue / Variable	Électrique
	Énergie cinétique	Hydrocinétique	Continue / Variable	
	Vagues	Houlomotrice	Intermittente / Variable	
	Marée	Marémotrice	Continue / Variable	
	Masse thermique ou différentiel de température selon la profondeur	Océanothermie (moteur) Océanothermie/Lacustre (thermique)	Continue / Variable	Thermique (froid/chaud)
Sol (terre)	Masse thermique	Géothermie	Continue / Variable	Thermique (froid/chaud)
Vent	Éolien	Éoliennes	Intermittente / Variable	Électrique
Soleil	Rayonnement	Solaire photovoltaïque	Intermittente / Variable	Électrique
		Solaire thermique	Intermittente / Variable	Thermique (froid/chaud)
Biomasses, biogaz et biocarburants	Combustion	Fournaises (eau/air)	Continue	Thermique (chaleur)
		Microturbines à gaz		Thermique (chaleur) et/ou électrique
		Bioréacteurs		
		Groupes électrogènes		
		Piles à combustible		
Multiples		Turbines à vapeur		

1.2.3 Continuité et variabilité du gisement et de la production


La continuité de production des technologies de conversions est étroitement liée à la continuité du gisement (source) d'énergie renouvelable. L'énergie des vagues, contrairement au biocarburant, par exemple, ne peut alimenter en continu les systèmes de conversion. Il s'agit donc d'une source intermittente. La variabilité de la production est aussi un paramètre important puisqu'elle définit, comme pour la continuité du gisement, la nécessité et le type de jumelage ou de stockage de l'énergie (voir section 1.3). Ces précisions ont donc été apportées au tableau ci-dessus. Cela dit, il est possible de constater que les productions sont en général variables parce qu'elles dépendent directement ou indirectement du vent et de l'ensoleillement (rayonnement ou saisons).

1.2.4 Remarques sur les fiches

Les technologies de conversion sont ici considérées au sens large, c'est-à-dire qu'elles sont incluses dès qu'elles permettent la transformation d'une énergie renouvelable. Ainsi, par exemple, même si un groupe électrogène est d'ordinaire lié aux carburants fossiles, il permet l'usage de biocarburant et donc d'exploiter une source d'énergie renouvelable. En ce sens, la pile à combustible (biométhane) et la microturbine (biogaz) sont aussi incluses dans la classe des technologies de conversion.

Par ailleurs, le présent ouvrage exclut les technologies de l'éolien d'une puissance supérieure à 50kW (déjà couvert par l'IREQ dans le cadre d'analyses pour le Nunavik et les IDM), ainsi que certaines variantes comme le « offshore ». Sont aussi exclue l'hydraulique de puissance moyenne et grande, puisqu'elles dépassent largement les besoins énergétiques des communautés en réseaux autonomes.

1.2.5 Fiches des technologies de conversion des énergies renouvelables

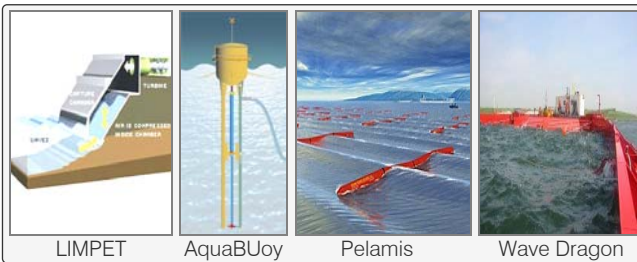
Fiche 1 : Eau > Production Électrique > Petite hydraulique							
Description							
 <p>Centrale Maquatua, Wemindji (1.1MW)</p>		<p>Les centrales hydrauliques permettent la conversion de l'énergie potentielle de l'eau en électricité. Contrairement aux grands barrages hydroélectriques, les plus petites centrales sont plus adaptées aux petites rivières et elles permettent, généralement, une exploitation sans modifications majeures des sites. Tout dépendamment de la puissance de ces centrales, elles entrent dans l'une des catégories suivantes (selon L'UNIPEDE) : Pico centrale : inférieure à 20kW ; Micro centrale : 20kW à 500kW ; Mini centrale : 500 à 2000kW ; Petite centrale : 2MW à 10MW.</p> <p>La puissance de la centrale est fonction de la hauteur de chute, de la quantité d'eau pouvant être turbinée et du rendement des installations.</p>					
Variantes de la technologie Voir aussi générateur synchrone et asynchrone, turbine à axe vertical et horizontal	Descriptions et développements						
	Avec retenue	<p>Principe : L'eau est retenue en partie dans un réservoir (petit barrage) et l'écoulement est contrôlé au besoin. Exemples/Historique : Petite centrale Adam-Cunningham, Rivière Shipshaw</p>					
	Au fil de l'eau	<p>Principe : Aucune retenue ou contrôle sur le débit naturel de la rivière. Exemples/Historique : Mini centrale Maquatua, Wemindji</p>					
	Dérivation	<p>Principe : Un canal de dérivation (bief) amène l'eau à l'endroit où elle est utilisée. Exemples/Historique : Petite centrale Chute à Magnan, Saint-Paulin, Québec</p>					
Généralités							
Statut de la technologie	Commerciale						
Coûts de production	Non spécifié (dépend cependant des conditions topographiques, géologiques et hydrologiques)						
Taille du système type							
Coût total par système							
Déplacement de diesel							
Déplacement de CO2							
Coût de revient							
Durée de vie							
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	Non spécifié				Chutes	Emplacement	Petites zones inondées
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> • Débit d'eau fluctuant selon les saisons • Le jumelage peut-être complexe sans système de contrôle de puissance 						
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie éprouvée et durable • Aucune zone d'inondation majeure, donc émanation de méthane minimisée • Installation ne nécessitant pas de modifications importantes des sites 						
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> • Projet de petite centrale à Inukjuak, Nunavik : étude de pré faisabilité disponible en 2008 						
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> • Personnel qualifié requis pour l'entretien des systèmes 						
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> • Toute autre technologie de production électrique 						

Fiche 2 : Eau > Production Électrique > Technologies hydrocinétiques

Description							
 <p>Turbines à axe horizontal</p>		<p>Turbines fixées dans un cours d'eau pour convertir l'énergie cinétique en électricité. Utilise l'énergie de l'eau qui résulte de son mouvement, contrairement au barrage hydroélectrique qui convertit l'énergie hydrostatique de l'eau résultante de sa position ou de son élévation. Les technologies hydrocinétiques permettent une production sans modifier les débits. La qualité de service obtenu dépend du cours d'eau dans lequel les systèmes sont aménagés. Très similaires aux technologies éoliennes (axe vertical ou horizontal), profil des pales, etc. L'application est sensiblement la même pour capter l'énergie d'un cours d'eau, celle des marées ou celle des aqueducs et des canaux d'irrigation. Les technologies hydrocinétiques sont aussi appelées : « in-Stream » ou « free-flow » hydropower.</p>					
Descriptions et développements							
Variantes de la technologie	Turbines à axe horizontal	<p>Principe : Voir description ci-dessus.</p> <p>Exemples/Historique : Verdant Power (Amérique) : 494 turbines de 36kW, East River, New York (exploite la marée) : actuellement 6 turbines installées pour étude d'impact (phase 2/3)</p>					
	Turbines à hélice (vertical)	<p>Principe : Même principe, mais plus adapté aux eaux peu profondes</p> <p>Exemples/Historique : Étude de Verdant Power (Canada) : Applications pour le fleuve St-Laurent</p>					
	Turbines cycloïdes (aube ou Gorvol)	<p>Principe : Même principe, mais plus adapté aux fonds de rivière, canaux d'irrigation, aqueducs et eaux peu profondes</p> <p>Exemples/Historique : Étude de Verdant Power (Canada) : Applications pour le fleuve St-Laurent</p>					
Généralités							
Statut de la technologie	Démonstration / pré-commerciale						
Coûts de production	6750 \$/kW						
Taille du système type	100 kW						
Coût total par système	675 k\$						
Déplacement de diesel	2012 L/kW/an						
Déplacement de CO2	5600 t/kW/an						
Coût de revient	10,6 ¢/kWh						
Durée de vie	25 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Impacts environnementaux toujours à l'étude (effets sur la ressource halieutique,...) Entretien peut être complexe, car infrastructure complètement submergée (sous les glaces...) Flux moins prévisibles lorsqu'appliquée à des courants de rivières et non de marées Production pouvant être variable, selon les saisons et caractéristiques du cours d'eau Coût de revient qui dépend directement de l'emplacement (site) 						
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Densité de l'eau plus importante que celle de l'air, donc générateurs nécessaires plus petits Ne nécessite aucun réservoir ou dénivellation, donc sans barrage ou ouvrage civil Exploitation aux endroits où les centrales hydroélectriques ne sont pas possibles Technologies modulaires et déplaçables Facteur d'utilisation pouvant aller jusqu'à 80% pour les installations riveraines, selon les saisons Installation discrète lorsqu'au large des côtes 						
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Coûts d'entretien et d'opération seront relativement bas (2010) L'université de New York a identifié 120 sites propices à ces technologies (étude de 2002) Nouvelle filière canadienne d'hydrocinétique pour Verdant Power 						
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Pas d'opérateur requis, mais personnel qualifié nécessaire pour les entretiens 						
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Toute autre technologie de production électrique 						

Fiche 3 : Eau > Production Électrique > Technologies houlomotrices

Description



Systèmes fixes ou flottants qui captent l'énergie des vagues. Les premiers développements se sont faits au cours des années 70. D'ici une dizaine d'années, quelques prototypes seront possiblement commercialisés. Les appareils peuvent être de deux types, soit fixes (par rapport au fond marin ou la côte) ou encore, flottants.

Variantes de la technologie	Descriptions et développements	
	Colonnes d'eau oscillantes (fixe ou flottante)	<p>Principe : Production d'énergie à partir du différentiel de pression d'air provoqué par la montée et la descente d'eau sans le système à chaque vague</p> <p>Exemples/Historique : En opération commerciale (depuis 2000) : Le LIMPET de Wavegen (2 générateurs de 250kW) – installation sur les côtes de l'île d'Islay (Écosse)</p>
	Bouée (flottant)	<p>Principe : Convertit la composante verticale de la vague en une pression qui alimente une turbine jumelée à un générateur électrique.</p> <p>Exemples/Historique : (2005) PowerBuoy d'Ocean Power Technologie : parc de 1MW pour la United States Navy, Hawaï ; (2008) AquaBUoy d'Aquaenergy : 1MW pour le réseau de Clallum County, côte Pacifique (Makah Bay)</p>
	Système Pelamis (flottant)	<p>Principe : Production à l'aide du mouvement relatif des modules suivant la vague. L'articulation entre les modules pompe l'hydraulique nécessaire au générateur</p> <p>Exemples/Historique : Pelamis d'Ocean Power Delivery (prototype 750kW), site d'Orkney Island</p>
Wave Dragon (flottant)	<p>Principe : Production hydroélectrique en emmagasinant l'eau des vagues qui submerge le système.</p> <p>Exemples/Historique : (2007) Entreprise danoise Wave Dragon</p>	

Généralités

Statut de la technologie	Pré-commerciale						
Coûts de production	6496 \$/kW						
Taille du système type	1000 kW						
Coût total par système	6,5 M\$						
Déplacement de diesel	450 L/kW/an						
Déplacement de CO2	1197 t/kW/an						
Coût de revient	43,3 ¢/kWh						
Durée de vie	20 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	0	0	0	0	Aucun	Aucune-faible	-

Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déconseillé en présence d'une couverture de glace : pas de ressource en recouvrement total ▪ Nécessite de grandes vagues à proximité des côtes donc une grande profondeur d'eau à peu de distance de la rive ▪ Idéalement une grande profondeur près de la côte ▪ Accès aux lignes de transport submergées ▪ Équipement flottant, donc entente nécessaire pour les zones de navigation et de pêche ▪ Production moins prévisible que celle des technologies marémotrices
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Technologie modulaire et déplaçable lorsque non fixé à la côte comme le LIMPET ▪ Ne nécessite aucun réservoir ou dénivellation, donc sans barrage ou ouvrage civil ▪ Installations discrètes lorsqu'au large des côtes
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quelques versions commerciales à venir (d'ici 10 ans)
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas d'opérateur requis, mais personnel qualifié nécessaire pour les entretiens
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toute autre technologie de production électrique

Fiche 4 : Eau > Production Électrique > Technologies marémotrices

Description



Turbines horizontales [39]

Appareils permettant de convertir l'énergie des courants de marée en électricité. Plusieurs approches technologiques en développement, allant des turbines d'axe vertical ou horizontal, aux hydrofoils et aux piscines tidales.

Le service obtenu permet une production prévisible, suivant une courbe sinusoïdale. Aux endroits où il y a deux marées quotidiennes, deux cycles de production sont possible pour des systèmes unidirectionnels (montée ou descente d'eau) et quatre cycles sont possibles pour des systèmes bidirectionnels (montée et descente d'eau).

Variantes de la technologie	Descriptions et développements	
	1 ^{re} génération	2 ^e génération
	Principe : Barrages estuaires avec turbines (exploite les courants de marées et de rivière)	Principes : Turbines à courant (axe vertical ou horizontal)
	Exemples/Historique : (1967) 240MW ; Rivière Rance, France (1984) 20MW ; Annapolis Royale, Nouvelle-Écosse	Exemples/Historique : ▪ Marine Current Turbines ▪ Hammerfest Storm AS ▪ Blue Energy (Canada) ▪ Clean Current (Canada)
		Appareils oscillants : ▪ Engineering Business
		Appareils flottants : ▪ SMD Hydrovision
		Murs à retenue d'eau : ▪ TidalElectric

Généralités

Statut de la technologie	Pré-commerciale (coûts indicatifs : Phase II du projet Seagen de MCT, Angleterre, 2 ^e génération)						
Coûts de production	7200 \$/kW						
Taille du système type	1000 kW						
Coût total par système	7,2 M\$						
Déplacement de diesel	1051 L/kW/an						
Déplacement de CO2	2800 t/kW/an						
Coût de revient	22,6 ¢/kWh						
Durée de vie	20 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	0	0	0	0	Aucun	Aucune - faible	-

Contraintes connues et problématiques possibles	<p>En général :</p> <ul style="list-style-type: none"> Glaces dans les zones de climat froid, problématique : entretien, systèmes en surface, etc. Production variable selon les saisons (marée relative à la position de la Lune et du Soleil) <p>1^{re} génération :</p> <ul style="list-style-type: none"> Zones de pêche, migration des poissons et navigation Modification des débits et donc des écosystèmes <p>2^e génération :</p> <ul style="list-style-type: none"> Requiert de forts courants de marée Impact de la colonisation d'organismes marins sur les mécanismes Infiltration d'eau salée dans les roulements à billes et étanchéité des mécanismes Maintenance pour les concepts submergés (solution : concept de la compagnie SeaGen) Facteur d'utilisation ne dépassant pas les 30% lorsqu'exploitant uniquement les marées
Avantages	<p>En général :</p> <ul style="list-style-type: none"> Production relativement prévisible (contrairement à l'éolien), donc contrôle et conception simple Courants d'eau = 4X densité énergétique des courants d'air, donc turbine plus petite <p>1^{re} génération :</p> <ul style="list-style-type: none"> Ressource généralement près des centres de populations Peut capter la composante cinétique d'une rivière et non seulement le courant de marée <p>2^e génération :</p> <ul style="list-style-type: none"> Technologie modulaire nécessitant peu de travaux civils d'ingénierie Installations discrètes lorsqu'au large des côtes Permet de pallier aux problèmes de navigation et de nuisances aux écosystèmes de la 1^{re} gén.
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Production mondiale de 14.8MW : principalement au Royaume-Uni (65%) et en Norvège Faible progression prévue au Canada Progression des technologies : 70% turbine à courant et 30% technologies oscillantes
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Pas d'opérateur requis, mais personnel qualifié nécessaire pour les entretiens
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Toute autre technologie de production électrique

Fiche 5 : Eau > Production Électrique > Océanothermie moteur

Description



OTEC, condenseur, Hawaii

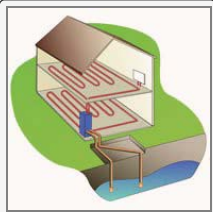
Près de la moitié de l'énergie solaire reçue sur terre est convertie en chaleur dans les eaux tropicales. Une différence de température de 20°C entre les eaux de surface et les eaux de profondeur est suffisante pour mettre en fonction un moteur thermique générant de l'électricité. Cette énergie renouvelable, appelée énergie thermique des Mers (ETM) ou Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) pourrait satisfaire la totalité des besoins énergétiques de la planète si elle était exploitée. En 1881, Jacques Arsene d'Arsonval (physicien français) a proposé le premier concept de récupération de l'énergie thermique des océans. En 1930, Georges Claude (un étudiant d'Arsonval), construit la première centrale expérimentale à Cuba.

Descriptions et développements	
Variantes de la technologie	<p>Cycle fermé</p> <p>Principe : Un système de pompes et de tuyauterie permet d'acheminer l'eau de mer chaude et froide respectivement dans un évaporateur et un condenseur. Un fluide actif ayant une température d'ébullition très faible, tel l'ammoniac, se vaporise en un gaz qui, de par son expansion, active une turbine couplée à un alternateur. À la fin du cycle, le condenseur liquéfie le gaz.</p> <p>Exemples/historique : (1979) Hawaii, Mini-OTEC expérimental permet d'alimenter en électricité l'ensemble des équipements électriques abord le navire. (1999) Le « Natural Energy Laboratory » expérimente une installation de 250kW.</p>
	<p>Circuit ouvert</p> <p>Principe : L'eau chaude de surface est contenue sous basse pression, ce qui provoque l'évaporation. La vapeur est employée pour activer une turbine. Le gaz est ensuite liquéfié par un condenseur où circule l'eau plus froide.</p> <p>Exemples/Historique : (1984) Le « Solar Energy Research Institute » Développe un évaporateur à basse pression ayant une efficacité de 97%. (1993) Keahole Point, Hawaii, Un système expérimental OTEC circuit ouvert produit 50kW.</p>
	<p>Hybride</p> <p>Principe : Dans une chambre sous vide, l'eau chaude s'évapore instantanément (principe circuit-ouvert). Toutefois, cette vapeur est utilisée pour transformer un liquide à faible température d'ébullition en un gaz dont l'expansion active une turbine (principe circuit fermé).</p> <p>Exemples/Historique : (2002) Conception d'une centrale-navire de 100MW par SEA Solar.</p>



Généralités

Statut de la technologie	Expérimentale						
Coûts de production	Non spécifié						
Taille du système type							
Coût total par système							
Déplacement de diesel							
Déplacement de CO2							
Coût de revient							
Durée de vie							
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	Non spécifié				-	-	Ammoniac ? Temp. des eaux,...?
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite des eaux profondes, eaux de surfaces chaudes et un différentiel ~20°C (optimal) > Donc, l'océanothermie moteur tel qu'expérimenté est plus adapté aux îles des tropiques Les glaces peuvent affecter les installations et complexifier l'extraction des eaux Corrosion des conduits due au sel de marin 						
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Applications diverses : climatisation (voir Océanothermiques/lacustre : fiche 6), refroidissement des sols pour la culture de végétaux dans les régions chaudes, aquaculture, récupération des minéraux de mer, désalinisation de l'eau 						
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Des chercheurs estiment qu'il serait possible de concevoir un système adapté aux climats nordiques, puisque la différence de température entre l'eau et l'air ambiante peut être supérieure à 20°C 						
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Non spécifié 						
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Possiblement avec toute autre technologie de production électrique 						

Fiche 6 : Eau+électricité > Production Thermique > Océanothermie/lacustre

Description														
 <p>Thermique lacustre^[40]</p>	<p>Il s'agit de l'utilisation de l'eau de mer ou le lac comme ressource pour un système géothermique à cycle fermé ou ouvert. Une thermopompe permet l'échange thermique entre les milieux. Les technologies océanothermiques /lacustres permettent le chauffage et/ou la climatisation. Le principe s'apparente à la géothermie avec le sol (voir géothermie du sol, fiche 7).</p> <p>Un tel système comporte trois composantes : un champ de captation, une pompe thermique (thermopompe) et un réseau de distribution.</p>													
Descriptions et développements														
Variantes de la technologie	<p>Circuits ouverts</p> <p>Principe : l'eau d'un lac, d'un océan, ou autre est acheminée dans un conduit par un système de thermopompe qui effectue aussi l'échange thermique eau-air, et donc, la climatisation ou le chauffage. L'eau est ensuite retournée par un autre conduit.</p> <p>Exemples/Historique : aucun</p>													
	<p>Circuit fermé (boucle de lac ou spirale)</p> <p>Principe : Un fluide caloporteur circule dans un circuit fermé en forme de boucle ou de spirale pour effectuer un échange thermique avec l'eau du lac, de l'océan ou autre. Un système de thermopompe assure cette circulation et l'échange thermique entre le fluide caloporteur et l'air de l'espace à chauffer ou à climatiser. Le fluide re-circule ensuite dans la boucle.</p> <p>Exemples/Historique : aucun</p>													
Généralités														
Statut de la technologie	Commerciale													
Type(s) d'installation	Système décentralisé Système centralisé													
Coûts de production	Non spécifié (possiblement similaire à la géothermie du sol, sauf pour le forage – voir fiche 7)													
Taille du système type														
Coût total par système														
Déplacement de diesel														
Déplacement de CO2														
Coût de revient	Non spécifié (possiblement similaire à la géothermie du sol, sauf pour le forage – voir fiche 7)													
Durée de vie	10 ans (si en circuit ouvert)													
Polluants et GES émis	Kg/MWh													
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CO₂</th> <th>Poussières</th> <th>NO_x</th> <th>SO₂</th> <th>Bruit</th> <th>Visuelle</th> <th>Autres</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">219</td> <td style="text-align: center;">0,08</td> <td style="text-align: center;">2,7</td> <td style="text-align: center;">0,07</td> <td style="text-align: center;">Aucun, si bien installé</td> <td style="text-align: center;">Aucune</td> <td style="text-align: center;">Questionnement sur la variation de température des lacs et les impacts sur la vie aquatique</td> </tr> </tbody> </table>	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂	Bruit	Visuelle	Autres	219	0,08	2,7	0,07	Aucun, si bien installé	Aucune
CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂	Bruit	Visuelle	Autres								
219	0,08	2,7	0,07	Aucun, si bien installé	Aucune	Questionnement sur la variation de température des lacs et les impacts sur la vie aquatique								
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Dans le cas du chauffage, le carburant épargné au brûleur est requis à la centrale thermique pour produire l'électricité nécessaire à l'alimentation de la thermopompe, donc globalement aucun gain vu le rendement des groupes électrogènes vs les thermopompes Glaciation en hiver : problématique possible avec les conduits Les systèmes à circuits ouverts peuvent présenter une dégradation de l'efficacité avec le temps à cause des accumulations dans les conduits 													
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> À une profondeur suffisante, la température de l'eau présente peu de variation au cours de l'année Les systèmes en circuit fermé ne sont pas affectés par le calcaire, les impuretés et autres minéraux présents dans l'eau et pouvant colmater, corroder ou endommager pompes et tuyauterie En régions nordiques, l'eau demeure à une température plus élevée que l'air extérieur en hivers 													
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Technologie intéressante pour les résidences, bâtiments ou autres à proximité d'un plan d'eau 													
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Pas de personnel requis pour l'opération Un entretien annuel par un technicien est recommandé 													
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Peut être jumelé à toute technologie thermique ou électrique Permet d'intégrer certains principes d'optimisation comme le chauffage urbain 													

Fiche 7 : Sol+électricité > Production Thermique > Géothermie du sol

Description	
 Bouclage horizontal ^[36]	 Vertical ^[37]
<p>Technologie exploitant la constance de la température des sols (variant évidemment selon les régions et la profondeur) ou un fluide géothermal naturellement expulsé du sol (geyser) ou obtenu par forage.</p> <p>Un système géothermique comporte trois composantes : un champ de captation ou puits, une pompe thermique (thermopompe) et un réseau de distribution, permettant la climatisation ou le chauffage d'espaces.</p>	
Descriptions et développements	
Variantes de la technologie	<p>Géothermie à usage indirect (circuit ouvert)</p> <p>Principe : lorsqu'un fluide géothermal évacue le sol (geyser naturel ou forage), la vapeur obtenue active une turbine permettant la production d'électricité. La chaude remontée en surface peut aussi être utilisée pour le chauffage. (Aussi appelé géothermie haute énergie)</p> <p>Exemples/Historique : (XXe Siècle), Larderello, Italie, première centrale géothermique de production d'électricité. (2004) Source principale d'énergie en Islande, trois centrales géothermiques fournissent ~17% de la production d'électricité et ~87% des besoins de chaleur du pays.</p>
	<p>Géothermique à usage direct (circuit fermé)</p> <p>Principe : Deux configurations sont possibles, soit un bouclage horizontal (généralement 6-7pi sous terre) ou vertical (normalement entre 125-250pi de profondeur). Un fluide caloporteur (eau/éthylène glycol, eau ou alcool) circulant dans le conduit via une thermopompe, permet un échange thermique sol-air.</p> <p>Exemples/Historique : Les premiers essais et installations de systèmes géothermiques ont eu lieu aux É-U et en Allemagne à partir de 1940.</p>
Généralités	
Statut de la technologie	Commerciale
Type(s) d'installation	Système décentralisé (maison 165m ²) Système centralisé (village nordique, 500 habitants) Sans considérer le surplus requis à la centrale thermique pour alimenter les thermopompes.*
Coûts de production	3313 \$/kW _{th} 5378 \$/kW _{th}
Taille du système type	12 kW _{th} 1400 kW _{th}
Coût total par système	39,75 k\$ (inclus syst. de distribution) 843,73 k\$ (7,53M\$ avec syst. de distribution urbain)
Déplacement de diesel	181 L/kW _{th} /an (-sup. à la centrale ≈ 0) 237 L/kW _{th} /an (- sup. à la centrale thermique ≈ 0)
Déplacement de CO2	239 t/kW _{th} /an 309 t/kW _{th} /an
Coût de revient	20 ¢/kWh _{th} 23,6 ¢/kWh _{th}
Durée de vie	50 ans
Polluants et GES émis	Kg/MWh
	CO ₂ Poussières NO _x SO ₂ Bruit Visuelle Autres
	219 0,08 2,7 0,07 Aucun, si bien installé Aucune, si conduits enfouis -
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> • Pour une géologie rocheuse et de pergélisol, le forage est plus coûteux (équipement lourd et profondeur nécessaire plus importante) • Nécessite de l'électricité pour l'alimentation de la thermopompe • (*) Pour le chauffage, la géothermie ne permet aucune économie de carburant fossile si la thermopompe est alimentée en électricité par une centrale thermique (mazout épargné correspond au carburant additionnel nécessaire pour produire l'électricité)^[4]
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacement de systèmes de chauffage d'eau et d'air au mazout et de climatisation • Le rendement des thermopompes (considérant la source de chaleur gratuite) est supérieur à 100% : produit 2.5 à 4X la chaleur en kWh qu'elle consomme en électricité^[4] • Technologie éprouvée • Les thermopompes offrent plus de confort en limitant les variations de température
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs entreprises québécoises spécialisées dans le domaine (Techno Pompes, Géothermix, etc.) • Les systèmes en boucle fermée verticale utilisant un fluide antigel sont les plus communs au Québec^[3] • Expérience des systèmes centralisés plus restreinte • Plus de 40 000 systèmes installés au Canada.^[6]
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de personnel requis pour l'opération • Entretien régulier nécessaire pour les systèmes en circuit ouvert
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> • Peut être jumelé à toute technologie thermique ou électrique • Permet d'intégrer certains principes d'optimisation comme le chauffage urbain

Fiche 8 : Vent > Production Électrique > Petites éoliennes

Description



Éolienne Proven
6kW

Éolienne Bergey
1kW

Les éoliennes sont des technologies qui permettent une conversion de l'énergie éolienne (vent) en électricité. Il existe plusieurs types, tailles et puissances d'éolienne. Les plus petites sont une gamme produisant entre 2,5 et 35kW et sont généralement assemblées sur un mât de 6,5 à 30m en treillis ou en tubulaire. Puisque leur puissance est faible, elles sont moins adaptées pour un haut taux de pénétration dans les réseaux autonomes. D'ailleurs, dans une étude de l'IREQ sur le jumelage éolien-diesel au Nunavik et aux Îles-de-la-Madeleine, seules les éoliennes de plus de 50kW ont été considérées. Cela dit, pour qu'il soit possible de jumeler de petites éoliennes à une centrale thermique au diesel, il est nécessaire que la puissance générée par les groupes électrogènes soit à tout moment nettement supérieure. Les éoliennes fonctionnent alors comme composantes passives ne peuvent affecter la fréquence du réseau isolé.

Descriptions et développements		
Variantes de la technologie	Système basique	<p>Principe : pas de multiplicateur, générateur de type aimant permanent, système d'orientation passif, contrôle de puissance de type décrochage aérodynamique passif et nécessite un convertisseur puisque fréquence et tension variable en sortie.</p> <p>Exemples/historique : Îles de Falkland, Proven Energy, 60 petites éoliennes de la d'une puissance de 3 à 4,2kW sont jumelées à de petites installations diesels</p>
	Système type «pitch»	<p>Principe : De conception danoise, elles incluent généralement un multiplicateur de vitesse et un générateur asynchrone. Le contrôle de puissance est de type « pitch » mécanique permet l'orientation des pâles et donc un contrôle sur la vitesse, ce qui permet une connexion directe au réseau.</p> <p>Exemples/historique : Voir la compagnie française Vergnet</p>

Généralités

Statut de la technologie	Commerciale						
Type(s) d'installation	Petite éolienne 18m (type pitch)			Petite éolienne 23,5m (type pitch)			
Coûts de production	4900 \$/kW			5250 \$/kW			
Taille du système type	20 kW			20 kW			
Coût total par système	98 k\$			105 k\$			
Déplacement de diesel	200 L/kW/an			222 L/kW/an			
Déplacement de CO2	531 t/kW/an			590 t/kW/an			
Coût de revient	40,6 ¢/kWh			38,5 ¢/kWh			
Durée de vie	20 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	0	0	0	0			

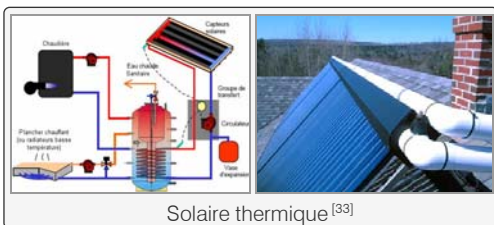
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Production annuelle varie avec le gisement éolien local De l'expérience sur les Îles de Falkland : problématiques généralement reliées à la fiabilité des convertisseurs pour la recharge des batteries Facteur d'utilisation généralement sous les 20% Moins efficaces que les grandes éoliennes par m² d'hélice, vu la faible hauteur des tours et donc de l'intensité moins importante du gisement éolien Une technologie de stockage peut être à considérer
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Permet un apport d'énergie renouvelable sur un réseau relié ou non Les petites éoliennes sont une technologie éprouvée, mais non normalisée Mécanique moins complexe que celle des grandes éoliennes Applications diverses : la recharge de batteries pour les voiliers, chalets, stations de mesures météorologiques, caméras de surveillance, le pompage d'eau dans les pays en voie de développement
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Technologie intéressante dans le cas d'une autoproduction chez les clients permettant une facturation inversée (payer pour l'économie de diesel à la centrale) Remplacement des cellules photovoltaïques pour les endroits où le gisement éolien est supérieur au gisement solaire
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Pas de technicien requis pour l'opération, mais une visite annuelle d'un technicien de service
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Toute autre source d'électricité

Fiche 9 : Soleil > Production Électrique > Solaire photovoltaïque

Description														
 Sharp	 Uni Solar													
<p>Un système photovoltaïque (PV) est composé de panneaux à semi-conducteurs qui transforment directement les rayons solaires (du moins une partie du spectre lumineux) en courant électrique continu (phénomène photoélectrique). Les cellules PV qui recouvrent ces panneaux sont des composantes électroniques généralement à base de silicium.^[3] Disponible en différentes tailles, les panneaux solaires peuvent être interconnectés (en parallèle ou en série) sur une installation fixe (comme un toit) ou sur un système permettant une modification de l'angle. Afin d'améliorer la puissance de production, des concentrateurs solaires peuvent aussi être considérés. Aussi, selon l'application, il peut être nécessaire d'ajouter aux installations PV des modules de conversion de courant (onduleurs), afin de fournir une alimentation en courant alternatif. Enfin, bien que la technologie PV existe depuis plusieurs années, l'obstacle principal demeure encore aujourd'hui le coût et la disponibilité du silicium (rareté qui a freiné la production en 2006).</p>														
Descriptions et développements														
Variantes de la technologie	<p>Silicium mono ou polycristallin (éprouvé)</p> <p>Principes : 2 approches éprouvées et largement répandues sur le marché :</p> <ul style="list-style-type: none"> Monocristallin: Conception classique. Les progrès ont permis un amincissement des cellules et une amélioration des rendements (par une plus grande concentration des matériaux actifs, l'ajout de filtres antireflet, etc.) : (1995) 300µm, η≈10% ; (2007) 150µm, η≈17% (récemment 24% avec film d'argent). Polycristallin : Permet une récupération des résidus de la manufacture des cellules monocristallines. Principe en couches fines de 15 à 30µm. Procédé économique (moins de silicium et peu de pertes à la découpe) : (2006), Sharp, η≈12 à 15% ; (2007), Mitsubishi, η≈18% 													
	<p>Couche mince au silicium (récent)</p> <p>Principes : 3 approches. La faible épaisseur permet une réduction importante des coûts :</p> <ul style="list-style-type: none"> Les cellules amorphes de 0.3 à 0.5µm, fabriquées sous vide, répondent à un spectre ≤600nm, η≈6% Les cellules microcristallines de 1 à 2µm réagissent pour un spectre ≥600nm, η≈ 6 à 7% Les cellules tandems combinent amorphe et microcristalline, sensible à un spectre plus large, η≈10% 													
	<p>Couche mince sans silicium (récent)</p> <p>Principes : Plusieurs variantes sans silicium sont possibles, dont le CIS, DSCIG et le TeCd :</p> <ul style="list-style-type: none"> Tous intègrent des métaux rares. Possibilité de récupération de l'Indium, du germanium, et du gallium à partir des fumées de combustion du pétrole et du charbon (développements futurs). (2007), panneaux CIS (cuivre Indium Sélénium), cellules de 5µm, η un peu inférieur au silicium 													
	<p>Concentrateur solaire (récent)</p> <p>Principes : Technologie de cellules multi-jonction à couches multiples permettant une amélioration notable du rendement puisque chaque étage est sensible à une partie différente du spectre lumineux :</p> <ul style="list-style-type: none"> Technologie généralement jumelée à des concentrateurs solaires, vu le coût important des cellules. (2006), Spectrolab, η≈40.7% ; (2007), Université Delaware, record à 42,8% 													
Généralités														
Statut de la technologie	Commerciale													
Type(s) d'installation	Installation résidentielle (décentralisée) Installation avec système d'orientation (centralisée)													
Coûts de production	11 800 \$/kW 10 681 \$/kW													
Taille du système type	3 kW 100 kW													
Coût total par système	35,4 k\$ 1,1 M\$													
Déplacement de diesel	322 L/kW/an 406 L/kW/an													
Déplacement de CO2	857 t/kW/an 1080 t/kW/an													
Coût de revient	117 ¢/kWh 79 ¢/kWh													
Durée de vie	40 ans													
Polluants et GES émis	Kg/MWh													
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CO₂</th> <th>Poussières</th> <th>NO_x</th> <th>SO₂</th> <th>Bruit</th> <th>Visuelle</th> <th>Autres</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Aucun</td> <td style="text-align: center;">Faible, si bien intégré</td> <td style="text-align: center;">Manufacture (base de Silicium)</td> </tr> </tbody> </table>	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂	Bruit	Visuelle	Autres	0	0	0	0	Aucun	Faible, si bien intégré
CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂	Bruit	Visuelle	Autres								
0	0	0	0	Aucun	Faible, si bien intégré	Manufacture (base de Silicium)								
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Onduleur requis pour produire du courant alternatif (remplacement à prévoir tous les 10 ans) Une technologie de stockage peut être à considérer puisque variable selon l'ensoleillement Un système de repérage peut être nécessaire pour maximiser l'orientation des panneaux vu la variation importante de l'angle du soleil dans les régions nordiques (40 à 240°) 													
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Technologie robuste, éprouvée et rependue (principalement pour le multicouche silicium) 													
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Le coût des panneaux solaires est à la baisse D'autres matériaux que silicium permettront de diminuer le coût de la technologie, tout en améliorant l'efficacité des panneaux Taille moyenne des panneaux solaires au Canada passera de 900W à 3kW^[4] 													
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Personnel requis seulement pour l'installation, le déneigement et peut être la mise en angle^[3] 													
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Toute autre technologie de production électrique 													

Fiche 10 : Soleil+électricité > Production Thermique > Solaire thermique

Description



Solaire thermique [33]

Le solaire thermique consiste généralement en l'utilisation passive du rayonnement solaire pour des fins de chauffage (de l'eau, de l'air ou du plancher). La plupart des systèmes disponibles utilisent un capteur solaire (souvent installé sur le toit) pour réchauffer un fluide caloporteur (eau, antigel, etc.) qui est ensuite acheminé vers un échangeur thermique (serpentin sur l'entrée d'eau, radiateur, plancher radian, etc.). D'autres principes sont plutôt basés sur l'échauffement direct de l'air (fenêtres, verrière, mur capteur, etc.).


Variantes de la technologie	Descriptions et développements	
	Chauffage de l'eau	<p>Principe : Nécessite un capteur solaire, un système de pompage et un échangeur thermique. Un fluide caloporteur réchauffé au niveau du capteur solaire (généralement installé sur le toit du bâtiment) transmet sa chaleur à l'eau froide entrant dans la chaudière (électrique, au gaz, etc.), permettant le chauffage ou préchauffage de l'eau.</p> <p>Exemples/historique : Voir compagnie Generation Solar</p>
	Chauffage de l'air	<p>Principe : Il existe plusieurs principes, dont l'installation de fenêtres (verrière, puits de lumière, etc.) et l'utilisation de murs capteurs (surface foncée, murs de béton parfois recouvert d'une vitre espacée) ou murs « Trombe ». Dans tous les cas, une isolation et un système de ventilation efficace sont préférables. (voir aussi radiateur solaire)</p> <p>Exemples/historique : Utilisation d'un mur chauffant (Solarwall) pour le préchauffage de l'air du système de ventilation, École secondaire d'Alaittuq, Rankin Inlet, Nunavut</p>
	Plancher et radiateur solaire	<p>Principe : Le plancher solaire direct (PSD) est généralement constitué d'une dalle de béton et d'un réseau de tuyaux où circule un fluide caloporteur qui est réchauffé par des capteurs solaires. La masse de la dalle permet de maintenir la température (s'apparente aux technologies de stockage d'énergie – voir section 1.3, principes d'optimisation). Quant au radiateur solaire, il fonctionne sous le même principe que le plancher radian, mais le fluide passe plutôt par un radiateur qui réchauffe l'air de la pièce.</p> <p>Exemples/historique : aucun</p>

Généralités

Statut de la technologie	Commerciale						
Type(s) d'installation	Installation résidentielle (chauffage de l'eau incluant la consommation électrique de la pompe)						
Coûts de production	996 \$/kW _{th}						
Taille du système type	4 kW _{th}						
Coût total par système	4000 k\$						
Déplacement de diesel	83,3 L/kW _{th} /an						
Déplacement de CO2	220 t/kW _{th} /an						
Coût de revient	25 ¢/kW _{th}						
Durée de vie	25 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	24	0,009	0,3	0,007			

Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> La pompe nécessaire pour faire circuler le fluide caloporteur nécessite de l'électricité Un contrôle biannuel du liquide antigel peut être requis La pompe doit être remplacée approximativement tous les 10 à 15 ans Mélange eau/glycol à 40/60% peut être nécessaire pour éviter le gel du fluide caloporteur
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> La technologie n'est pas intermittente, puisqu'il y a stockage de chaleur (chaudière, béton,...) Les panneaux peuvent fonctionner des températures allant jusqu'à -25°C
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> En phase de développement : la climatisation solaire utilisant une machine à absorption
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Pas de personnel requis pour l'opération, seulement pour le déneigement et le nettoyage
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Avec chaudière d'eau chaude électrique, au gaz ou au mazout (préchauffe l'entrée d'eau)

Fiche 11 : Biomasses+électricité > Production Thermique > Fournaises à granules de bois

Description							
 <p>Fournaise et chaudière à granules</p>		<p>Il existe plusieurs technologies de fournaises : les poêles à bois, les foyers et les fournaises à granules. Un chauffage central au bois ou aux granules de bois (aussi appelé granulés et pellets – généralement disponible en sacs de 18kg) produit de la chaleur suite à la combustion de la biomasse. La chaleur peut ensuite servir au chauffage de l'air ou de l'eau via un échangeur thermique. Certains systèmes intègrent aussi un chauffe-eau.</p>					
Descriptions et développements							
Variantes de la technologie	Poêle à bois ou foyer	<p>Principe : Utilise le bois comme combustible pour produire de la chaleur. Cette chaleur peut être récupérée par un système de ventilation centrale. Les poêles à bois ou foyer requièrent une cheminée supportant une température élevée. Exemples/historiques : Voir compagnie Drolet, Canada</p>					
	Fournaise à granules	<p>Principe : Le combustible sous forme de granules de bois est brûlé afin de produire de la chaleur. Cette chaleur peut être récupérée par un système de ventilation centrale. Le système ne requiert pas de cheminée, seulement dans certains cas un tuyau évent. Exemples/historique : Voir compagnie Dolet, Canada</p>					
	Fournaise-Chauffe-eau à granules ou bois	<p>Principe : Combinaison permettant aussi le chauffage de l'eau de ménage. Exemples/historique : Voir compagnie Pinnacle, Colombie-Britannique</p>					
Généralités							
Statut de la technologie	Commerciale						
Type(s) d'installation	Installation résidentielle de base (air)		Installation résidentielle avec chauffe-eau				
Coûts de production	600 \$/kW		575 \$/kW				
Taille du système type	10 kW		12 kW				
Coût total par système	6,0 k\$		6,9 k\$				
Déplacement de diesel	5127 L/kW/an		492 L/kW/an				
Déplacement de CO2	1361 t/kW/an		1309 t/kW/an				
Coût de revient	16,7 ¢/kWh		17,5 ¢/kWh				
Durée de vie	20 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	11	0,45	1,6	0,05	Similaire au chauffage au mazout	Aucune	-
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Entreposage du combustible (moyen-long terme) vs le mazout Peut nécessiter des opérations fréquentes (allumage, chargement, vidage, etc.) vs le mazout Granules parfois plus chers que le bois Électricité requise (principalement pour les fournaises à granules et systèmes de ventilation) Certains dangers liés au mauvais contrôle de soupape (système intégrant un chauffe-eau) Le bois est un combustible plus polluant que les combustibles fossiles raffinés ^[4] Lors d'une panne électrique : problème possible d'évacuation de la fumée et de chauffage La pression négative peut provoquer un refoulement des fumées (voir dispositif d'air d'appoint) Les primes d'assurance peuvent être plus élevées lorsqu'il y a chauffage au bois 						
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> L'exploitation d'une énergie renouvelable (la biomasse forestière). De plus, les granulés proviennent généralement de déchets ou de résidus de bois (valorisation) Excellent rendement : 85% (granules) ; 80% (avec chauffe-eau) ; 76% (mazout) Les fournaises à granules peuvent fonctionner avec un tuyau d'évent ou simplement avec une ventilation à l'horizontale par le mur Contrairement aux foyer et poêles (combustion du bois), les fournaises à granules ne produisent pas de créosote et sont moins polluantes 						
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Le prix des granules et du bois risque de suivre le marché des carburants fossiles (hausse). Il peut être préférable de négocier un contrat d'approvisionnement à long terme. Valorisation des cendres de bois (récupération) De nouveaux systèmes de fournaises sont automatisés (allumage, nettoyage, chargement, etc.) et offre une grande autonomie (stockage de plusieurs litres de granules) 						
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Pas de qualifications requises pour l'opération, seulement pour certains entretiens majeurs 						
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Avec toute autre technologie de production thermique 						

Fiche 12 : Biocarburant+électricité > Production Thermique > Fournaises eau/air intégrées

Description



Fornaise résidentielle

Les fournaises intégrées combinent le chauffage de l'air et de l'eau pour une plus grande efficacité énergétique. De façon générale, les fournaises sont alimentées avec de l'huile à chauffage (mazout). Ces systèmes peuvent aussi exploiter, sans modification majeure, le biomazout, un carburant de source renouvelable.

Descriptions et développements	
Variantes de la technologie	<p>Fournaises intégrées</p> <p>Principe : Un brûleur alimenté par le carburant réchauffe l'air et/ou l'eau. Le brûleur peut être actionné par un thermostat ou par celui du chauffe-eau. Le chauffage de l'air peut être fait par circulation d'eau dans des radiateurs ou par un système de ventilation (distribution à air pulsé). L'efficacité des systèmes est variable : Chauffage de l'air, $\eta \approx 76\%$; de l'eau, $\eta \approx 65\%$; système mixte, $\eta \approx 88\%$</p> <p>Exemples/historique : voir fournisseur Tirino</p>

Généralités

Statut de la technologie	Commerciale						
Type(s) d'installation	Installation résidentielle 165m ² -air/eau- Mazout			Installation résidentielle – air – Biomazout			
Coûts de production	370 \$/kW _{th}			370 \$/kW _{th}			
Taille du système type	12,4 kW _{th}			12 kW _{th}			
Coût total par système	4,4 k\$			4,4 k\$			
Déplacement de diesel	78 L/kW/an			423 L/kW/an			
Déplacement de CO2	208 t/kW/an			1126 t/kW/an			
Coût de revient	13,7 ¢/kWh			19 ¢/kWh			
Durée de vie	25 ans						
Polluants et GES émis (biomazout)	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	295 (0)	0,09 (0,07)	3,6 (4,7)	0,1 (0)	Léger - ventilation	-	-

Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> L'électricité peut être nécessaire si le système de chauffage de l'air inclut un système de ventilation pour distribuer la chaleur Le préchauffage (~60°C) du biomazout peut être requis étant donné la viscosité plus importante, principalement en climat froid La consommation en carburant est légèrement plus importante vu la plus faible teneur énergétique du biomazout Pour les fournaises plus efficaces, les émissions de gaz étant réduites, une condensation excessive peut apparaître lorsque la cheminée est sur une des parois extérieures, ce qui risque d'endommager la maçonnerie (un revêtement en acier inoxydable est alors préférable) Si la qualité de l'eau est mauvaise, une filtration peut être nécessaire, ce qui est également le cas pour les chaudières classiques Si l'eau est livrée par camion, il peut être nécessaire de surveiller le niveau d'eau du système de chauffage, et ce, afin d'éviter que des bulles d'air se propagent dans la tuyauterie et provoquent une interruption de service
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> L'entretien d'un système de chauffage intégré est moins coûteux que pour deux systèmes séparés (eau et air) Plus grande efficacité énergétique et économie d'achat
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité d'utiliser un système au biogaz (comme pour le gaz naturel ou propane)
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Service annuel par un technicien certifié, qualifications identiques aux systèmes de chauffages au mazout
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Toutes technologies résidentielles de production thermique (solaire thermique, etc.) Fonctionnement possible avec un système de chauffage urbain

Fiche 13 : Biogaz/Biocarburant > Production Thermique/Électrique > Microturbines à gaz

Description



Les microturbines à gaz sont de petites turbines alimentées principalement au gaz naturel, mais pouvant aussi fonctionner avec le kérosène, le diesel, le propane, l'éthanol, avec les gaz de torchère pétrolière et aux dérivés gazeux ou liquide de la biomasse. (d'où l'intérêt pour ces systèmes comme technologie de conversion des énergies renouvelables). Les microturbines sont des machines compactes et des générateurs à très faible émission. Ils combinent production de chaleur et d'électricité à une proportion d'environ 75 et 25 % (respectivement). Vu le ratio de production chauffage/électricité, leur utilisation est plus optimale en région nordique où les besoins en chauffage sont plus considérables.

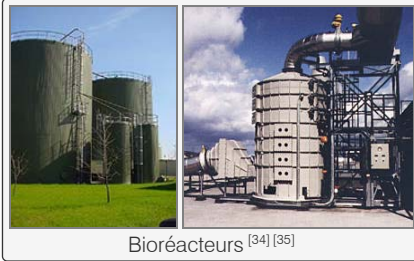
Variantes de la technologie		Descriptions et développements
	Microturbine à gaz	<p>Principe : Les microturbines sont des turbines rotatives à grande vitesse qui extraient l'énergie de l'écoulement d'un combustible. Elles sont composées d'un compresseur en amont, d'une turbine en aval ainsi que d'une chambre à combustion au centre. L'énergie est produite lorsque l'air est mélangé au combustible et brûlé dans la chambre à combustion. Les puissances disponibles pour ces systèmes varient entre 25 et 500kW. Le rendement de base est d'environ 15%.</p> <p>Exemples/historique : Commercialisée par plusieurs entreprises, dont Capstone Turbine Corporation, Bowman Power System, Elliot Energy Systems, Turbec AB et Ingersoll-Rand.</p>
	Microturbine à gaz avec récupération de chaleur	<p>Principe : Ajout d'un système de récupération de chaleur permettant l'efficacité de transformation. L'air chaud s'échappant du système est utilisé pour préchauffer l'air comprimé avant son entrée dans la chambre de combustion. Le rendement passe alors à près de 30%.</p> <p>Exemples/historique : Les récupérateurs sont devenus standard pour la plupart des manufacturiers</p>
	Avec Cogénération	<p>Principe : Utilisation de la chaleur résiduelle (gaz d'échappement) pour des fins de chauffage de l'espace, de l'eau ou encore pour des besoins de climatisation. Le principe permet un rendement global jusqu'à 85%.</p> <p>Exemples/historique : Le Chesapeake Building de l'Université du Maryland (cogénération permettant la climatisation et le chauffage)</p>

Généralités

Statut de la technologie	Commerciale						
Type(s) d'installation	Installation avec récupération standard			Installation avec système de cogénération			
Coûts de production	1967 \$/kW			2217 \$/kW			
Taille du système type	30 kW			30 kW			
Coût total par système	59-66 k\$			59-66 k\$			
Déplacement de diesel	-272 L/kW/an			1017 L/kW/an			
Déplacement de CO2	-700 t/kW/an			2700 t/kW/an			
Coût de revient	46,7 ¢/kWh			22,6 ¢/kWh			
Durée de vie	20 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	800	0?	0,9	0?	65dB@10m	Faible-nulle, si bien disposée	Aucune vibration
Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Disponible commercialement pour du diesel no.2, mais une filtration préalable du combustible est préférable pour éviter tout problème de particules Faible rendement si la cogénération est exclue (<30%) L'installation (selon l'emplacement) peut représenter 30 à 50% de la facture totale Intervalles entre les entretiens entre 5000 et 8000 heures 						
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Système permettant simultanément chauffage et électricité Capacité de suivre la charge supérieure aux groupes électrogènes (stabilité et fiabilité réseau) Peuvent être utilisés comme puissance d'appoint lors d'interruption de service et les pointes Permet de réduire les variations de la fréquence, les tensions transitoires et autres perturbations 						
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Récupération des gaz d'enfouissement pour la production d'électricité (Spring Valley, Californie) Microturbine à l'hydrogène (vs la pile à hydrogène) 						
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Une formation peut être requise pour l'opération (généralement un système avec logiciel) 						
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Avec toute autre technologie de production électrique ou thermique 						

Fiche 14 : Biomasses+électricité+eau > Production Thermique/Électrique > Bioréacteurs

Description



Bioréacteurs [34] [35]

Les bioréacteurs aussi appelés digesteurs ou méthaniseurs transforment les biomasses en un biogaz (principalement le méthane), puis en une énergie utile. La transformation repose sur l'action des bactéries accélérant le processus de décomposition et permettant une méthanisation, le méthane devenant la source d'alimentation du réacteur produisant de la chaleur et de l'électricité. Tout comme pour les microturbines à gaz, une quantité plus importante de chaleur est produite que d'électricité. Cependant, la cogénération peut considérablement améliorer l'efficacité globale de tels systèmes.

Estimation de la production (basée sur le plus compact des bioréacteurs) [4]

Population	Ressources*	Méthanisation	Méthane résultant	Production (+cogénération)
1000 habitants	350t/an ou 0,04t/h	438m³/t	17,5m³/h	35kW (50kW)

*Considérant les déchets domestiques et les boues septiques

Descriptions et développements	
Variantes de la technologie	<p>Bioréacteur</p> <p>Principe : Le système est initialement chargé avec de la biomasse sèche. Un mélange d'eau et de bactéries spécifiques (méthanogènes) est ensuite ajouté. Le bioréacteur thermiquement isolé maintient la température du mélange (boue) entre 30 et 55°C, afin de favoriser la méthanisation (traitement anaérobie ou aérobie). La quantité de méthane obtenue est principalement fonction de la quantité et du type de biomasse et de bactéries ainsi que de la durée du processus.</p> <p>Exemples/historique : Les systèmes plus récents incorporent des bassins en acier, remplaçant ceux en béton, permettent une durée de vie supérieure des installations (30 ans au lieu de 15 ans).</p> <p>(2006) Un nouveau bioréacteur développé à Calgary alterne entre le traitement anaérobie et aérobie pour obtenir une plus grande quantité de biogaz.</p>
	<p>Avec Cogénération</p> <p>Principe : Utilisation de la chaleur résiduelle pour des fins de chauffage de l'espace ou d'eau. Puisque les bioréacteurs sont généralement des systèmes centralisés, un chauffage urbain peut être à considérer. Le principe permet une amélioration du rendement global d'environ 50%.</p> <p>Exemples/historique : aucun</p>

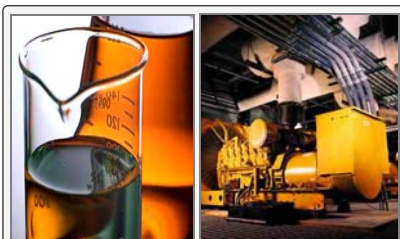
Généralités

Statut de la technologie	Commerciale						
Type(s) d'installation	Installation centralisée (pour bioréacteur le plus compact : 100m³, requiert 12m³/mois de matière)						
Coûts de production	10,2 k\$/kW						
Taille du système type	35 kW (avec cogénération : possibilité de 50kW – non considéré ici)						
Coût total par système	192,4 k\$ (unité centrale)		357,2 k\$ (avec distribution de chaleur)				
Déplacement de diesel	3090 L/kW/an						
Déplacement de CO2	8218 t/kW/an						
Coût de revient	20 ¢/kWh						
Durée de vie	30 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	0	~0	0,02	0,001	Aucune nuisance	Similaire à une centrale diesel	-

Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Adéquat pour une production d'énergie de base (non conçu pour répondre aux pointes) Il se peut qu'une faible quantité de méthane se dégage des résidus, sous l'action des bactéries Les frais de base (en région) pour l'installation d'un bioréacteur sont estimés à 15% de son coût Une fondation en béton est généralement requise Dans les régions nordiques, le compost produit ne peut être récupéré pour l'agriculture
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Les bioréacteurs produisent un compost qui peut être récupéré pour les jardins et l'agriculture Si la température interne est maintenue, les bactéries peuvent survivre à une interruption de 90jrs
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle possible du bioréacteur via Internet Récupération du méthane provenant des sites d'enfouissement (GES évités)
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Formation requise pour l'opération, mais peu de qualifications sont nécessaires Employé requis à temps partiel peut être nécessaire pour assurer le bon fonctionnement Technicien spécialisé requis une fois par an pour l'entretien
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Avec toute technologie de production électrique et thermique centralisée + chauffage urbain

Fiche 15 : Biocarburant > Production Thermique/Électrique > Groupes électrogènes

Description



Groupes électrogènes au biodiesel

Le biodiesel produit entre autres des graisses ou d'huiles végétales offre une solution de remplacement au diesel de source fossile. Puisque les biocarburants sont de natures renouvelables, les groupes électrogènes peuvent aussi servir (sans modifications majeures) de système de conversion des énergies renouvelables. Cependant, comme la plupart des systèmes impliquant un processus de combustion, la conversion ne se fait pas sans produire d'émissions polluantes, quoique généralement moins importantes, sauf pour la composante NOx. En effet, le problème des oxydes d'azote apparaît lorsqu'il y a présence d'oxygène à température élevée, par ailleurs nécessaire à un bon rendement. Les émissions de ce type s'avèrent donc une problématique difficile à résoudre.

Variantes de la technologie		Descriptions et développements	
		Groupes électrogènes au biodiesel	<p>Principe : Fonctionnement identique aux groupes électrogènes au diesel. Seul un système de préchauffage du biodiesel peut être requis pour diminuer au besoin la viscosité du carburant. Le biocarburant peut aussi être mélangé à du diesel fossile selon un ratio de 20/80 (standard au Canada), toutefois la combustion produit des émissions plus polluantes.</p> <p>Exemples/historique : Voir les compagnies Caterpillar et Cummins ; (2007) CAT, Bio Power - Cat® C18 Marine Engines pour Biodiesel B30 (30%)</p>

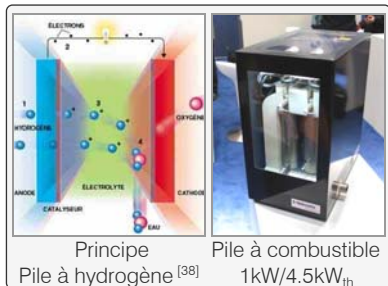
Généralités

Statut de la technologie	Commerciale						
Type(s) d'installation	Installation centralisée						
Coûts de production	1925 \$/kW _{el}						
Taille du système type	1000 kW						
Coût total par système	1925 k\$ (unité centrale)						
Déplacement de diesel	1971 L/kW/an						
Déplacement de CO2	5243 t/kW/an						
Coût de revient	44 ¢/kWh						
Durée de vie	10 ans						
Polluants et GES émis	Kg/MWh				Bruit	Visuelle	Autres
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂			
	0	0,2	11	0	Idem au système diesel	Idem à une centrale diesel	Odeurs

Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> La viscosité du biodiesel augmente avec le climat froid La densité du biodiesel étant plus élevée, un système de préchauffage peut être nécessaire Consommation légèrement supérieure des groupes vu la plus faible teneur des biocarburants > Rendement des groupes électrogènes plus faible lorsqu'ils fonctionnent au biocarburant Le facteur de charge sur les groupes doit respecter la plage 30 à 90% de la puissance nominale Le mélange biodiesel et méthanol de source non renouvelable produit des émissions de CO2 La combustion du biodiesel émet davantage de NOx que le diesel de source fossile Disponibilité des huiles végétales (usagées ou non) limitée dans les régions nordiques Restrictions possibles chez les fabricants, limitant à un mélange avec le diesel fossile (30% max.)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Appart d'énergie renouvelable à partir d'une technologie largement exploitée, et ce, sans trop de modifications des systèmes en place L'usage du biodiesel permet de réduire les émissions de poussières de 30% et de CO₂ ~100% À faible concentration le biodiesel peut réduire l'usure mécanique, puisque plus lubrifiant que les carburants de type fossile (agit comme un additif)
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> (2005) Usine Rothsay Biodiesel de Sainte-Catherine, au sud de Montréal, recycle les résidus de l'industrie alimentaire (huiles usées et restes de boucheries) pour en faire du carburant: 35ML/an
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Personnel qualifié requis pour l'entretien des groupes Un opérateur formé ou une automatisation est nécessaire
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Avec toute technologie de production électrique/thermique (idéalement contrôlée en puissance) Possibilité de cogénération et de chauffage urbain

Fiche 16 : Biogaz/Hydrogène > Production Thermique/Électrique > Piles à combustible

Description



Les premiers prototypes de piles à combustible datent des années 1960. Le principe permet la conversion directe en énergie électrique et thermique d'un gaz comme l'hydrogène, et ce, à partir d'une réaction chimique d'oxydoréduction. Il s'agit d'une réaction qui s'apparente à l'électrolyse, mais inversée. Puisque l'énergie est obtenue par combustion électrochimique, contrairement à la microturbine, la conversion s'effectue sans émettre de polluant (NOx, CO2, etc.) et permet plus d'efficacité quant à la production d'électricité. Par contre, étant donné que le processus s'effectue à basse température, il ne convient pas à tous les carburants, par exemple les carbonés (essence, etc.) qui sont trop peu réactifs sous ces conditions. Enfin, il existe bon nombre de variantes de cette technologie. La plupart sont toujours en phase de développement.

Variantes de la technologie	Descriptions et développements	
	AFC (Plus commun)	<p>Principe : (Alkaline Fuel Cell) – La cathode est chargée en oxygène (ou en l'air) et l'anode est chargée en hydrogène. La combustion électrochimique contrôlée produit simultanément de l'électricité, de l'eau et de la chaleur. Commerciale/Développement – dihydrogène et dioxygène – T°C d'opération 60 à 90°C – puissances de 10 à 100kW – $\eta \approx 60\%$</p> <p>Exemples/Historique : Applications de transports. Principe le moins coûteux.</p>
	PEMFC	(Polymer Exchange Membran) Commerciale/Dev. – H2 et O2 – T(°C) d'opération 60 à 100°C – P(W): 0.1 à 500kW – $\eta \approx 30-50\%$ – Vise les applications stationnaires, portables et de transport
	DMFC	(Direct Methanol) Commerciale/Dev. – méthanol et O2 – T(°C) d'opération 90 à 120°C – P(W): mW à 100kW – $\eta \approx 20$ à 30% – Vise les applications stationnaires et de transports
	PAFC	(Phosphoric Acid) Développement – dihydrogène et dioxygène – T(°C) d'opération ~200°C – P(W): jusqu'à 10MW – $\eta \approx 40\%$ – Vise les applications stationnaires et de transports
	MCFC	(Molten Carbonate) Dev./Mise en marché – H2/Méthane/Gaz de synthèse et dioxygène – T(°C) d'opération ~650°C – P(W): jusqu'à 100MW – $\eta \approx 47\%$ – Vise les applications stationnaires
	SOFC	(Solid Oxid) Développement – dihydrogène/Méthane/Gaz de synthèse et dioxygène – T(°C) d'opération ~1000°C – P(W): jusqu'à 100MW – $\eta \approx 60\%$ – Vise les applications stationnaires

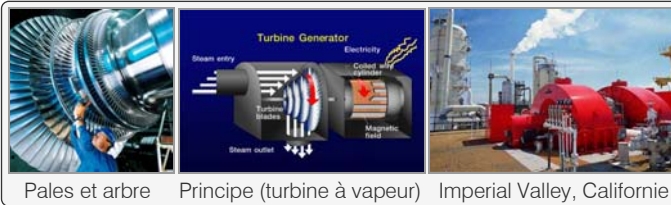
Généralités

Statut de la technologie	Commerciale			
Type(s) d'installation	Industriel sans cogénération	Décentralisé avec cogénération	Centralisé avec cogénération	
Coûts de production	45,5 k\$/kW	78,7 k\$/kW	50,9 k\$/kW	
Taille du système type	200 kW	1 kW	200 kW	
Coût total par système	9,1 k\$	78,7 k\$	9,24 M\$/ 10,2 M\$ (+distribution)	
Déplacement de diesel	2234 L/kW/an	2098 L/kW/an	3452 L/kW/an	
Déplacement de CO2	5942 t/kW/an	7737 t/kW/an	9182 t/kW/an	
Coût de revient	61,5 ¢/kWh	64 ¢/kWh	100 ¢/kWh	
Durée de vie	8 ans			
Polluants et GES émis	Kg/MWh			
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂
	0	0	0	0
	Aucune nuisance		Visuelle	Autres
			Dépend de l'emplacement	-

Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> Encore aujourd'hui une option dispendieuse qui n'a pas atteint sa maturité technologique La garantie du fabricant ne s'étend que sur 2000hrs d'opération (et une durée de vie ~13000hrs) Le stockage et l'usage de l'hydrogène à des fins résidentielles non accepté (fuites, explosion,...) Ne peut servir à fournir l'électricité lors de pointes de consommation (énergie de base) La puissance des piles à hydrogène varie entre 1kW et 250kW (modèles commerciaux) L'hydrogène cause de la corrosion dans les réservoirs et tuyaux en métal (toutefois contrôlable) Puisqu'il s'agit d'une pile, un onduleur est requis pour produire du courant alternatif
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Rendement supérieur qu'une turbine pour produire de l'électricité (50% vs 30%) Système de taille résidentielle et industrielle disponibles Possibilité de combiner plusieurs piles à combustible et d'augmenter la puissance totale L'utilisation de la chaleur dégagée des piles (cogénération) permet une efficacité ~85%
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> La pile à hydrogène offre plus de performance que les autres variantes de la technologie Avenir pour la stabilisation de l'énergie de sources intermittentes comme l'éolien Fortement lié au développement des technologies de stockage et de production de l'hydrogène
Qualification / Personnel	Le service requiert du personnel qualifié
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Idéalement avec les technologies de production électrique ayant des surplus d'énergie à stocker Pour les systèmes centralisés, considérer la cogénération et le chauffage urbain

Fiche 17 : Combustion > Production Thermique/Électrique > Turbines à vapeur (air/gaz)

Description



Pales et arbre Principe (turbine à vapeur) Imperial Valley, Californie

Les turbines se retrouvent au cœur de plusieurs technologies de conversion d'énergie, dont les centrales hydroélectriques. Les turbines à vapeur, comme pour celles à gaz et à air comprimé, ont trois composantes majeures : un rotor à ailettes (pales ou hélices), un arbre de transmission et un générateur (ou moteur, pompe, etc.). Le principe des turbines est basé sur la transformation d'une force linéaire (jet, pression ou expansion d'un fluide) en une rotation sur un axe (couple/torque).

Descriptions et développements	
Variantes de la technologie Le principe est analogue aux turbines hydroélectriques, cependant les pales sont adaptées à un fluide moins dense : surfaces plus nombreuses et plus petites, forme différente, etc.	Turbine à vapeur (moteur, pompe ou générateur thermique) Principe : La turbine est alimentée par une source de chaleur externe. La chaleur est utilisée pour transformer un fluide (généralement de l'eau) à l'état de vapeur surchauffée (très faible densité). En prenant de l'expansion, la force mécanique de la vapeur fait tourner la turbine. À la fin du cycle, la vapeur peut être condensée (liquéfié) en vue d'être réutilisée. Exemples/Historique : Centrales nucléaires, centrale géothermique - geyser telle que celle d'Imperial Valley, Californie ou celle de Cerro Prieto, Mexico
	Turbine à air comprimé Principe : La pression de l'air comprimé peut directement mettre en mouvement la turbine ou encore, l'air peut être injecté dans le mélange gazeux d'une turbine à gaz pour augmenter l'efficacité de l'explosion interne. Exemples/Historique : Voir technologie LIMPET, fiche 3, section 1.2
	Turbine à gaz Principe : Même principe que la microturbine décrit à la fiche 13. Seulement, la taille et la puissance sont plus importantes. Peut-être alimenté par le biogaz, le gaz naturel, etc. Exemples/Historique : Valorisation du biogaz

Généralités

Statut de la technologie	Commerciale						
Coûts de production	Non spécifié						
Taille du système type							
Coût total par système							
Déplacement de diesel							
Déplacement de CO2							
Coût de revient							
Durée de vie							
Polluants et GES émis	Kg/MWh						
	CO ₂	Poussières	NO _x	SO ₂	Bruit	Visuelle	Autres
	Davantage pour la turbine à gaz				Peut être nuisible	Emplacement	Vapeur d'eau - GES

Contraintes connues et problématiques possibles	<ul style="list-style-type: none"> La construction des turbines est couteuse (matériaux, manufacture, etc.) Afin d'éviter d'endommager mécaniquement la turbine et les conduits, le démarrage doit être progressif pour réchauffer progressivement les matériaux des composantes La pression du fluide ou la vitesse de rotation de la turbine doit être contrôlée afin d'éviter les bris mécaniques et permettre une fréquence électrique stable à la sortie du générateur (par exemple 1800rpm pour 60hz, avec un générateur 4-pôles)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Lorsque la chaleur provient d'un autre système de production (récupération des pertes thermiques, le rendement global est amélioré Pour les turbines à vapeur, aucune émission polluante (mais GES? – voir annexe 2.1.2) L'énergie dégagée par la condensation de la vapeur (à la sortie de la turbine) peut être récupérée dans un processus de trigénération (voir fiche 1, section 1.3) ou dans un échangeur thermique afin d'améliorer le rendement de la turbine en échauffant davantage le fluide entrant
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Application des principes de turbine pour les éoliennes (voir technologie Storm blade turbine) Utilisation de turbine à vapeur à partir d'une installation géothermique Récupération de la chaleur des gaz d'échappement de groupes électrogènes en vue de produire de l'électricité (cogénération)
Qualification / Personnel	<ul style="list-style-type: none"> Personnel qualifié requis pour l'entretien, mais possibilité de systèmes entièrement automatisés
Jumelage	<ul style="list-style-type: none"> Avec toute technologie de production électrique et thermique Peut d'insérer dans un processus de cogénération ou de restitution d'une énergie stockée (air)

1.3 Technologies et principes d'optimisation

L'objectif des technologies et principes d'optimisation est de permettre une plus grande efficacité énergétique des systèmes de conversion présentés précédemment. À titre d'exemple, la récupération de chaleur de groupes électrogènes pour des fins de chauffage améliore le rendement global. En effet, sans augmenter la consommation des groupes, une plus grande portion de l'énergie produite est utilisée, ce qui rend plus efficient le processus de conversion (principe de cogénération). Les technologies ou principes d'optimisation peuvent aussi servir à emmagasiner les surplus d'énergie (stockage), à combiner certains systèmes (jumelage) et à centraliser ou décentraliser une production.

1.3.1 Bases de calculs et sources d'information

Il est à noter que les fiches présentant les technologies d'optimisation basées sur les études effectuées par les firmes HELIOS et BBA. Les calculs pour les différentes spécifications (rendements, etc.) peuvent être retrouvés à même ces études.

1.3.2 Fiche synthèse sur la cogénération

Fiche 1 : Cogénération	
Description	
Principe	La cogénération est une technique de production combinée d'électricité et de chauffage (voire éventuellement dans certains cas : du froid – connue sous le terme de trigénération) permettant un excellent rendement énergétique. La cogénération vise principalement les technologies de conversion qui implique la combustion dont la chaleur peut être récupérée (fournaies, microturbines à gaz, bioréacteurs, groupes électrogènes et piles à combustible).
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 20px;"> <p>La quasi-totalité du pourcentage de l'énergie qui ne participe pas au rendement des moteurs, des turbines et des piles à combustible est évacuée sous forme de chaleur. Cette énergie récupérée peut elle-même devenir la source d'une production électrique et thermique.</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Figure 1 : Exemple de cogénération [7]</p> </div> </div>
Rendements	<ul style="list-style-type: none"> Un système exploitant se principe permet un rendement en généralement compris entre 80% et 90% et dans les applications industrielles les plus pointues, il peut atteindre et parfois dépasser 95%.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Récupérer la chaleur dégagée par la combustion alors que dans le cas de la production électrique classique, cette chaleur est perdue^[8] Une installation de cogénération correctement conçue permet d'offrir un rendement supérieur à n'importe quelle chaudière classique, et fait partie des techniques les plus efficaces énergétiquement pour l'utilisation des énergies fossiles et renouvelables
Applications (exemples)	<ul style="list-style-type: none"> Du système d'échappement des gaz ou de refroidissement du bloc moteur d'une centrale diesel, la chaleur est récupérée à travers un échangeur thermique afin de produire de l'électricité à l'aide de turbines à vapeur et pour le chauffage de la centrale, des bâtiments et des installations à proximité. Une centrale de traitement des eaux usées utilise les gaz de fermentation des matières organiques (biogaz composés de méthane et de dioxyde de carbone), contient environ 60 % de la valeur énergétique du gaz naturel, afin de produire de l'électricité et le chauffage dont elle a besoin et même des édifices connexes. La cogénération est effectuée à l'aide de génératrices à gaz et de système d'échangeurs thermiques récupérant la chaleur des échappements et des blocs moteurs des génératrices (principe utilisé à Ottawa – Centre environnemental Robert O. Pickard) Une usine utilise la cogénération en cycle combiné en récupérant les gaz pour faire fonctionner une turbine à gaz qui à son tour permet le fonctionnement d'une turbine à vapeur. L'alimentation de la deuxième turbine est assurée par un système de récupération de chaleur puisant l'énergie thermique de la première turbine.
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> La cogénération peut nécessiter un réaménagement coûteux des installations existantes.

1.3.3 Fiches synthèses sur le stockage

Les technologies de stockages, au sens applicable au présent contexte, sont des systèmes et principes qui permettent le maintien ou la production temporaire d'énergie électrique ou thermique. Idéalement, l'énergie stockée doit provenir d'un excédent de production, ce qui permet d'éviter des pertes et de stocker de l'énergie gratuite, parce qu'autrement perdue. D'ailleurs, lorsque la production à partir d'énergie renouvelable excède la demande, l'énergie excédentaire est généralement dissipée dans l'atmosphère sous forme de chaleur (« dump loads ») et dans certains cas de jumelage éolien-diesel, par exemple, les pertes d'énergies peuvent atteindre jusqu'à 25% de la production éolienne ^[4].

Cela dit, le type de stockage optimal est intimement lié à la nature de l'application et au type de production. Un petit système dans un site isolé nécessitera de stocker une énergie de quelques dizaines de Wh et une grande centrale nécessitera un stockage de plusieurs MWh. Par conséquent, les technologies de stockage répondant aux critères techniques et économiques seront nécessairement de types différents. Il existe de nombreuses technologies, mais la comparaison entre elles est rendue difficile, entre autres raisons, par la variété de leur degré de maturité. ^[9]

Pour l'organisation des fiches sur les solutions de stockage, plusieurs classifications sont envisageables. Toutefois, d'un point de vue pratique pour les réseaux isolés, il semble plus adéquat de regrouper ces technologies selon leur autonomie (capacité). Les variantes du stockage sont ici considérées à court-moyen terme lorsqu'elles servent habituellement à compenser des irrégularités réseaux (court) ou à alimenter de faibles charges pour une période donnée (moyenne). Quant aux options de stockage classées pour le moyen-long terme, elles permettent davantage de compenser pour l'intermittence des technologies de conversion des énergies renouvelables (comme le solaire et l'éolien) et d'alimenter des charges plus importantes (petites communautés, installations majeures, etc.). Le tableau qui suit présente les principales solutions de stockage selon la classe d'autonomie à laquelle elles appartiennent.

Tableau 1 : Classement des technologies et principes de stockage

Autonomie possible (Capacité de stockage)	Technologie/principe de stockage	Forme de stockage	Énergie utile
Moyen-Long terme	Eau (énergie potentielle – pompage dans un réservoir)	Intrant à une technologie conversion	Dépend de la technologie de conversion
	Combustible (production d'hydrogène - électrolyse)		
	Gaz (compression d'air)		
	Demande différable ou optionnelle		
Court-Moyen terme	Masse/réservoir thermique (solide/liquide)	Directe/utile	Thermique
	Hypercondensateurs		Électrique
	Volant d'inertie		

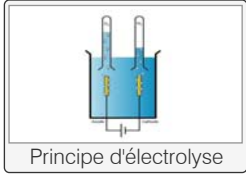
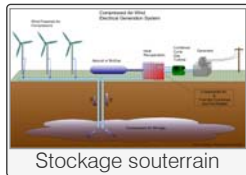
Il est à noter que la forme de stockage et d'énergie correspondante est aussi précisée, parce que certaines options nécessitent une technologie de conversion pour transformer ses réserves en une énergie utile (électrique et thermique) alors que d'autres permettent d'emmagasiner sous une forme directement exploitable.

Enfin, les fiches présentées à cette section excluent certaines technologies de stockage qui peuvent être ajoutées au besoin. Parmi les solutions récentes :

Tableau 2 : Autres technologies de stockage d'intérêt

Technologies	Compagnies	Applications
Batterie Redox au vanadium	VFuel Pty, Cellenium, RE-Fuel, VRB Power Systems, Pinnacle VRB	Stockage pour l'éolien et technologies solaires, alimentation en réseaux isolés et rendement des groupes électrogènes, systèmes d'urgence, source ponctuelle en réponse aux pointes de consommation, etc.

Fiche 2a : Stockage pour autonomie « moyen-long terme »

Production d'hydrogène			
Principe	L'électricité sépare les composantes de la molécule d'eau (H ₂ O) en dihydrogène (H ₂) et dioxygène (O ₂). Le dihydrogène est produit à une pression d'environ 25bar pour être ensuite compressé davantage et stocké dans un réservoir.		 <p>Principe d'électrolyse</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Production d'un carburant propre, disponibilité de l'eau 		
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> L'hydrogène=explosif, remplacement périodique d'électrodes 		
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> La production de 1kg d'hydrogène nécessite 65kWh d'électricité ($\eta \approx 60\%$) Électrolyse avec reconversion en électricité, $\eta \approx 30\%$ 		
Applications	<ul style="list-style-type: none"> À petite échelle, le stockage gazeux plus économique que liquide (1999) Étude NREL pour les réseaux autonomes d'Alaska 		
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> Dépend du réservoir, de la pression, de l'état de l'hydrogène (liquide, gazeux et même solide) > Puissance fonction du rendement de la technologie de reconversion 		
Reconversion	<ul style="list-style-type: none"> Pile à combustible (idéalement avec cogénération) Combustion directe (peu considérée vu l'efficacité des technologies de stockage de chaleur) 		
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Approche de plus en plus considérée et développements continuels (voir méthode Stanley Meyer [$\eta X17$]) Électrolyseur produisant à une pression de 200bar bientôt disponible (plus de compresseur requis) 		
Spécifications	Polluants et GES	Aucun	
	Statut de la technologie	Commerciale	Développement / Commerciale
	Type(s) d'installation	Électrolyseur	Stockage
	Coûts de production	2,5 k\$/kW	286\$/kg d'hydrogène
	Taille du système type	Non spécifié	Non spécifié
	Coût total par système		
	Déplacement de diesel		
	Déplacement de CO ₂		
Coût de revient			
Durée de vie	10 ans	20 ans	
Air comprimé			
Principe	De l'air est comprimé dans un réservoir géologique, métallique ou dans une tuyauterie souterraine. Lorsque nécessaire, l'air est décomprimé directement par une turbine à air ou est injecté dans le mélange combustible d'une microturbine.		 <p>Stockage souterrain</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Omniprésence de l'air, réservoir peu coûteux (géologiques) 		
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Installations souterraines ou géologiques vs pergélisol et roc 		
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> Le refroidissement et l'augmentation de l'humidité dans l'air améliorer le rendement Récupération de la chaleur possible pendant le processus de compression 		
Applications	<ul style="list-style-type: none"> (1978) Centrale Huntorf, 310000m³@43-70bar; $\eta \approx 42\%$, stockage 2h@60MW, produit 3h@290MW (1991) Centrale McIntosh, Alabama, 110MW, 300000m³@45-77bar, $\eta > 42\%$ avec cogénération 		
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> Dépend du réservoir, de la pression, de l'humidité et de la température de l'air comprimé > Puissance fonction du rendement (turbine, microturbine, etc.) 		
Reconversion	<ul style="list-style-type: none"> Turbine à air (idéalement avec cogénération) Mélange avec le combustible avant injection dans une turbine à gaz ou une microturbine (rendement X 3) 		
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> (2007+) Iowa Stored Energy Plant, Stockage pour l'éolien, nappes aquifères comme réservoir de 264MW Secteur automobile (développement) 		
Spécifications Système type : 3000kWh, compression dans une tuyauterie souterraine	Polluants et GES	Aucun	
	Statut de la technologie	Pré-commerciale / Commerciale pour stockage dans une structure géologique	
	Type(s) d'installation	Centralisée sans cogénération	Centralisé avec cogénération
	Coûts de production	13,3 k\$/kW	13,5 k\$/kW
	Taille du système type	30 kW	30 kW
	Coût total par système	397,5 k\$	405 k\$
	Déplacement de diesel	1148 L/kW/an	1410 L/kW/an
	Déplacement de CO ₂	3100 t/kW/an	3700 t/kW/an
Coût de revient	37,3 ¢/kWh	33,7 ¢/kWh	
Durée de vie	20 ans		



Fiche 2a : Stockage pour autonomie « moyen-long terme » (suite)

Pompage hydraulique (station de pompage-turbinage)		
Principe	De l'eau (lac, rivière, mer, etc.) est pompée dans un réservoir situé à un niveau plus élevé que la source, permettant un stockage sous forme d'énergie potentielle. L'eau est ensuite turbinée au besoin en suivant le trajet inverse.	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Éprouvé, largement utilisé, densité de l'eau plus élevée que celle de l'air 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Dénivellation ou volume requis, problématiques environnementales 	
 <p>Système à eau de mer, Japon</p>		
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> Dépend des formations géologiques (plateaux, mont, etc.) Interrogation sur le rendement lorsqu'utilisant l'eau de mer (marées > pression > écoulement...) 	
Applications	<ul style="list-style-type: none"> Plus de 19,5GW d'accumulateur aux États-Unis et 32Gw en Europe (plus de 300 installations dans le monde) (1999) Île d'Okinawa, Japon, eau de mer, 30MW, conduites anticorrosive, $\eta \approx 75\%$, dénivelé 136m, 564000m³ 	
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> Dépend du réservoir Puissance fonction du rendement des turbines, de la canalisation, de la dénivellation, différentiel de pression 	
Reconversion	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation possible de pompes et turbines (turbines pour la production électrique) Turbines bidirectionnelles (pas de pompe requis pour remplir le réservoir ou bassin) 	
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Eau de mer comme bassin inférieur : applications pour les communautés côtières (en développement) Infrastructures pouvant être coûteuses, surtout en région nordique (transport de machineries lourdes, etc.) 	
Spécifications Système type : Eau douce	Polluants et GES	Interrogation sur les impacts environnementaux (vie marine, eau salée, zone inondée)
	Statut de la technologie	Commerciale (eau douce) / Démonstration (eau de mer)
	Type(s) d'installation	Centralisée (Considérant le pompage d'eau de mer ; projet d'Okinawa au Japon)
	Coûts de production	8,36 k\$/kW
	Taille du système type	300 kW
	Coût total par système	2,5 M\$
	Déplacement de diesel	1971 L/kW/an
	Déplacement de CO2	5243 t/kW/an
	Coût de revient	12,9 ¢/kWh
Durée de vie	50 ans	
Demande différable et optionnelle		
Principes	<ul style="list-style-type: none"> Demande différable : Principe qui consiste à alimenter des charges dont la consommation peut être différée dans le temps (retardée – parfois de plusieurs jours) Demande optionnelle : Principe qui consiste à alimenter (avec l'électricité excédentaire) des charges dont l'alimentation est déjà assurée par une source d'énergie plus économique 	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Aucune infrastructure et installation additionnelle requise pour la demande différable Permettent une réduction des pointes d'énergies Peuvent minimiser la puissance des installations de production d'énergie électrique ou thermique nécessaires Maximisent l'usage de l'énergie en permettant « un meilleur appariement entre l'offre et la demande »^[2] 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Peut être complexe d'évaluer les charges différables ou optionnelles L'application de la demande optionnelle peut nécessiter certaines installations additionnelles (câblages, etc.) 	
Applications	<ul style="list-style-type: none"> Demande différable : L'alimentation du système de pompage en eau potable d'un village. Demande optionnelle : Le chauffage d'un bâtiment au Nunavik utilisant à la base un brûleur au mazout 	

Fiche 2b : Stockage pour autonomie « court-moyen terme »

Masse ou réservoir thermique (liquide/solide)	
Principe	<p>Il est possible de distinguer (2) méthodes de stockage thermique :</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Changement de température de la matière, d'une substance ou d'un gaz ② Changement de l'état physique (solide/liquide/gazeux) de la matière, d'une substance ou d'un gaz <p>Tous deux permettent d'emmagasiner autant le chaud que le froid</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Permet d'éviter les variations rapides de température ou de consommation énergétique (pointes)
Applications	<ul style="list-style-type: none"> Méthode (1): Pièce isolée où l'air s'est réchauffé, planché de béton radiant, murs de brique, réservoir d'eau, chauffage urbain, géothermie ou océanthermie (indirectement – masse thermique du sol et de l'océan) Méthode (2): Voir Matériaux à Changement de Phase (MCP) : Étudiés en bâtiment, Projet de refroidissement d'eau pour une usine d'IBM
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> Méthode (1): Volume, capacité calorifique/inertie thermique, isolation thermique Méthode (2): Qualité/volume

Fiche 2b : Stockage pour autonomie « court-moyen terme » (suite)

Hypercondensateurs (Ultracondensateurs, Supercondensateurs)		
Principe	Les Hypercondensateurs sont des condensateurs (accumulateurs de charges électriques) de très grandes capacités qui peuvent débiter de forts courants en peu de temps. L'hypercondensateur se charge presque instantanément, mais a une capacité inférieure aux batteries industrielles.	 <p>Hypercondensateurs</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Charge rapide, robuste (-40 et 85°C), haute densité de stockage Pas de personnel requis pour l'opération 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Trop peu de capacité pour servir en relève à la production Autodécharge plus importante que les batteries : 50% après 40jours 	
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> 1 à 10 Wh/kg de condensateur Durée de vie d'environ 1million de cycle, perd 10% de sa capacité après 10ans 	
Applications	<ul style="list-style-type: none"> Voir compagnies Maxwell, Epcos, Esma et NESS Industrie automobile (véhicules hybrides – freinage dynamique), réduction des variations de courant et alimentation d'équipements auxiliaires lors de courtes pannes, subvenir à une pointe de consommation en courant continu, aider à maintenir la charge de batterie en configuration parallèle, stabiliser un réseau, etc. 	
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> Configuration série ou parallèle, tension d'opération jusqu'à 2,5V Physiquement limité par la taille des condensateurs : (1980) 2\$/Farad ; (2007) 0,10\$/Farad pour 2,3V, 470F 	
Reconversion	<ul style="list-style-type: none"> Requiert un convertisseur DC/DC pour fournir une tension constante sur une période de temps 	
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> Aujourd'hui 2,5-2,7V, 5Farads/gramme ; (2007+) 30F/g Hypercondensateurs statiques shunt et avancement des nanotechnologies 	
Spécifications Système type: Eau douce	Polluants et GES	Aucun
	Statut de la technologie	Commerciale
	Type(s) d'installation	Centralisée
	Coûts de production	Non spécifié
	Taille du système type	
	Coût total par système	
	Déplacement de diesel	
	Déplacement de CO2	
Coût de revient		
Durée de vie	20 ans	
Volant d'inertie		
Principe	Le volant d'inertie absorbe l'énergie via la mise en rotation, par moteur/générateur électrique, d'un disque lourd suspendu par des paliers de lévitation magnétique dans une chambre à vide. Une fois en rotation, l'énergie cinétique du disque peut être transformée en électricité. Il existe plusieurs variantes de la technologie pour diverses applications.	 <p>Volants d'inertie et matrice</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Réponse rapide, haute densité de stockage, robuste (-45°C à 50°C) Pas d'installation particulière sur le site et de personnel requis (opération) 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Entretien annuel requis (vérification : ventilation, filtres et autres) 	
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> $\eta \approx 100\%$, peu affecté par un bris lorsqu'opérant en matrice (plusieurs volants en série et parallèle) 	
Applications	<ul style="list-style-type: none"> Voir compagnies : Flywheel Energy Systems, inc., AFS trinity, Active Power, Beacon Power. Utile pour absorber les fluctuations rapides de production ou de charge, la régulation de fréquence, le maintien de la tension (équipement de télécommunication à faible puissance, etc.), le suivi de la charge pour production à réaction lente (pile à combustible, microturbine, etc.) 	
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> Dépend de la masse totale et de la vitesse des volants d'inertie, par exemple (15minutes@1MW, 240pi²) 	
Reconversion	<ul style="list-style-type: none"> Peut nécessiter un convertisseur DC-AC 	
Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> De nouvelles technologies sont au stade expérimental 	
Spécifications	Polluants et GES	Aucun
	Statut de la technologie	Commerciale
	Type(s) d'installation	centralisée
	Coûts de production	1,9 k\$/kW
	Taille du système type	1 MW
	Coût total par système	1,9 M\$
	Déplacement de diesel	Non spécifié
	Déplacement de CO2	
Coût de revient		
Durée de vie	20 ans	

1.3.4 Fiche synthèse sur le jumelage

Fiche 3 : Jumelage	
Description	
Principe	Le terme « jumelage » s'applique avant tout aux technologies de conversion des énergies (renouvelables ou non), et ce, même s'il est possible de jumeler des systèmes de stockage ou encore des principes d'optimisation. Le mot jumelage est généralement employé dans le sens de co-production d'énergie (à ne pas confondre avec cogénération définie à la fiche 1.3.2). Enfin, le jumelage sous entant une optimisation des productions diverses en fonction de la demande et de la variabilité des sources (gisements).
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Exploiter plus d'un gisement local d'énergie renouvelable Pallier à l'intermittence de certains gisements Intégrer progressivement des solutions alternatives à l'usage des groupes électrogènes
Applications	<ul style="list-style-type: none"> Jumelage : éolien-diesel, hydraulique-diesel, etc. Jumelage d'appoint : groupes électrogènes-groupes mobiles
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> Maximiser le niveau de pénétration des énergies renouvelables (voir définition en annexe 2.1.7) Afin de maintenir la qualité de l'onde (fréquence et tensions) d'un réseau isolé, il est impératif de jumeler à une installation de production stable et prioritaire. Une technologie d'énergie renouvelable peut être considérée lorsque continue (hydraulique, microturbine, etc.) ou maintenue continue par une technologie de stockage adéquate.

1.3.5 Fiche synthèse sur la centralisation/décentralisation

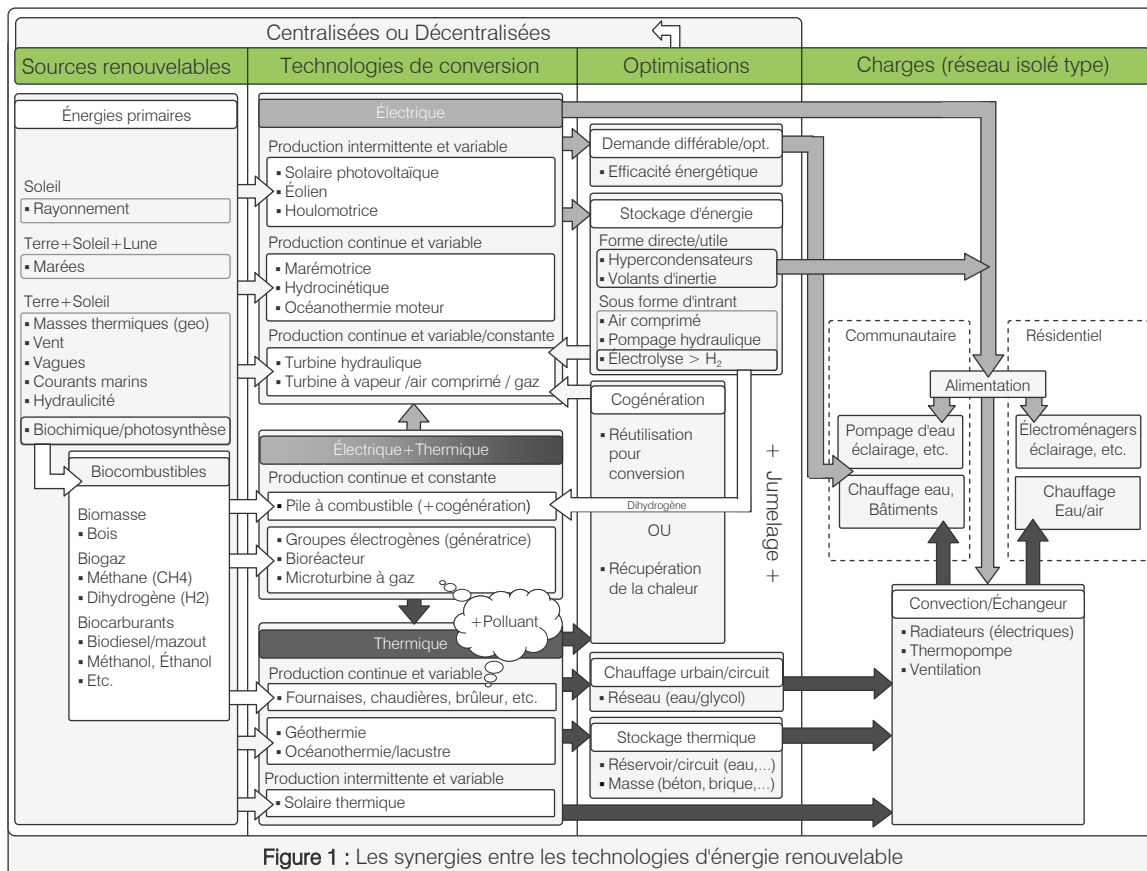
Fiche 4 : Centralisation/Décentralisation	
Description	
Principe	Le choix de centraliser ou de décentraliser une production électrique, thermique ou autre peut mener à une plus grande efficacité énergétique. Le principe englobe certaines technologies comme le chauffage urbain, les réseaux de distribution, etc. La figure ci-dessous résume le concept.
<p style="text-align: center;">Figure 2 : Principe de la centralisation/décentralisation</p>	
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> Une autoproduction peut théoriquement alimenter un système centralisé (exemple : facturation inversée pour les autoproducteurs d'électricité exploitant une petite éolienne) Le chauffage urbain consiste en une installation d'un réseau de distribution de chaleur généralement enfoui qui par circulation d'un fluide caloporteur (comme l'eau et le glycol) transmet la chaleur d'une centrale vers les résidences (voir étude d'HELIOS^[4] pour plus de détails : enfouissement dans le pergélisol et le roc, etc.) Une climatisation urbaine est aussi envisageable, par exemple à partir de centrale océanothermie / lacustre.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration du rendement énergétique Maximiser les possibilités d'intégration des énergies renouvelables (applicable à tous les niveaux)
Applications (exemples)	<ul style="list-style-type: none"> Décentralisé : aux Îles-de-la-Madeleine, 2L de carburant à la centrale thermique sont nécessaire pour éгалer ~1L de mazout dans une application de chauffage résidentiel^[10] Centralisé : L'énergie thermique des groupes électrogènes d'une centrale est distribuée à travers un système de chauffage urbain
Limitations	<ul style="list-style-type: none"> La centralisation implique un système de distribution ou de transport souvent coûteux Problématiques de pertes (thermique, tension, etc.) associées à la distribution

1.4 Sommaire des technologies d'énergies renouvelables

1.4.1 Synthèse des technologies alternatives

Il faut a priori distinguer les sources d'énergies renouvelables des technologies exploitant ces sources. Les combustibles alternatifs (biocarburants, biomasses, etc.) servent à l'alimentation au même titre que les combustibles fossiles (essence, diesel, mazout, etc.), mais ils permettent une production d'énergie généralement plus propre et sont considérés comme des sources renouvelables, telles que le vent, le soleil et la marée. Quant aux technologies de conversion, elles permettent la transformation d'une énergie renouvelable en une énergie plus utile au contexte, en occurrence pour les réseaux isolés d'HQ, l'électricité et le chauffage. Enfin, les technologies ou principes d'optimisation, visent l'exploitation des technologies mises en place et servent à maximiser le rendement énergétique global des installations, que ce soit en récupérant les pertes thermiques, les surplus de production (énergie excédentaire) ou en permettant l'intégration de plusieurs technologies complémentaires.

Les synergies possibles entre les sources, les technologies de conversion et les principes d'optimisation, pour l'alimentation en électricité et en chaleur d'un réseau isolé type, sont représentées ci-dessous (figure 1) :



Il importe de préciser que la plupart des sources, des systèmes de conversion et principes d'optimisation peuvent être considérés, du moins théoriquement, autant pour des applications centralisées que décentralisées. À noter que l'équivalence au chauffage urbain du côté résidentiel serait un circuit distribuant la chaleur, par exemple, dans un plancher radian. Aussi, à petite échelle, le principe de la demande différable (toutefois moins applicable pour l'optionnelle) s'apparente à l'efficacité énergétique qui implique aussi le choix des charges et leur période de fonctionnement.

1.4.2 Principaux points en résumé

En résumé, les principaux points de synthèse (mis en évidence par la figure 1, de la page précédente) sont les suivants :

- Les énergies renouvelables découlent de phénomènes naturels (rayonnement solaire, l'attraction gravitationnelle des astres, etc.). Les combustibles biologiques sont un sous-produit de certains de ces phénomènes, dont la photosynthèse et les transformations biochimiques. Les sources renouvelables sont considérées comme telles lorsqu'elles sont « régénérable » à l'échelle humaine, contrairement, par exemple, aux carburants fossiles. (voir annexe, définitions en 2.1)
- Toute conversion ou transformation d'énergie ne peut se faire sans impact sur l'environnement (à la limite : modification d'un écosystème, encombrement visuel, bruit ou encore, émission de polluants lors de la fabrication de la technologie). Certaines technologies de conversion peuvent émettre davantage de polluants (noté sur la figure 1, par un petit nuage). Par exemple, la combustion du bois à l'aide d'une fournaise produit des particules fines, du CO₂, etc. Cependant, l'avantage principal des technologies des énergies renouvelables est qu'elles permettent généralement de minimiser la production de gaz à effet de serre (définie à l'annexe 2.1.2).
- Les groupes électrogènes sont inclus comme technologies de conversion parce qu'il est possible d'utiliser des carburants renouvelables au lieu des dérivés fossiles (ou du moins en partie, considérant un mélange bio-fossile). Toutefois, tel que précisé précédemment, malgré une diminution des gaz à effet de serre, les émissions de polluants comme les NOx sont quasi inévitables.
- Certaines technologies de conversion permettent une production en continu, d'autres en intermittence, et lorsque productives, l'alimentation peut être de nature variable ou constante. Ces distinctions permettent de préciser que, tout dépendamment de la constance du gisement (source), l'énergie produite peut varier et ne pas correspondre momentanément à la charge (besoins énergétiques). De plus, ces caractéristiques du gisement et de l'alimentation définissent la nécessité et le type de stockage requis pour pallier à la discontinuité ou l'insuffisance de l'énergie produite.
- Le stockage peut se faire sous une forme d'énergie directe et utile (de nature électrique ou thermique) ou encore sous la forme d'un intrant à une technologie de conversion. En fait, la compression d'air, l'électrolyse et le pompage d'eau sont tous des techniques de stockage qui nécessitent une conversion additionnelle, soit par une turbine, une pile à combustible, etc. pour produire de l'électricité ou de la chaleur.
- Il peut être nécessaire de jumeler certaines technologies de conversion ou de stockage, que ce soit pour compenser l'intermittence d'une production, pour exploiter plus d'une source renouvelable ou pour répondre à un besoin énergétique particulier (électrique ou thermique). Le jumelage est considéré comme principe d'optimisation des technologies d'énergies renouvelables.
- Plus l'obtention d'une forme utile d'énergie requiert de conversions, par exemple, éolien -> électrolyse -> pile à combustible, moins l'efficacité du processus de production est intéressante, parce que chaque transformation implique nécessairement des pertes (électrique, thermique, mécanique ou autre). Cependant, le stockage et la cogénération peuvent aider à accroître le rendement en récupérant soit l'énergie excédentaire ou certaines pertes thermiques.
- L'application de la demande différable ou optionnelle pour certaines charges vise généralement les installations communautaires comme les systèmes de pompage d'eau potable et le chauffage de bâtiments. L'objectif principal est d'optimiser l'utilisation de l'énergie et de répartir les charges à alimenter dans le temps pour éviter les pertes et les pointes de consommation.

1.5 Recommandations (pour information interne à Hydro-Québec)

Voici quelques recommandations découlant des recherches et de la rédaction du sommaire sur les technologies d'énergies renouvelables. Les suggestions qui suivent visent principalement les suites envisageables pour compléter et tenir à jour le document. Quelques idées d'outils complémentaires sont aussi proposées. Il est à noter que dans l'éventualité où des démarches plus larges seraient entreprises, il pourrait être intéressant de vérifier si d'autres unités d'HQ traitent des énergies renouvelables.

1.5.1 Suites envisageables

À ce stade-ci, un portrait des énergies renouvelables a été réalisé de manière à constituer un sommaire des technologies permettant la réduction de l'usage du diesel dans les réseaux autonomes. À partir de ce point, il serait possible de :

- Définir un processus (approche ou méthode systématique) pour déterminer les solutions potentiellement applicables, considérant certains paramètres de base, tels que les gisements, les besoins énergétiques (présents et futurs), les contraintes, etc. (voir annexe 2.2)
- Effectuer la recherche de solutions alternatives à l'usage unique des groupes électrogènes diesels, à partir de la méthode définie, afin de mettre en évidence les technologies les plus prometteuses. Cette démarche pourrait inclure :
 - Une analyse des technologies applicables à l'échelle des réseaux autonomes (biocombustibles solides et biocarburants, optimisations, etc.).
 - La réalisation de fiches par territoire et par communauté présentant : description des installations actuelles, prévisions énergétiques, gisements renouvelables disponibles et exploitables, facteurs limitatifs, technologies envisageables.

1.5.2 Mises à jour du document

Puisque les technologies et leur niveau de maturité évoluent rapidement, des mises à jour régulières peuvent aider à assurer l'intégrité du contenu du document. À cet égard, la veille technologique est essentielle.

1.5.3 Outils complémentaires

En plus de support documentaire (sommaire, etc.), il pourrait être utile de considérer :

- Un outil Excel pour faciliter la recherche d'alternative. Ce programme pourrait lister les solutions potentielles selon certains critères, ou en utilisant comme intrant les fiches régionales ou par communautés spécifiant les gisements et contraintes locales.
- Une publication annuelle des récents développements et études sur la question des énergies renouvelables dans les réseaux autonomes du Québec. Ce document pourrait être utilisé comme outils auprès de la régie de l'énergie pour appuyer les points de vue et décisions d'Hydro-Québec.

1.6 Autres points d'intérêt

Certains sujets n'ont pas été abordés, mais pourraient faire l'objet de recherches futures. Parmi les autres points d'intérêt :

- L'enfouissement des gaz carboniques
- La conversion du CH₄ en CO₂ et du CO₂ en substances inoffensives (voir brevet CO2 Solution)
- La photoélectrochimie (cellule solaire permettant la conversion directe de l'eau en dihydrogène)
- La surgénération pour le nucléaire (solutions au problème de disponibilité de l'uranium)
- Les crédits d'impôts et subventions (CO₂, solaire photovoltaïque, etc.)

1.7 Conclusions et recommandations d'études externes

En complément au présent sommaire sur les énergies renouvelables, les conclusions et recommandations des deux principales études (BBA^[3] et HELIOS^[4]) consultées sont ici présentées en résumé. Ces informations et enlignement (orientation) pourront aider à amorcer des recherches et analyses plus approfondies sur l'applicabilité réelle de technologies d'énergies renouvelables en contexte de réseaux autonomes.

1.7.1 Les conclusions de BBA et d'HELIOS

Selon l'étude de BBA, les technologies les plus prometteuses pour les réseaux autonomes du Québec sont le jumelage éolien-diesel, la géothermie, ainsi que le chauffage urbain. Aussi, de façon complémentaire, BBA rappelle l'importance de l'efficacité énergétique, mentionnant que l'énergie la moins coûteuse demeure celle qui est économisée.

Du point de vue d'HELIOS, l'éolien de haute pénétration est également perçu comme une solution intéressante. L'évaluation de projets de jumelage éolien-diesel est décrite comme un incontournable étant donné la stratégie énergétique du gouvernement du Québec. Aussi et de manière similaire à BBA, le chauffage urbain centralisé est une technologie considérée prometteuse et qui, précise HELIOS, pourrait possiblement tirer avantage d'une cogénération à partir de granules de bois, d'incinération de déchets et/ou de concentrateurs solaires. À ce sujet, HELIOS mentionne que le Groenland possède une expérience importante en chauffage urbain et en cogénération qui pourrait être mise à profit des développements des réseaux autonomes au Québec (d'ailleurs, en 2000, le Groenland produisait près de 250MWh à partir de la combustion fossile).^[11]

Enfin, HELIOS juge également prometteuses d'autres technologies, dont la petite hydraulique, les microturbines à gaz décentralisées et la production d'énergie à partir de l'hydrocinétique (lorsqu'elle atteindra sa maturité). Il est toutefois spécifié que les scénarios de petites centrales hydrauliques doivent être envisagés selon une approche au cas par cas, tenant compte des caractéristiques et particularités des sites ainsi que des intérêts des communautés.

1.7.2 Les recommandations de BBA et d'HELIOS

Dans l'ensemble, les recommandations découlant de l'étude des consultants BBA et HELIOS regroupent les points suivants :

- Des projets pilotes démarrés dans des communautés types peuvent aider à répondre à certaines interrogations et minimiser les risques.
- Une connaissance approfondie des diverses communautés permet d'obtenir une vue d'ensemble qui peut aider à établir certains critères généraux dans le choix des technologies et à mieux définir les « villages types » pour des projets pilotes.
- L'évaluation de l'applicabilité des technologies devrait être basée sur une évaluation spécifique à chaque communauté. Une connaissance approfondie de chacune d'elles et du coût actualisé de la production d'énergies à ces endroits peut mener à reconsidérer certaines avenues.

2. Annexes

2.1 Définitions

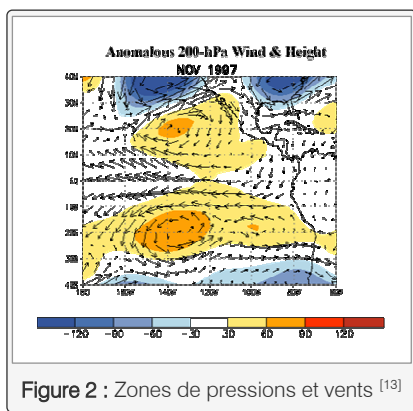
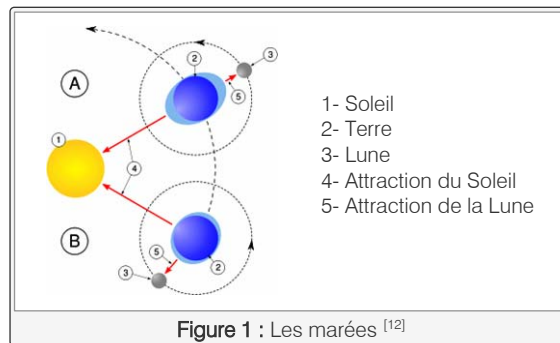
Il convient d'apporter quelques définitions à des concepts qui reviennent souvent dans le présent ouvrage, soit les énergies renouvelables, les gaz à effet de serre ainsi que le niveau de pénétration des énergies renouvelables.

2.1.1 Les énergies renouvelables

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels (physique, thermique, biochimique, etc.) réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (force d'attraction et rayonnement d'une fusion nucléaire naturelle), mais aussi la Lune (force d'attraction) et la Terre (énergie géothermique, transformations biochimiques, etc.). À titre d'exemples :

Les marées

Une conséquence de la force d'attraction des astres, principalement par la Lune (vu la plus faible distance par rapport à la Terre) sur les océans et eaux de mer. Le phénomène de marée se produit une ou deux fois par jour et est plus important aux équinoxes (période à l'opposé des solstices d'Été et d'Hiver). (Figure 1)



Le vent

Fondamentalement dû au rayonnement solaire et à la rotation de la Terre. La différence de température des masses d'air provoque une variation de la densité de celles-ci et par conséquent un déplacement dont l'effet perceptible est le vent. La prévision des vents est par conséquent plus complexe que celle des marées, mais pour la plupart des régions il est possible de définir un vent caractéristique. (Figure 2)

Les énergies renouvelables sont souvent considérées comme des énergies propres. Ce n'est cependant pas systématiquement le cas. En effet, certaines technologies exploitant les énergies renouvelables peuvent impliquer des polluants, à un degré plus ou moins problématique (NOx émis de la combustion d'un biocarburant, manufacture - voir fabrication de cellules PV, etc.).

La combustion du bois, par exemple, considérée comme une énergie renouvelable, produit des gaz à effets de serre (définie à l'annexe 2.1.2). D'après Environnement Canada, le chauffage au bois possédant les certifications minimales émet autant de particules fines en une heure qu'une voiture intermédiaire qui parcourt 300km^[14]. Évidemment, la concentration en oxyde d'azote et autres composantes chimiques varie, seulement l'impact est non négligeable.

Aussi, toute énergie découlant de phénomènes naturels (tel que défini plus haut) ne peut être systématiquement considérée comme une énergie renouvelable. Entre autres, les combustibles fossiles conventionnels tels que le pétrole, le gaz naturel et la houille (charbon), ainsi que les formes non conventionnelles dont les schistes bitumineux (oil shale), les sables asphaltiques, les sables bitumineux, les hydrates de méthane, la tourbe, etc. ont un cycle de renouvellement sur des milliers d'années et donc, ne permettant pas de reformer la quantité d'énergie actuellement consommée (ressource épuisable). Ne pouvant être considéré comme énergie renouvelable, l'usage d'énergie fossile est aussi génératrice de déchets polluants pour l'écosystème et des principaux gaz à effet de serre (définie en annexe 2.1.2).

Finalement, certaines énergies peuvent sembler relativement propre, comme le nucléaire, fortement utilisé en Europe à 78% de la production totale d'électricité^[15] et exploitant la fission pour activer des turbines à vapeur. Toutefois, les rejets aux cheminées et dans les lacs sont de l'eau radioactive ou tritiée (tritium) nocive à certaines concentrations pour les organismes et dont la vapeur agit comme gaz à effet de serre.

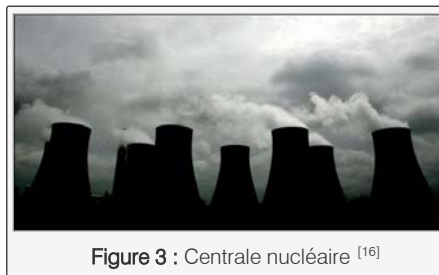


Figure 3 : Centrale nucléaire [16]

Aussi et de façon plus importante, il y a les matières hautement radioactives du réacteur qui requièrent plusieurs centaines de milliers d'années à se neutraliser. Enfin, non sans conséquence sur l'écosystème, l'énergie nucléaire ne peut non plus figurer parmi les énergies renouvelables, puisque la production nécessite des ressources dont la disponibilité est limitée sur Terre, dont l'uranium et le plutonium.

En somme, les principales énergies renouvelables sont :

- Le rayonnement solaire
- Le vent
- Les marées
- Les vagues
- Les produits de photosynthèse
- Réservoir thermique du sous-sol
- Réservoir thermique des fonds marins et lacustres (lacs)
- L'hydraulique (composantes potentielles et cinétiques)
- Courants marins

Une synthèse des énergies est présentée ci-dessous (figure 4). Les liens entre les phénomènes naturels et les énergies dites renouvelables ou non renouvelables sont représentés à l'aide de flèches.

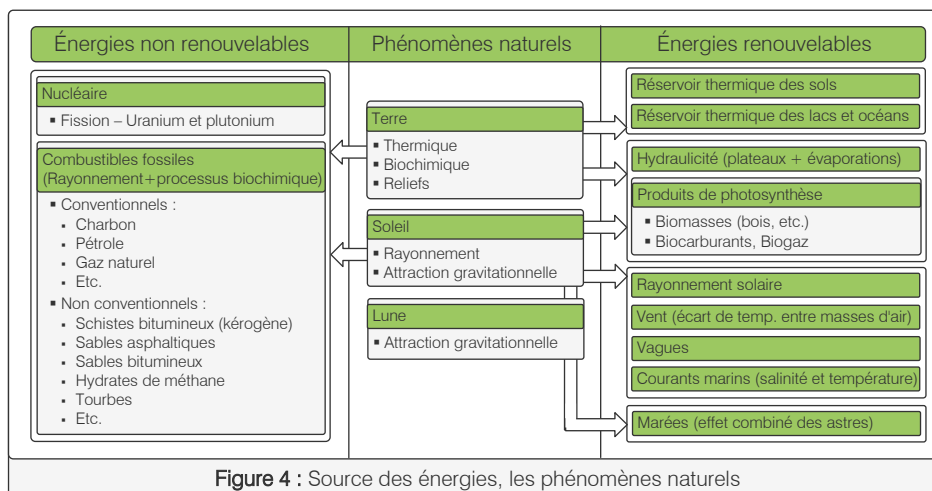


Figure 4 : Source des énergies, les phénomènes naturels

2.1.2 Les principaux gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES ou GHG - Greenhouse Gas) sont des gaz dont les propriétés physiques sont telles que leur présence dans l'atmosphère terrestre contribue à un effet de serre à la surface de la Terre et par conséquent contribue au réchauffement climatique par l'emprisonnement des rayons infrarouges.

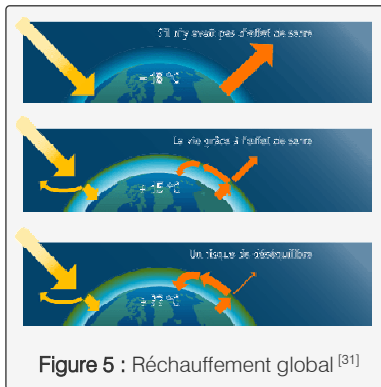


Figure 5 : Réchauffement global [31]

Il importe de mentionner que ces GES sont, à des niveaux de concentration normale, essentiels à la vie, puisqu'ils permettent de maintenir un équilibre thermique. En effet, l'absence totale de ces gaz abaisserait la température moyenne de la terre de +15°C à -18°C^[17] et selon certaines théories, jusqu'à -100°C (entre autres à cause de l'effet « albédo » dû à l'extension des glaces).^[29]

Cependant, l'activité humaine, tel qu'elle se présente aujourd'hui et depuis la révolution industrielle (autour de 1750), participe à une augmentation importante des GES (principalement les émissions) de CO₂ et par le fait même, à un réchauffement global effréné.

Déjà les conséquences sont visibles. Quelques-uns des impacts connus sont la fonte des banquises et des glaciers, le dégel du pergélisol, la disparition d'espèces, l'assèchement des terres, des problèmes agricoles, le déplacement d'espèces animales, l'augmentation du nombre et de l'intensité des ouragans, des typhons et des canicules, incendies forestiers, etc.

Entrée en vigueur depuis le 16 février 2005, le protocole de Kyoto (traité issu de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique), propose à tous les pays ratificateurs un calendrier de réduction des émissions des principaux gaz à effet de serre. Ces principaux GES listés par le protocole sont d'origine naturelle ou industrielle. Les GES dits industriels proviennent essentiellement de composés industriels développés pour des applications commerciales telles que la réfrigération, les aérosols, les mousses isolantes, etc.

Il est à noter que des GES d'origine naturels peuvent être aussi dus à l'activité humaine (source anthropique). Par exemple, le CO₂ peut provenir autant de la décomposition des matières organiques que de la combustion de carburants fossiles dans un moteur. Ce dernier étant lié à l'activité humaine.

Cela dit, les principaux GES naturels et industriels traités par le protocole de Kyoto sont présentés ci-dessous. Quelques-unes des sources ou applications de ces gaz sont aussi incluses.

Tableau 1 : Principaux GES naturels (prioritairement ciblés par Kyoto)

GES	Exemples de source
Dioxyde de carbone (CO ₂)	Production de produits pétroliers, de ciment, combustion de carburants fossiles,...
Méthane (CH ₄)	Marais, rizières, gaz naturel, fermentation, biomasses, sédiments, sites d'enfouissement,...
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	Usage d'engrais azotés minéraux, fabrication d'acides adipique, nitrique et glyoxylique,...

Tableau 2 : Principaux GES industriels (prioritairement ciblés par Kyoto)

GES	Exemples de source
Hydrofluorocarbures (HFC)	Synthèse de HFC, agent propulseur mousse polystyrène, climatisation, usage de solvants,...
Perfluorocarbures (PFC)	Production d'aluminium, industrie du semi-conducteur, ...
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	Production de magnésium, remplissage des interrupteurs et disjoncteurs haute tension,...

Aussi, à titre d'information, les GES incluent par exemple :

Tableau 3 : Quelques GES additionnels

GES	Exemples de source ou d'application
Vapeur d'eau (H ₂ O)	(GES le plus abondant): Évaporation (plans d'eau, terres et forêts), centrales nucléaires,...
Ozone (O ₃)	Oxygène transformé par irradiation UV, laser ou par décharge électrique haute tension,...
Hydrocarbures halogénés	Extincteurs, solvants,...
Chlorofluorocarbones (CFC)	Industrie de matières plastiques, Fréon (HCFC-22),...

De façon générale, les gaz les plus problématiques (ayant le plus d'impact sur l'environnement et les changements climatiques) ne sont pas nécessairement ceux présents en plus grande quantité comme la vapeur d'eau, mais ceux qui même à plus faible concentration ne figure pas dans le cycle naturel, dont la durée de vie en atmosphère est très importante (voire plus de 100 ans) et dont la capacité à retenir la chaleur est élevée. Pour définir les priorités de réduction de gaz à effets de serre, une méthode de classification a été développée par les scientifiques et est présentée à la section suivante.

2.1.3 Classification des GES

Les GES peuvent être ordonnés selon leur impact direct sur le réchauffement global et c'est par ce type de ramification que le protocole parvient à cibler les gaz les plus problématiques.

L'indice GWP (Global Warming Potential) permet cette classification et une comparaison directe entre les GES selon leur capacité à capturer la chaleur dans l'atmosphère, et ce, par rapport à un gaz de référence, soit le dioxyde de carbone (CO₂)^[18]. L'indice GWP est généralement évalué pour une période donnée (horizon). Cette base temporelle est cruciale, puisque par exemple, même si le CO₂ est responsable d'environ 55% de l'effet de serre et le méthane de 17 % seulement, la capacité de ce dernier à modifier le climat est 56 fois supérieure à celle du CO₂ dans les vingt premières années^[19].

Le tableau ci-dessous présente une partie de la classification existante basée sur l'indice du GWP, et ce, pour un horizon de 20, 100 et 500 ans. Les données de concentration avant la révolution industrielle (1750) et plus recensement (1992) sont aussi incluses pour les GES listés.

Tableau 4 : Classification des GES (Données : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat - GIEC)

Gaz à effet de serre	Concentration		GWP			Durée de vie atmosphérique (ans)
	1750	1992	20 ans	100 ans	500 ans	
Dioxyde de carbone (CO ₂)	280ppmv	335ppmv	1	1	1	200 (mais variable)
Méthane (CH ₄)	700ppbv	1714ppbv	62	23	7	12
Protoxyde d'azote (NO ₂)	270ppbv	311ppbv	275	296	156	114
Perfluorocarbures (CF ₄)	0	70 pptv	3900	5700	8900	50000
Hydrofluorocarbures (HFC-23)	0	11pptv	9400	12000	10000	260
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	0	2.8pptv	15100	22200	32400	3200

Note : ppmv (parties par million en volume) ppbv (parties par milliard en volume) pptv (parties par billion en volume)

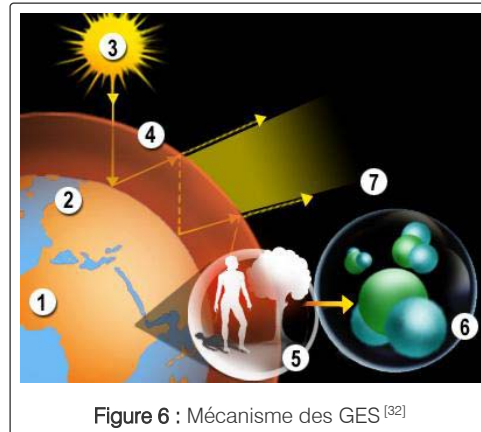
À partir de l'indice GWP sur un horizon de 100ans, il est possible d'établir une équivalence CO₂ exprimée généralement en million de tonnes (Mt), et ce, suivant la relation :

$$\text{Équivalence CO}_2 \text{ (Mt)} = (\text{Mt}) \text{ du gaz} \times \text{GWP}_{100\text{ans}} \text{ du gaz}$$

Par exemple, en supposant qu'il soit question d'un rejet dans l'atmosphère d'1 Mt de méthane (CH₄), l'équivalence obtenue serait d'environ 23Mt de dioxyde de carbone (CO₂). Cette conversion permet l'addition de quantité de gaz ayant un impact différent sur le réchauffement de la planète et donc à évaluer les émissions globales.

2.1.4 Le mécanisme de l'effet de serre

Les GES sont transparents à certaines longueurs d'onde des rayonnements solaires (3 sur la figure 6), ce qui permet à ces derniers de pénétrer profondément dans l'atmosphère ou jusqu'à la surface du globe (2). La partie du rayonnement absorbée par la Terre (1) lui apporte de la chaleur, qu'elle restitue à son tour en direction de l'atmosphère sous forme de rayons infrarouges (4). Les GES et les nuages empêchent une partie du rayonnement infrarouge de s'échapper (7), emprisonnant ainsi la chaleur près de la surface du globe, où elle réchauffe l'atmosphère basse. L'altération de la barrière naturelle des gaz atmosphériques modifie la température moyenne de la Terre et affecte les êtres qui y vivent (5).



Bien qu'il soit généralement question du réchauffement de la planète (ce qui est la situation globale réelle), les polluants atmosphériques, tels que les NO_x, COV (Composés Organiques Volatiles) et poussières ont aussi un effet de refroidissement. Plus concrètement, comme pour les nuages denses qui ont un effet de parasol, les particules de ces polluants interceptent et réfléchissent dans l'espace les radiations solaires. À titre d'exemple, lors de l'éruption du volcan Pinatubo (Philippines, juin 1991 – figure 7), près de 20 Mt de dioxyde de soufre (SO₂) à une hauteur de plus de 20km (la quantité la plus importante jamais enregistrée par les instruments modernes) se sont dispersés dans l'atmosphère, ce qui a provoqué une diminution du rayonnement solaire et, par conséquent, une baisse de la température moyenne, entre 1991 et 1992, estimée à 0,5°C pour l'hémisphère nord. ^[20]

2.1.5 Les GES, les polluants et la santé

Outre les changements climatiques, les GES et autres polluants peuvent avoir des conséquences directes sur la santé humaine, variant selon les concentrations et de la durée de l'exposition. Par exemple, les monoxydes de carbone (CO) peuvent causer des maux de tête, des nausées, des étourdissements et peuvent détruire les cellules nerveuses de façon irrémédiable. Les COV provoquent des irritations respiratoires et sont cancérigènes. Les NO_x mènent à des irritations et douleurs respiratoires, toux et œdème pulmonaire. Les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) sont potentiellement cancérigènes et sont considérées comme mutagène. Quant au smog, dont les principales composantes sont les COV et l'ozone troposphérique ou O₃ (généralisé par la radiation UV des NO_x+COV) il peut provoquer des difficultés respiratoires importantes et peut même mener au décès, principalement chez les jeunes enfants et les personnes âgées. ^[21]

Les GES et les polluants soulèvent aussi des inquiétudes dues à leur impact potentiel indirect. Un réchauffement global peut entraîner des problèmes sanitaires importants, la propagation d'épidémies et de maladies telles que la malaria, de plusieurs sortes d'encéphalites virales, etc.

2.1.6 Marché boursier du CO₂

Les impacts sur l'écosystème et la santé sont réels et la problématique des GES exerce naturellement une pression sur l'industrie afin qu'elle trouve des solutions permettant la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Mais cette pression n'est suffisante que s'il y a un avantage économique à réduire les émissions.



Figure 8 : Marché boursier ^[22]

Prévu dans le cadre du protocole de Kyoto, le marché du carbone (incluant le CO₂ équivalent tel que discuté précédemment) est un des principaux outils pour lutter contre les émissions des GES. Ce marché devient un incitatif financier et un support aux entreprises au sens où il favorise non seulement l'atteinte des objectifs environnementaux, mais aussi l'investissement dans l'innovation technologique et la modernisation des installations.

Le principe du marché de carbone est relativement simple. Pour mesurer la quantité de CO₂ émise et autorisée, un permis d'émission est utilisé. Si les industriels émettent moins de CO₂ que le quota ne leur exige, ils peuvent mettre en vente des permis d'émission sur le marché du carbone. À contrario, s'ils émettent trop de CO₂, ils peuvent soit acheter les permis manquants, soit investir dans des techniques de combustion moins polluantes, si cette option devient pour eux moins coûteuse que l'acquisition des permis, soit encore encourager des techniques moins émettrices dans des pays émergents. ^[23]

Le 1er janvier 2005, L'Union européenne a lancé officiellement le premier marché international des droits d'émission de gaz à effet de serre. Devant permettre aux 15 premiers membres de l'UE, d'abaisser les rejets de gaz à effet de serre de 8% d'ici 2012 par rapport au niveau de 1990. En 2006, ce marché a représenté un total 30 milliards de dollars, soit près de 3 fois le marché de 2005, et ce, avec une valeur entre 15 et 25 euros la tonne, soit de plus de 30\$ canadien. ^[24]

Toutefois, le marché du carbone n'est pas aussi bien établi en Amérique du Nord. Les américains, refusant de ratifier le protocole de Kyoto, ont établie leur propre marché du carbone : La Chicago Climate Exchange où des millions de tonnes de CO₂ sont échangés, mais au maigre prix de trois ou quatre dollars chacune.

Le Canada ayant signé l'accord de Kyoto n'est guère plus avancé. Le marché du carbone de la bourse de Montréal, développé en partenariat avec le Chicago Climate Exchange, n'a toujours pas reçu le feu vert du gouvernement fédéral, puisque l'ensemble des règles du marché n'est toujours pas défini pour le Canada.

À ce jour, un prix plafond serait suggéré à environ 13\$ la tonne de CO₂, ce qui est selon les analystes est trop peu pour favoriser l'investissement dans les technologies de réductions et émissions des GES. Aussi, un projet de Loi limiterait à 25% la provenance des crédits de l'extérieur du Canada, mais sans fixer de limite à l'achat des crédits canadiens par des compagnies étrangères. Cette non-réciprocité, selon la Fédération des Chambres de Commerce du Québec (FCCQ), génèrera des coûts supplémentaires pour les entreprises canadiennes comparativement à la concurrence étrangère. Ce genre de distorsion ajouterait des coûts au système et réduirait la compétitivité des entreprises canadiennes.

À suivre...

2.1.7 Niveau de pénétration des énergies renouvelables

Lors d'études d'intégration des technologies de conversion, il est souvent mentionné le niveau de pénétration des énergies renouvelables. Plusieurs définitions sont proposées dans la littérature :

Niveau de pénétration	Le rapport de la puissance installée des technologies de conversion des énergies renouvelables
	Sur la charge maximale annuelle du réseau sous étude.
Niveau de pénétration instantanée	Le rapport de la puissance instantanée des technologies de conversion des énergies renouvelables
	Sur la charge instantanée du réseau sous étude
Niveau de pénétration renouvelable (production)	Le rapport de l'énergie annuelle produite par les technologies de conversion des énergies renouvelables
	Sur l'énergie annuelle produite par l'ensemble des unités de production du réseau sous étude
Niveau de pénétration renouvelable (charge)	Le rapport de l'énergie annuelle produite par les technologies de conversion des énergies renouvelables
	Sur l'énergie annuelle consommée par la charge du réseau sous étude
Niveau de pénétration moyen	Le rapport de la réduction de l'énergie annuelle produite par les groupes électrogènes, attribuable aux technologies de conversion des énergies renouvelables
	Sur l'énergie annuelle consommée par la charge du réseau sous étude.

Cette dernière définition correspond le plus à l'objectif du présent ouvrage, puisqu'elle permet d'établir une relation directe entre l'énergie produite par les technologies de conversion des énergies renouvelables et la réduction de la consommation du carburant fossile. Il devient aussi possible en considérant cette définition d'effectuer une analyse économique avec identification du point de bascule de la rentabilité pour un scénario donné.^[4]

2.2 Quelques intrants à la recherche de solutions alternatives

2.2.1 Ressources et facteurs limitatifs

Le tableau qui suit se veut un premier tour d'horizon des ressources et des facteurs limitatifs, pour chacun des secteurs des réseaux autonomes du Québec. Il est à noter cependant que certaines des contraintes listées peuvent s'avérer être aussi un point favorable à l'implantation d'une technologie ou d'une solution technique. Par exemple, une faible population peut être un avantage sur le plan de la consommation d'énergie, mais être un désavantage pour une option comme le raccordement ou pour l'usage des biomasses issues de l'activité humaine.

Secteurs	Ressources	Facteurs limitatifs / Contraintes
Basse-Côte-Nord et Anticosti	<ul style="list-style-type: none"> Excellente gisement solaire sur l'Île d'Anticosti Biomasses naturelles (forêt), d'ailleurs exploitées par certaines industries. Gisement éolien, moyenne supérieure à 7m/s dans le secteur de la Romaine Présence de lacs, de rivières et du Golf St-Laurent Énergie thermique du sol 	<ul style="list-style-type: none"> Accès limités : pas de route avec les grands centres, seulement par avion ou par bateau Précipitation de neige en hiver Tendance au chauffage électrique
Nunavik (Côte Hudson et Côte Ungava)	<ul style="list-style-type: none"> Abondance de plans d'eau et de rivières Proximité de l'eau de mer Excellente gisement solaire durant l'Été Marée de la Baie d'Ungava parmi les plus importantes au monde (5-9m, max 18m) ^[30] Gisement éolien, moyenne d'environ 7m/s Densité moyenne de l'air plus important qu'au sud (étant donné la température plus basse de l'air) Température des plans d'eau supérieurs à celle de l'air extérieur en hivers Biomasses dues à l'activité humaine et système de collecte par camion-citerne déjà implanté (déchets domestiques et boues sanitaires) Énergie thermique du sol en profondeur Basses températures pour des fins de climatisations ou de refroidissement (arénas, réfrigérateurs, etc.) Vastes étendues et espaces (idéale pour le stockage ou l'entreposage, par exemple) Impact considérable de l'efficacité énergétique étant données les conditions extrêmes (périodes d'éclairage, froid, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Accès limités : pas de route avec les grands centres, seulement par avion ou par bateau (saisonnier) Relief du terrain relativement plat Eaux de la baie d'Hudson et de la baie d'Ungava peu profondes (125m-150m) ^[30] Peu de relief au fond de la baie d'Hudson (profondeur ~80m entre 20 et 100km de la côte) ^[30] Sol dur (roc, pergélisol sporadique ou continu) Peu de chaleur disponible dans le sol par rapport aux régions situées plus au Sud Très faible quantité de biomasses naturelles (rare végétation (lichen, etc.) et aucune forêt) Faibles températures moyennes annuelles Très faible ensoleillement, froids intenses et précipitation de neige en l'hiver Glaciation de la plupart des plans d'eau pour une durée prolongée Organisation ou structure des villages (pour le chauffage urbain, par exemple) Distance moyenne entre les communautés d'environ 130km Coûts de construction élevés
Haute-Mauricie	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de transports routiers Biomasses naturelles (forêt) Énergie thermique du sol 	<ul style="list-style-type: none"> Précipitation de neige en hiver Faible gisement éolien
Îles-de-la-Madeleine	<ul style="list-style-type: none"> Excellente gisement éolien (moyenne > 8m/s) Excellente gisement solaire Biomasses dues à l'activité humaine : résidus de l'industrie des produits de la mer, déchets domestiques, boues septiques, agriculture, etc. Proximité d'une eau de mer froide pour des fins de climatisations ou de refroidissement (arénas, réfrigérateurs commerciaux, etc.) à partir de ~25m de profondeur (0 à 5°C) ^[30] Énergie thermique du sol 	<ul style="list-style-type: none"> Accès limités : pas de route avec les grands centres, seulement par avion ou par bateau Précipitation de neige en hiver Forte population aux IDM (environ 12940 en 2006) et faible à l'île d'Entrée (environ 166 pour la même période) ^[25] Faible marée et hauts fonds Plus faible énergie des vagues que pour la côte Ouest du continent (vents dominants) Peu d'espace et de zones en retrait (importance des lieux touristiques, secteurs résidentiels, etc.)

2.2.2 Demande énergétique et démographie (2006-2021)

Afin de fournir un portrait global des besoins énergétiques des réseaux autonomes et de permettre une évaluation sommaire de l'efficacité des technologies d'énergies renouvelables, il convient de préciser ce que représente comme charge chacune des communautés. Le tableau ci-dessous regroupe par secteur les données de l'année 2006/2007 et les prévisions 2021/2022.

Tableau 2 : Demande énergétique et démographie des réseaux autonomes du Québec ^[25] ^[26]

Secteurs	Communautés	Population		Production Totale (MWh)*		Quantité de Carburant (kL)*		Pointe (kW)*	
		2006	2021	2006	2021	2006	2021	2006	2021
Basse-Côte-Nord et Anticosti	La Romaine	1014	1272	12094	19361	3211	5165	3246	5032
	Port-Menier	266	314	4468	5522	1241	1538	1171	1401
Nunavik (Côte Hudson et Côte Ungava)	Akulivik	499	631	2324	3663	691	1082	470	731
	Aupaluk	175	198	1171	1717	342	519	259	358
	Inukjuak	1373	1635	7445	13114	1972	3437	1438	2538
	Ivujivik	347	456	1403	2381	412	717	299	524
	Kangiqsualujuaq	761	921	3808	5231	1073	1467	728	1005
	Kangiqsujuaq	591	759	3181	5430	881	1501	586	1044
	Umiujaq	388	497	1925	2219	555	641	423	468
	Kangirsuk	470	582	2819	4039	798	1148	551	804
	Kuujuaq	2116	2642	15079	25130	3990	6615	2741	4484
	Kuujuarapik	1439	1591	9826	13734	2669	3727	1721	2516
	Puvirnituq	1484	1943	7370	11800	1963	3120	1399	2184
	Quaqtaq	318	409	1894	3238	553	938	376	646
Salluit	1240	1699	5503	9585	1457	2571	1072	1880	
Tasiujaq	269	388	1628	2289	485	664	306	434	
Haute-Mauricie	Wemotaci	1101	1392	5423	15981	1516	4478	1170	4321
	Obedjiwan	1595	2005	10989	17154	3099	4826	2676	4328
	Clova	295	371	745	1374	255	467	231	364
Îles de la Madeleine	Cap-aux-Meules	12940	12661	180939	206103	38704	44761	37450	41760
	Île d'Entrée	166	163	964	1203	309	385	274	301

* En considérant le maintien des programmes commerciaux

2.2.3 Gisements éoliens et solaires

Le tableau suivant présente la vitesse moyenne et le rayonnement solaire moyen pour les différentes localités des réseaux autonomes.

Tableau 3 : Gisements éoliens et solaires pour les communautés des réseaux autonomes du Québec ^{[27][28]}

Secteur	Communauté	Localisation		Gisement éolien		Gisement solaire
		Latitude	Longitude	Vitesse moyenne (m/s @ 30m)	Weibull (k)	Rayonnement solaire (kWh/m ² /jour)
Basse Côte-Nord et Anticosti	La Romaine	50,213°	-60,677°	7,25	2,00	2,99
	Port-Menier	49,817°	-64,350°	5,83	2,00	3,45
Nunavik (Côte Hudson et Côte Ungava)	Kuujuarapik	55,283°	-77,750°	7,16	2,00	2,85
	Umijuak	56,555°	-76,553°	7,34	2,00	2,84
	Inukjuak	58,454°	-78,102°	7,42	2,00	2,88
	Puvirnituq	60,033°	-77,283°	7,34	2,00	2,62
	Akulivik	60,800°	-78,199°	7,32	2,00	2,78
	Ivujivik	62,417°	-77,917°	7,26	2,00	2,50
	Salluit	62,200°	-75,633°	7,05	2,00	2,61
	Kangiqsujuaq	61,598°	-71,961°	6,57	2,00	2,59
	Quaqtaq	61,033°	-69,617°	7,01	2,00	2,72
	Kangirsuk	60,018°	-70,028°	6,86	2,00	2,60
	Aupaluk	59,300°	-69,600°	6,41	2,00	2,66
	Tasiujaq	58,700°	-69,933°	6,34	2,00	2,64
	Kuujuuaq	58,100°	-68,400°	6,15	2,00	2,64
Kangiqsualujuaq	58,691°	-65,954°	7,26	2,00	2,51	
Haute Mauricie	Clova	48,117°	-75,367°	4,16	2,00	3,15
	Wemotaci	47,903°	-73,784°	4,10	2,00	3,23
	Obedjwan	48,667°	-74,933°	6,36	2,00	3,15
Îles-de-la-Madeleine	Cap-aux-Meules	47,378°	-61,858°	8,76	2,00	3,44
	Île-d'Entrée	47,277°	-61,699°	8,98	2,00	3,44

2.2.4 Niveaux d'intégration des technologies d'énergies renouvelables

En tenant compte du contexte actuel des réseaux autonomes, c'est-à-dire considérant une alimentation basée sur les centrales thermiques diesels, (4) niveaux d'intégration sont envisageables. Ces niveaux, définie ci-dessous, pourrait s'intégrer à un processus de recherche d'alternatives.

Tableau 4 : Niveaux d'intégration des technologies d'énergies renouvelables

Niveaux	Description
I	Nulle : statu quo, donc maintien des groupes électrogènes utilisant du carburant fossile
II	Optimisation de l'installation actuelle : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendre plus propre : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Remplacement progressif des groupes par des générateurs à rendement supérieur et à plus faible émission (nouvelles normes > appliquées à la conception des nouveaux groupes chez CAT, par exemple) ▪ Conversion des groupes électrogènes au biocarburant ▪ Amélioration du rendement global : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cogénération (récupération de chaleur, chauffage urbain,...) ▪ Demande optionnelle (dans le cas où il est possible d'alimenter certaines charges uniquement lorsque les groupes sont moins sollicités – réduction de la pointe de consommation)
III	Jumelage de technologies (soit à partir de la situation statu quo ou d'une solution optimisée) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intégration optimisée d'une ou plusieurs technologies de conversion des énergies renouvelables afin de réduire l'utilisation des groupes électrogènes. Les groupes électrogènes et/ou une technologie de stockage compensent pour les périodes creuses ou la ressource (gisement) renouvelable est insuffisante.
IV	Remplacement complet des groupes électrogènes par une ou des technologies de conversion des énergies renouvelables (pouvant inclure des techniques d'optimisation (jumelage, etc.)) - objectif ultime : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Installations d'une puissance répondant aux besoins énergétiques et permettant un stockage suffisant pour les périodes creuses en énergies renouvelables

2.2.5 Technologies dont la ressource peut être transportée et stockée

Malgré les différences qui caractérisent chacune des communautés des réseaux autonomes, certaines technologies peuvent être exploitées sur l'ensemble du territoire, et ce, indépendamment des ressources locales. Ces technologies, listées ci-dessous, sont généralement basées sur la combustion d'une biomasse ou d'un biocarburant.

Tableau 5 : Technologies applicables à l'ensemble du territoire des réseaux autonomes

Technologies	Ressources transportées et stockées
Fournaises	Biomasses (granules de bois, ...)
Microturbines à gaz	Éthanol, méthane, etc.
Bioréacteurs	Biomasses (déchets organiques,...)
Groupes électrogènes	Biocarburant (biodiesel, éthanol, etc.)
Piles à combustible	Hydrogène, etc.
Turbines à vapeur	Sources de chaleur externe (cogénération ou autre)

Il faut cependant noter que, dans l'optique de remplacer partiellement ou complètement les centrales thermiques, le transport et l'entreposage de la ressource renouvelable peuvent s'avérer plus contraignants que pour le diesel fossile (poids additionnel au transport, volume d'entreposage, technique de stockage plus complexe, etc.).

2.2.6 Fournisseurs et contacts de technologies d'énergies renouvelables

Technologies	Fournisseurs			Contacts
Éoliennes (toutes puissances)	Énergies PGE (Chandler, Québec)	-	-	-
	Wenvor Technologies (firme d'Ontario)	-	-	-
	Proven Energy (Écosse)	-	-	www.provenenergy.com
	Bergey Wind Power	-	-	www.bergey.com
	Vestas Wind Systems	-	(519) 396-6922	vestas-canada@vestas.com
	Northern Power Systems	Amy Klinger	(802) 496-2955	aklinger@northernpower.com
	Enercon (Danemark)	-	+49(0)4941 927 109	www.enercon.de
	Acres (HATCH energy)	-	(514) 244-2017	montreal@hatchenergy.com
	Entegrity Wind Systems	-	(902) 368-7171	info@entegritywind.com
	Vergnet (petite éolienne) – France	-	+33(0) 238 52 35 60	m.mingarelli.vcan@videotron.ca
Lorax Energy Systems	-	(401) 466-2883	hdp@lorax-energy.com	
Wind power Inc.	-	(403) 627-2923	wpi@windpower.ca	
Dermond (McKenzie Bay International Ltd)	-	(616) 940-3800	http://web.mckenziebay.com/	
Intégration & Contrôle éolien	Controlled Power Corp.	Jerry Harlan	(800) 321-0414	jharlan@controlledpower.com
	Northern Power Systems	Amy Klinger	(802) 496-2955	aklinger@northernpower.com
	Frontier Power Products	George Sorochan	(780) 455-2260	edmonton@frontierpower.com
Stockage	Energy Storage & Power Co. (air comprimé)	Michael Nakhamkin	(908) 658-4815	mnakhamkin@ESPCinc.com
	J-Power Electric (pompage hydraulique)	-	+03 35 46 22 11	www.jpowers.co.jp
	Maxwell Industries (hyper condensateurs)	-	(858) 503-3300	info@maxwell.com
	Beacon Power Corporation (volant d'inertie)	Matt Polimeno	(978) 661-2073	polimeno@beaconpower.com
	Flywheel Energy Systems (volant d'inertie)	-	(613) 596-0856	fesi@magma.ca
Chauffage urbain	Dalkia International	-	+33 1 71 00 71 00	www.dalkia.com
	Elyo	-	+33 1 41 20 10 00	www.elyo.com
	Urecon Ltée	Pierre Lajoie	(450) 455-0961	urecon@urecon.com
Microturbine	Capstone Turbines	Keith Field	(818) 734-5300	info@capstoneturbine.com
	Honeywell Power Systems	Diane Wood	(954) 929-0041	ed.henderson@honeywell.com
	On Power Systems	Pascal Duchesne	(450) 442-0000	pduchesne@onpower.com
Solaire Photovoltaïque	Matrix Energy	-	(866) 630-5630	www.matrixenergy.ca
	LeBoise Alternatives Inc.	DJ MacIntyre	(613) 282-8658	dj@leboise.com
	Evergreen	-	(508) 357-2221	www.evergreensolar.com
	SharpUSA	-	(201) 529-8200	www.solar.sharpsusa.com
	Uni Solar	-	(248) 362-4170	www.uni-solar.com
	Sanyo	-	(905) 760-9944	solar@sci.sanyo.com
	Kaneka	-	(212) 705-4340	www.pv.kaneka.co.jp
	Kyocera	-	(800) 223-9580	www.kyocerasolar.com
	Northern Lights Energy Systems Ltd.	Laurence Mckay	(705) 246-2073	northern.lights@sympatico.ca
Solaire Thermique	Matrix Energy	-	(866) 630-5630	www.matrixenergy.ca
	Generation Solar	Simon Boone	(705) 741-1700	info@generationsolar.com
	Northern Lights Energy Systems Ltd.	Laurence Mckay	(705) 246-2073	northern.lights@sympatico.ca
Piles à combustible	Hydrogenics Corporation	René Mandeville	(905) 361-3660	rmandeville@hydrogenics.com
	Ballard Power Systems	-	(604) 454-0900	marketing@ballard.com
	PureCell (UTC Power)	Joe Staniunas	(860) 727-2200	www.purecell.ca
Piles à combustible (avec cogénération)	Nuvera	-	(617) 245-7500	www.nuvera.com
	Plugpower	Bob Berger	(518) 738-0203	bob_berger@plugpower.com
	Hexis	-	+41 (0) 52 262 63 11	info@hexis.com
	UTC Power	Joe Staniunas	(860) 727-2200	info@utcpower.com
	MTU CFC Solutions	-	+49 89 607-3 15 00	www.mtu-cfc.com
Géothermie	Miville Solution Climat Confort Inc.	Jacques Miville	(418) 626-5845	www.miville.ca
	Les Forages L.B.M. Inc.	Martin Sanfaçon	(819) 758-7883	flbm@ivic.qc.ca
	DisTech	Ben-Carl Guimond	(450) 582-4343	vchamard@distech.ca
	Les Services Techniques C. Mongeon Inc.	Christian Mongeon	(450) 689-4146	stcm@videotron.ca
	Les Systèmes Techno-Pompes	Pierre Fortin	(418) 623-2022	info@techno-pompes.com
Océanothermie	Sea Solar Power Inc.	Robert Nicholson	(717) 428-3246	nicholson@seasolarpower.com
	OCEES	-	(808) 734-1784	info@ocees.com
	Xenesys Inc.	-	+81 3 5765 2910	info@xenesys.com
Énergie Marémotrice & Houlomotrice	Clean Current Power Systems Inc.	Glen Darou	(604) 739-3383	www.cleancurrent.com
	Marine Current Turbines	Sylvie Head	011 44 117 979 1888	sylvie.head@marineturbines.com
	Finavera	Alla Weinstein	(604) 288-9051	info@finavera.com
	Ocean Power Technologies (OPT)	-	(609) 730-0400	info@oceanpowertech.com
	SeaVolt	-	(415) 781-5400	info@seavolt.com
	WaveGen	David Langston	011 44 1463 238094	david.langston@wavegen.com
Verdant Power Canada	Gene Luczkiw	(905) 688-5757	info@verdantpower.com	
Thermopompes & Fournaises	Le Groupe Master Itée (thermopompe)	Marc Bélanger	(514) 527-2301	mbelanger@master.ca
	Lauzon Recycled Wood Energy (fournaise bois)	Stewart McIntosh	(888) 427-5105	stewart.mcintosh@lauzonltd.com
	Tirino (fournaise eau/air)	Marc Bates	(905) 669-8636	marcb@tirino.ca
Biocarburants	Rothsay (biodiesel)	Mélanie Nadeau	(613) 947-2370	www.nrcan.gc.ca
	Enerkem Technologie	Vincent Chornet	(514) 875-0284	vchornet@enerkem.com
	BTG Biomass Technology Group	-	+420 222 523 601	office@btg.cz
	Primenergy	-	(918) 835-1011	www.primenergy.com
	Biothermica Technologie Inc.	Sylvain Coulombe	(514) 488-3881	sylvain.coulombe@biothermica.com
	Dynamotive Energy Systems Corporation	-	(604) 267-6000	www.dynamotive.com
	Enquest Power Corporation	-	(905) 892-1677	www.enquestpower.com
Equipements Mittner S.e.n.c.	Roland Mittner	(819) 842-2565	mittbril@qc.aira.com	

3. Références et sources

Voici les références documentaires et web, ainsi que les liens Internet pour la plupart des images intégrées à l'ouvrage.

Réf.	Description de la référence
[1]	Potentiel de développement par bouclage du Nunavik, 2003, RSW Inc.
[2]	www.mcc.gouv.qc.ca
[3]	BBA, Potentiel des technologies de conversion des énergies renouvelables..., 2006
[4]	HELIOS, Technologies permettant la réduction de l'utilisation du diesel..., 2006
[5]	www.manicore.com/documentation/stockage.html
[6]	www.géothermix.com
[7]	www.edf.com/.../schema_cogeneration.png
[8]	www.vie-publique.fr/politiques-publiques/politique-energie/glossaire/
[9]	www.cea.fr
[10]	Conférence sur l'efficacité énergétique aux IDM, HQ
[11]	www.studentsoftheworld.info/infopays/wfb_fr.php3?CODEPAYS=GRL
[12]	http://fr.wikipedia.org/wiki/Image:P%C5%82ywy_morskie.svg
[13]	http://hexagonemeteo.free.fr/anim_vent_tempe.php
[14]	www.mtq.gouv.qc.ca
[15]	www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/RDS1-26_web.pdf
[16]	www.cyberpresse.ca
[17]	www.ifen.fr/publications/DE/PDF/de102.pdf
[18]	www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Rayonnement_et_gaz_effet_de_serre/-_CO2_CH4_2tw.html
[19]	http://green-alert.blogspot.com/2007_01_21_archive.html
[20]	http://vulcan.wr.usgs.gov
[21]	www.mddep.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/index.htm (Chauffage au bois)
[22]	www.extenway.com/images/investing_pic.jpg
[23]	www.environnement.ouvaton.org/article.php3?id_article=84
[24]	www.echo-nature.com/inf/actu.cgi?id=1842
[25]	HQ, Prévision de la demande, 2007
[26]	HQ, Prévision de carburant, 2007
[27]	www.windatlas.ca (Atlas canadien d'énergie éolien)
[28]	www.eosweb.larc.nasa.gov (site NASA Surface meteorology and Solar energy)
[29]	www.notre-planete.info/geographie/climatologie_meteo/changement_0.php
[30]	http://www.pc.gc.ca/progs/amnc-nmca/systemplan/itm2-/atl2_f.asp
[31]	http://www.defipourlaterre.org/comprendre/effet_serre.gif
[32]	http://terre.haplosciences.com/rechauffement.html
[33]	http://www.fwhorch.com/building/solar-thermal.html
[34]	http://www.poweron.ch/fr/stromprod/bases_&_physique_content---1--1079.html
[35]	http://www.sutcliffespeakman.com/img/bio-reactor.jpg
[36]	http://www.conso-chauffage.com/chauffage/geothermie.jpg
[37]	http://www.lb-energies.com/images/geothermie.jpg
[38]	http://www.xelopolis.com/news/2007/avril/pile5.jpg
[39]	http://www.brest-ouvert.net/article1034.html
[40]	http://www.climamaison.com/images/articles/36/4.jpeg

Plans et Expertise technique – Production et transport
Direction régionale – Est et Nord-du-Québec
Vice-présidence – Réseau de distribution
Hydro-Québec Distribution
Division d'Hydro-Québec