

Le potentiel des énergies solaires au Québec

GREENPEACE

GREENPEACE

454, avenue Laurier Est
Montréal (Québec) H2J 1E7
1 800 320-7183
www.greenpeace.ca

www.greenpeace.ca

PHOTO La centrale à tour solaire PS20, située à Sacular la Mayor, près de Séville, en Espagne, peut fournir de l'électricité à 6 000 foyers. L'entreprise Solucar (Abengoa) prévoit de construire un total de 9 centrales dans les 7 prochaines années afin d'alimenter 180 000 foyers en électricité.



AUTEURS

Diane Bastien, candidate au doctorat de génie du bâtiment, civil et environnemental à l'Université Concordia
Andreas Athienitis, Ph.D., Eng., FCAE, professeur à l'Université Concordia, titulaire de la chaire de recherche sur l'énergie solaire

RÉVISION

Pierre Bernadet, Éric Darier, Astrid Jousset, Flavie Léger-Roy, Keith Stewart et Catherine Vézina

PHOTO DE LA COUVERTURE

© Réseau de recherche sur les bâtiments solaires

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement José Candanedo et Brendan O'Neill pour avoir pris de temps de lire ce manuscrit et de transmettre de judicieuses recommandations. Remerciements à Steven Guilbeault d'Équiterre et Benoit Perron d'Énergie Solaire Québec.

ISBN 978-0-9877581-0-1

Septembre 2011

Publié par Greenpeace Canada

Greenpeace est une organisation indépendante vouée à la protection de l'environnement. Nous organisons des campagnes de sensibilisation, parfois axées sur la confrontation créative, mais toujours non violentes. Sur la base de recherches scientifiques fiables, nous faisons la promotion de solutions efficaces et novatrices pour faire de notre planète un endroit plus vert et plus pacifique.

GREENPEACE

Bureau de Montréal :
454, avenue Laurier Est
Montréal (Québec) H2J 1E7
1 800 320-7183
www.greenpeace.ca



@GreenpeaceQC



Greenpeace Québec



TABLE DES MATIÈRES

4	Préface
9	Résumé
10	Le potentiel des énergies solaires au Québec
16	Les différents types d'énergies solaires
17	L'énergie solaire passive
19	L'éclairage naturel
20	L'énergie solaire thermique
21	L'énergie solaire photovoltaïque
22	L'énergie solaire thermique et photovoltaïque intégrée au bâtiment
24	Les centrales solaires thermiques
26	L'intégration des technologies solaires aux bâtiments : les bâtiments à consommation énergétique nette nulle
28	L'énergie solaire ailleurs dans le monde
29	L'Allemagne
31	L'Espagne
34	Le Japon
36	L'Ontario
38	L'énergie solaire la mieux adaptée pour le Québec
40	Un aperçu des professionnels reliés à l'énergie solaire au Québec
41	Les barrières au développement de la filière solaire au Québec
42	Comment assurer le déploiement de l'énergie solaire au Québec ?
43	... en améliorant le code du bâtiment
43	... en impliquant tous les niveaux de gouvernements
44	... en aidant le solaire thermique
45	... en augmentant la sécurité énergétique
45	... en préparant l'électrification des transports et la gestion de la demande
46	... en adoptant une stratégie énergétique basée sur la planification intégrée des ressources
47	... en adoptant des mesures budgétaires
47	... en investissant dans des projets de démonstration
48	Conclusions
49	Les avantages du solaire au Québec
50	Références



PRÉFACE



PAR ÉRIC DARIER, PH.D.,
DIRECTEUR DE GREENPEACE AU QUÉBEC

L'avenir prometteur des énergies solaires au Québec

Greenpeace est très fière de lancer ce rapport sur le potentiel du solaire au Québec et remercie chaleureusement Diane Bastien et le professeur Andreas Athienitis du département de génie du bâtiment, civil et environnemental de l'université Concordia pour la rédaction de ce rapport.

Le développement des énergies renouvelables pour remplacer les énergies fossiles et nucléaires demeure toujours un des grands impératifs du 21^e siècle. La lutte contre les changements climatiques et le développement d'énergies renouvelables et propres sont un défi mondial. L'efficacité énergétique et les économies d'énergies devraient aussi faire partie intégrante des solutions.

Greenpeace publie régulièrement des scénarios mondiaux (intitulés *[R]évolution énergétique*) qui montrent comment on pourrait, d'ici 2050, fournir 80 % de la demande énergétique mondiale avec seulement 2,5 % des énergies renouvelables viables et disponibles sur cette Terre. Ces alternatives énergétiques de Greenpeace ont maintenant été validées en juin 2011 par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) dans un rapport spécial sur les sources énergétiques renouvelables.¹

Sur le plan mondial, le solaire est la source d'énergie renouvelable la plus abondante : elle pourrait fournir 2 850 fois la consommation mondiale actuelle en énergie ! En utilisant seulement environ 2,5 % du potentiel des énergies renouvelables, il serait possible pour l'humanité de compter sur les énergies renouvelables pour la plupart de ses besoins énergétiques d'ici 2050.

Le solaire au Québec

Le solaire reste une solution énergétique ignorée par les politiques publiques au Québec, malgré le fait que l'énergie solaire reçue par seulement 0,1 % du territoire du Québec serait théoriquement nécessaire pour générer toute l'énergie dont le Québec a besoin annuellement.

Comme ce rapport l'indique, plutôt que parler de l'énergie solaire, on devrait parler des énergies solaires. En effet, il existe **le solaire photovoltaïque** qui produit directement de l'électricité, **le solaire passif** qui permet d'utiliser l'énergie du soleil grâce à une meilleure conception et construction des bâtiments, **le solaire thermique** qui capte la chaleur pour chauffer directement l'eau et l'espace des bâtiments, et **les centrales solaires thermiques** qui font fonctionner une turbine pour produire de l'électricité. Il existe donc une flexibilité des options solaires pour s'adapter aux contraintes et aux besoins locaux.

Grâce à de nombreux individus visionnaires, le solaire est déjà très présent au Québec, mais largement invisible car déjà intégré dans le patrimoine. Saviez-vous qu'il y a des milliers de maisons ou bâtiments au Québec qui utilisent déjà une des énergies solaires ? Saviez-vous qu'en plein centre de Montréal, au coin des rues Sainte-Catherine et Guy, se situe la plus grande installation solaire sur un bâtiment au Québec ?

PHOTO Le toit photovoltaïque et thermique de la maison Alstonvale : des modules photovoltaïques (PV) constituent les trois rangées du bas alors que la rangée du haut est constituée d'un absorbeur protégé par une vitre. L'air se réchauffe en circulant dans une cavité en dessous des modules PV.

© SEVAG POGHARIAN

Pourquoi le solaire au Québec ?

Malgré son statut de pays nordique, le Québec jouit d'un ensoleillement généreux, spécialement en hiver lorsque les besoins en chaleur sont les plus importants. Êtes-vous au courant que Montréal reçoit presque un tiers de plus d'ensoleillement annuellement que Berlin, alors que l'Allemagne est un des chefs de file mondiaux pour le solaire ?

Les énergies solaires ne sont pas seulement des énergies renouvelables et propres qui contribuent à la lutte aux changements climatiques. Ce sont aussi des sources d'énergie d'appoint importantes qui augmentent le confort, la sécurité et l'autonomie des résidents ; comme lors de la tristement célèbre crise du verglas de 1998. L'énergie solaire passive à elle seule peut combler jusqu'à 60 % des besoins de chauffage d'une maison. Dans l'état actuel des recherches, on peut déjà envisager des bâtiments qui seront des producteurs nets d'énergies.

Les technologies solaires passives, thermiques et photovoltaïques dans les bâtiments s'intègrent bien au paysage existant et jouissent d'une forte acceptabilité sociale d'autant plus que cette source d'énergie est contrôlée directement par les propriétaires ou les occupants des bâtiments.

Que faire au Québec pour le solaire ?

À court terme, le plus grand potentiel pour le solaire au Québec est le solaire passif et thermique en milieu résidentiel, commercial et institutionnel intégré à des normes élevées d'efficacité énergétique des bâtiments.

À moyen terme, les coûts du solaire photovoltaïque (PV) diminueront et deviendront concurrentiels par rapport aux coûts de construction et de fonctionnement de nouvelles centrales électriques, qu'elles soient au gaz, au charbon, au nucléaire ou même certains barrages hydroélectriques.

Il existe environ trois millions de logements au Québec. Si toutes les nouvelles constructions (environ 40 000 à 45 000 logements par an) incorporaient, d'ici 2015, du solaire passif et actif thermique, une meilleure isolation, etc. ; on aurait d'ici 2050, 1 400 000 logements solaires à faible consommation énergétique, soit environ un tiers du parc immobilier québécois (dépendant de l'évolution démographique). Également, si on adoptait aussi un programme de rénovation des logements existants pour améliorer leur efficacité énergétique et incorporer du solaire ou d'autres énergies renouvelables (géothermie, etc.), on pourrait améliorer grandement l'efficacité énergétique générale du parc immobilier.

Comme 77 % des logements au Québec utilisent de l'électricité pour le chauffage, l'incorporation de solaire thermique ou passif aux nouvelles constructions permettrait de réduire les pics de la demande d'électricité durant les journées les plus froides de l'hiver. Ceci réduirait donc l'importation d'électricité dont une partie provient du charbon ou du nucléaire, et aussi d'économiser des investissements de plus en plus coûteux dans des barrages hydroélectriques supplémentaires. Une solution permettant également de réduire

En utilisant environ 2,5 % du potentiel des énergies renouvelables, il serait possible pour l'humanité de compter sur les énergies renouvelables pour la plupart de ses besoins énergétiques d'ici 2050.

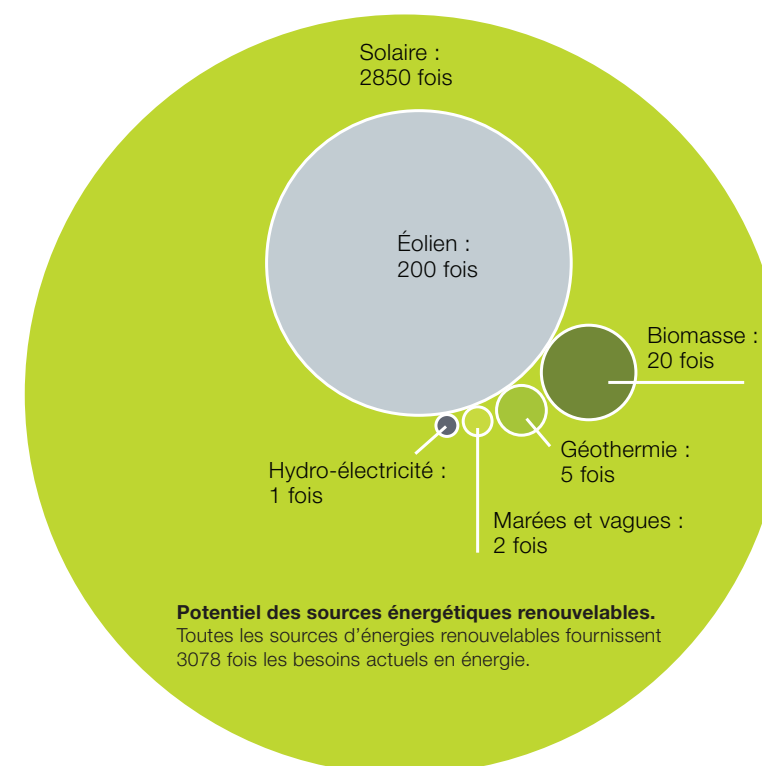
encore, voire d'éliminer totalement le chauffage des bâtiments aux énergies fossiles. Une partie de l'électricité ainsi économisée dans le chauffage des bâtiments pourrait alors être utilisée, par exemple, pour l'électrification des transports, une des autres grandes priorités dans la réduction de nos émissions de gaz à effet de serre (GES) tout en diminuant notre dépendance aux énergies fossiles.

Il est possible de construire des maisons à consommation énergétique nette nulle dès aujourd'hui avec les technologies actuelles en combinant de manière optimale l'énergie solaire, l'efficacité énergétique et des systèmes efficaces comme les pompes géothermiques. Ces maisons ont parfois besoin d'énergie additionnelle venant du réseau électrique, tandis qu'à d'autres moments elles exportent leurs excès d'énergie au réseau. Au cours d'une année, la somme de l'électricité importée et exportée par le bâtiment est nulle, d'où le terme de *consommation énergétique nette nulle*. Pour les bâtiments commerciaux et édifices à bureaux, il est plus difficile d'atteindre une consommation énergétique nette nulle que pour les logements résidentiels, mais certains exemples comme le nouveau bâtiment du *National Renewable Energy Laboratory* aux États-Unis démontrent que c'est tout à fait possible.

En conséquence, si tous les nouveaux bâtiments étaient conçus pour fournir l'énergie dont ils ont besoin par une utilisation optimale de l'énergie solaire sous toutes ses formes (chaleur, électricité et éclairage naturel) et l'efficacité d'énergie ; et si les bâtiments existants étaient rénovés et incluaient certaines mesures comme des serres sur les toits, solariums, collecteurs photovoltaïques/thermiques, revêtements extérieurs collectant la chaleur, fenêtres améliorées et des pompes à chaleur, il est facile d'envisager un futur où, d'ici 2050, la consommation énergétique des bâtiments est réduite de moitié.

Combinées à l'hydroélectricité existante, à l'éolien, à la géothermie, à l'utilisation locale et écologique de la biomasse et au biogaz, les énergies solaires pourraient rendre le Québec indépendant des énergies fossiles tout en réduisant notre déficit commercial.

FIGURE 1
RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES MONDIALES



Que doit faire le gouvernement du Québec ?

- **Adopter** rapidement et appliquer des normes élevées du bâtiment en matière d'efficacité énergétique (Novoclimat) et y inclure des normes en matière de solaire passif et thermique.
- **Investir** plus en recherche et en projets pilotes pour des bâtiments à très faible consommation énergétique afin que le Québec soit concurrentiel avec l'Ontario et certains pays européens comme l'Allemagne, qui ont créé les conditions pour l'éclosion d'une filière solaire.
- **Adopter** des programmes de financement et de rénovation des bâtiments existants plus ambitieux pour augmenter leur efficacité énergétique et l'intégration des énergies solaires.
- **Construire** tous les nouveaux bâtiments publics selon une norme équivalente à la certification LEED argent (*Leadership in Energy and Environmental Design*), comme en Ontario.
- **Investir** dans le développement et la structuration d'un secteur industriel des énergies solaires au Québec.
- **Investir** davantage dans la formation professionnelle et technique (cégep, université, etc.), dans le domaine des énergies solaires, dans les secteurs pertinents comme la construction, l'architecture, l'urbanisme, l'ingénierie, etc.
- **Mettre en place** une politique véritablement efficace de rachat d'électricité solaire par Hydro-Québec à un prix attrayant, garanti sur plusieurs années et similaire à ce qui a été adopté en Allemagne, en Espagne et en Ontario, mais spécialement adapté aux besoins du Québec.
- **Adopter** un mécanisme de financement innovateur des investissements dans les énergies solaires et la construction de bâtiments zéro-énergie.

Le Québec doit préparer dès maintenant son avenir en investissant dans des solutions énergétiques renouvelables plus écologiques et qui répondent aux enjeux planétaires du 21^e siècle. Les énergies solaires font partie de ces solutions.

PHOTO DE GAUCHE

La ferme Lufa, localisée au Marché Central à Montréal, est la première serre commerciale sur toit au monde. Le bâtiment en-dessous lui fournit 50 % de ses besoins en chauffage.

© FERME LUFU

PHOTO DE DROITE

La plus grande centrale solaire/éolienne hybride de Chine se trouve à Yancheng, dans la province du Jiangsu. Des éoliennes d'une capacité de 200 MW, côtoient 20 MW de panneaux solaires.

© GREENPEACE / ZHIYONG FU



Dans la plupart des pays, deux méthodes s'offrent pour la production de l'énergie électrique. L'une tient à l'équipement hydraulique : l'eau des montagnes et des rivières se renouvelle sans cesse de saison en saison, alors que le charbon, le pétrole, l'huile et le gaz naturel s'épuisent ; capter l'énergie hydraulique, c'est dépenser un revenu, utiliser d'autres sources d'énergie c'est dépenser du capital.

ALBERT RIOUX, 1942[®]

CETTE MÉTAPHORE ÉCONOMIQUE caractérisant le caractère durable de l'hydroélectricité s'applique à toutes les énergies renouvelables : l'eau, le soleil et le vent seront présents tant que le Soleil illuminera la Terre. Contrairement au charbon, au pétrole, au gaz et même à l'uranium, qui viendront à manquer d'ici un demi à deux siècles, les énergies renouvelables sont des solutions durables pour les siècles à venir. Le Québec a misé dès le début de l'électrification sur ses ressources hydrauliques, ce qui en fait une juridiction avec un taux de pénétration d'énergie renouvelable parmi les plus élevés dans le monde.

Toutefois, le Québec se trouve également parmi les peuples les plus énergivores de la planète. L'énergie éolienne au Québec commence à s'implanter depuis les appels d'offres de 2003 et 2005, respectivement de 1 000 MW et 2 000 MW de capacité installée. Jusqu'à maintenant, l'énergie solaire est largement sous-exploitée au Québec. Elle a pourtant un immense potentiel : **le Québec reçoit suffisamment de radiation solaire sur son territoire en moins de deux heures au mois de décembre pour couvrir ses besoins énergétiques annuels !**

L'énergie solaire ne se limite pas aux panneaux solaires qui produisent de l'électricité. Grâce à un design maximisant l'énergie solaire passive, les bâtiments peuvent couvrir plus de la moitié de leurs besoins de chauffage par l'énergie solaire qui pénètre à l'intérieur du bâtiment à travers les fenêtres. Des capteurs solaires thermiques à air ou à eau peuvent accumuler la chaleur du soleil et ainsi fournir une importante portion des besoins de chauffage de l'espace et en eau chaude sanitaire. L'utilisation optimale du soleil pour l'éclairage naturel des bâtiments permet de diminuer significativement la consommation électrique associée à l'éclairage artificiel. En intégrant l'efficacité énergétique et plusieurs technologies solaires dans un bâtiment, il devient alors possible de créer des bâtiments capables de produire toute l'énergie nécessaire pour combler leurs besoins. Le Québec peut bénéficier grandement de l'énergie solaire sous toutes ses formes et doit commencer sans plus tarder à exploiter son immense potentiel. ☀



FIGURE 2
RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR SECTEUR AU QUÉBEC EN 2008³

INDUSTRIEL 37 % 644,3PJ	RÉSIDENTIEL ET COMMERCIAL 33 % 575,6PJ	TRANSPORT 29 % 502,5PJ	AGRICULTURE 1 % 28,0PJ
-----------------------------------	--	----------------------------------	----------------------------------

RÉDIGÉ PAR DIANE BASTIEN ET ANDREAS ATHIENTIS

Le potentiel des énergies solaires au Québec

L'exploitation de l'énergie solaire peut se faire sous des formes très diverses, et ce, à des coûts qui varient considérablement. Au Québec, les bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels ont consommé 33 % de l'énergie secondaire* en 2008 alors que l'industrie en consommait 37 %.³ Toutefois, l'électricité consommée par les bâtiments accapare plus de 51 % de l'électricité consommée au Québec, soit 100 TWh** sur les 196 TWh électriques consommés annuellement. Le transport constitue également un pôle important de la consommation énergétique secondaire avec une part de 29 % et de 40 % des émissions de gaz à effet de serre (GES). Les bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels sont responsables de 18 % des émissions de GES du Québec. L'électricité couvre une importante partie des besoins énergétiques des Québécois, soit 42 % ; cependant, les combustibles fossiles non renouvelables fournissent une quantité d'énergie encore plus grande, soit 50 %***.

La crise pétrolière des années 70 a stimulé les programmes d'efficacité énergétique et la recherche sur l'énergie solaire. Les bâtiments se sont ainsi améliorés au Canada. Néanmoins, la croissance démographique, le développement économique et l'augmentation de la taille des bâtiments ont surpassé les économies d'énergies⁵. L'intégration de l'énergie solaire aux bâtiments, pour produire de la chaleur et de l'électricité, est probablement une des avenues les plus faciles à explorer pour le déploiement de cette filière. De plus, cette énergie est générée à l'endroit même où elle est consommée, ce qui augmente la sécurité d'approvisionnement en énergie en cas de panne, comme ce fut le cas lors de la tempête de verglas de 1998. L'énergie solaire pourrait également fournir de la chaleur à haute température, nécessaire aux opérations de certaines industries. Bref, les besoins sont là. L'énergie solaire peut-elle combler une portion significative de ceux-ci ?

Il est parfois mentionné que l'énergie solaire a le désavantage d'être une source d'énergie diffuse. Pourtant, le rayonnement direct du Soleil peut dépasser 1 000 watts par mètre carré, ce qui représente une quantité d'énergie considérable. Au Québec, la moyenne annuelle d'ensoleillement sur une surface horizontale varie entre 9 et 14 MJ/m² par jour⁶, soit l'équivalent de 2,5 à 3,9 kWh/m²****. En utilisant une valeur médiane de 12 MJ/m², un capteur solaire thermique avec une efficacité de 50 % produira 608 kWh/m² de chaleur par année. Des panneaux solaires photovoltaïques (PV) avec une efficacité de 12 % produiront, eux, environ 146 kWh/m² d'électricité.

PHOTO La maison ÉcoTerra™ consomme moins de 10 % de l'énergie d'une maison similaire conventionnelle. Parmi les caractéristiques de cette maison solaire, on retrouve un plancher radiant en béton, des brises-soleils et une façade sud vitrée à 40 % avec un vitrage triple.

© RÉSEAU DE RECHERCHE SUR LES BÂTIMENTS SOLAIRES

* L'énergie secondaire est l'énergie obtenue par la transformation d'une énergie primaire, comme par exemple l'électricité (secondaire) produite à partir de la combustion de charbon (primaire).

** 1 TWh = 10¹² watt-heures ou l'équivalent de 10⁹ kWh.

*** Le 8 % restant est comblé par la biomasse.

**** 1 kWh = 3,6 MJ = 3,6 mégajoules = 3,6 10⁶ Joules.

Il est vrai que les centrales électriques (alimentée aux combustibles fossiles ou à l'uranium) fournissent davantage d'électricité par mètre carré que l'énergie solaire. Toutefois, l'énergie solaire comporte des avantages qui peuvent compenser une plus faible densité énergétique : elle peut être installée en production, distribuée géographiquement et être intégrée aux bâtiments. Ainsi elle n'accapare pas de territoire additionnel ayant comme seule vocation la production d'énergie. L'intégration de panneaux solaires à l'enveloppe du bâtiment, soit sur le toit ou en façade, permet ainsi de diversifier les fonctions d'un même territoire.

La production décentralisée a l'avantage de produire l'électricité là où elle est consommée, près du consommateur, ce qui minimise les pertes et frais de transport.

Hydro-Québec, habituée à gérer de gros réservoirs et acheminer l'électricité sur de longues distances, a jusqu'à maintenant favorisé les projets électriques produisant une grande quantité d'énergie. Des changements seront nécessaires afin de gérer efficacement une nouvelle production électrique décentralisée. Avec les prévisions météorologiques, il est maintenant possible d'avoir une assez bonne estimation du rayonnement solaire pour une région donnée à court terme. Hydro-Québec gère déjà les fluctuations de demande et de production au quotidien, il suffira simplement de développer des modèles afin de prévoir la production d'énergie solaire et elle pourra être intégrée au réseau sans difficulté particulière. Avec les nombreux barrages hydrauliques du réseau québécois, il est alors relativement facile de compenser l'électricité solaire produite en ajustant l'ouverture des vannes des barrages pour assurer une production électrique capable de répondre à la demande en tout temps. Grâce à l'hydroélectricité du Québec, l'intégration d'énergies dont la production varie temporellement comme le solaire et l'éolien se trouve grandement facilitée.

Toutes les énergies de sources renouvelables fluctuent dans le temps. L'énergie hydraulique varie à long terme selon les saisons et les précipitations annuelles, tandis que l'énergie éolienne et solaire comportent des variations importantes à court terme. L'énergie solaire varie aussi d'une année à l'autre selon le couvert nuageux, mais cette variation est plutôt faible. C'est plutôt la variation journalière qui est importante : l'énergie solaire est à son maximum à midi alors qu'elle tombe à zéro pendant la nuit. Il y a également des variations solaires saisonnières importantes avec 9 heures d'ensoleillement en hiver et presque 15 heures à l'été. Toutefois, la course du Soleil est très bien connue et facile à modéliser, la seule incertitude pour l'évaluation du potentiel solaire d'une journée donnée dépend de la météo, comme le couvert nuageux, la clarté du ciel (smog, poussières, brouillard) et les précipitations. Il est possible de prévoir la quantité d'énergie solaire minimum en

FIGURE 3
VARIABILITÉ ANNUELLE DES APPORTS HYDRAULIQUES, ÉOLIENS ET SOLAIRES DE 1953 À 1983*

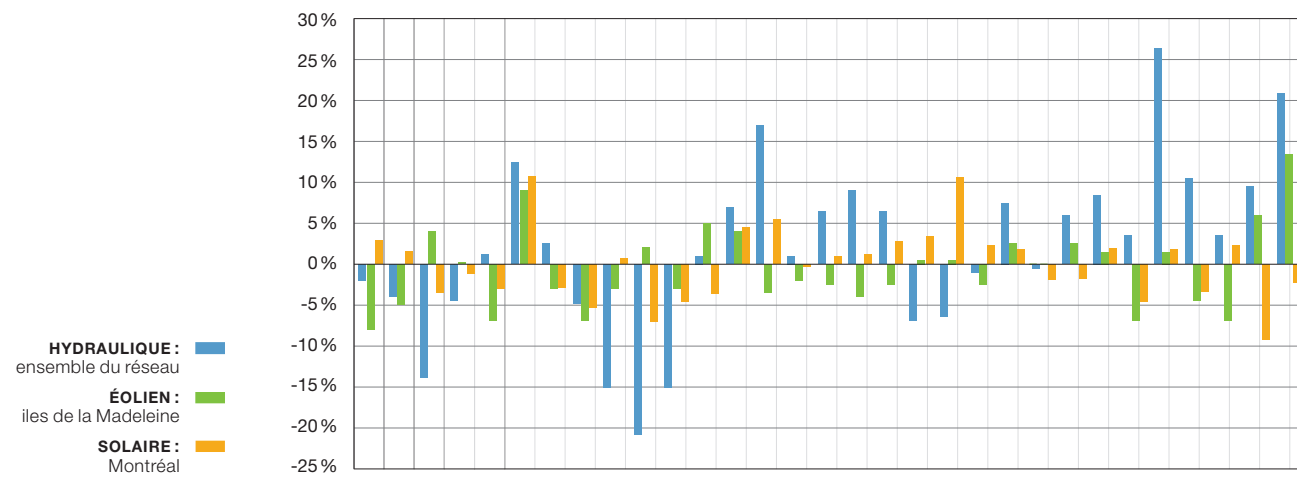
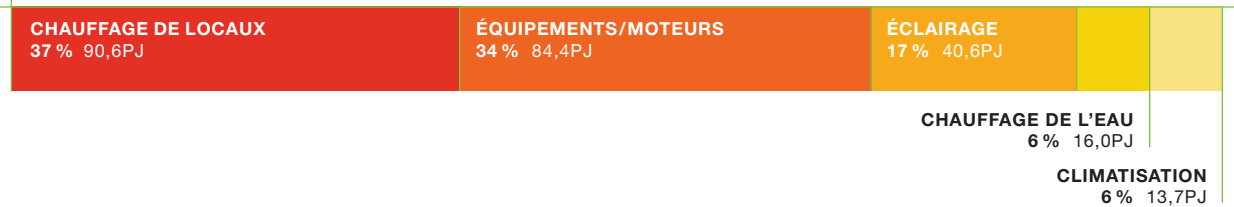


FIGURE 4
RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR UTILISATION
SECTEUR RÉSIDENTIEL, QUÉBEC, 2008[®]



FIGURE 5
RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR UTILISATION
SECTEUR COMMERCIAL/INSTITUTIONNEL, QUÉBEC, 2008[®]



cas d'un couvert nuageux total et la quantité maximum pour un ciel entièrement dégagé, et il est certain que la production solaire se trouvera entre ces deux valeurs.

La production solaire photovoltaïque (PV) est proportionnelle au rayonnement incident ; c'est-à-dire qu'un panneau PV soumis à un rayonnement solaire deux fois plus élevé produira deux fois plus d'électricité. La production électrique éolienne quant à elle varie plutôt en fonction du carré de la vitesse du vent** : si la vitesse du vent double de 15 km/h à 30 km/h, la production électrique sera alors quatre fois plus élevée. La variation annuelle de la production éolienne est donc plus importante que la variation du photovoltaïque. Toutefois, la dispersion de parcs éoliens sur le territoire diminue grandement la variation de la production alors que la dispersion géographique n'affecte pas significativement la production solaire. L'énergie solaire est l'énergie renouvelable avec la plus petite variation annuelle : sur une période de 30 ans, l'écart type de la variabilité des apports du réseau hydraulique québécois est de 10 %, l'écart type de la variabilité du vent moyen annuel des îles de la Madeleine est de 7 % alors que l'écart type de la variabilité du rayonnement horizontal global à Montréal est de 4,5 %.

Le profil de la consommation énergétique des bâtiments résidentiels est sensiblement différent de celui des bâtiments du secteur commercial et institutionnel. Dans le milieu résidentiel, le chauffage constitue 65 % des besoins énergétiques en moyenne, suivi des appareils ménagers et de l'eau chaude sanitaire qui constituent respectivement 17 % et 12 % des besoins énergétiques. Pour les bâtiments commerciaux et institutionnels, l'utilisation d'équipements et de moteurs nécessite pratiquement autant d'énergie que le chauffage de l'espace avec environ un tiers de la consommation totale. L'éclairage constitue le troisième pôle de consommation énergétique le plus important avec 17 % de la consommation énergétique totale du bâtiment, mais représente 29 % de la consommation électrique[®].

En 2008, le Québec a consommé 1750,4 PJ (petajoules, 10¹⁵ Joules) d'énergie sous toutes ses formes, dont 60 % sous forme de chaleur et 40 % sous forme électrique[®]. En théorie, il faudrait 1 341 km² de panneaux photovoltaïques et 477 km² de capteurs thermiques afin de répondre à ces besoins, ce qui représente au total 0,1 % de la superficie

* Les données pour l'énergie solaire sont calculées à partir de⁷ tandis que les données pour l'hydraulique et l'éolien proviennent de[®].

** En théorie, la puissance électrique est proportionnelle au cube de la vitesse du vent, mais en réalité, à cause de contraintes mécaniques, elle est plutôt proportionnelle au carré de la vitesse, jusqu'à ce que le plateau de production nominale soit atteint.

CARTE 0,1 % du territoire québécois suffirait à produire toute l'énergie consommée au Québec, soit une superficie inférieure à la moitié du cratère de Manicouagan.

PHOTO Panneaux solaires sur la maison Abondance à Montréal. (Voir encadré page 27)

© ABONDANCE MONTRÉAL



FIGURE 6

du Québec*. Bien sûr, une société alimentée uniquement à l'énergie solaire n'est pas souhaitable, car les défis de stockage de chaleur et d'électricité seraient pratiquement insurmontables, mais cet exercice démontre néanmoins l'abondance de la ressource au Québec comparativement à nos besoins énergétiques. Le potentiel y est, il s'agit de trouver la meilleure façon de l'exploiter au Québec.

L'énergie solaire se trouve confrontée à un problème de perception au Québec. Plusieurs sont persuadés que l'énergie solaire est insuffisante à cause de la rigueur de notre climat. Toutefois, il est important de distinguer la différence entre température et rayonnement solaire : sous une journée glaciale de février à -25 °C, le Soleil est pratiquement toujours au rendez-vous. En effet, ces basses températures sont causées, entre autres, par l'absence de couvert nuageux. **Ainsi, même en période de froid intense, le rayonnement solaire peut dépasser 1 000 W/m² au Québec.** La neige a une forte capacité réfléchissante et contribue à augmenter le rayonnement solaire reçu par les bâtiments. À Montréal, la moyenne d'ensoleillement pour une surface horizontale est de 3,52 kWh/m² par jour, soit 29 % de plus qu'à Berlin, pourtant capitale du pays numéro un en énergie solaire photovoltaïque**¹⁰.

La consommation d'électricité au Québec atteint des sommets les matins de grands froids hivernaux ; il faut alors importer de l'électricité des États-Unis. Le 24 janvier 2011 à 7 h 38, alors que la température atteignait -33 °C, un nouveau record de consommation a été établi : 38 200 MW. Près de 2 500 MW ont été importés afin de répondre à la demande de pointe.⁹ Il est possible d'amoindrir ces pics de consommation et diminuer ainsi les fluctuations de la demande énergétique grâce aux technologies des bâtiments intelligents. Ceux-ci possèdent du stockage thermique alimenté par des systèmes efficaces comme des pompes à chaleur (thermopompes et géothermie) et des systèmes de contrôle qui intègrent les prévisions météorologiques ; ainsi, sachant à l'avance qu'une vague de froid est imminente, le système de contrôle peut envoyer un signal afin de charger le stockage thermique plusieurs heures à l'avance, pendant la nuit. Ce type de système peut réduire significativement la demande de pointe matinale d'un bâtiment.

Sur le plan mondial, l'industrie solaire croît d'année en année à un rythme soutenu. La capacité d'énergie photovoltaïque installée a crû de 44 % en 2009 dans les pays membres de l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE)¹¹. Cette industrie est en pleine expansion, mais elle ne représente toutefois qu'une faible partie de la production énergétique mondiale. En effet, selon des données provenant de l'Agence internationale de l'énergie pour 2008, l'électricité produite annuellement à partir d'énergie

solaire s'élève à 12 914 GWh, soit 0,06 % de la production électrique mondiale. La production de chaleur à partir d'énergie solaire n'atteint que 58 TJ (terajoules, 10¹² Joules), soit 0,0004 % de la production mondiale. Cette dernière donnée est toutefois sous-estimée, car elle ne prend pas en considération l'énergie solaire passive (cf. parties suivantes).

En adoptant de nouvelles politiques favorisant le développement de l'énergie solaire PV, l'Agence internationale de l'énergie estime que celle-ci pourra répondre à environ 2 % des besoins électriques de la planète en 2035¹². La puissance photovoltaïque installée dans le monde en 2010 a atteint 39,5 GW. Au Canada, la capacité PV installée a atteint 200 MW en 2010, une hausse de 111 % comparativement à 2009. La croissance de l'énergie photovoltaïque au Canada provient principalement de l'Ontario grâce à ses tarifs d'achat d'énergie renouvelable avantageux mis en place par le *Green Energy Act*. Le Canada ne possède que 0,5 % de la capacité photovoltaïque mondiale installée en 2010. L'Allemagne héberge à elle seule 43 % des installations photovoltaïques mondiales, suivie par l'Espagne et le Japon qui possèdent chacun 9 % des installations mondiales. La Chine a presque triplé sa capacité installée entre 2009 et 2010 atteignant une capacité de 893 MW à la fin de 2010, entrant ainsi dans le palmarès des dix pays avec la plus grande capacité PV installée au monde¹³.

L'ambitieux programme de l'Ontario, le premier en Amérique du Nord, garantit un tarif d'achat à long terme pour les énergies renouvelables. Traditionnellement, l'électricité produite par l'énergie solaire au Canada était principalement destinée à alimenter des installations non reliées à un réseau électrique. Toutefois, cette tendance est appelée à changer avec les nouvelles politiques énergétiques en Ontario qui favorisent plutôt les installations reliées au réseau. L'interconnexion entre panneaux photovoltaïques et réseau électrique présente certains avantages. Le plus important consiste à éliminer le besoin d'acquérir des batteries pour stocker les surplus d'électricité, réduisant les coûts, la complexité et les besoins d'entretien du système. Un autre avantage des panneaux PV reliés au réseau consiste en la réduction de la demande de pointe due à la climatisation. En effet, les besoins de climatisations sont plus importants lors de journées fortement ensoleillées ; parallèlement, les panneaux PV ont leur production maximale à ce même moment, en phase avec les besoins de climatisation.

Depuis 2006, il est possible de connecter des panneaux photovoltaïques à Hydro-Québec avec le programme de mesurage net pour l'autoproduction d'énergie renouvelable. Moyennant une contribution de 400 \$, Hydro-Québec inspecte les équipements et installe un compteur électrique à double registre permettant de comptabiliser l'électricité produite par le système d'énergie renouvelable et injectée dans le réseau ainsi que l'électricité consommée provenant du réseau. Il est possible d'obtenir un crédit pour les kWh d'énergie produite allant jusqu'à couvrir totalement la consommation du client pour des installations d'une capacité inférieure à 50 kW. L'énergie envoyée au réseau est créditée au même coût qu'elle est consommée, donc entre 5,39 et 7,51 ¢/kWh.

En comparaison, l'Ontario achète l'énergie solaire à des tarifs incitatifs allant de 44 ¢/kWh à 80 ¢/kWh selon les installations¹⁴. Au Québec, le programme existant ne permet pas de tels tarifs pour l'instant, car Hydro-Québec ne peut acheter de l'électricité sans appel d'offres. De plus, avec 74 % de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles et nucléaires¹⁵ et plusieurs centrales électriques vieillissantes, l'Ontario se retrouve dans l'obligation de renouveler une partie de ses équipements de production énergétique rapidement. Cette situation difficile est toutefois une source d'innovation technologique et de stimulation économique pour cette province.

À Montréal, la moyenne d'ensoleillement pour une surface horizontale est de 3,52 kWh/m² par jour, soit 29 % de plus qu'à Berlin, pourtant capitale du pays numéro un en énergie solaire photovoltaïque.

* En assumant comme précédemment un rayonnement moyen de 12 MJ/m² par jour, une efficacité de 12 % pour le photovoltaïque et une efficacité de 50 % pour le thermique.

** Moyenne sur 22 ans.



Les différents types d'énergies solaires

Les adeptes de l'énergie solaire se plaisent à rappeler que toute forme d'énergie sur Terre est dérivée du Soleil. Que ce soit les vents engendrés par les fluctuations de températures à la surface de la Terre, le cycle de l'eau qui s'évapore sous ses rayons, la biomasse qui transforme son énergie en matière organique ou même les combustibles fossiles façonnés lentement par sa chaleur, il est indispensable à toute forme d'énergie terrestre. Et même en ne considérant que les effets directs du Soleil, plusieurs options permettent d'exploiter l'énergie solaire avec succès.

L'énergie solaire passive

Connue et exploitée depuis très longtemps, l'énergie solaire passive est la plus simple, la moins dispendieuse et peut-être aussi la moins connue des technologies solaires. Le tragédien grec Eschyle est réputé pour avoir dit, au 5^e siècle av. J.-C., que l'orientation sud des maisons grecques était un signe de modernité et de civilisation, contrairement aux habitations construites par les primitifs et les barbares¹⁸.

Pourtant, au Canada, pas un seul code du bâtiment n'exige de prendre en considération l'orientation d'un bâtiment par rapport au Soleil. Une maison bien isolée, étanche et avec une fenestration optimale sur la façade sud peut combler jusqu'à 50 % – 60 % de ses besoins de chauffage seulement grâce aux rayons du soleil pénétrant à l'intérieur^{17 18}.

Si les bâtiments résidentiels avaient été conçus pour combler 50 % de leurs besoins en chauffage par l'énergie solaire passive, c'est 30 TWh d'énergie qui n'auraient pas été consommés en 2008, soit 6 % de la consommation énergétique totale du Québec ou l'équivalent de six centrales nucléaires de la taille de Gentilly-2.

Combien coûte l'intégration de l'énergie solaire passive dans un bâtiment ? Lorsqu'on l'intègre au moment du design de l'habitation, l'architecte Luc Muyldermans soutient qu'il faut compter un surcoût d'environ 5 %. Les maisons solaires de ce type ne coûtent que 400 \$ par année à chauffer à l'électricité¹⁹. Si l'énergie solaire passive est intégrée au bâtiment au moment du design, il n'en coûte pas plus cher d'installer une fenêtre du côté nord ou sud. Toutefois, ajouter davantage d'isolant nécessite de déboursier un peu plus d'argent, tout comme l'installation d'un ventilateur récupérateur de chaleur à haute efficacité. Afin d'optimiser les gains solaires passifs, un vitrage éco-énergétique* double ou triple devrait être considéré. Pour un bâtiment déjà construit, les coûts sont évidemment plus importants, car des modifications importantes à l'enveloppe du bâtiment sont alors nécessaires. L'ajout d'un solarium non chauffé à une habitation existante pourrait réduire significativement la demande de chauffage. Il agit alors comme un collecteur solaire, en plus d'offrir un espace additionnel fort agréable aux occupants et qui permet la culture de plantes, légumes et arbres fruitiers.

* Vitrage avec pellicule à faible émissivité (*low e*), gaz argon et un coefficient de gain de chaleur solaire (*Solar Heat Gain Coefficient – SHGC*) élevé.

PHOTO La ferme Lufa, localisée au Marché Central, cultive 120 variétés de légumes sur le toit d'un immeuble.

© DIANE BASTIEN

L'ajout d'un solarium à une maison existante située à Montréal peut fournir au moins jusqu'à 34 % des besoins de chauffage de la maison. Si 27 % des maisons du Québec étaient équipées de solariums capables de réduire leur demande en chauffage de 30 %, 5 TWh d'énergie seraient économisés à travers la province, soit 1 % de la consommation totale d'énergie²⁸. Quant à eux, les bâtiments commerciaux et institutionnels ont beaucoup de potentiel pour accueillir des serres sur leurs toits. D'ailleurs, Montréal est l'hôte de la première serre commerciale sur toit au monde. La ferme Lufa, située au marché central, possède des serres d'une superficie de 2 880 m². Ils cultivent plus de 40 familles de légumes frais sans pesticide qu'ils distribuent en paniers hebdomadaires à 650 familles des environs. Ils soutiennent que plus de la moitié de leurs besoins en chauffage sont comblés par les pertes thermiques du bâtiment au-dessous. Il y a de nombreux bâtiments avec des toits plats à Montréal qui pourraient accueillir une serre sur leur toit et ainsi diminuer leurs charges de climatisation et de chauffage tout en réduisant l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Les principes de design solaire passif concernent majoritairement l'orientation, la fenestration, l'isolation et la masse thermique des bâtiments. L'idéal est une fenestration optimale sur une surface verticale sud, car elle reçoit une abondante radiation solaire en hiver lorsque le Soleil est bas dans le ciel et beaucoup moins en été quand le Soleil est plus haut. De plus, elle est facile à ombrager avec un débord de toit ou des auvents. Les façades est et ouest reçoivent également une quantité assez importante de rayons solaires, mais il devient alors très important d'avoir un système pour les protéger du Soleil pour éviter la surchauffe, surtout du côté ouest lors de chauds après-midi. Les stores ou volets extérieurs sont les plus efficaces pour ces orientations. Une fenestration à l'est est à privilégier davantage qu'à l'ouest, car elle permet à la chaleur du Soleil de pénétrer le bâtiment tôt le matin pour chauffer la masse thermique du bâtiment. Cette masse thermique est nécessaire pour absorber une partie des gains solaires pour les restituer plus tard ; elle est indispensable pour limiter les fluctuations de température. Il est possible de dimensionner la masse thermique pour suivre un cycle de 24 heures, ainsi la chaleur accumulée durant le jour est graduellement libérée pendant la nuit et se régénère à nouveau la journée suivante²⁹. Couplée à des gains solaires passifs, elle réduit la surchauffe, les besoins de chauffage nocturne et augmente le confort des occupants ; elle aurait donc tout avantage à être mieux connue et utilisée. La terre, le béton, la brique, l'eau, l'ardoise et la céramique sont des matériaux ayant une importante masse thermique. Le Québec est un endroit idéal pour exploiter l'énergie solaire passive, car il jouit d'un climat à la fois froid et ensoleillé. La demande et la ressource sont présentes simultanément, donc l'énergie solaire passive peut être utilisée avec profit tout en améliorant significativement le confort des occupants, comme en témoigne Louise Laferrière, propriétaire de la maison ÉcoTerra™²⁸ :

PHOTOS Des fenêtres au sud, des auvents et de la masse thermique sont les ingrédients de base pour un bâtiment solaire passif. La maison Alstonvale intègre ceux-ci avec fière allure.

© SEVAG POGHARIAN



Les principes de design solaire passif concernent majoritairement l'orientation, la fenestration, l'isolation et la masse thermique des bâtiments. L'idéal est une fenestration optimale sur une surface verticale sud, car elle reçoit une abondante radiation solaire en hiver et est facile à ombrager l'été.

« Ce qui m'épate le plus, dit Louise, c'est la constance de la température, du sous-sol à l'étage. Et la qualité de l'air est incontestable. Dans le temps des Fêtes, il n'y avait pas la moindre buée dans les fenêtres, et nous étions 40 personnes. »

L'éclairage naturel

La géométrie du bâtiment et la répartition de ses ouvertures peuvent être optimisées de manière à favoriser l'éclairage naturel à l'intérieur du bâtiment. Avec un design réfléchi, il est possible de fournir pratiquement 100 % de l'éclairage du bâtiment par le Soleil durant le jour. L'utilisation d'éclairage artificiel peut ainsi être considérablement réduite et limitée aux soirées. La réduction de la consommation énergétique qui s'ensuit peut être appréciable pour les bâtiments résidentiels, mais encore plus significative pour les bâtiments commerciaux et institutionnels. En effet, ces derniers bâtiments sont caractérisés par des charges internes élevées et requièrent donc beaucoup d'énergie pour la climatisation. L'électricité utilisée pour l'éclairage artificiel non seulement consomme beaucoup de kWh, mais aussi dégage beaucoup de chaleur dans le bâtiment, augmentant ainsi la charge du système de climatisation. Le bâtiment du *National Renewable Energy Laboratory* des États-Unis, au Colorado, a été conçu afin d'optimiser l'éclairage naturel. Ce bâtiment consomme cinq fois moins d'électricité pour l'éclairage qu'un bâtiment conventionnel, ce qui a permis de réduire d'autant la capacité du système de refroidissement. Les économies liées à l'achat d'un système de refroidissement à moindre capacité peuvent être substantielles. Ce bâtiment est érigé sur l'axe est/ouest et la largeur a été fixée à 18 mètres ; ainsi, tous les employés sont à moins de neuf mètres d'une fenêtre. Le système d'éclairage doit être activé manuellement, mais s'éteint automatiquement lorsque plus personne ne se trouve dans la pièce. De plus, l'intensité des lampes est automatiquement ajustée en fonction de l'éclairage naturel afin de fournir un niveau d'éclairage approprié tout en réduisant la consommation énergétique. Les bureaux sont à aire ouverte avec des murs de partition bas et le mobilier est de couleur claire afin de favoriser la pénétration de l'éclairage naturel profondément dans le bâtiment. Équipé de panneaux photovoltaïques sur le toit et au-dessus du stationnement, ce bâtiment génère ainsi plus d'énergie que ses besoins annuels²⁹.

Tel qu'illustré à la figure 5 (page 13), les bâtiments commerciaux et institutionnels au Québec ont consommé 40,6 PJ pour l'éclairage artificiel en 2008, soit l'équivalent de 29 % de la consommation électrique d'un édifice en moyenne. **Pour les nouveaux bâtiments, les connaissances et technologies actuelles permettent de réduire la consommation électrique associée à l'éclairage artificiel de 80 %.** Pour les bâtiments existants, il serait possible de diminuer la consommation due à l'éclairage électrique jusqu'à 77 %, en remplaçant les luminaires actuels pour des modèles plus efficaces, dépendamment de la configuration existante. Il faut toutefois tenir compte d'un changement de luminaires sur la charge des systèmes de chauffage et de climatisation : la charge de climatisation s'en trouvera réduite et celle de chauffage pourrait augmenter²⁴. Afin de maximiser la performance de l'éclairage naturel, il est judicieux de combiner des systèmes d'éclairages efficaces avec gradateurs, des détecteurs de mouvements, des capteurs mesurant la luminosité et même des stores motorisés.

L'éclairage naturel peut être vu comme une forme d'efficacité énergétique, car il permet de réduire la consommation d'énergie du bâtiment. Il est possible de modifier l'enveloppe et les ouvertures d'un bâtiment pour améliorer l'éclairage naturel lors de rénovations, mais



PHOTO Gros plan d'un capteur à plaque perforée.

© DIANE BASTIEN

idéalement cet aspect devrait être pris en compte lors de la conception du bâtiment. Le choix de l'emplacement des ouvertures d'un bâtiment devrait tenir compte de plusieurs facteurs, dont l'orientation, les gains solaires, l'éclairage naturel et la vue.

L'énergie solaire thermique

Il est aussi possible d'utiliser des capteurs solaires thermiques afin de collecter la chaleur du Soleil. Ces capteurs sont généralement constitués d'un absorbeur de couleur foncée qui transfère la chaleur à un fluide, généralement de l'air ou de l'eau (ou un mélange d'antigel et d'eau lorsqu'une protection contre le gel est nécessaire). L'eau possède une capacité thermique massique quatre fois plus grande que celle de l'air, elle permet donc de stocker davantage d'énergie. À volume égal, l'eau peut emmagasiner environ 3 500 fois plus d'énergie que l'air à cause de la faible densité de ce dernier. La chaleur récoltée est généralement utilisée pour le chauffage des locaux ou pour chauffer l'eau sanitaire. Il est généralement plus simple d'utiliser des capteurs à air pour le chauffage des locaux et des capteurs à eau pour le chauffage d'eau sanitaire, mais il est possible d'échapper à cette règle avec des échangeurs de chaleur air/eau. Des capteurs thermiques à eau couplés à des planchers radiants constituent également une source de chauffage efficace. L'efficacité des capteurs thermiques dépasse nettement celle du photovoltaïque et peut atteindre 75 %. L'énergie solaire thermique est aussi significativement moins dispendieuse que le photovoltaïque. Pour des capteurs à air, les coûts sont d'environ 1 à 2 \$/W installé, tandis que les systèmes à eau coûtent environ 3 à 4 \$/W.

Divers capteurs thermiques à air existent, mais les capteurs vitrés et à plaque perforée non vitrés sont les plus communs. La vitre réduit quelque peu le rayonnement reçu par l'absorbeur, mais elle réduit les pertes par convection causées par le vent. L'air réchauffé par les capteurs thermiques peut être relié ou non au système de chauffage principal ou à l'échangeur d'air. Ainsi, il peut être utilisé pour préchauffer l'air frais avant son passage dans l'échangeur d'air ou la fournaise. Pour l'intégration de ce système à un bâtiment existant, il est également possible de l'installer en parallèle au système de chauffage existant. Il s'agit alors de faire recirculer l'air intérieur dans le système thermique lorsque l'ensoleillement est suffisant. Ces systèmes ont le potentiel d'offrir un retour sur investissement intéressant, surtout au Québec où il fait froid et où l'ensoleillement est élevé.

Les capteurs thermiques à eau se divisent en deux catégories : les capteurs plans et les sous vide. Un capteur plan consiste en un absorbeur derrière lequel des tuyaux font circuler

un fluide caloporteur qui collecte la chaleur emmagasinée par l'absorbeur. Les capteurs sous vide sont composés de verre double de forme cylindrique et d'un absorbeur à l'intérieur. Étant sous vide, ce type de capteur offre une plus grande isolation et réduit les pertes thermiques. Il affiche une meilleure efficacité que les capteurs plans lorsque la différence de température entre le fluide du collecteur et l'air extérieur est élevée ; il permet donc d'obtenir des températures plus élevées. Par contre, les parois de verre interceptent une partie des rayonnements solaires avant qu'ils n'atteignent l'absorbeur, donc l'efficacité s'en trouve diminuée par rapport aux capteurs plans lorsque la différence de température entre le fluide et l'air extérieur est petite. Les capteurs sous vide sont à privilégier lorsque des températures élevées sont désirées.

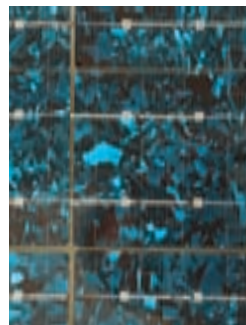
Il est judicieux de coupler des capteurs solaires thermiques avec une masse de stockage thermique. Le stockage de chaleur peut être dimensionné pour emmagasiner la chaleur à court terme (une journée), à moyen terme (quelques jours ou semaines) ou à long terme (stockage saisonnier). La masse thermique peut être intégrée au bâtiment, telle une dalle de béton exposée, installée à l'intérieur de celui-ci, comme un réservoir d'eau additionnel, ou bien située à l'extérieur, mais à proximité du bâtiment, par exemple un réservoir enfoui sous terre ou un puits géothermique. Pour le design d'une habitation solaire résidentielle, il est possible de dimensionner un vitrage sud couplé à une dalle de béton exposée ; ce système pourrait être capable de fournir toute la chaleur nécessaire pour le chauffage de la maison lors d'une journée froide et ensoleillée. Des capteurs thermiques, couplés à un réservoir d'eau, pourront quant à eux accumuler la chaleur récoltée lors des journées ensoleillées pour ensuite la redistribuer lors de journées nuageuses. En combinant ces deux systèmes relativement simples, il est alors possible de fournir une importante fraction des besoins de chauffage d'une maison par l'énergie solaire.

L'énergie solaire photovoltaïque

Probablement la plus connue du grand public, l'énergie solaire photovoltaïque (PV) convertit le rayonnement solaire en électricité. L'effet photovoltaïque fut découvert en 1839 par le français Alexandre Edmond Becquerel. La première cellule a été construite en 1883 par l'Américain Charles Fritts, dont le rendement était d'environ 1 %. Il a fallu attendre 1954 pour que des chercheurs américains créent une cellule solaire avec un rendement de 6 %. Le développement du photovoltaïque a été fortement stimulé par l'aérospatiale, car les cellules solaires représentent la seule source d'énergie viable pour les satellites. L'effet photovoltaïque est produit lorsque deux minces couches de semi-conducteurs sont en contact et sous illumination d'une particule de lumière, nommée photon. Une de ces couches est positive et l'autre est négative, ce qui crée une différence de potentiel. Le semi-conducteur peut absorber un photon d'une certaine énergie et relâcher un électron, qui circulera grâce à la différence de potentiel. Ce mouvement d'électrons crée un courant électrique qui est proportionnel à la quantité de lumière reçue.

Pour l'intégration d'un système solaire thermique à un bâtiment déjà construit, il est également possible de l'installer en parallèle au système de chauffage existant. Il s'agit alors de faire recirculer l'air intérieur dans le système thermique lorsque l'ensoleillement est suffisant. Ces systèmes ont le potentiel d'offrir un retour sur investissement intéressant.





PHOTOS DE HAUT EN BAS
Cellule solaire au silicium monocristallin.
Cellule solaire au silicium polycristallin.
Cellule solaire flexible au silicium amorphe.

© DIANE BASTIEN

L'effet photovoltaïque peut s'observer dans une grande variété de matériaux. Toutefois, le marché est entièrement dominé par les cellules au silicium cristallin, représentant 84 % de la production en 2004[®]. Le silicium peut être monocristallin ou polycristallin. Comme son nom l'indique, le silicium monocristallin est composé d'un seul cristal. Plus dispendieux que le polycristallin, son efficacité est un peu plus élevée. Le silicium polycristallin se compose de plusieurs cristaux, visibles à l'œil nu. Son efficacité est un peu plus faible, car des électrons peuvent être perdus à la jonction entre deux cristaux. Le silicium polycristallin est plus répandu ; il représente 56 % de la production comparativement à 29 % pour le monocristallin. Le silicium amorphe* représentait 7 % de la production en 2004. Son efficacité est plus faible, mais il est également moins dispendieux. De plus, certains manufacturiers conçoivent des panneaux solaires en silicium amorphe qui sont flexibles, ouvrant la voie à de nouvelles applications. L'efficacité maximale de modules solaires peut atteindre 23 %, 18 % et 8 % pour le silicium monocristallin, polycristallin et amorphe respectivement[®]. Des cellules solaires composées de GaAs, InP, CIS, CIGS, CdTe** et de polymères organiques ont été conçues avec succès et certaines de ces technologies sont déjà commercialisées. Les coûts d'investissement pour un système relié au réseau sont de l'ordre de 4 à 6 \$ US/W en moyenne dans les pays de l'OCDE, mais au Canada il en coûte plutôt 7,50 \$ US/W[†]. À ce prix, au Québec, le kilowattheure se trouverait entre 0,26 et 0,41 \$ US/kWh pour un système d'une durée de vie de 20 ans et de 0,18 à 0,27 \$ US/kWh si la durée de vie est 30 ans***.

Des panneaux PV intégrés sur les toits et façades des bâtiments au Canada ont le potentiel de générer une grande quantité d'électricité. En recouvrant une partie des toits et des façades qui ont un bon potentiel solaire des bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels existants au Canada, une étude a évalué qu'il serait possible de générer 72 TWh par année, soit 29 % de leur consommation d'électricité. À l'échelle du Québec, cette même étude a estimé que les bâtiments résidentiels avaient le potentiel de générer 11 TWh électriques avec du photovoltaïque intégré aux bâtiments, ce qui correspond à 29 % de leur consommation électrique. Les bâtiments commerciaux et institutionnels ont, quant à eux, un potentiel de production électrique annuelle de 3,8 TWh, soit 11 % de leur consommation. En intégrant des panneaux photovoltaïques aux toits et façades dotés d'un bon ensoleillement des bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels, c'est 14,8 TWh d'électricité solaire qui peuvent être produits annuellement au Québec, soit 8 % de la consommation électrique de 2008[®].

L'efficacité des modules photovoltaïque peut sembler faible à première vue. Ce n'est toutefois pas si problématique lorsque le « carburant » est gratuit. Ce qui n'est pas converti en électricité se transforme simplement en chaleur. Vu la quantité non négligeable de cette chaleur, certains y ont vu l'opportunité de la collecter pour ainsi augmenter le rendement total. L'idée de développer des capteurs qui combinent le photovoltaïque et le thermique s'est alors développée.

L'énergie solaire thermique et photovoltaïque intégrée au bâtiment

Un capteur photovoltaïque et thermique (PV/T) permet de générer de l'électricité et de la chaleur à partir de la même surface. La chaleur reçue par les capteurs PV/T est collectée, ce qui permet aux panneaux PV d'opérer à des températures inférieures. Leur performance, qui décroît lorsque la température augmente, s'en trouve améliorée. Il est possible d'intégrer des modules PV/T au bâtiment de sorte qu'ils composent une partie intégrante de l'enveloppe. Utilisés comme parement extérieur et proprement installés, ils peuvent remplacer le bardeau d'asphalte d'un toit ou le revêtement extérieur d'un mur et remplir les mêmes fonctions afin

* Le silicium amorphe est constitué d'atomes désordonnés qui ne forment pas de structure régulière, contrairement à une structure cristalline.

** Arséniure de gallium, phosphure d'indium, cuivre-indium-sélénium, cuivre-indium-gallium-sélénium et tellurure de cadmium.

*** En assumant une moyenne annuelle de rayonnement par jour de 9 MJ/m² et de 14 MJ/m².

Un exemple réussi d'intégration architecturale

L'ÉCOLE DE GESTION JOHN MOLSON de l'Université Concordia est l'hôte de la plus grande installation photovoltaïque au Québec. Ce projet de démonstration est une façade PV/T (photovoltaïque et thermique) intégrée au bâtiment pouvant générer de l'électricité et préchauffer l'air frais nécessaire à la ventilation du bâtiment. Selon les modélisations initiales, les modules PV peuvent générer jusqu'à 25 kW tandis que le mur solaire de type SolarWall[®] peut capter jusqu'à 75 kW de chaleur. En réalité, l'efficacité du collecteur solaire a permis de capter jusqu'à 90 kW de chaleur, car l'air frais à l'entrée du collecteur se trouve à une température plus élevée que l'air ambiant parce qu'il est réchauffé par la façade du bâtiment, ce qui contribue à augmenter la performance. L'efficacité du mur solaire SolarWall[®] combiné aux modules PV est de 24 % à 36 % (dépendamment du flux d'air) ; elle est quelque peu réduite comparativement à celle du mur solaire seul (sans PV) : entre 33 % et 54 % sous les mêmes conditions[®]. Toutefois, l'électricité est une énergie plus versatile que la chaleur et les deux ne devraient pas être comparées sur un pied d'égalité. Les systèmes PV/T intégrés au bâtiment offrent l'avantage de générer simultanément de l'électricité et de la chaleur à partir de la même surface. L'électricité étant nécessaire toute l'année tandis que les besoins de chaleur étant bien moindres à l'été qu'à l'hiver, les systèmes PV/T sont une façon de maximiser la production annuelle en fonction de la demande. La capacité électrique et thermique peut être personnalisée afin de répondre aux besoins spécifiques d'un bâtiment.

Une analyse économique de ce projet considérant le surcoût de la façade solaire par rapport à une façade conventionnelle (de 150 000 \$) ainsi que l'énergie thermique et électrique générée (86 664 kWh et 22 885 kWh respectivement) suggère un retour sur investissement de 34 ans dans le contexte actuel où les prix de l'énergie sont encore relativement bas. Ce type de comparaison est difficile à effectuer puisqu'il faut spéculer sur les prix de l'électricité et du gaz naturel sur des dizaines d'années à venir. Dans ce cas, des prix de 0,234 \$/m³ pour le gaz naturel et de 0,064 \$/kWh pour l'électricité ont été considérés. Une augmentation de ces prix viendrait réduire la durée du retour sur investissement. D'un ordre de grandeur d'une trentaine d'année, il est tout de même bien en deçà de la durée de vie des installations, qui est évaluée à 50 ans. Si ce projet avait été réalisé en Ontario et avait bénéficié du programme FIT (*Feed-In Tariff*), le retour sur investissement aurait été de 8 ans[®].

PHOTOS L'installation solaire PV/T de l'école de commerce John Molson de l'Université Concordia est la plus grande au Québec.

© DIANE BASTIEN
© RÉSEAU DE RECHERCHE SUR LES BÂTIMENTS SOLAIRES





PHOTOS DE GAUCHE À DROITE
Trois différents types de centrales solaires thermiques : tour solaire, capteurs cylindro-paraboliques, et concentrateurs paraboliques.

© GREENPEACE / MARKEL REDONDO
© SHUTTERSTOCK

d'assurer l'écoulement des eaux. Le surcoût des panneaux PV se retrouve diminué en évitant l'achat de matériaux conventionnels pour la toiture ou le revêtement extérieur. Ils jouent alors un double rôle : ils génèrent de l'énergie et protègent l'enveloppe du bâtiment. Il existe plusieurs configurations de capteurs PV/T intégrés au bâtiment utilisant des matériaux différents avec des coûts et efficacités qui peuvent varier.

La plupart des fabricants de modules au silicium cristallin offrent des garanties de performance de 20 à 25 ans. Et même après la garantie, les modules devraient encore fonctionner pour un certain temps. La capacité électrique des modules diminue lentement avec le temps. La question concernant la durée de vie des panneaux photovoltaïques est très importante et parfois sous-estimée. Dans la majorité des études scientifiques d'analyse de cycle de vie, la durée de vie des modules PV est estimée être équivalente à la durée de la garantie des fabricants, soit 20 à 25 ans. Pourtant, la durée de vie d'un équipement peut être très différente de la durée de sa garantie. Une étude a mesuré une diminution de la puissance photovoltaïque de 0,2 % par année sur 19 ans pour des modules de silicium monocristallin, menant à une baisse de puissance de 3,2 % sur cette période. « Considérant que la majorité des fabricants de modules PV d'aujourd'hui garantissent 90 % de la puissance initiale installée pour 10 ans et 80 % pour 20 ans, le taux de dégradation de la puissance de 0,2 %/année pour les modules ASI 16-2300 doit être considéré comme un excellent résultat pour des modules conçus il y a plus de 20 ans »*. Des installations de ce genre pourraient donc avoir une durée de vie d'environ quarante ans*.

Les centrales solaires thermiques

L'énergie solaire peut aussi être exploitée de façon intensive dans une centrale au fonctionnement relativement semblable aux centrales thermiques conventionnelles. Il s'agit d'utiliser une grande quantité de miroirs pour concentrer la radiation solaire en un point afin d'évaporer un fluide caloporteur à une température allant de 400 °C à 1 000 °C pour ensuite entraîner une turbine. Il est possible d'utiliser la puissance produite en temps réel pour couvrir des besoins de puissance de pointe durant le jour. De plus, en couplant la centrale avec du stockage thermique ou une centrale alimentée aux combustibles fossiles ou à la biomasse, il est possible de produire une puissance stable pour assurer les besoins électriques de base. Toutefois, seul le rayonnement solaire direct peut être focalisé et non le rayonnement diffus, donc les centrales solaires thermiques sont réservées aux régions avec une radiation directe normale élevée (au minimum une moyenne de 2 000 kWh/m² par année*). Les meilleurs sites sont peu humides et assez près de l'équateur. Les États-Unis, l'Amérique centrale et du sud,

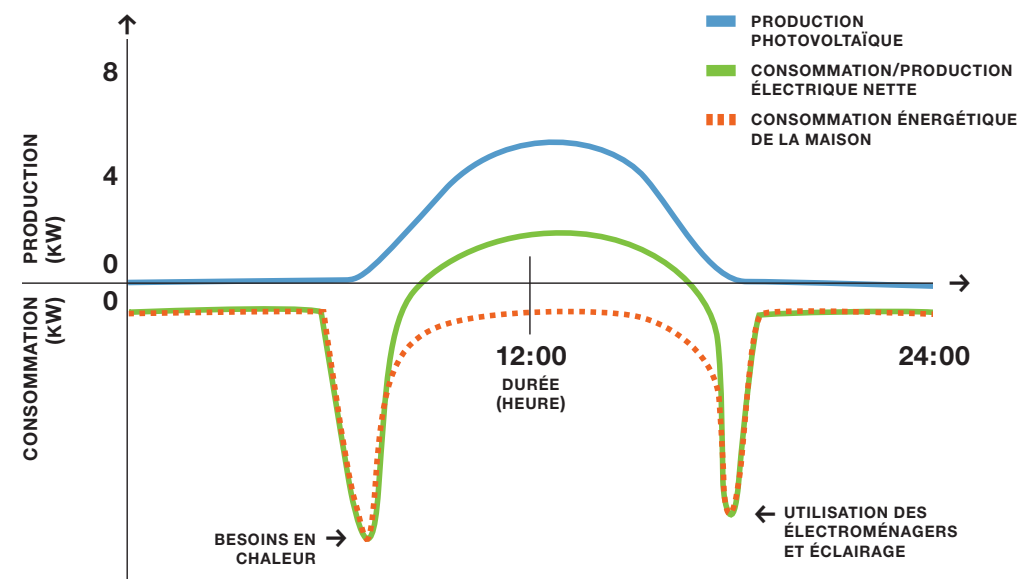
* Traduction libre des auteurs.

l'Afrique, l'Inde, la Chine et l'Australie possèdent les sites les plus prometteurs. Le potentiel de production de ces régions excède les besoins locaux, et donc l'exportation d'énergie provenant de centrales solaires thermiques aux pays voisins serait possible.

Trois types de centrales solaires thermiques existent et sont illustrés à la page ci-contre. Une tour solaire est constituée de milliers de miroirs plans équipés d'un système pour suivre les mouvements du Soleil. La radiation du Soleil est dirigée en un point en haut de la tour. Les capteurs cylindro-paraboliques, eux, focalisent plutôt les rayonnements du Soleil en une ligne, tel qu'illustré à la page 24 au centre. Un concentrateur parabolique ressemble à une énorme antenne satellite; il a l'avantage d'occuper moins d'espace au sol. Chaque technologie comporte certains atouts et désavantages; par exemple les capteurs cylindro-paraboliques nécessitent un seul axe de mouvement pour suivre le Soleil, mais l'énergie solaire est moins concentrée et donc les températures atteintes sont plus faibles. Peu importe la technologie, les coûts d'investissement actuels sont assez substantiels; ils sont de l'ordre de 4 à 8 \$ US/W. Le prix du kilowattheure varie entre 0,20 et 0,30 \$ US/kWh. Le département de l'énergie aux États-Unis a établi comme objectif d'atteindre un coût de 0,10 \$ US/kWh d'ici 2015 pour cette technologie*. À ce prix, cette source d'énergie serait compétitive avec les combustibles fossiles. On peut donc s'attendre à un développement relativement rapide de cette filière dans les régions où elle a un fort potentiel.

La production totale des centrales solaires thermiques pourrait fournir 7 % de la demande d'électricité globale en 2030 et atteindre 25 % en 2050. Même si les coûts d'investissement sont très élevés, les coûts d'entretien ne représentent que 20 % du coût total*. La durée de vie de ces centrales est actuellement évaluée à une vingtaine d'années. Si ces centrales sont en mesure d'être en opération pour une plus grande durée, l'électricité serait produite à un coût encore plus faible grâce aux faibles coûts d'opération.

FIGURE 7
PROFIL QUOTIDIEN DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE D'UNE MAISON ET DE LA PRODUCTION ÉLECTRIQUE PAR DES MODULES PV



ADAPTÉ DU SCHEMA DE CAROLINE HACHEM

L'intégration des technologies solaires aux bâtiments : les bâtiments à consommation énergétique nette nulle

Lorsque l'efficacité énergétique et différentes technologies solaires sont intégrées aux bâtiments, il devient alors possible de concevoir des bâtiments capables de produire toute l'énergie nécessaire pour combler les besoins de ses occupants. Ces bâtiments peuvent être isolés du réseau électrique (donc probablement équipés de batteries) ou reliés au réseau électrique principal. Dans le deuxième cas, l'électricité produite en excès est exportée dans le réseau alors qu'elle est importée si les besoins excèdent la capacité de production instantanée. On parle alors de consommation énergétique *nette* nulle, c'est-à-dire qu'au cours d'une année, la somme de l'électricité importée et exportée est nulle. Ce concept est intéressant, car il permet de fixer un objectif facilement quantifiable afin de minimiser les impacts environnementaux des bâtiments. Pour qu'un bâtiment ait un faible impact environnemental global, il faut évidemment tenir compte d'autres aspects, comme la consommation et le traitement des eaux et l'utilisation de matériaux sains et peu énergivores.

Bien que très innovateurs, il existe déjà plusieurs dizaines de bâtiments à consommation énergétique nette nulle dans le monde. L'Agence internationale de l'énergie, dans le cadre du programme SHC (*Solar Heating & Cooling program*) a mis sur pied un groupe de travail international pour étudier les bâtiments à consommation énergétique nette nulle et favoriser leur implantation sur le marché. Une liste de bâtiments à consommation énergétique nette nulle est disponible sur leur site Web³⁷.

Le profil de consommation énergétique journalier typique d'une maison québécoise est illustré à la figure 7 (page 25) : deux pics de consommation s'y trouvent. Le premier est principalement dû à la demande pour le chauffage des locaux et de l'eau tandis que le second est causé davantage par l'utilisation des électroménagers et de l'éclairage artificiel. Les bâtiments à consommation énergétique nette nulle peuvent aider à diminuer ces pics de consommation et ainsi faciliter la tâche aux fournisseurs d'électricité.

Un aperçu des initiatives solaires au Québec

Au Québec il y a très peu de panneaux PV reliés au réseau d'Hydro-Québec : parmi les 17 clients adhérant au programme de mesurage net en 2011, 14 installations comportent des panneaux PV totalisant 40,4 kW³⁴. Le photovoltaïque est surtout réservé aux bâtiments éloignés lorsque le coût du raccordement au réseau est prohibitif. Toutefois, il existe de nombreux architectes, entreprises de la construction et consultants qui offrent leurs services pour le design et la construction de bâtiments suivant les principes du solaire passif. De plus, les panneaux PV sont de plus en plus visibles dans

les rues de Montréal, car ils alimentent les nouvelles bornes de stationnement payant et les tableaux afficheurs mobiles indiquant des informations routières ou la vitesse des automobiles. La plus grande installation d'énergie solaire PV/T au Québec est le système installé sur l'école de gestion John Molson de l'Université Concordia ; il a été brièvement décrit à la page 23. L'usine Canadair de Bombardier, à Montréal, a installé un mur solaire thermique à air de 8 826 m² en 1996 dont le retour sur investissement a été évalué à seulement 1,7 ans³⁵. La SCHL a lancé le concours

EQuilibrium en 2006 qui voulait faire la démonstration de maisons durables. Trois maisons au Québec ont été retenues : la maison Alstonvale à Hudson (illustrée à la page 18), le triplex Abondance le Soleil à Verdun et la maison ÉcoTerra™ à Eastman. Ces trois habitations avaient comme objectif de produire la majorité ou la totalité de l'énergie nécessaire à la consommation des occupants durant une année. L'interconnexion avec le réseau électrique leur permet d'éviter l'achat et l'entretien de batteries.

La maison EcoTerra™

La maison ÉcoTerra™ est une maison préfabriquée par les Maisons Alouettes. Au premier coup d'œil, nul ne peut deviner que derrière cette allure conventionnelle se cachent plusieurs technologies solaires à la fine pointe de la technologie. La partie supérieure du toit est équipée d'un système photovoltaïque et thermique de 2,8 kW. Des panneaux PV flexibles en silicium amorphe sont collés au toit métallique conventionnel. De l'air qui circule dans une cavité sous le toit se réchauffe par la chaleur absorbée par les panneaux PV et le toit. La simplicité et la discrétion de cette installation sont remarquables. L'air préchauffé peut être utilisé à trois fins : il peut circuler dans la dalle de béton au sous-sol pour le chauffage, il peut servir à préchauffer l'eau chaude à l'aide d'un échangeur de chaleur air/eau et il peut servir à alimenter la sècheuse. Une pompe à chaleur géothermique sert à assurer



© RÉSEAU DE RECHERCHE SUR LES BÂTIMENTS SOLAIRES

le chauffage de la maison lorsque le Soleil ne suffit pas à combler tous les besoins en chaleur. Les détails du design solaire passif de cette habitation comprennent la masse thermique des dalles de béton et d'un mur interne en béton couplé à 40 % de la façade sud équipée de vitrages triples éco-énergétiques, ainsi qu'une excellente isolation et étanchéité. Les besoins de chauffage de cette maison sont d'environ 1 600 kWh, soit seulement 5 % de la moyenne nationale³⁶. Plusieurs experts ont contribué au design de cette maison ; grâce à la préfabrication, il sera facile de la reproduire et ainsi rendre les maisons solaires plus accessibles au grand public.

Le triplex Abondance le Soleil



© ABONDANCE LE SOLEIL

Le triplex le Soleil est le premier condo en Amérique du Nord à combler 100 % de ses besoins énergétiques. Situé à Montréal dans l'arrondissement Verdun, ce triplex possède une excellente isolation et étanchéité ainsi que des électroménagers très efficaces. La faible demande énergétique de ce bâtiment est entièrement comblée par la géothermie ainsi que des panneaux solaires thermiques et photovoltaïques. Relié à Hydro-Québec, ce bâtiment produit plus d'énergie qu'il en consomme annuellement. La photo ci-contre, qui a été prise avec une caméra infrarouge, permet de voir la performance thermique de l'enveloppe. On y remarque que le cadrage des portes et fenêtres sont plus chauds et donc qu'ils sont responsables d'une plus grande perte de chaleur que les murs ou les vitres. À noter que les vitres du triplex le Soleil sont plus efficaces que les murs du bâtiment voisin !

La Maison productive

Près du marché Atwater, la Maison productive est un développement à zéro émission de GES faisant une large place à la production de nourriture et d'énergie. Les résidents des condos et maisons de villes faisant partie de ce développement ont accès à des bacs intégrés sur les balcons pour la culture de plantes, un jardin, une serre sur le toit et une boulangerie au rez-de-chaussé. Le chauffage est assuré par la géothermie tandis que des panneaux solaires thermiques fournissent une bonne partie de l'énergie nécessaire pour la production d'eau chaude sanitaire. Un design solaire passif intégrant des stores roulants extérieurs permet d'important gains de chaleur l'hiver tout en contrôlant facilement le rayonnement solaire indésirable l'été.



© DIANE BASTIEN



L'énergie solaire ailleurs dans le monde

Plusieurs régions du monde ont commencé à exploiter une partie de leur potentiel solaire. Par exemple, la ville d'Okotoks, près de Calgary, en Alberta, héberge la première installation solaire thermique couplée à un stockage saisonnier à grande échelle au Canada. Cette communauté de cinquante-deux maisons unifamiliales est dotée de capteurs solaires thermiques installés sur les toits des garages. Ces capteurs sont reliés à un système de stockage géothermique qui emmagasine la chaleur dans le sol et la distribue aux habitations grâce à des réseaux de chaleur. La chaleur captée par les collecteurs solaires pendant l'été est injectée dans le sol tandis qu'elle est utilisée pour combler 90 % des besoins en chaleur durant l'hiver[®].

Les projets solaires réussis comme celui décrit ci-dessus abondent dans le monde. Les sections qui suivent décrivent sommairement l'état du solaire dans quatre régions particulièrement proactives dans le développement de cette énergie sur leur territoire. Les facteurs ayant contribué à la montée du solaire pourront éventuellement être identifiés et servir d'inspiration au Québec pour faciliter l'élaboration d'une stratégie afin d'exploiter son potentiel solaire.

L'Allemagne

La production électrique brute en Allemagne pour les années 1998 et 2008 est illustrée à la figure 8 (page 33). En 1998, la production électrique globale s'élevait à 556,3 TWh. Le charbon et le nucléaire étaient alors la principale source d'électricité en fournissant 54 % et 29 % respectivement. Des éoliennes fraîchement installées ont généré la même année une première production électrique annuelle de 4,6 TWh, soit à peine moins de 1 %. La production d'électricité a atteint 637,2 TWh en 2008. La production éolienne a décuplé et a fourni, en 2008, 6 % de l'électricité. Le charbon et le nucléaire fournissent encore la majorité de la production, mais leur part relative a quelque peu diminué et s'établit alors à 46 % et 23 % respectivement. En 2008, l'énergie solaire a produit 4,4 TWh, soit un peu moins de 1 % de la production totale. Bien que cette production soit relativement modeste, l'industrie solaire est en pleine effervescence en Allemagne. La proportion des énergies renouvelables dans la production électrique a plus que doublé de 1995 à 2005 en passant de 4,9 % à 10,1 %. Le gouvernement allemand avait l'objectif de produire plus de 20 % de l'électricité à partir de sources renouvelables d'ici 2020. Cet objectif a été majoré à 30 % en 2009. L'industrie des énergies renouvelables emploie plus de 200 000 personnes dont 35 000 travaillent dans le secteur de l'énergie solaire en 2007[®]. Le gouvernement est en bonne voie d'atteindre son objectif car en 2010, la production d'énergie électrique renouvelable a atteint 17 %. Parallèlement, le nombre d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables est passé à 370 000[®].

Le prix de l'électricité en Allemagne est de 0,18 €/kWh (27,5 ¢ CAD/kWh)[®], ce qui est relativement élevé, même pour l'Europe. L'Allemagne a réussi à augmenter considérablement sa production électrique de source renouvelable grâce à des tarifs d'achat privilégiés incitatifs

PHOTO Ce bâtiment résidentiel situé à Dezhou, en Chine, intègre de nombreux capteurs solaires thermiques à son enveloppe. La Chine est aussi un chef de file dans le domaine des énergies solaires.

© GREENPEACE / ALEX HOFFORD

(Feed-In Tariff, FIT) que doivent consentir les compagnies d'électricité aux producteurs d'énergie renouvelable. Le surcoût alloué aux énergies renouvelables se retrouve donc absorbé par tous les consommateurs d'électricité. Le premier outil afin de promouvoir les énergies renouvelables grâce à un tarif d'achat privilégié fut le StrEG, développé en 1990. Ce fut le premier programme de ce genre au monde et depuis, de nombreux pays l'ont adopté. Le EEG l'a remplacé en 2000 et a été modifié en 2004. Différents tarifs stables sont assurés aux producteurs d'énergies renouvelables pour des périodes allant de 15 ans à 30 ans. Les tarifs diffèrent selon le type d'énergie, sa localisation et la taille du projet. Les tarifs sont déterminés de façon à ce que les producteurs reçoivent le même profit, peu importe la technologie³⁹. Le tableau 1 (page 33) indique les montants alloués pour chaque source d'énergies renouvelables. Seule l'énergie éolienne ne reçoit pas un montant stable pour toute la durée du contrat, mais reçoit plutôt un montant dégressif. Le tarif d'achat de l'énergie solaire photovoltaïque est de loin le plus élevé. Les tarifs d'achat de toutes les filières renouvelables alloués aux nouveaux projets (excepté la petite hydraulique) diminueront graduellement d'année en année afin de favoriser la compétition et la réduction des coûts. Les tarifs pour le photovoltaïque diminueront de trois à six fois plus rapidement que les autres filières. En 2009, la capacité PV installée en Allemagne totalisait 9,8 GW alors que la capacité des pays membres de l'OCDE s'élevait à 20,4 GW⁴⁰.

PHOTO DE GAUCHE
Des étudiants installent des panneaux solaires thermiques sur le toit du centre sportif à Zurich Fluntern.

© GREENPEACE / NICOLAS FOJTU

PHOTO DE DROITE
La centrale solaire thermique espagnole Extrasol, entrée en service en 2009, stocke une partie de la chaleur récoltée durant le jour dans des sels fondus. Il est ainsi possible de continuer à produire de l'électricité une fois le soleil couché.

© GREENPEACE / MARKEL REDONDO

À partir du lancement du tarif d'achat privilégié en 1990, il a fallu 18 ans pour produire 4,4 TWh à partir du PV, soit 1 % de la consommation annuelle de l'Allemagne. Pour l'année 2010, l'énergie photovoltaïque a généré 12 TWh, soit 2 % de la production électrique⁴¹. Ces chiffres donnent une idée des défis à surmonter pour l'introduction de l'énergie solaire PV à grande échelle. En 1990, il y avait très peu d'industries capables de manufacturer des panneaux PV. Toutefois, avec des tarifs attractifs stables, l'industrie s'est développée et a maintenant la capacité de fournir une part de plus en plus significative des besoins énergétiques de l'Allemagne.

Le solaire thermique est également très présent en Allemagne. En 2009, les capteurs solaires thermiques ont généré 6 TWh de chaleur, en augmentation continue depuis 1999⁴². Le gouvernement allemand a décidé d'augmenter l'objectif initial de 10 % à 18 % de la consommation d'énergie primaire totale qui sera produite à partir d'énergie renouvelable pour 2020 et prévoit même qu'atteindre 19,6 % est possible^{39 43}. Le programme Länder

subventionne les installations produisant de la chaleur de sources renouvelables depuis 1999. Le *Renewable Energies Heat Act* (EEWärmG) vise à couvrir 14 % des besoins de chaleur par des sources renouvelables. Pour ce faire, des programmes de stimulation du marché sont développés et distribuent des subventions aidant à acquérir des équipements produisant de la chaleur renouvelable. Les propriétaires de nouveaux bâtiments sont dans l'obligation de combler une partie de leurs besoins en chaleur par des énergies renouvelables. S'ils optent pour l'énergie solaire, alors le collecteur doit avoir une dimension minimale entre 0,03 m² par mètre carré de surface de plancher chauffé pour les bâtiments résidentiels ou bien elle doit alors couvrir au minimum 15 % des besoins pour les autres types de bâtiments. En 2008, les systèmes solaires thermiques à eau bénéficiaient d'une subvention de 60 €/m² tandis que les systèmes combinés de chauffage et chauffe-eau recevaient 105 €/m² de surface de collecteur. Il est toutefois possible d'éviter l'installation de systèmes d'énergie renouvelable si la performance thermique du bâtiment est au moins 15 % supérieure aux normes⁴⁴.

Le gouvernement allemand encourage le développement des centrales solaires thermiques depuis de nombreuses années. Des compagnies allemandes ont fourni des équipements pour les premières centrales à miroir cylindro-parabolique en Californie dès 1984. Une centrale solaire de 1,5 MW a été construite à Jülich, en Allemagne à des fins de recherche et développement. Bien que l'Allemagne ne bénéficie pas du climat idéal pour ce type d'installation, elle s'implique activement dans ce domaine par l'entremise de ses entreprises et de la gestion de projet. Fondateur de DESERTEC, l'Allemagne participe à la recherche et au développement de centrales solaires dans le nord de l'Afrique qui serviraient à alimenter l'Europe⁴⁵.

Les municipalités peuvent également favoriser les énergies renouvelables par différents moyens. **La ville de Freiburg fait preuve d'initiative en obligeant les nouvelles maisons à consommer seulement les deux tiers de la quantité d'énergie qui est actuellement permise par le code du bâtiment. Les maisons coûtent en moyenne 3 % de plus et réduisent leurs coûts en énergie et leurs émissions de CO₂ de 30 %⁴⁷.** Par ses importants efforts de recherche et la vitalité de son industrie, l'Allemagne est en tête de file pour le développement de l'énergie solaire et éolienne. Le gouvernement allemand avait décidé, en 2010, de prolonger la vie des 17 centrales nucléaires du pays. Avec le tremblement de terre au Japon et les difficultés de la centrale nucléaire Fukushima, cette décision a été suspendue pour trois mois⁴⁸ et l'Allemagne a finalement décidé de sortir complètement du nucléaire d'ici 2022⁴⁹. La croissance des énergies renouvelables comme le solaire et l'éolien pourrait s'avérer encore plus importante que prévue.

L'Espagne

L'Espagne a produit 195,5 TWh électriques en 1998 et 313,7 TWh en 2008, soit une hausse de 60 %. Tout comme l'Allemagne en 1998, la majorité de l'électricité était produite par le charbon et le nucléaire. L'utilisation du gaz naturel a largement augmenté depuis et a fourni 39 % de la production électrique en 2008. L'énergie éolienne a observé une croissance très rapide en fournissant 23 fois plus d'électricité en 2008 qu'en 1998. Le vent a assuré 10 % des besoins électriques de 2008. L'énergie solaire a fait une percée remarquable en 2008 en fournissant 1 % de la production électrique. C'est ainsi que 20 % de la production électrique était d'origine renouvelable en 2008, soit la même proportion qu'en 1998. Elle a toutefois atteint 25 % en 2009 et le gouvernement vise atteindre 30 % pour 2010. L'Espagne possédait 17 % des installations photovoltaïques mondiales en 2009 et plusieurs pensaient qu'elle avait alors le potentiel de dépasser l'Allemagne éventuellement. L'Espagne possède le meilleur ensoleillement de l'Europe et compte bien en tirer avantage, notamment avec des centrales solaires thermiques.

L'Espagne a mis sur pied, par Décret royal en 2004, un programme afin d'encourager les énergies renouvelables. Le système offre le choix aux producteurs entre vendre l'électricité à un tarif fixe (de 0,45 €/kWh pour le PV) ou bien sur le marché libre en bénéficiant d'une



L'Espagne est le chef de file mondial dans le développement de centrales solaires thermiques avec plus de 732 MW de capacité installée en début de l'année 2011.

majoration, variant entre 460 % et 575 % du tarif moyen d'électricité pour les premières 25 années. À titre de comparaison, le coût de l'électricité en Espagne est de 0,116 €/kWh⁴⁸. L'objectif initial était d'atteindre 400 MW de capacité PV installée pour 2010⁴⁹. Pourtant, les mesures incitatives ont été si attrayantes qu'en 2007 on comptait déjà 705 MW installés.

Les installations solaires photovoltaïques annuelles en Espagne ont débuté modestement en 1994 et ont crû exponentiellement à partir de 2001 pour atteindre 2 758 MW en 2008 (voir le tableau 2 ci-contre). Elles ont brutalement chuté à 60 MW en 2009 ; le marché du photovoltaïque en Espagne s'est essentiellement effondré à cause de la situation économique générale⁵¹. Surpris des résultats de 2007, le gouvernement a donné un préavis de 12 mois avant d'introduire de nouvelles législations moins favorables pour ralentir l'engouement de l'industrie. Toutefois, l'effet de ce préavis a plutôt été de créer une course contre la montre pour installer le plus de MW possible avant le changement de tarif. En septembre 2008, le gouvernement a décidé de limiter les installations PV annuelles à 500 MW. Parallèlement, le tarif préférentiel pour l'électricité photovoltaïque a été réduit de 0,32 à 0,34 €/kWh. Si la limite de 500 MW est atteinte, alors le tarif d'achat de l'année suivante sera diminué de 10 % et la capacité limite en sera augmentée de 10 %. Ainsi, le marché sera auto régulé ce qui évitera d'autres modifications de tarifs aussi brutales⁵⁰.

Durement frappée par la crise financière, certains croient que l'Espagne aurait besoin d'un plan de sauvetage européen. La situation énergétique est en partie responsable de ses déboires économiques. Même si la production d'énergie en Espagne est largement non réglementée, les tarifs d'électricité, eux, le sont. Le gouvernement limite les hausses des tarifs d'électricité et maintient des tarifs plutôt bas. Ceci implique que si les coûts de production électrique augmentent, la facture n'est pas automatiquement transmise aux consommateurs. Les compagnies d'électricité engendrent des déficits depuis plusieurs années faute de pouvoir augmenter les tarifs. Les déficits de 2006-2007 ont été majoritairement causés par les prix record du gaz naturel. Toutefois en 2009 l'électricité photovoltaïque représentait 12 % des coûts de production électrique. À cause de la crise financière, le gouvernement a été obligé de garantir les prêts des compagnies d'électricité servant à éponger leur dette, qui s'élevait alors à plus de 20 milliards d'euros. Le gouvernement espagnol a alors décidé de prendre des mesures rétroactives afin de réduire la dette du pays. En décembre 2010, une limite quant au nombre d'heures éligibles pour injecter de l'électricité dans le réseau au tarif préférentiel a été introduite pour l'industrie photovoltaïque. Le gouvernement espère récupérer ainsi 4,3 milliards de dollars. L'industrie photovoltaïque s'oppose vivement à ces mesures rétroactives qui viennent bouleverser les paramètres financiers de contrats déjà établis⁵¹.

L'Espagne est le chef de file mondial dans le développement de centrales solaires thermiques avec plus de 732 MW de capacité installée en début de l'année 2011. L'objectif initial d'atteindre 500 MW pour 2010 a donc été dépassé. L'Espagne a établi un tarif préférentiel de 0,12 €/kWh en 2002 qui a été haussé à 0,27 €/kWh en 2004. Ce tarif a été conservé en 2007 et est dorénavant garanti pour 25 ans pour les installations de moins de 50 MW⁵². Ce secteur a également été touché par la crise économique, mais beaucoup moins durement que l'industrie photovoltaïque. Le gouvernement espagnol a décidé de limiter les installations annuelles à 500 MW pour les quatre prochaines années⁵³. Certains remettent en question la limite de 50 MW par centrale, car une centrale avec une plus grande capacité, de l'ordre de 150 MW, pourrait offrir une performance économique supérieure. Toutefois, le gouvernement n'a pas l'intention d'y apporter des changements, car il veut permettre à davantage d'entreprises de participer afin de favoriser la compétition. En 2010, 3 152 GWh d'électricité

FIGURE 8
PRODUCTION ÉLECTRIQUE EN TWH PAR SOURCE D'ÉNERGIE EN ALLEMAGNE EN 1998 ET 2008^{41, 42}

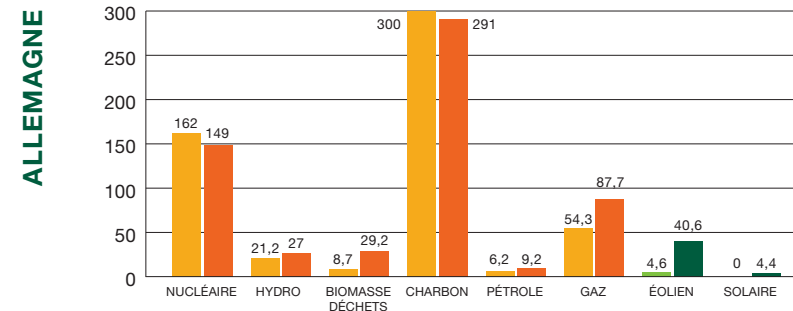


TABLEAU 1
TARIFS D'ACHAT D'ÉNERGIE RENOUVELABLE DE 2006 – PROGRAMME EEG, ALLEMAGNE⁴³

Énergie renouvelable	Tarif d'achat (c€/kWh)	Durée garantie
Biomasse	3,78 – 21,16	20
Géothermique	7,16 – 15,00	20
Hydroélectricité	3,62 – 9,67	15 à 30
Éolienne (sur terre)	8,36/5,28	20
Éolienne (en mer)	9,10/6,10	20
Solaire photovoltaïque	40,60 – 56,80	20

FIGURE 9
PRODUCTION ÉLECTRIQUE EN TWH PAR SOURCE D'ÉNERGIE EN ESPAGNE EN 1998 ET 2008^{41, 42}

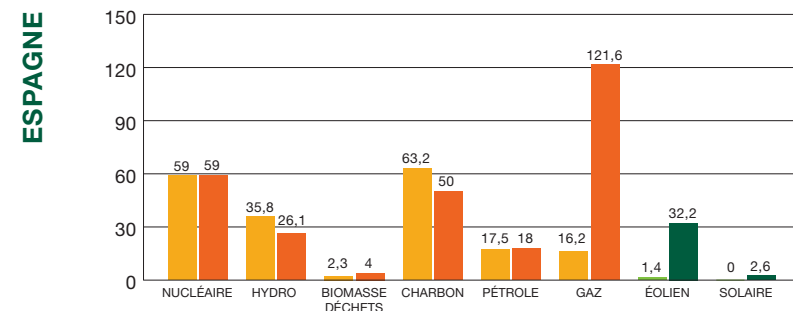


TABLEAU 2
CAPACITÉ PV INSTALLÉE PAR ANNÉE EN ESPAGNE (MW)⁴⁴

2000	2001	2002	2003	2004	2005
0	2	3	5	11	25
2006	2007	2008	2009	2010 ⁴⁵	
99	557	2758	60	400	

FIGURE 10
PRODUCTION ÉLECTRIQUE EN TWH PAR SOURCE D'ÉNERGIE AU JAPON EN 1998 ET 2008^{41, 42}

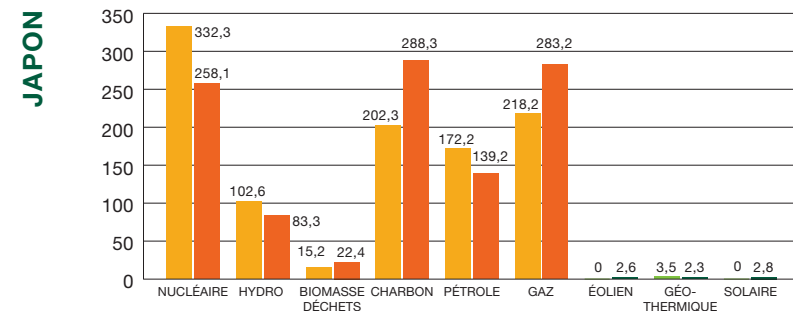


FIGURE 11
PRODUCTION ÉLECTRIQUE EN TWH PAR SOURCE D'ÉNERGIE EN ONTARIO EN 2000 ET 2007⁴⁶

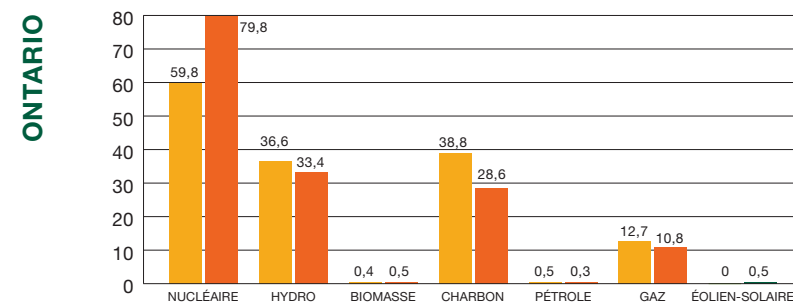


TABLEAU 3
TARIFS D'ACHAT D'ÉNERGIE RENOUVELABLE PROGRAMME FIT, ONTARIO⁴⁷

Énergie renouvelable	Tarif d'achat (c/kWh)
Biomasse	13,0 – 13,8
Biogaz	10,4 – 19,5
Biogaz issu des dépotoirs	10,3 – 11,1
Hydroélectricité	12,2 – 13,1
Solaire photovoltaïque	44,3 – 80,2
Éolienne	13,5 – 19,0

produite à partir de centrales solaires thermiques ont été consommés en Espagne, soit environ la moitié de la production photovoltaïque de 6 280 GWh⁵⁸.

L'Espagne encourage aussi la production de chaleur à partir de capteurs solaires thermiques : 2 128 GWh de chaleur ont ainsi été consommés en 2010⁵⁹. Le *Código Técnico de la Edificación*, introduit en 2006, oblige tout nouveau bâtiment à fournir entre 30 % et 70 % de ses besoins en eau chaude par l'énergie solaire thermique. Des subventions allant jusqu'à 36,4 % des coûts totaux sont disponibles pour aider à l'acquisition des systèmes⁶⁰.

Le Japon

L'énergie nucléaire fournit une partie importante de la production électrique du Japon depuis les années 1980 ; elle couvrait 32 % des besoins en 1998 et 24 % en 2008. Le Japon dépend largement des combustibles fossiles importés afin de satisfaire ses besoins énergétiques. Le pétrole, le gaz et le charbon comblaient 66 % des besoins électriques en 2008. Le Japon est conscient de sa dépendance énergétique envers des ressources étrangères. Cette raison explique en bonne partie la motivation de ce pays à développer ses ressources solaires. L'énergie solaire photovoltaïque est en constante progression depuis les années 90. Le Japon a possédé la plus grande capacité PV installée au monde de 1997 à 2004. En 2009, la capacité annuelle installée a atteint 483 MW⁶¹. Le Japon développe également ses ressources éoliennes, à un rythme croissant, mais bien moins rapide que des pays comme l'Allemagne, l'Espagne et le Danemark. Les énergies renouvelables les plus développées au Japon sont l'hydroélectricité, la biomasse et la géothermie. Doté d'une densité de population 100 fois plus grande que celle du Canada, combler les besoins énergétiques de ce pays en diminuant l'utilisation des ressources fossiles est un défi immense.

Afin de réduire ses émissions de GES et sa dépendance aux combustibles fossiles étrangers, le Japon a beaucoup misé sur le nucléaire. Toutefois, le fait d'être un pays susceptible aux tremblements de terre a quelque peu limité le développement nucléaire* ; avec le récent tremblement de terre et le tsunami qui a suivi, on constate une fois de plus les dangers qui y sont associés. Le gouvernement ne sait pas encore dans quelle direction se lancer afin d'assouvir ses besoins énergétiques et en même temps diminuer ses émissions de GES. Avec la remise en question du nucléaire, il semble dorénavant que seules les énergies renouvelables puissent remplir ce mandat. Aucune éolienne n'a été endommagée par le tremblement de terre et le tsunami, ce qui vient confirmer la fiabilité des éoliennes et de leur design anti tremblement de terre, « battle proof design », développé au Japon⁶².

Avec 2,6 GW de capacité PV cumulative installée en 2009, le Japon se classe au troisième rang. Le gouvernement a l'objectif d'atteindre 28 GW installés pour 2020. Le Japon a adopté une loi en 2009 qui oblige les compagnies d'électricité à acheter l'électricité PV produite en surplus à un prix avoisinant le double du tarif domestique. La majorité des installations PV sont en milieu résidentiel et reliées au réseau électrique⁶³. La production de panneaux solaires

Les énergies renouvelables les plus développées au Japon sont l'hydroélectricité, la biomasse et la géothermie. Doté d'une densité de population 100 fois plus grande que celle du Canada, combler les besoins énergétiques de ce pays en diminuant l'utilisation des ressources fossiles est un défi immense.

* Tel que souligné par Esteban et al. : *This group of technologies [nuclear and hydroelectric] is not the focus of the present paper because each source faces significant problems for the case of Japan (such as fears of nuclear leakage in an earthquake-prone country or the fact that 65% of the country's hydroelectric has been tapped).*



du Japon est la plus importante au monde depuis 1999 tandis que trois des cinq plus grandes compagnies productrices de panneaux PV sont japonaises. Les deux principaux outils pour favoriser les énergies renouvelables sont les subventions à la technologie et le Renewable Portfolio Standard (RPS). En effet, le gouvernement japonais investit d'importants montants dans la recherche et développement sur les nouvelles énergies et les énergies renouvelables. Le RPS, quant à lui, oblige les compagnies électriques à produire un certain quota d'électricité à partir de sources renouvelables. Ce quota était de 3,3 TWh en 2003 et sera de 16 TWh en 2014, soit moins de 2 % de la production électrique totale estimée de 2014. Bien que saluée par l'Agence Internationale de l'Énergie, cette mesure est jugée timide et bénéficierait d'être bonifiée de cibles plus ambitieuses à long terme⁶⁴.

Une étude a estimé qu'il serait possible de fournir 100 % de l'électricité consommée au Japon en 2100 à partir de la capacité hydroélectrique actuelle combinée avec seulement l'énergie solaire et éolienne. Pour y arriver, il serait nécessaire d'avoir une capacité nominale d'énergie éolienne de 513 GW et de 228 GW de panneaux solaires. Les panneaux PV occuperaient 456 km² d'espace tandis que les éoliennes seraient dispersées sur un territoire variant entre 1 000 km² et 20 000 km². Cette étude ne considère que la production annuelle totale et non la variation quotidienne de la demande et de la production électrique⁶⁵. Une grande quantité de stockage électrique et thermique serait nécessaire pour que ce scénario soit viable. Cet exercice démontre toutefois que l'énergie solaire et éolienne pourrait fournir une quantité d'électricité beaucoup plus grande que le modeste 0,5 % de la production d'électricité totale de 2008.

Le Japon a construit une des premières centrales solaires thermiques : la Sunshine de Nio, qui a débuté ses opérations en 1981⁶⁶. Cette initiative demeure toutefois la seule à ce jour dans ce domaine au Japon et le pays ne semble pas avoir de plan afin de favoriser le développement de cette filière. L'industrie solaire thermique au Japon a eu un pic d'installations en 1981 grâce à des mesures incitatives, mais l'industrie est en décroissance depuis cette période. Cette « tragédie solaire » a été causée, entre autres, par les bas prix du pétrole au début des années 80, une faible compétitivité des industries et une politique énergétique mal orchestrée. Le gouvernement Métropolitain de Tokyo, qui a établi une nouvelle politique énergétique en 2006 qui met l'accent sur la chaleur renouvelable, pourrait aider à relancer le secteur⁶⁷. Malgré tout, le Japon possédait 2,8 % de la capacité des installations solaires à l'eau chaude au monde en 2008.

PHOTOS DE GAUCHE À DROITE

Au centre-ville de Toronto se trouvent 100 kW de panneaux PV installés sur le toit du Exhibition Place.

© DIANE BASTIEN

Centrale PV de 153 000 modules solaires totalisant 12 MW opérée par EDF Énergies Nouvelles et située à St-Isidore, en Ontario.

© GREENPEACE / PIERRE BERNADET

L'Ontario

L'Ontario satisfait la majorité de ses besoins énergétiques par l'énergie nucléaire : 40 % et 54 % de sa consommation électrique provient du nucléaire pour les années 2000 et 2007 respectivement. Le charbon fournit une partie importante des besoins de la province depuis de nombreuses années et le gouvernement s'est engagé à fermer définitivement toutes les centrales au charbon d'ici la fin de 2014. C'est la première juridiction en Amérique du Nord à mettre en place un tel plan. Afin de les remplacer, l'Ontario planifie de plus que doubler sa capacité de production d'énergie renouvelable à 15,7 GW, de réduire la consommation de 5,6 GW grâce à l'efficacité énergétique et d'augmenter la capacité des centrales au gaz de 4,5 GW pour 2025. L'objectif de réduction de GES de la province est de 6 % (du niveau de 1990) pour 2014, 15 % pour 2020 et 80 % pour 2050⁶¹.

L'Ontario a décidé d'augmenter massivement ses capacités de production électrique de sources renouvelables. En 2006, le *Renewable Energy Standard Offer Program* (RESOP) a été mis sur pied afin d'acheter l'électricité issue de sources renouvelables pour des projets de 10 MW ou moins par des contrats de 20 ans. Le tarif pour l'achat d'énergie de biomasse, éolienne ou hydraulique était de 11 ¢/kWh tandis qu'il était de 42 ¢/kWh pour l'énergie solaire. L'électricité injectée dans le réseau pendant les heures de pointe était éligible à une prime de 3,5 ¢/kWh. L'Ontario s'est engagé en 2005 à installer des compteurs intelligents dans toutes les maisons et petites entreprises d'ici la fin de 2010⁶². Ces compteurs permettent une tarification horaire de l'électricité : le prix du kWh en période de pointe est plus élevé qu'en période hors pointe. Ce type de tarification motivera les usagers à utiliser moins d'électricité en période de pointe. Comme l'augmentation de la demande de pointe est directement reliée à la construction de nouvelles infrastructures de production électrique, cette mesure facilitera la transition du parc électrique post charbon. En mai 2009 l'Ontario a adopté le *Green Energy and Green Economy Act* qui remplace le RESOP. Basé sur les succès de la tarification privilégiée en Europe, la limite maximale de capacité a été abandonnée. Les tarifs d'achat ont été revus à la hausse et sont présentés au tableau 3. Afin de bénéficier de ces tarifs, l'énergie éolienne et solaire doivent s'assurer d'avoir un certain pourcentage minimum de contenu produit en Ontario (en biens et services). Pour l'énergie éolienne, c'est 25 % qui doit être produit en Ontario alors que cette part s'élève à 50 % pour le solaire. En 2011, ces pourcentages sont passés à 50 % pour l'éolien et 60 % le solaire⁶³. Cette mesure permet de s'assurer un développement des industries locales ainsi que des retombées locales substantielles. Avec ce programme, le gouvernement ontarien avait comme objectif de créer de nouveaux emplois dans un secteur à l'avant-garde de la technologie en réponse aux difficultés dans le secteur automobile tout en augmentant la capacité de production d'énergie renouvelable de la province.

La capacité PV installée en Ontario a atteint 215 MW, soit environ 10 % de la capacité totale installée en Amérique du Nord. Ce chiffre devrait continuer à croître, car des projets de 257 MW d'énergie solaire ont été annoncés⁶⁴. Pour les usagers n'ayant pas de compteur intelligent, le tarif d'électricité domestique est de 6,4 ¢/kWh pour les 1 000 premiers kWh du mois tandis que l'excédant est à 7,4 ¢/kWh (à partir de novembre 2010). Pour les usagers équipés d'un compteur intelligent, le prix est de 5,1 ¢, 8,1 ¢ et 9,9 ¢/kWh pour les périodes hors pointe, de mi-pointe et de pointe respectivement. Cinq années plus tôt, soit en 2005, le prix était de 5,0 ¢/kWh pour les premiers 1 000 kWh et de 5,8 ¢/kWh pour l'excédant⁶⁵. Alors que certains partis d'opposition tentent de blâmer les énergies renouvelables pour la hausse des tarifs d'électricité, les énergies renouvelables et les mesures d'efficacité énergétique ne contribuent que pour 0,4 ¢/kWh aux coûts actuels d'électricité. D'autres opposants critiquent le tarif très élevé alloué à l'énergie PV. Même s'il est élevé, il est toutefois moins élevé que le prix maximal pour l'électricité de pointe en Ontario qui peut atteindre jusqu'à 1,90 \$/kWh en milieu de journée en phase avec la production solaire⁶⁶. La future direction des politiques énergétiques pourrait être assez différente avec des élections imminentes en Ontario et des partis d'opposition qui ont vivement critiqué certaines mesures.

Les ressources solaires en Ontario varient relativement peu en fonction de l'emplacement, contrairement à l'éolien⁶⁶. Ceci implique que l'installation de panneaux PV peut être viable à travers la province tandis que les sites d'implantation d'éoliennes doivent être choisis avec soin. La production d'énergie solaire et éolienne combinée réduit les fluctuations de la production électrique comparativement à la production de la même quantité d'électricité annuellement uniquement par le solaire ou l'éolien. La dispersion géographique d'énergies renouvelables à travers l'Ontario doit être encouragée⁶⁷.

La province appuie l'initiative *Energy Star for New Homes*, qui fait la promotion de la construction de nouvelles maisons qui sont 30 % plus écoénergétiques que celles construites selon les normes minimales du code du bâtiment. Le *Green Energy Act* stipule que les bâtiments du secteur public doivent adhérer à la certification LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) argent afin de favoriser l'efficacité énergétique des nouveaux bâtiments du secteur public. La nouvelle législation rend également obligatoire l'audit énergétique d'une maison lors de sa vente. Les municipalités et les communautés métis et des premières nations sont encouragées à bâtir, posséder et opérer leurs propres projets d'énergies renouvelables et sont même éligibles à une légère hausse du tarif d'achat privilégié.⁶⁸

La recherche et le développement sur les centrales solaires thermiques ne semblent pas être à l'agenda des politiques énergétiques de la province. Toutefois, les systèmes de production d'énergie solaire thermique sont admissibles à un certain nombre de mesures afin de faciliter leur acquisition. L'achat d'équipement de systèmes de production d'énergie renouvelable est admissible à une exemption de la taxe provinciale et inclut les systèmes solaires thermiques. De plus, la province donne une subvention supplémentaire, égale à celle du fédéral, de 1 250 \$ pour l'acquisition d'un chauffe-eau solaire dans le cadre du *Home Ontario Energy Saving Program*. Un projet pilote pour l'installation de chauffe-eau solaires offert par Bullfrog Power, Enbridge gas et EnerWorks qui s'est terminé le 31 décembre 2010. D'autres initiatives locales telles que le *Solar Neighbourhood Project* et le *Solar H2Ottawa* offraient un montant de 1 000 \$ à 1 200 \$ supplémentaire aux résidents de certains quartiers de Toronto et Ottawa. Ces deux programmes sont maintenant terminés.

Il serait possible de développer un programme similaire mais plus avancé au Québec afin de favoriser l'intégration d'énergies renouvelables décentralisées, comme l'énergie solaire PV/T intégrée aux bâtiments. Lorsque l'énergie produite est distribuée géographiquement sur le territoire et près des lieux de consommation, l'intégration de l'énergie au réseau électrique s'en trouve simplifiée et évite la construction de nouvelles lignes électriques.

Le prix de l'électricité en période de pointe en Ontario peut atteindre 1,90 \$/kWh. Cette période de pointe est causée par la demande en climatisation en milieu de journée, en phase avec la production solaire. L'achat d'électricité PV à 0,80 \$/kWh est donc une bonne affaire lors des périodes de pointe en Ontario.



L'énergie solaire la mieux adaptée pour le Québec

Nous avons vu que l'énergie solaire n'est absolument pas confinée aux seuls panneaux solaires photovoltaïques. L'énergie solaire passive peut être exploitée par un design bioclimatique des bâtiments qui porte une attention particulière à l'orientation, la fenestration, l'isolation et la masse thermique des bâtiments. La chaleur dégagée par le Soleil peut être récoltée par des capteurs solaires thermiques à eau ou à air. Les panneaux photovoltaïques peuvent produire de l'électricité en transformant les photons en électrons. L'éclairage naturel permet de réduire significativement la consommation électrique due à l'éclairage artificiel. La combinaison de toutes ces stratégies peut mener à la conception de bâtiments extrêmement efficaces qui peuvent produire toute la chaleur et l'électricité nécessaires à leur consommation énergétique. Les centrales solaires thermiques, quant à elles, peuvent générer une grande quantité d'électricité à partir d'une seule installation centralisée.

Jusqu'à maintenant, l'énergie solaire n'a jamais été réellement une priorité au Québec. Quelle facette serait à privilégier afin d'exploiter sérieusement une partie du potentiel solaire québécois? L'exploitation des centrales solaires thermiques doit se faire dans des climats ayant un taux de radiation solaire direct très élevé, de l'ordre de 2 000 kWh par année, afin d'être économiquement attrayante. Or à Montréal la radiation solaire directe est de 1 314 kWh par année¹⁰. Cette filière n'est donc pas à privilégier pour l'instant. Le développement immédiat de cette filière se fera dans des climats très ensoleillés, mais il est possible que la technologie évolue rapidement et que cette filière devienne viable dans des climats un peu moins favorisés.

Le Québec est l'un des plus gros consommateurs d'électricité au monde. Il est aussi une des seules juridictions à produire une électricité renouvelable à 97 %. Contrairement à d'autres sociétés, le Québec n'a pas besoin de transformer sa production électrique à cause de centrales vieillissantes. Toutefois, l'accroissement de la population continuera de faire croître les besoins énergétiques. De plus, 50 % de la consommation énergétique des Québécois est satisfaite par des combustibles fossiles majoritairement importés. Il est essentiel de diminuer cette consommation rapidement afin de freiner le déficit commercial. En 2007, le Québec a consommé pour 13 milliards de dollars de produits pétroliers dont 10,6 milliards ont été importés de l'étranger¹¹. Avec une consommation d'électricité pratiquement égale à la consommation de pétrole, le Québec dépense néanmoins beaucoup plus d'argent pour ce dernier. Le gouvernement québécois et Hydro-Québec se disent favorables à l'électrification des transports. L'énergie solaire pourrait permettre de réduire significativement la consommation de produits pétroliers et de produire l'énergie nécessaire à l'électrification du parc de véhicules québécois.

La filière solaire à privilégier en premier lieu au Québec serait celle de l'énergie solaire passive. En effet, par sa simplicité, elle est la technologie solaire qui demande le moins d'investissement financier et elle a le potentiel de diminuer grandement les besoins de chauffage des bâtiments neufs. Nous avons un climat froid, mais assez ensoleillé; les

PHOTO La maison productive, située à Montréal, est un développement à zéro émission de GES.

© DIANE BASTIEN

nouvelles constructions devraient être obligées de suivre certaines normes afin de réduire significativement leur consommation de chauffage et de climatisation.

La deuxième filière à privilégier serait le solaire thermique. Pour les bâtiments existants, l'achat d'un système d'énergie solaire thermique est souvent plus abordable qu'une rénovation majeure de l'enveloppe du bâtiment.

Finalement, l'énergie solaire photovoltaïque devrait aussi être encouragée. Même si le coût de l'électricité produite par des panneaux PV est actuellement beaucoup plus dispendieux que l'hydroélectricité du Québec, son prix baisse rapidement. Depuis les 30 dernières années, le prix a diminué de 22 % à chaque fois que la capacité installée a doublé. Certains estiment que le prix pourrait être réduit de moitié d'ici 2020^{*®}. Il est donc essentiel d'encourager et de développer les industries d'ici dès maintenant afin de pouvoir compter sur une industrie solide, compétitive et locale qui sera en mesure de produire des panneaux PV à moindre coût. La conception de panneaux PV requiert beaucoup d'énergie ; le Québec devrait essayer d'attirer des manufacturiers afin qu'ils implantent des usines au Québec. Grâce à son énergie hydraulique renouvelable à faible coût, le Québec jouit d'un avantage comparatif considérable. Utiliser de l'énergie renouvelable afin de produire de l'énergie renouvelable : voilà un cycle qui est réellement durable.

Un aperçu des professionnels reliés à l'énergie solaire au Québec

Selon Benoit Perron, président d'Énergie Solaire Québec (ESQ), le nombre d'intervenants dans le milieu de l'énergie solaire au Québec est relativement stable depuis une vingtaine d'années. Certains piliers sont présents depuis plusieurs années tandis qu'il y a un certain roulement de jeunes entreprises qui naissent et d'autres qui disparaissent. ESQ publie annuellement depuis 1990 le *Répertoire québécois des énergies renouvelables*. Cet ouvrage regroupe tous les professionnels impliqués dans l'énergie solaire et éolienne, la géothermie et la micro hydraulique. Dans le domaine de l'énergie solaire, les intervenants ne sont pas que des fabricants et distributeurs de capteurs solaires

thermiques et photovoltaïques.

On retrouve aussi des architectes, constructeurs et consultants en énergie solaire et habitat bioclimatique.

À titre d'exemple, des architectes comme Luc Muyldermans et Maryse Leduc ont construit des milliers de maisons au Québec en suivant les principes de l'énergie solaire passive. Plusieurs jeunes entreprises telles que B.L. Éco-construction, Ensemble Terre-Ciel et Le Vertendre font également preuve d'innovation sur les planches à dessin afin de produire des maisons certifiées LEED qui consomment très peu d'énergie.

Pour ce qui est des fabricants de capteurs solaires au Québec, on retrouve la compagnie

CentennialSolar qui manufacture des panneaux PV, Mc² Énergie qui a développé un capteur solaire thermique à air, Énerconcept Technologies qui manufacture les capteurs solaires à air Luba, Lubi et Unitair pour préchauffer l'air extérieur. L'entreprise Timminco, qui produit du silicium à Bécancour depuis plus de 30 ans, a ouvert une usine dédiée au silicium polycristallin de grade solaire en 2007. On trouve plusieurs petits distributeurs de systèmes solaires au Québec comme Solaire Expert, Solaire Design et les entreprises Écosolaris pour ne nommer que ceux-ci. Énergie Matrix, fondé en 1985, est le plus gros distributeur de systèmes d'énergie renouvelable au Québec.

Les barrières au développement de la filière solaire au Québec

Quelles sont les barrières au développement de l'énergie solaire au Québec ?

En voici quelques-unes :

- Des municipalités qui interdisent les cordes à linge et les panneaux solaires.
- Le bas prix de l'électricité au Québec.
- Le peu d'incitatifs financiers et administratifs.
- Un manque d'éducation et de connaissance sur l'énergie solaire et son potentiel.
- Pas d'incitatif à diminuer les pics de consommation énergétique en milieu résidentiel (avec l'exception des appels occasionnels lors des grands froids hivernaux).
- Des universités lentes à intégrer l'énergie solaire dans leurs programmes de formation.
- Un manque de désir de développer des compétences dans de nouvelles filières énergétiques.
- Un manque de volonté d'améliorer les techniques de construction.

L'industrie solaire au Québec est émergente. Alors qu'ailleurs, des incitatifs sont offerts aux citoyens afin de rendre les technologies solaires plus accessibles et que des subventions pour la recherche et le développement sont allouées à des compagnies faisant preuve de leadership et d'innovation, ce n'est pas le cas au Québec pour l'instant. Non seulement l'industrie solaire reçoit peu de support du fédéral et du provincial, mais en plus elle se trouve en compétition avec les énergies fossiles conventionnelles qui sont fortement subventionnées. Au Canada en 2009, les énergies renouvelables ont reçu 1 \$ de support gouvernemental pour chaque 5 à 6 \$ octroyé aux énergies fossiles[®]. Certaines technologies sont plus dispendieuses que des systèmes conventionnels pour l'instant, mais avec l'accroissement de la demande et de la production, elles seront compétitives sous peu. Cependant, certaines technologies solaires n'ont qu'un surcoût marginal et offrent un retour sur investissement très rapide ; elles doivent donc être intégrées dans nos façons de faire dès maintenant.

* Basé sur la figure 16 du document *Solar photovoltaic electricity empowering the world*[®] pour 1 250 heures d'opération à capacité maximale.



Vision solaire pour 2025

L'association canadienne des industries solaires (CanSIA) a publié en décembre 2010 leur vision pour l'énergie solaire en 2025 :

*« D'ici 2025, l'énergie solaire est largement déployée à travers tout le Canada, ayant déjà atteint la parité économique qui élimine le besoin d'aides gouvernementales, et elle fait partie intégrante de la production énergétique du Canada. L'industrie solaire supportera plus de 35 000 emplois dans l'économie et évitera la production de 15 à 31 millions de tonnes de GES par année, assurant un environnement plus sécuritaire et propre pour les générations à venir. »**⁶⁹

Ils estiment que la capacité PV installée atteindra entre 8 000 et 15 000 MW d'ici 2025.

* Traduction libre de l'auteur.

Comment assurer le déploiement de l'énergie solaire au Québec ?

... en améliorant le code du bâtiment

« Le solaire passif constitue en fait une forme d'efficacité énergétique dont l'exploitation systématique passe par des campagnes d'information, de sensibilisation et de formation, ainsi que par des modifications au cadre législatif et normatif actuel. Ces modifications [...] visent l'intégration des critères d'efficacité énergétique dans les schémas d'aménagement urbains, la prise en compte des possibilités liées à la disponibilité de l'énergie solaire lors de la définition de l'orientation des rues, et, plus globalement, ce qu'on appelle le droit au soleil. »⁷⁰ Des changements au code du bâtiment s'imposent. Par exemple, il serait souhaitable de hausser les normes du code de construction du Québec au niveau des standards de Novoclimat et d'intégrer le design solaire passif. Il faudrait redéfinir une nouvelle norme Novoclimat + avec une isolation encore plus performante et en misant sur l'énergie solaire passive. Une maison Novoclimat coûte 2,7 % de plus qu'une maison conventionnelle similaire et consomme 28 % moins de chauffage, ce qui fait en sorte que le surcoût est récupéré en moins de sept ans⁷¹. La quantité d'énergie et d'argent économisés sur toute la durée de vie du bâtiment est significative ; cette mesure devrait être implantée le plus rapidement possible. Le gouvernement du Québec a annoncé en 2006 que Novoclimat deviendra la norme d'ici 2008, ce qui n'est toujours pas le cas en 2011. On pourrait aussi étudier la pertinence d'exiger une certaine masse thermique minimale dans les bâtiments. L'isolant permet de réduire les pertes thermiques, mais la masse thermique réduit les fluctuations de température et peut ainsi diminuer les besoins de chauffage et de climatisation.

... en impliquant tous les niveaux de gouvernements

Les municipalités ont également beaucoup de pouvoir sur les nouveaux développements de leur territoire. Elles devraient songer à orienter davantage les nouvelles rues résidentielles est-ouest afin de faciliter l'intégration de l'énergie solaire passive aux bâtiments. Réduire la consommation énergétique d'une communauté dépasse de loin les considérations des maisons résidentielles uniquement : la densité des quartiers doit être bien étudiée afin d'offrir à la fois suffisamment d'espace vert et d'intimité aux gens tout en ayant une densité permettant d'avoir des transports collectifs efficaces et des services de proximité. La mixité des usages doit être favorisée ; des maisons unifamiliales regroupées en de grandes zones résidentielles où les services de proximité sont absents force ses occupants à utiliser la voiture pour le moindre déplacement. Les municipalités peuvent aussi faire preuve de leadership, comme la ville de Freiburg, en Allemagne, en instaurant des normes d'efficacité énergétique plus élevées pour les nouvelles constructions que celles minimalement exigées par le code. Elles pourraient aussi encourager le verdissement en milieu urbain, comme les toits verts, afin de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain et ainsi réduire les besoins

de climatisation. Certaines municipalités interdisent les panneaux solaires et même les cordes à linge. Il faut inverser la tendance, qu'ils soient encouragés plutôt que stigmatisés.

Notons à ce chapitre l'Ontario qui, une fois de plus, a fait preuve de leadership en abolissant toute forme de restriction à l'utilisation des cordes à linge. Le Québec pourrait l'imiter et inclure les panneaux solaires du même coup. Enfin, à plus grande échelle, il faudrait faire pression sur le gouvernement fédéral pour améliorer le Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments⁷⁶ afin de hausser les performances minimales des nouvelles constructions, ce qui inciterait les provinces à adopter ces nouvelles mesures. Il y a donc de la place pour des initiatives à différents niveaux, soit fédéral, provincial et municipal. Plus l'échelle est grande, plus les résultats seront répandus, mais les plus petites structures sont plus faciles à modifier et risquent de produire des résultats plus rapidement.

Le gouvernement du Québec doit aussi travailler de concert avec les régions. Il doit suivre l'exemple de l'Ontario et encourager les collectivités locales à posséder et opérer les systèmes de production d'énergie renouvelable. Aucun projet communautaire n'a été retenu dans les appels d'offres d'énergie éolienne⁷⁷. On constate actuellement des réticences à l'implantation d'éoliennes dans certaines communautés. Le gouvernement aurait avantage à revoir son approche et travailler davantage de concert avec les communautés. Celles-ci se sentent bien souvent mises devant le fait accompli face à des projets déjà ficelés. Donner à la population locale l'accessibilité à des parts d'un projet, et donc des bénéfices directs, est important pour l'acceptation sociale⁷⁸.

... en aidant le solaire thermique

Ensuite, il faut aussi encourager l'installation de capteurs solaires thermiques à air et à eau. Jusqu'à maintenant, les mesures incitatives dans le monde ont souvent favorisé les capteurs solaires à eau pour le chauffage de l'eau domestique. Toutefois, il est alors nécessaire de faire installer des conduits d'eau (par des plombiers qualifiés) et un échangeur de chaleur (à cause de l'antigel), ce qui rend la facture totale plus élevée que pour les capteurs à air. La simplicité des capteurs à air leur confère une fiabilité qu'il ne faut pas négliger. Il ne faut donc pas exclure les capteurs solaires à air des mesures incitatives à venir, car ils ont le potentiel de réduire significativement les besoins pour le chauffage de l'espace d'un bâtiment tout en demandant un investissement initial plus faible que pour les systèmes à eau.

Une première mesure facile à instaurer afin d'encourager les capteurs solaires thermiques pourrait être l'exemption de la taxe provinciale sur les équipements producteurs d'énergie renouvelable, comme en Ontario. De plus, une subvention à l'achat de capteurs solaires thermiques pourrait encourager les propriétaires à utiliser la chaleur du soleil pour l'eau chaude sanitaire ou le chauffage. Les subventions devraient être flexibles, c'est-à-dire s'appliquer à tous les types de capteurs, et ce, pour toutes les applications. Le projet pilote pour les chauffe-eau solaires de l'Agence de l'efficacité énergétique, par exemple, n'acceptait que des projets pour chauffer l'eau sanitaire : des projets plus ambitieux combinant l'eau chaude et le chauffage de l'espace en étaient exclus. Afin de favoriser tous les types de capteurs de manière équitable, la subvention pourrait être sous la forme d'un certain pourcentage de l'énergie annuelle collectée par le système. Un bonus devrait être accordé aux systèmes combinés pour le chauffage de l'eau et de l'espace.

L'éducation doit se faire en parallèle des mesures incitatives financières ; de l'information devrait être accessible aux citoyens afin qu'ils soient davantage informés des avantages des technologies solaires. Il est nécessaire de préparer l'industrie afin de s'assurer d'avoir suffisamment de professionnels certifiés pour les installations solaires. Les subventions devraient être garanties pour une période assez longue, au moins cinq ans, afin de favoriser un développement stable de l'industrie. Les montants pourraient être ajustés de plus ou moins 10 % annuellement afin de se réajuster aux prix du marché. Idéalement les subventions seraient dégressives jusqu'à ce que l'industrie devienne compétitive avec les systèmes conventionnels. Puisque 77 % de ménages et 40 % des commerces et institutions utilisent l'électricité pour le chauffage⁷⁹, l'énergie solaire thermique pourrait dégager une importante

quantité d'électricité qui serait disponible à d'autres fins comme l'électrification des transports, et qui éviterait la construction de barrages additionnels.

... en augmentant la sécurité énergétique

Comment le photovoltaïque pourrait répondre aux besoins du Québec ? Le Québec est à part, car il n'a pas besoin de transformer une partie importante de son parc de production électrique pour de nouvelles sources afin de réduire ses émissions de GES. Toutefois, nous sommes dépendants de centrales qui se trouvent à des milliers de kilomètres des lieux où se situent les besoins en énergie. La crise du verglas de 1998 a révélé la vulnérabilité de notre réseau. Même pour les bâtiments équipés de fournaies ou chaudières à l'huile ou au gaz, la plupart des systèmes de chauffage ne pouvaient fonctionner, car l'électricité est nécessaire pour alimenter les contrôles, pompes et ventilateurs. Seuls ceux pourvus d'un poêle à bois ou d'un foyer au gaz à veilleuse continue ont pu se garder relativement au chaud. La crise du verglas a coûté 1,6 milliard de dollars au Canada dont 1,4 milliard au Québec. Cette tragédie aura forcé les assureurs canadiens à déboursier 1,5 milliard de dollars en dédommagement.

Actuellement, les installations PV conventionnelles sans batterie et reliées au réseau électrique ne peuvent fonctionner en cas de panne du réseau pour des raisons de sécurité. Le Québec pourrait développer des compétences dans les installations PV hybrides pouvant opérer en mode réseau et en mode autonome. Le fruit de ces recherches et l'expertise acquise pourraient être exportés vers les régions actives dans le solaire PV. Une maison équipée d'une modeste installation photovoltaïque, même sans batteries, aurait le potentiel de produire un peu d'électricité afin d'alimenter directement une fournaise principale, une thermopompe, voire même un radiateur électrique, au moins quelques heures par jour et ainsi empêcher les risques de gels dans l'habitation. Même sous un épais couvert nuageux, le Soleil est toujours là et servira toujours à alimenter les panneaux PV au moins un minimum. À Montréal, le minimum de radiation solaire reçu sur un panneau incliné à 45° est de 1,45 kWh/m² par jour⁸⁰. Donc, même dans le pire des cas, une installation solaire de 1 kWc* produira au minimum 1,45 kWh en une journée. Il serait ainsi possible de dimensionner des installations PV de manière à produire suffisamment d'électricité afin d'alimenter les systèmes de chauffage existants. Les assureurs pourraient également offrir un rabais sur les primes d'assurance habitation pour les bâtiments équipés d'un système de chauffage autonome, similaire aux baisses offertes aux bâtiments équipés de systèmes d'alarme.

L'énergie solaire PV et thermique est réellement la seule énergie renouvelable qui peut être intégrée facilement et discrètement aux bâtiments urbains et ainsi leur assurer une certaine autonomie énergétique. Lorsqu'intégrés aux bâtiments, les capteurs solaires ne nécessitent pas de terrain additionnel, ce qui facilite leur implantation en milieux urbains. Les changements climatiques pourraient rendre les hivers québécois plus cléments et augmenter les épisodes de pluies verglaçantes. Il serait souhaitable d'augmenter l'autonomie énergétique du Québec avec des sources d'électricité renouvelable produisant l'électricité directement là où elle est consommée. L'électricité photovoltaïque pourrait être utilisée afin d'assurer des services essentiels comme le pompage de l'eau des municipalités et l'alimentation électrique des hôpitaux.

... en préparant l'électrification des transports et la gestion de la demande

L'énergie solaire PV est chère au Québec actuellement, comparativement à l'hydroélectricité ; comparons son coût avec celui de l'essence qui alimente nos voitures. Pierre Langlois, auteur de *Rouler sans pétrole*, nous fait la démonstration que l'énergie solaire est moins

* 1kWc est un kilowatt crête, c'est-à-dire la puissance de l'installation PV produite lorsque soumise à un ensoleillement de 1 000 W/m² à 25 °C.

Les maisons Solar Ready

Les maisons neuves devraient être conçues de manière à facilement accueillir des panneaux PV ou thermiques dans le futur. Ces maisons « solar ready » ne coûtent que 300 \$ à 400 \$ de plus, mais peuvent faire économiser des milliers de dollars lors d'une future installation solaire⁷⁶.

dispendieuse que le pétrole pour ce qui est d'alimenter nos voitures, et ce, dès maintenant⁷⁷. En considérant un prix de 25 ¢/kWh pour l'énergie solaire PV, et une consommation de 17 kWh/100 km pour une voiture intermédiaire électrique ; parcourir 100 km coûterait 4,25 \$. Pour une voiture intermédiaire consommant 9 L/100 km et un prix à la pompe de 1,11 \$ le litre, il en coûterait 10,00 \$ pour parcourir ces mêmes 100 km.

Ainsi, l'énergie solaire PV au Québec est dès maintenant financièrement compétitive avec le pétrole pour l'alimentation des voitures. Le développement d'une industrie photovoltaïque locale permettrait de ralentir la sortie de devises hors du Québec pour l'achat de produits pétroliers tout en étant rentable à long terme. Le Québec bénéficie d'une grande capacité de production d'énergie hydraulique renouvelable, ce qui en fait l'un des meilleurs endroits au monde pour bénéficier au maximum des avantages de la transition du pétrole vers l'électricité pour les transports. Des stationnements couverts de panneaux photovoltaïques et équipés d'un système de contrôle intelligent permettraient de réduire notre dépendance au pétrole à un coût qui est déjà compétitif à celui de l'essence. Le Québec pourrait développer une expertise dans le domaine de l'électrification des transports lié à un réseau électrique intelligent facilitant l'intégration de l'énergie solaire et son stockage. De plus, l'utilisation de compteurs intelligents couplés aux habitations solaires pourrait réduire la demande de pointe d'Hydro-Québec. Il y a là une occasion de développer une expertise qui pourrait être exportée partout dans le monde, à l'instar de notre expertise reconnue en hydroélectricité.

Présentement, Hydro-Québec accepte de connecter les autoproducteurs d'énergie photovoltaïque au réseau électrique et crédite les kWh au même prix qu'à l'achat, donc entre 5,39 et 7,51 ¢/kWh. Ce faible prix du kWh n'est pas suffisamment élevé afin de créer un engouement, seules 14 installations PV sont reliées au réseau. Offrir un montant un peu plus élevé favoriserait certainement le développement de l'industrie et en conséquence la baisse des coûts du PV. L'utilisation de compteurs intelligents et une tarification différenciée dans le temps en fonction de la demande devraient être mises sur pied dans les années à venir. Les clients paieront plus cher pour l'électricité en demande de pointe et moins cher lorsque la demande est faible. Ces prix seront beaucoup plus réalistes et refléteront davantage le vrai prix payé par Hydro-Québec, en temps réel. Les usagers, grâce à des systèmes de contrôles intelligents et du stockage thermique pour l'eau chaude et le chauffage de l'espace, pourront ajuster leur consommation afin de réduire leur consommation de pointe et ainsi diminuer leur facture d'électricité. La pression de construire de nouvelles centrales électriques pour répondre à la demande de pointe pourrait être grandement diminuée et même éliminée.

... en adoptant une stratégie énergétique basée sur la planification intégrée des ressources

La Table de consultation du débat public sur l'énergie a publié un rapport en 1995 intitulé *Pour un Québec efficace*⁷⁸. On y mentionne que l'efficacité énergétique doit jouer un rôle central pour le futur développement énergétique du Québec. Il y était suggéré d'adopter la planification intégrée des ressources, qui se caractérise par l'adoption de la solution la moins dispendieuse et la plus souhaitable au plan économique, social et environnemental. Le portefeuille énergétique du Québec devrait se diversifier :

« Pour renforcer la qualité de ses approvisionnements, le Québec doit se donner les moyens de diversifier son portefeuille énergétique, en favorisant la venue de technologies nouvelles, en encourageant la production d'énergie près des lieux de consommation, en appuyant la production d'énergie sur des bases communautaires et en soutenant les synergies entre projets énergétiques, notamment au niveau régional. »⁷⁹

Plusieurs pays ont adopté des normes protégeant l'ensoleillement reçu par les habitations afin de garantir que les résidents ayant investis dans les technologies solaires soient assurés de conserver l'accès à la ressource. Le rapport mentionne que l'absence d'une politique énergétique garantissant le « droit au soleil » est une lacune qui devrait être comblée prioritairement. Plus de quinze ans après sa parution, la quasi-totalité des conclusions de ce rapport sont toujours d'une surprenante acuité. Plusieurs recommandations de ce rapport qui n'ont toujours pas été adoptées devraient l'être le plus rapidement possible.

... en adoptant des mesures budgétaires

À l'instar du 1 % du budget de construction des bâtiments publics dédié aux arts, une norme similaire pourrait s'appliquer aux bâtiments publics : investir 1 % du budget dans les technologies solaires telles que des capteurs thermiques et photovoltaïques. Cette mesure a été suggérée par Brendan O'Neill, chargé de projet de l'installation PV/T de l'Université Concordia et maintenant chercheur au centre de la technologie de l'énergie CANMET à Varennes⁸⁰. L'investissement initial sera en partie ou totalement récupéré par les économies d'énergie réalisées durant toute l'existence du bâtiment. Ces systèmes pourraient être installés de sorte qu'ils soient visibles par les usagers du bâtiment avec des affiches explicatives et ainsi contribuer à l'éducation du public sur les technologies solaires.

Le gouvernement québécois a annoncé dans le plan budgétaire 2011-2012 un soutien gouvernemental pour l'énergie solaire : 3,5 millions de dollars en 2011-2012 et un autre 3,5 millions en 2012-2013 pour un total de 7 millions d'investissements provenant du Fonds vert, qui sera géré par le ministère du Développement durable, de l'environnement et des parcs⁸¹. Cette somme devrait être investie pour financer des projets pilotes utilisant une « énergie solaire opérationnelle ». Ces projets pilotes sont destinés aux secteurs commercial, institutionnel et résidentiel. Bien que les détails ne soient pas encore dévoilés, les toitures solaires sont mentionnées ainsi que la fabrication de cellules photovoltaïques. Il est donc sous-entendu que l'investissement servira à l'acquisition de panneaux solaires photovoltaïques, échelonnée sur deux années.

L'intérêt que porte finalement le gouvernement québécois à l'énergie solaire doit être noté. Toutefois, il manque un plan global de développement de l'énergie solaire à long terme dans son ensemble. Si l'argent ne sert qu'à subventionner l'achat de panneaux PV pour deux ans et qu'ensuite le support à l'énergie solaire est terminé, cette subvention risque d'être un coup d'épée dans l'eau. L'annonce d'une subvention, à long terme, pour l'industrie PV accompagnée d'exigences de contenu domestique minimal permettrait un réel développement stable et durable de cette industrie au Québec. L'énergie solaire passive et les capteurs solaires thermiques ne doivent pas être laissés pour compte. L'énergie photovoltaïque est l'énergie solaire la plus dispendieuse ; il faut absolument développer les autres formes d'énergie solaire qui sont actuellement beaucoup plus abordables que le photovoltaïque. On doit investir dans le photovoltaïque, mais à long terme et surtout en parallèle des stratégies d'efficacité d'énergétique, qui incluent le solaire passif et l'éclairage naturel, ainsi que le solaire thermique intégré au bâtiment.

... en investissant dans des projets de démonstration

L'industrie de la construction est assez lente à intégrer de nouvelles pratiques et technologies. C'est compréhensible, puisque la défaillance d'un bâtiment pourrait coûter la vie à plusieurs personnes. Voilà pourquoi les projets de démonstration sont si importants dans ce domaine. Il faut construire des nouveaux bâtiments innovateurs afin de prouver à l'industrie et à la population que les technologies solaires sont efficaces, fiables et bien maîtrisées. Ces bâtiments peuvent servir de laboratoire afin de peaufiner les stratégies de contrôles et d'optimiser les rendements énergétiques, et ensuite ils devraient servir de modèles afin de développer des rejets destinés à la production de masse.

La maison ÉcoTerraTM (voir encadré, page 27) fait la démonstration qu'il est possible de construire des maisons à très faible consommation énergétique dès maintenant. L'installation solaire de l'École de commerce John Molson constitue, quant à elle, un exemple fort réussi d'une intégration photovoltaïque et thermique adéquate pour les bâtiments commerciaux et institutionnels. Ces deux projets de démonstration peuvent être facilement reproduits et on peut s'attendre à une baisse de coût substantielle lorsque ce type de projet sera plus répandu.



LEED Argent

L'imposition d'une cote d'efficacité énergétique minimale aux bâtiments publics, telle que la certification LEED Argent en Ontario, permettrait de favoriser la construction éco-énergétique et réduirait la demande en énergie tout en stimulant le marché de la construction écologique.

Conclusions

IL SE CONSTRUIT ACTUELLEMENT entre 40 000 et 45 000 nouveaux logements par année. Si d'ici 2015 toutes les nouvelles constructions intégraient l'énergie solaire passive et active et des normes élevées d'efficacité énergétique, 1 400 000 logements à très faible consommation énergétique seraient construits en 2050. Il est possible de construire des maisons à consommation énergétique nette nulle dès aujourd'hui avec les technologies actuelles en combinant de manière optimale l'énergie solaire, l'efficacité énergétique et des systèmes efficaces comme des pompes géothermiques. Ces maisons ont parfois besoin d'énergie additionnelle venant du réseau électrique tandis qu'à d'autres moments elles exportent leurs excès d'énergie au réseau. Pour les bâtiments commerciaux et édifices à bureaux, il est plus difficile d'atteindre une consommation énergétique nette nulle, mais certains exemples comme le nouveau bâtiment du *National Renewable Energy Laboratory* aux États-Unis démontrent que c'est tout à fait possible.

En conséquence, si tous les nouveaux bâtiments étaient conçus de manière à fournir l'énergie dont ils ont besoin par une utilisation optimale de l'énergie solaire sous toutes ses formes (chaleur, électricité et éclairage naturel) et par l'efficacité d'énergie; et si les bâtiments existants étaient rénovés et incluaient certaines mesures comme des serres sur les toits, solariums, collecteurs PV/T, revêtements extérieurs collectant la chaleur, fenêtres améliorées et pompes à chaleur, il est facile d'envisager un futur où, d'ici 2050, la consommation énergétique des bâtiments est réduite de moitié.

Les avantages du solaire au Québec

Il y a plusieurs avantages potentiels à développer l'intégration de l'énergie solaire aux bâtiments québécois. Parmi ceux-ci, on retrouve :

- **Le développement de personnel** hautement qualifié dans les secteurs académique, gouvernemental et industriel qui contribuera à établir le leadership et les connaissances nécessaires pour devenir compétitif dans les industries du bâtiment durable et de l'énergie.
- **Une réduction substantielle** de la consommation énergétique et des gaz à émission de serre au Québec. Par exemple, une maison typique dotée d'un toit photovoltaïque et thermique intégré au bâtiment d'une capacité de 4 kW peut réduire sa consommation électrique annuelle de 50 %⁵ ; une maison très efficace, comme la maison ÉcoTerra™, avec une combinaison optimale de solaire passif, panneaux photovoltaïques et thermiques intégrés au bâtiment, pompe à chaleur géothermique et contrôles intelligents peut approcher une consommation énergétique nette nulle. Puisque 18 % des émissions de GES du Québec sont reliées aux bâtiments³, il est évident qu'il sera ainsi plus facile d'atteindre les engagements de la province reliés aux changements climatiques.
- **Le développement de maisons solaires** innovatrices préfabriquées ; ce qui ouvrira la voie à des exportations accrues et à des créations d'emplois. La préfabrication et la production de masse réduiront grandement les coûts et amélioreront la qualité, facilitant l'adoption des maisons solaires par le grand public.
- **La réduction de la demande électrique** de pointe peut être significative grâce à des contrôles intelligents. Par exemple, l'utilisation de contrôles prédictifs dans des maisons avancées comme ÉcoTerra™ peut réduire la demande de pointe. Avec de tels contrôles largement répandus, le besoin de construire de nouvelles centrales électriques sera significativement réduit.
- **Une sécurité accrue** : un toit solaire photovoltaïque et thermique avec un petit système de stockage peut fournir de l'énergie auxiliaire en cas d'événements catastrophiques comme la tempête de verglas de 1998 – le désastre naturel le plus coûteux de l'histoire du Canada. Une voiture électrique peut servir comme stockage d'énergie et de source d'alimentation d'appoint pour la maison en cas d'urgence.

Toutes les mesures proposées dans ce document ne sont qu'un aperçu de toutes les actions qu'il est possible d'entreprendre afin de favoriser l'intégration de l'énergie solaire dans notre société. Allant de l'obligation à l'encouragement, certaines de ces mesures feront économiser de l'argent au Québec alors que d'autres pourraient augmenter les dépenses à court terme. Toutefois, si le Québec a dépensé 13 milliards de dollars en produits pétroliers en 2007, la facture grimpera à 26 milliards quand le baril atteindra 150 \$⁶. Car il ne faut plus dire **si** mais plutôt **quand**... Il faut s'attaquer à ce problème immédiatement si on ne veut pas être pris au dépourvu lorsqu'il deviendra trop lourd. L'énergie solaire peut servir à combler une partie importante des besoins du Québec et favoriser l'autonomie énergétique et financière de la province tout en améliorant la sécurité et le confort de la population. Qu'attendons-nous ?

© GUILLAUME POULIN

- 1 IPCC, *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. 2011, p. 1544.
- 2 A. Rioux, «L'électrification rurale du Québec,» Université Laval, 1942.
- 3 RNCAN, *Base de données complète sur la consommation d'énergie de 1990 à 2008*. Ressources Naturelles Canada, Office de l'efficacité énergétique, 2011.
- 4 MRNF, *Consommation finale par forme d'énergie (1983-2008)*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2011.
- 5 A. K. Athienitis, «Modeling, Design and Control of Solar and Zero-Energy Buildings in Canada,» présenté à High Performance Buildings Conference, Purdue University, 2010, p. 12.
- 6 Énergie Mines et Ressources Canada, *L'atlas national du Canada 5^e édition – Rayonnement solaire annuel*. 1984.
- 7 Environnement Canada, «Fichier météorologique canadiens pour l'énergie et le génie.»
- 8 Bernard Saulnier et Réal Reid, *L'éolien – Au cœur de l'incontournable révolution énergétique*, Éditions Multimondes. 2009.
- 9 Radio-canada, «Consommation d'électricité record au Québec.» <http://www.radio-canada.ca/nouvelles/National/2011/01/24/001-meteo-froid-est.shtml>.
- 10 NASA, «NASA Surface meteorology and Solar Energy,» <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=3030>.
- 11 IEA, *Trends in photovoltaic applications*. IEA-PVPS T1-19:2010, 2010, p. 40.
- 12 IEA, *World energy outlook*. OECD/IEA, 2010.
- 13 EPIA, *Global market outlook for photovoltaics until 2015*. *European Photovoltaic Industry Association*, 2011, p. 44.
- 14 OPA, «Renewable energy feed-in tariff program,» *Ontario Power Authority*, vol. 10620, 2011.
- 15 IESO, *An assessment of the reliability of the Ontario electricity system*. http://www.ieso.ca/imoweb/pubs/marketReports/18MonthOutlook_2006dec.pdf, 2006.
- 16 K. Butti et J. Perlin, *A golden thread: 2500 years of solar architecture and technology*. Palo Alto: Cheshire Books, 1980.
- 17 S. Pogharian, *Maison nette zéro Alstonvale – Diagramme du flux de l'énergie*. 2010.
- 18 MRNF, *Énergie solaire*. <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/innovation/innovation-solaire.jsp>, 2011.
- 19 Nicolas Boisclair et Alexis de Gheldere, *Chercher le courant*. 2010.
- 20 D. Bastien, «Le potentiel énergétique des solariums résidentiels au Québec,» présenté à l'ACFAS, Sherbrooke, 2011.
- 21 Athienitis, A.K., *Building thermal analysis*, Electronic Mathcad Book, 2nd Edition. Boston, USA: MathSoft Inc.
- 22 Carole Thibodeau, «Vivre dans une maison laboratoire,» *La Presse*, 08-Nov-2010.
- 23 Paul Torcellini, «Communication personnelle,» juin-2011.
- 24 R. Zmeurameau et C. Peragine, «Evaluation of interactions between lighting and HVAC systems in a large commercial building,» *Energy Conversion and Management*, vol. 40, p. 1229-1236, 1999.
- 25 P. Maycock, «PV review - World solar PV market continues explosive growth,» *Refocus*, vol. 6, no. 5, p. 18–22, 2005.
- 26 M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, et W. Warta, «Solar cell efficiency tables,» *Progress in photovoltaics: research and applications*, vol. 19, p. 84–92, 2011.
- 27 Sophie Pelland et Yves Poissant, «An evaluation of the potential of building integrated photovoltaics in Canada,» *31st Annual Conference of the Solar Energy Society of Canada*, p. 1-8, 2006.
- 28 A. Realini, *Mean time before failure of photovoltaic modules*, vol. BBW 99.057. Federal Office for Education and Science BBW, 2003.
- 29 A. Realini, *Photovoltaics lasts: you can depend on it!* Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana, Laboratorio Energia, Ecologia, Economia, 2003.
- 30 A. K. Athienitis, J. Bambara, B. O'Neill, et J. Faille, «A prototype photovoltaic/thermal system integrated with transpired collector,» *Solar Energy*, vol. 85, no. 1, p. 139–153, Jan. 2011.
- 31 Athienitis, A.K., *Development and Demonstration of Combined Photovoltaic and Solar Thermal Hybrid Power Generation Technologies for Commercial and Residential Applications*. Solar Buildings Research Network, 2011, p. 67.
- 32 C. Richter, J. Blanco, P. Heller, M. Mehos, A. Meier, et R. Meyer, *Annual report 2009*. SolarPaces, 2009.
- 33 C. Richter, S. Teske, et R. Short, *Concentrating solar power – Global Outlook 2009*. Greenpeace International, SolarPACES, ESTELA, 2009.
- 34 Hydro-Québec, *Communication personnelle avec Antonio Rossi*. 2011.
- 35 CADDET IEA/OECD, *World's largest solar wall at Canadair facility*. Center for Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies, 1999.
- 36 Y. Chen, A. K. Athienitis, et K. Galal, «Modeling, design and thermal performance of a BIPV/Tsystem thermally coupled with a ventilated concrete slab in a lowenergy solar house: Part 1, BIPV/T system and house energy concept,» *Solar Energy*, vol. 84, p. 1892-1907, 2010.
- 37 IEA-SHC, «IEA-SHC Task 40 / ECBCS Annex 52 / Net Zero Energy Solar Buildings.» <http://www.iea-shc.org/task40/objectives.htm>.
- 38 S. Sibbitt, T. Onno, D. McClenahan, and J. Thornton, «The Drake Landing Solar Community Project – Early Results,» presented at the Canadian Solar Building Conference, Calgary, 2007.
- 39 IEA, «Energy policies of IEA countries: Germany,» *OECD/IEA*, p. 184, 2007.
- 40 BMU, *Renewables' contribution to energy supply in Germany continued to rise in 2010*. http://www.bmu.de/english/current_press_releases/pm/47124.php, 2011.
- 41 IEA, «Electricity information,» *IEA Statistics*, p. 785, 2001.
- 42 IEA, «Electricity information,» *IEA Statistics*, p. 784, 2010.
- 43 A. Campoccia, L. Dusonchet, E. Telaretti, and G. Zizzo, «Comparative analysis of different supporting measures for the production of electrical energy by solar PV and wind systems: Four representative European cases,» *Solar Energy*, vol. 83, no. 3, p. 287–297, Mar. 2009.
- 44 German Renewable Energies Agency, *Der Strommix in Deutschland im Jahr 2010*. p. 1.
- 45 Federal Ministry of Economics and Technology, «Renewables – Made in Germany,» *German Energy Agency (DENA)*, http://www.renewables-made-in-germany.com/fileadmin/publikationen_veranstaltungsdoku/dokumente/MP_Katalog_renewables_Made_in_Germany_2010_2011/renewables_Made_in_Germany_2010_2011_web.pdf, p. 255, 2010.
- 46 Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety, «The renewable energies heat act in brief,» *BMU*, http://www.bmu.de/files/english/pdf/application/pdf/ee_waermegeesetz_fragen_en.pdf, 2007.
- 47 S.-C. Park et D. Eissel, «Alternative Energy Policies in Germany with particular Reference to Solar Energy,» *Journal of Contemporary European Studies*, vol. 18, no. 3, p. 323–339, Sep. 2010.
- 48 Radio-Canada, «Centrales nucléaires : Les inquiétudes nucléaires au Japon forcent Berlin à revoir sa politique.» <http://www.radio-canada.ca/nouvelles/International/2011/03/14/008-suspension-prolongement-nucleaire-allemand.shtml>.
- 49 Radio-Canada, «Le nucléaire n'a plus sa place en Allemagne.» <http://www.radio-canada.ca/nouvelles/Economie/2011/06/06/001-nucleaire-fin-allemande.shtml>.
- 50 IEA, «Energy policies of IEA countries: Spain,» *OECD/IEA*, p. 162, 2009.
- 51 T. D. Couture, «Booms, busts, and retroactive cuts: Spain's RE odyssey,» *E3 Analytics*, vol. 3, no. 1, p. 1–4, 2011.
- 52 EnergyMarketPrice, «Le marché mondial de l'énergie solaire a doublé de capacité en 2010,» *Newsletter 15 février 2011*, 2011.
- 53 GREENPEACE, SolarPACES, et ESTELA, *Concentrating solar power – Global outlook 09*. 2009, p. 88.
- 54 Hering Garrett, «Room for growth,» *Photon International*, no. December, p. 46-52, 2009.
- 55 IDAE, *Evolucion de consumos energeticos – Datos 2010*. SECRETARÍA GENERAL. Departamento de Planificación y Estudios, 2011.
- 56 European Commission, *Spain - Renewable energy fact sheet*. 2007.
- 57 Esteban, M, Zhang, Q, Utama, A, Tezuka, T, et Ishihara, K.N., «Methodology to estimate the output of a dual solar-wind renewable energy system in Japan,» *Energy policy*, vol. 38, p. 7793-7802, 2010.
- 58 REVE, «Wind energy secures electricity generation in Japan after earthquake, tsunami and nuclear accident,» http://www.evwind.es/noticias.php?id_not=11009.
- 59 IEA, «Energy policies of IEA countries: Japan,» *OECD/IEA*, p. 220, 2008.
- 60 ISEP, *Solar thermal polici and market in Japan*. Institute for Sustainable Energy Policies, 2007.
- 61 IEA, «Energy policies of IEA countries: Canada,» *OECD/IEA*, p. 266, 2010.
- 62 Environnement Canada, *National inventory report 1990-2008 – Part 3, Table A13-7*. p. 132.
- 63 OPA, *Feed-in tariff prices for renewable energy projects in Ontario*, vol. Ontario Po. <http://fit.powerauthority.on.ca/Storage.asp?StorageID=10620>, 2011.
- 64 CanREA, «Ontario's Renewable Power Transition Under Threat,» <http://www.canrea.ca/site/2011/04/ontarios-renewable-power-transition-under-threat/>.
- 65 OEB, «Electricity Prices,» <http://www.oeb.gov.on.ca/OEB/Consumers/Electricity/Electricity+Prices>.
- 66 C.E. Hoicka et I.H. Rowlands, «Solar and wind resource complementarity: Advancing options for renewable electricity integration in Ontario, Canada,» *Renewable Energy*, vol. 36, p. 97-107, 2011.
- 67 Thomas Duchaine et Hugo Séguin, *Pour un Québec libéré du pétrole en 2030*. Équiterre, 2009.
- 68 Greenpeace et EPIA, *Solar photovoltaic electricity empowering the world*. 2011, p. 100.
- 69 CanSIA, *Solar vision 2005*. Canadian Solar Industries Association, 2010, p. 41.
- 70 Ministère des Ressources Naturelles, *Pour un Québec efficace – Rapport de la Table de consultation du débat sur l'énergie*. 1996.
- 71 AEE, *La maison Novoclimat – Analyse des coûts*. Agence de l'efficacité énergétique, 2002.
- 72 Canada, *Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments*. 1997.
- 73 D. Breton, K. Cornelissen, J. Dion, M. Duguay, et V. François, *Maîtres chez nous 21^e siècle*. ID, 2009.
- 74 A. Jobert, P. Laborgne, et S. Mimler, «Local acceptance of wind energy: Factors of success identified in French and German case studies,» vol. 35, p. 2751-2760, 2007.
- 75 RNCAN, *Enquête sur l'utilisation de l'énergie par les ménages*. Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada, 2007.
- 76 SCHL, «Les installations photovoltaïques.» http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/efenreco/efenreco_003.cfm.
- 77 Pierre Langlois, *Rouler sans pétrole*. Éditions Multimondes, 2008.
- 78 Guthrie, J., «L'Université Concordia se tourne vers l'énergie solaire,» 18-Jun-2009. <http://www.journalmetro.com/info/article/247456—l-universite-concordia-se-tourne-vers-l-energie-solaire>.
- 79 Ministère des Finances, *Plan budgétaire 2011-2012*. Gouvernement du Québec, 2011.