

Ressources de formation sur les énergies renouvelables — Sondage et évaluation

Energía, Tecnología y Educación SC (EnTE SC)
en collaboration avec Marbek Resource
Consultants Ltd. et New Mexico State University



cec.org

Le présent document de travail a été préparé par Energía, Tecnología y Educación SC (EnTE SC) *en collaboration avec* Marbek Resource Consultants Ltd. et New Mexico State University, pour le Secrétariat de la Commission de coopération environnementale. L'auteur assume l'entière responsabilité du contenu du document, qui ne reflète pas nécessairement les vues de la CCE ou celles des gouvernements du Canada, du Mexique ou des États-Unis d'Amérique.

Le contenu du présent document peut être reproduit sans autorisation dans la mesure où on en maintient l'exactitude, qu'il n'est pas utilisé à des fins commerciales et que la Commission de coopération environnementale y est mentionnée.

Sauf mention contraire, le présent rapport est protégé en vertu d'une licence Creative Commons Paternité-Pas d'utilisation commerciale-Pas de modification.



Commission de coopération environnementale, 2010

Détails sur la publication

Type de publication : *Document de travail*

Date de publication : *Juin 2009*

Langue d'origine : *Anglais*

Révision et assurance de la qualité :

Révision finale par les Parties : *Septembre 2009*

QA08.13

Available in English – Disponible en español

Renseignements :

Commission de coopération environnementale

393, rue Saint-Jacques Ouest

Bureau 200

Montréal (Québec) Canada H2Y 1N9

t 514.350.4300 f 514.350.4372

info@cec.org / www.cec.org



Avant-propos

Le présent rapport décrit les résultats d'un processus d'établissement de la portée des questions, qui vise à définir, à documenter et à analyser les capacités de formation en matière d'énergies renouvelables en Amérique du Nord pour les intervenants participant à la conception, à l'acquisition, à l'installation, à l'inspection, à l'exploitation et à l'entretien d'éolienne, des systèmes photovoltaïques et de chauffe-eau solaires (de petite et de grande taille).

Le rapport comprend cinq parties. Le chapitre 2 présente les résultats du processus d'établissement de la portée en examinant un certain nombre de paramètres et en faisant certaines observations importantes. Le chapitre 3 répond à diverses questions relatives aux difficultés, aux problèmes, aux possibilités d'amélioration et aux recommandations, en adoptant une approche trinationale. Le chapitre 4 présente une évaluation de trois technologies visées par l'étude : les systèmes photovoltaïques, les éoliennes et les chauffe-eau solaires. Le chapitre 5 décrit les connaissances nécessaires et les contextes institutionnels dans lesquels évoluent les professionnels participant aux activités liées aux systèmes photovoltaïques, aux éoliennes et aux chauffe-eau solaires.

Tous les cours de formation qui font partie de ce rapport peuvent être consultés sur le site web de la CCE, à : <http://www2.cec.org/energycourses/fr>.

Remerciements

La rédaction de ce document a été coordonnée par Odón de Buen, d'ENTE SC, qui a également rédigé la section portant sur les chauffe-eau solaires. La section sur les systèmes photovoltaïques a été préparée par Mark Pasini, de Marbek Consultants. La section sur l'énergie éolienne a été préparée par Martin Gómez, de la New Mexico State University. Ils ont également collaboré afin de déterminer les capacités de formation dans leur pays respectif, et d'effectuer une révision générale du document et du répertoire. Paola González a intégré les bases de données; Eduardo Lang a conçu et constitué le répertoire; Sergio Segura était responsable de la mise en page finale du rapport et du répertoire.

Table des matières

Résumé	5
Introduction	8
1. Établissement de la portée des capacités de formation existantes	13
1.1 Processus d'établissement de la portée	13
1.2 Résultats généraux du processus d'établissement de la portée	13
1.3 Autres observations importantes	18
1.3.1 Niveau d'instruction	18
1.3.2 Formation en milieu de travail	19
1.3.3 Certification	19
1.3.4 North American Board of Certified Energy Practitioners.....	20
1.3.5 Normes de compétence des installateurs de chauffe-eau solaires au Mexique	21
1.3.6 Agrément	21
1.3.7 Critères d'admission aux programmes de formation	21
1.3.8 Emplois verts.....	22
1.2.9 Groupe de travail sur l'éducation de l'AWEA	22
2. Difficultés, problèmes, défis, possibilités d'amélioration et recommandations, dans une perspective trinationale	23
3. Évaluation de la technologie	27
3.1 Système photovoltaïques	27
3.1.1. Composants	27
3.1.2. Comment les principaux composants sont-ils intégrés?.....	28
3.1.3. Problèmes particuliers liés à la conception, à l'installation, au fonctionnement et à l'entretien	29
3.2 Éoliennes	31
3.2.1 Composants	32
3.2.2 Comment les principaux composants sont-ils intégrés?.....	33
3.2.3 Problèmes particuliers liés à la conception, à l'installation, au fonctionnement et à l'entretien	36
3.3 Chauffe-eau solaires.....	38
3.3.1 Composants	39
3.3.2 Comment les principaux composants sont-ils intégrés?.....	41
3.3.3 Problèmes particuliers liés à la conception, à l'installation, au fonctionnement et à l'entretien	42
4. Connaissances requises et contextes institutionnels	44
4.1 Systèmes photovoltaïques	44
4.1.1 Recherche et production	44
4.1.2 Conception et acquisition de systèmes	45
4.1.3 Installateurs, inspecteurs et personnel d'entretien	45
4.2 Systèmes éoliens	47
4.3 Chauffe-eau solaires.....	48
4.3.1 Conception et achat de systèmes.....	49
4.3.2 Installateurs, inspecteurs et personnel d'entretien	49
4.3.3 Spécialistes des ventes techniques	51
Références	51

Résumé

Compte tenu de l'importance croissante du marché nord-américain des énergies renouvelables (ER), de plus en plus de gens s'intéressent aux cours sur les énergies renouvelables et aux programmes de formation des spécialistes, offerts par les écoles secondaires, les universités, les collèges communautaires, les syndicats et les organisations non gouvernementales locales et nationales, et participent à ces cours/programmes.

Le processus d'établissement de la portée a mis en lumière 235 cours de formation différents sur les ER, dans les trois pays. Les données dont on disposait à propos de chaque cours variaient considérablement et, dans certains cas, il a seulement été possible d'identifier une organisation et certains thèmes généraux.

- 83 % des cours sont offerts aux États-Unis, 14 % au Canada et seulement 3 % au Mexique.
- Une forte proportion des cours (47 %) est spécialement axée sur la technologie photovoltaïque, tandis que le quart porte sur les ER en général.
- Pour près de 40 % des cours, la documentation ne mentionnait pas la durée du processus de formation. Parmi ceux qui mentionnaient la durée des cours, 45 % l'établissaient en heures (de 2 à 20), 25 %, en années (de 1 à 10), 17 %, en jours, 8 %, en semaines et 5 %, en mois.
- Une majorité de cours (65 %) sont offerts soit par des collèges, soit par des universités. Un nombre significatif (20 %) sont offerts par des entreprises privées appartenant au domaine des technologies pertinentes. Près de 10 % sont offerts par des associations liées au secteur des énergies renouvelables ou aux syndicats.
- Même si, pour plus de 60 % des cours, les conditions d'admission ne sont pas définies, on demande généralement un certain niveau d'expérience pratique (pour les cours destinés aux techniciens et installateurs), ou des connaissances de base en mathématiques, en sciences et en anglais (pour les cours menant à l'obtention d'un diplôme d'ingénieur au Canada et aux États-Unis).
- Environ la moitié des cours sont assortis d'une forme de certification.

Toutefois, étant donné qu'un plus grand nombre de programmes sont offerts par divers établissements d'enseignement, il faut régler divers problèmes pour que ces cours soient utiles sur le marché du travail lié aux ER en particulier, et pour les stratégies régionales de promotion des ER en général.

Voici les principaux obstacles à l'expansion effective des activités d'installation et d'entretien grâce aux actuels programmes de formation et d'enseignement dans la région :

- Le marché n'est pas encore assez bien établi pour que les établissements d'enseignement et les étudiants potentiels croient qu'il s'agit vraiment d'un secteur viable dans lequel on peut trouver du travail. Cela signifie que, pour de nombreux établissements, il peut être trop risqué d'investir des ressources pour s'établir comme des prestataires de formation dans le domaine des ER.

- De plus en plus de gens redoutent que la pénurie de main-d'œuvre qualifiée freine l'expansion de l'industrie, si celle-ci poursuit sa croissance rapide sans se doter d'une stratégie de recrutement ciblée.
- Un grand nombre des cours offerts dans la région par des établissements ne sont pas directement liés au secteur des ER (principalement les fabricants et les installateurs), sont de nature très générale et ne répondent pas nécessairement aux besoins précis du marché.
- Le manque de formateurs qualifiés constitue actuellement et va constituer plus tard un obstacle au développement des capacités de formation, surtout si le secteur croît plus rapidement que durant les dernières années.

Un certain nombre de domaines offrent au secteur, aux gouvernements et aux établissements d'apprentissage la possibilité de prendre les mesures suivantes pour apporter des améliorations :

- Élaborer et/ou renforcer des politiques sur les ER afin que les intervenants aient davantage confiance en ce secteur et investissent donc dans les capacités de formation.
- Exploiter les capacités existantes et les pratiques exemplaires.
- Créer de nouveaux cours ou en ajouter aux cours existants.
- Rendre la certification en matière d'ER obligatoire dans les contrats et les programmes.
- Renforcer le processus d'agrément.
- Renforcer les capacités de formation en ligne.

On pourrait prendre des mesures propres au mécanisme de collaboration trinationale :

- Rendre l'information sur les capacités de formation facilement accessible.
- Promouvoir la certification et l'agrément, et mettre en place des systèmes communs.
- Promouvoir la formation des techniciens et ingénieurs mexicains.

En ce qui concerne les mécanismes financiers susceptibles de multiplier les possibilités de formation sur les ER pour les étudiants et les experts des trois pays, voici deux recommandations :

- Il faut s'appuyer sur les ententes gouvernementales et trinationales existantes.
- Il faut promouvoir les ententes entre membres du secteur.

Il faut noter que l'étude ne quantifie pas la demande potentielle, pas plus que la capacité de la région à offrir des cours de formation sur les ER; d'autres analyses sont donc recommandées.

Par ailleurs, le rapport indique où sont offerts les cours, mais n'établit pas de correspondance avec les endroits où il existe des emplois dans le domaine des ER, ou avec les politiques adoptées par les États (au Mexique et aux États-Unis) ou les provinces (au Canada); c'est un problème qui mérite d'être examiné.

Introduction

La perspective d'un monde où l'on utiliserait les énergies renouvelables pourrait bien devenir une réalité. Qu'il s'agisse d'énergie éolienne, solaire ou provenant de la biomasse, l'énergie renouvelable est devenue une option viable d'approvisionnement énergétique dans le monde, et en Amérique du Nord.

Le rapport de 2007 du Réseau d'action pour les énergies renouvelables au XXI^e siècle (REN21) révèle que, cette année-là, les énergies renouvelables ont représenté 5 % de la capacité mondiale de production énergétique et 3,4 % de la production mondiale d'électricité [1].

Si l'on exclut les grandes centrales hydroélectriques (qui représentent 15 % de la production d'électricité dans le monde), on estime que la capacité de production à partir d'ER a atteint 240 gigawatts (GW) à l'échelle mondiale en 2007, soit 50 % de plus qu'en 2004.

La technologie de production énergétique qui connaît la plus forte croissance dans le monde est l'énergie solaire produite par des systèmes photovoltaïques (PV) connectés au réseau; la puissance installée cumulative de ces systèmes a augmenté de 50 % en 2006 et en 2007. On disposait donc d'une puissance installée totale de près de 7,7 GW à la fin de 2007. Cela signifie que 1,5 million de maisons dans le monde sont équipées, sur leur toit, de panneaux PV connectés au réseau [1].

L'énergie éolienne est actuellement la source d'énergie de remplacement qui connaît la plus forte croissance au pays. L'Energy Information Administration (EIA) du ministère de l'Énergie des États-Unis estime qu'en 2007, la production nette était de 32,1 milliards de kilowatts-heure (kWh), soit 21 % de plus qu'un an auparavant et près de cinq fois plus qu'au début du XXI^e siècle [2].

Les systèmes de captation de l'énergie solaire installés sur les toits fournissent de l'eau chaude à près de 50 millions de ménages dans le monde, et permettent de chauffer un nombre croissant de maisons. La capacité existante de production d'eau chaude/de chauffage à partir de l'énergie solaire a augmenté de 19 % en 2006, pour atteindre 105 gigawatts thermiques (GWth) à l'échelle mondiale [1].

Les parts de marché mondial de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire ont respectivement augmenté de 49 % et de 29 % par an [3].

En peu de temps, ces technologies basées sur des équipements relativement petits et artisanaux ont donné naissance à une industrie de plusieurs milliards de dollars.

On estime qu'en 2007, 71 milliards de dollars ont été investis dans le monde dans la production d'électricité à partir d'ER; 47 % de cette somme a été destinée à l'énergie éolienne et 30 %, à l'énergie solaire à partir de systèmes PV [1].

Les investissements dans les ER sont en pleine croissance; ils sont passés de 10 milliards de dollars en 1998 à au moins 66 milliards en 2007, ce qui équivaut à 18 % de l'ensemble des investissements dans le secteur énergétique. On prévoit qu'ils atteindront 343 milliards en 2020 et qu'ils vont doubler encore d'ici 2030, avec 630 milliards [4].

Toutefois, cette progression s'est faite grâce à des politiques publiques à la fois efficaces et cohérentes, qui vont devoir être maintenues pendant plusieurs années si l'on veut obtenir les résultats souhaités.

Les marchés ont fortement prospéré, et la transformation a été la plus visible dans les pays où le soutien politique était solide et indéfectible [4].

Un climat politique instable et l'absence d'incitatifs à long terme ont nui aux investissements dans ces technologies (ER), ce qui les a empêchées de connaître une croissance encore plus forte. Si les incitatifs fiscaux et les aides publiques au crédit des autorités fédérales étaient suffisamment généreux et stables, le secteur privé investirait naturellement et rapidement d'importantes sommes d'argent dans ces trois types d'ER [5].

Heureusement, plusieurs initiatives gouvernementales mises en œuvre dans les trois pays nord-américains comportent des volets consacrés aux ER qui vont stimuler fortement ce marché dans la région.

Aux États-Unis, le Congrès a adopté l'*American Recovery and Reinvestment Act of 2009*, que le président a ratifiée. Il s'agit d'une loi très importante assortie de dépenses de 800 milliards de dollars, qui va donner lieu à de nouvelles stratégies nationales portant sur les ER, les réseaux intelligents, la transmission, les véhicules évolués, l'efficacité énergétique et de nombreux autres aspects de l'énergie, de l'environnement, du climat et de la durabilité. Voici les dispositions de cette loi de nature fiscale ou liées aux aides publiques au crédit [6] :

Incitatifs fiscaux : La loi prévoit une prolongation jusqu'au 31 décembre 2010 du crédit de taxe à la production (PTC, Production Tax Credit) pour l'électricité issue de l'énergie éolienne, et jusqu'au 31 décembre 2013 pour les installations de production d'ER. Elle offre aux promoteurs de projets de technologies de production d'ER admissibles au PTC la possibilité d'utiliser plutôt le crédit de taxe sur les investissements de 30 % (ITC), qui ne s'appliquait auparavant qu'aux projets de production d'énergie solaire et d'autres technologies propres. Elle supprime le plafond de financement imposé à l'ITC pour les sources d'énergie subventionnées, même si les installations sont financées à l'aide d'obligations industrielles ou d'autres subventions visant la production d'énergie. Elle permet aux promoteurs de projets de demander au Treasury Department une subvention qui remplacera l'ITC.

Dépenses directes : La loi prévoit 16,8 milliards de dollars US de dépenses directes allouées aux programmes d'ER et d'efficacité énergétique au cours des dix prochaines années.

Programmes d'émission d'obligations et de prêts : La loi alloue 1,6 milliard de dollars US à l'émission d'obligations liées à de nouvelles ER propres afin de financer les installations nécessaires à leur production, et 6 milliards à un programme temporaire de garantie de prêts pour les projets de production et de transmission d'électricité issue des ER.

Au Mexique, le gouvernement a récemment soumis aux commentaires du public son programme spécial sur les changements climatiques (PECC), qui prévoit un certain nombre d'activités et d'objectifs liés aux ER, notamment dans les domaines suivants :

Secteur résidentiel : En ce qui concerne les logements neufs construits avec l'aide du gouvernement fédéral, l'objectif visé est la construction, d'ici 2012, de 375 000 nouveaux logements alimentés par les ER, notamment par des chauffe-eau solaires.

Hôtels : Le gouvernement fédéral va promouvoir l'utilisation des ER dans les hôtels.

Le gouvernement du Canada investit 2 milliards de dollars dans des initiatives éconergétiques destinées à aider les Canadiens à consommer l'énergie de façon plus efficiente, à stimuler l'offre d'ER et à élaborer des technologies énergétiques plus propres. Voici une description de ces initiatives :

L'Initiative écoÉNERGIE renouvelable est dotée d'un budget de plus de 1,5 milliard de dollars, destiné à stimuler l'offre d'ER par le Canada, grâce à deux programmes.

- Le Programme écoÉNERGIE pour l'électricité renouvelable augmentera l'offre canadienne d'électricité propre de 4 000 mégawatts (MW), en offrant un incitatif à la production.
- Le Programme écoÉNERGIE pour le chauffage renouvelable offre des incitatifs destinés à encourager l'utilisation de technologies renouvelables propres pour le chauffage de l'eau et des locaux, et la climatisation des maisons et des immeubles.

L'initiative écoÉNERGIE sur l'efficacité énergétique alloue environ 300 millions de dollars à la promotion d'une utilisation plus intelligente de l'énergie. Elle comprend le Programme écoÉNERGIE Rénovation, qui facilite les rénovations éconergétiques et l'adoption de certaines technologies axées sur les ER (comme les chauffe-eau solaires et les thermopompes puisant l'énergie dans le sol) dans les maisons, les petits immeubles et les entreprises.

L'Initiative écoÉNERGIE sur la technologie représente un investissement de 230 millions de dollars dans les sciences et technologies adaptées à l'énergie, grâce au financement de la recherche-développement et à la démonstration de technologies énergétiques propres.

En Ontario, au Canada, la *Loi de 2009 sur l'énergie verte et l'économie verte* (LEV) adopte une approche à deux volets de la création d'une économie verte, qui prévoit l'introduction d'un plus grand nombre d'énergies de remplacement dans la province. La *Loi* comprend également des mesures qui vont favoriser une nouvelle économie verte pour l'Ontario, en offrant aux organisations et aux collectivités locales (comme les communautés métisses et des Premières nations) plus de possibilités d'élaborer des projets de production d'ER répartie. Voici certaines des mesures prévues par la *Loi* [7] :

Tarifs de rachat garantis (FIT). Le programme de tarifs de rachat garantis créé par la *Loi* a établi une structure globale de prix garantis pour la production d'ER, qui devrait générer davantage d'investissements dans les ER, car les investisseurs croiront davantage dans la rentabilité des projets et accéderont plus facilement au financement.

Rationalisation des processus pour les nouveaux projets. La *Loi* simplifie le processus d'approbation des projets d'ER et offre des garanties de service pour ces projets. De plus, elle établit un « droit de se connecter » au réseau électrique pour

les projets d'ER et une aide « à guichet unique » pour les promoteurs de projets, destinée à faciliter l'approbation des projets.

Incitatifs pour les propriétaires. Les propriétaires auront accès à des incitatifs leur permettant d'élaborer de petits projets d'ER, notamment à des prêts à faible taux d'intérêt ou sans intérêt pour financer le coût des investissements dans des installations de production d'ER (comme les panneaux solaires).

Ainsi, la multiplication du recours aux ER aura un impact positif non négligeable sur l'emploi :

Selon un grand nombre de scénarios, le secteur des ER génère plus d'emplois par mégawatt de puissance installée, par unité énergétique produite et par dollar investi que le secteur de l'énergie dérivée des combustibles fossiles [8].

En moyenne, pour chaque milliard de dollars investi, nos scénarios de « reprise verte » créent 30 100 emplois et font économiser 450 millions de dollars par an en coûts énergétiques [9].

Le secteur des ER emploie une grande variété de professionnels qui possèdent de nombreuses connaissances et compétences : recherche à propos des matériaux, des pièces et des systèmes et évaluation des ressources; fabrication, conception, installation, vente, exploitation et maintenance des systèmes et de leurs composants.

Par ailleurs, ce secteur a besoin de diverses compétences associées aux aspects généraux d'une entreprise commerciale, comme les ventes, le financement, le traitement de données et la gestion des ressources humaines.

Certaines autres données illustrent l'impact du développement des ER sur l'emploi :

- Plus de 2,3 millions d'emplois « verts » ont été créés ces dernières années dans le secteur des ER [4].
- Le secteur de l'énergie éolienne emploie près de 300 000 personnes, celui de l'énergie solaire d'origine photovoltaïque, environ 170 000 personnes, et celui de l'énergie héliothermique, plus de 600 000, dont une forte proportion travaillent en Chine [4].
- Selon l'American Solar Energy Society (ASES), le secteur des ER représentait à lui seul plus de 504 000 emplois en 2007. Si l'on suppose que cette croissance va se poursuivre au même rythme, le secteur pourrait générer jusqu'à 560 milliards de dollars de revenus et créer plus de 7 millions d'emplois aux États-Unis d'ici 2030 [10].
- L'énergie éolienne est la source d'énergie de remplacement la plus populaire et celle qui connaît la plus forte croissance, puisqu'elle a créé plus de 300 000 emplois à l'échelle mondiale. Aux États-Unis, selon l'American Wind Energy Association (AWEA), au moment de la rédaction du présent rapport, ce secteur employait près de 50 000 personnes, et il a créé 10 000 nouveaux emplois en 2007 [11]. Au Canada, on estime que le secteur de l'énergie éolienne pourrait nécessiter la création de plus de 13 000 emplois d'ici 2012 [3].
- La fabrication et l'installation de systèmes de production d'électricité à l'énergie solaire représente déjà près de 770 000 emplois à l'échelle mondiale. Les

possibilités de travailler dans ce domaine existent partout dans le monde; à l'heure actuelle, plus de 3 400 entreprises du secteur de l'énergie solaire emploient entre 25 000 et 35 000 personnes aux États-Unis. La US Solar Energy Industries Association (SEIA) prévoit que ce chiffre va dépasser 110 000 d'ici 2016 [11].

Il est donc de plus en plus nécessaire de répondre à la demande de main-d'œuvre qualifiée dans la région, car une pénurie de ce type de main-d'œuvre pourrait causer un engorgement du secteur nord-américain des ER si celui-ci poursuit sa croissance rapide sans se doter d'une stratégie ciblée de recrutement et de formation.

La lacunes et les pénuries en matière de compétences sont devenues une lourde contrainte pour les économies cherchant à s'écologiser dans les pays industrialisés, comme dans les pays en développement [4].

Alors qu'on s'intéresse principalement à la technologie, l'expérience a démontré que le maillon faible de la chaîne de production déterminera le niveau de rendement qui peut être atteint [4].

Pour répondre à cette demande en Amérique du Nord, on observe un regain d'intérêt pour les cours sur les ER et les programmes de formation des spécialistes des ER, offerts aussi bien par des écoles secondaires que par des universités, des collèges communautaires ou les métiers du bâtiment.

Par contre, à mesure qu'un plus grand nombre de programmes sont offerts par divers établissements, diverses questions se posent : Comment les étudiants potentiels peuvent-ils être sûrs qu'ils vont acquérir les compétences et les connaissances dont ils auront besoin pour travailler efficacement? Les installations possèdent-elles l'équipement et le matériel adaptés à la formation? Existe-t-il des procédures garantissant la sécurité des pratiques utilisées? Les programmes sont-ils gérés de façon financièrement responsable? Les enseignants sont-ils qualifiés? [12].

Le présent rapport est censé contribuer (grâce à l'établissement de la portée et à la description générale des ressources existantes) au renforcement des capacités de formation en Amérique du Nord.

1. Établissement de la portée des capacités de formation existantes

Le présent rapport porte sur les capacités dont dispose l'Amérique du Nord pour former les gens afin qu'ils puissent travailler à la conception, l'acquisition, l'installation, l'inspection, l'exploitation et la maintenance de systèmes photovoltaïques (PV), d'éoliennes et de chauffe-eau solaires (CES) (de petite et de grande taille).

1.1 Processus d'établissement de la portée

Afin de déterminer la portée des capacités de formation à propos des ER en Amérique du Nord, l'équipe responsable du projet a effectué une recherche très détaillée sur le Web, en s'appuyant sur sa connaissance du domaine des ER et des principaux intervenants de la région.

Cette recherche portait sur une grande variété d'options de formation, qu'il s'agisse de cours de courte durée ou de cours et de diplômes universitaires.

Pour chacun des cours trouvés, on a recueilli un ensemble de données :

- Lieu (Canada, Mexique ou États-Unis)
- Sujet (systèmes PV, CES, éoliennes ou ER en général)
- Type de cours (sur place ou en ligne)
- Durée (en heures, jours, semaines, mois ou années)
- Type de participants auxquels le cours s'adresse
- Connaissances requises pour s'inscrire
- Coût
- Certification offerte (ou absence de certification)
- Nom de l'établissement
- Emplacement
- Description générale
- Personne-ressource
- Site Web

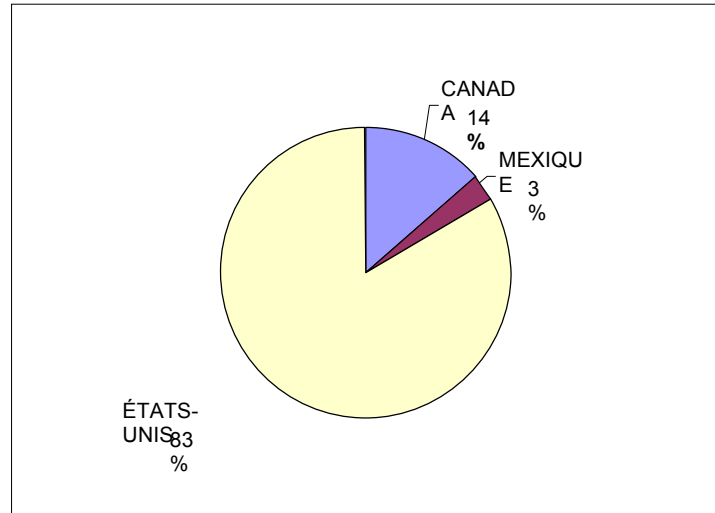
On a créé une base de données afin de recueillir et de classer les données. Cette base de données a été intégrée à un répertoire et à un site Web.

1.2 Résultats généraux du processus d'établissement de la portée

Le processus d'établissement de la portée a mis en lumière 235 cours différents dans les trois pays. Les données recueillies pour chacun de ces cours variaient considérablement et, dans certains cas, on connaissait uniquement le nom de l'organisation responsable et quelques thèmes généraux.

- **Par pays et par État ou province.** Ce sont les États-Unis qui prédominent, avec 83 % des cours, tandis que 14 % sont offerts au Canada et seulement 3 % au Mexique (Fig. 1).

Figure 1. Cours de formation sur les ER, par pays



Au Canada, plus de 50 % des cours de formation sur les ER qui ont été trouvés étaient offerts en Ontario (Tableau 1).

Tableau 1. Cours de formation sur les ER, par province canadienne

PROVINCE	Nombre de cours
Ontario	14
Alberta	4
Colombie-Britannique	4
Québec	4
Nouveau-Brunswick	3
Nouvelle-Écosse	1
Île-du-Prince-Édouard	1
NATIONAL	1
TOTAL	32

Au Mexique, la formation relative aux ER qui a été trouvée est uniquement offerte dans trois États (Tableau 2).

Tableau 2. Cours de formation sur les ER, par État mexicain

ÉTAT	Nombre de cours
DF	1
Michoacán	1
Morelos	2
Puebla	2
TOTAL	6

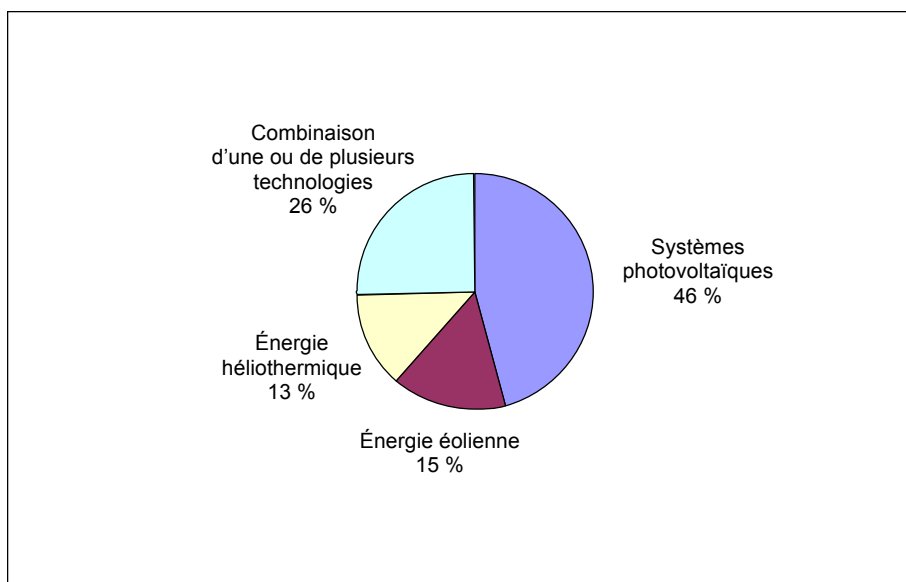
Aux États-Unis, on a trouvé des cours de formation dans 38 États : 29 étaient offerts par des sociétés privées (à l'échelle nationale), 7 par des organisations spécialisées dans le téléapprentissage et un par une organisation nationale (Tableau 3). C'est la Californie qui domine les États, avec 27 cours, suivie de l'État de New York (12), du Wisconsin (11) et du Nouveau-Mexique (10).

Tableau 3. RE Cours de formation sur les ER, par État américain

ÉTAT	Nombre de cours
Californie	27
New York	12
Wisconsin	11
Nouveau-Mexique	10
Massachusetts	8
Minnesota	7
Arizona	6
Ohio	6
Oregon	6
Texas	6
Colorado	5
Floride	5
Michigan	5
Iowa	4
Maine	4
Maryland	4
Nevada	3
Caroline du Nord	3
Washington	3
Idaho, Illinois, Kansas, Oklahoma et Pennsylvanie, chacun	2
Connecticut, Delaware, Géorgie, Hawaï, Indiana, Louisiane, Missouri, Nebraska, New Hampshire, Dakota du Nord, Porto Rico, Tennessee, Utah et Virginie, chacun	1
Société privée	29
Téléapprentissage	7
Organisation nationale	1
TOTAL	196

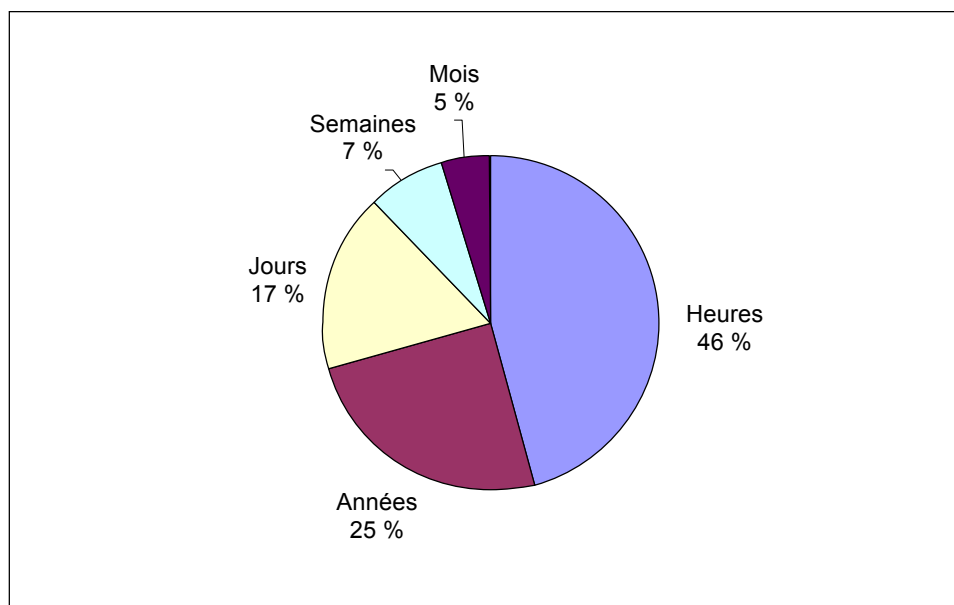
- **Par sujet.** Une forte proportion (46 %) de cours offerts dans les trois pays portent précisément sur la technologie photovoltaïque, 15 % portent sur l'énergie éolienne et 13 %, sur l'énergie héliothermique, tandis que le quart portent sur les ER en général (Fig. 2).

Figure 2. Cours de formation sur les ER, par sujet



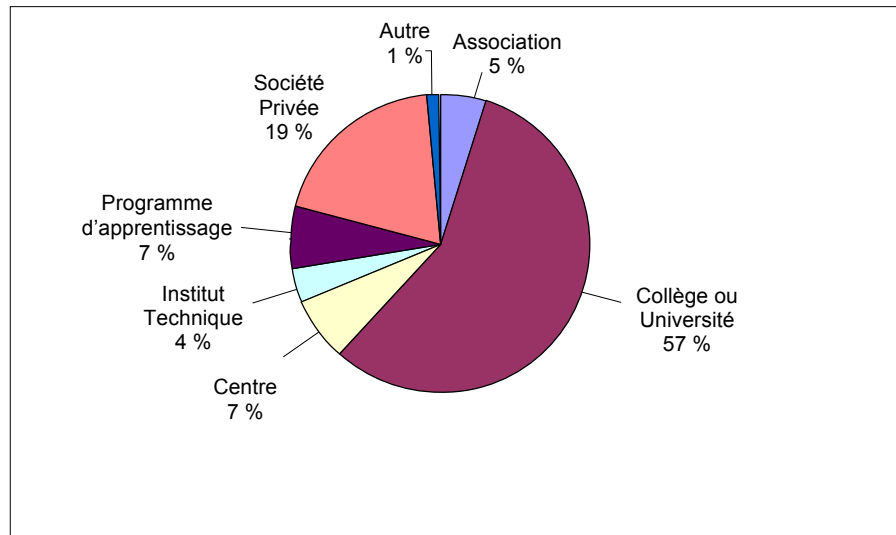
- **Par durée.** Pour près de 40 % des cours trouvés dans les trois pays, on ne précisait pas la durée du processus de formation dans la documentation. Parmi ceux pour lesquels la durée était précisée, pour 45 %, elle était établie en heures (de 2 à 20), pour 25 %, en années (de 1 à 10), pour 17 %, en jours, pour 8 %, en semaines et pour 5 %, en mois (Fig. 3).

Figure 3. Cours de formation sur les ER, par durée



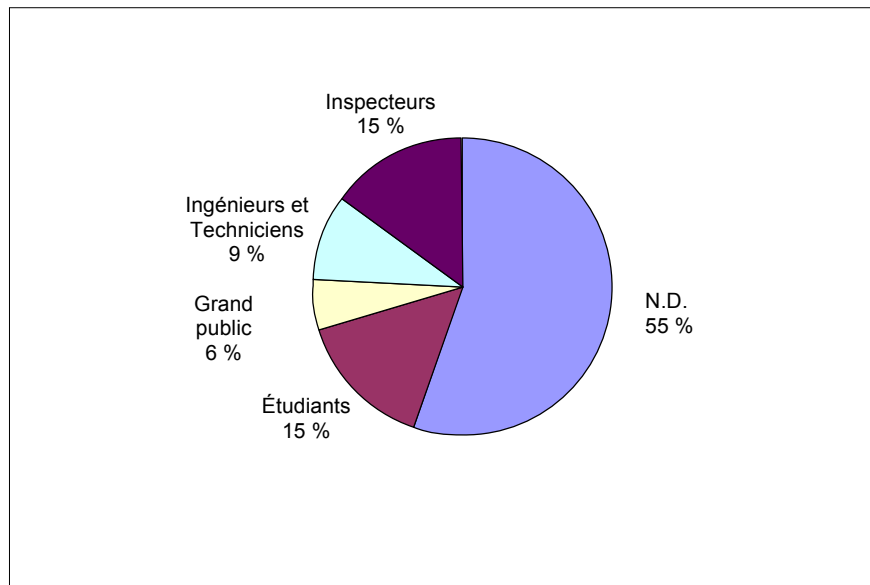
- **Par type d'établissement.** Dans les trois pays, une grande partie des cours sont offerts soit par des collèges, soit par des universités (65 %). Une forte proportion des cours sont offerts par des sociétés privées spécialistes des technologies pertinentes (20 %). Près de 10 % sont offerts par des associations liées aux ER ou aux syndicats (Fig. 4).

Figure 4. Cours de formation sur les ER, par type d'établissement



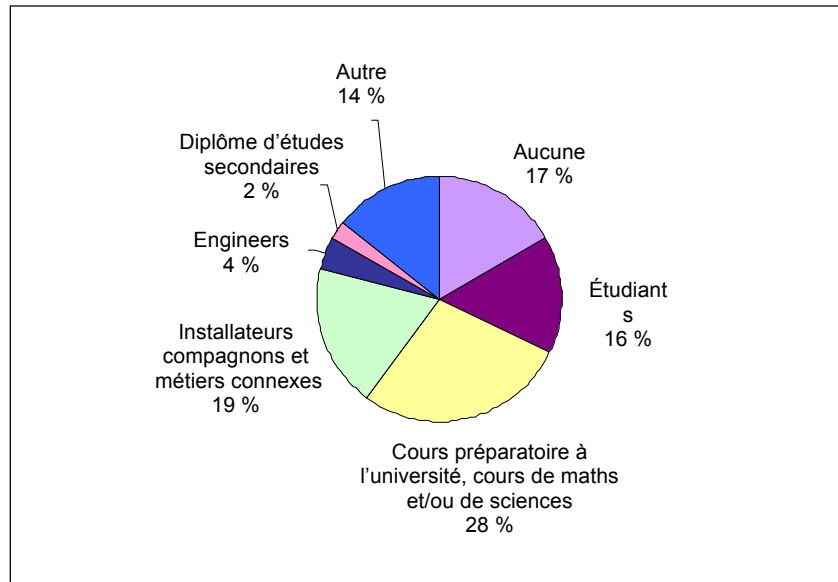
- **Par type de participants auxquels le cours est destiné.** Dans les trois pays, les cours sont destinés à de nombreux participants différents, du grand public aux professionnels titulaires d'un diplôme d'ingénieur (Fig. 5).

Figure 5. Cours de formation sur les ER, par type de participants ciblés



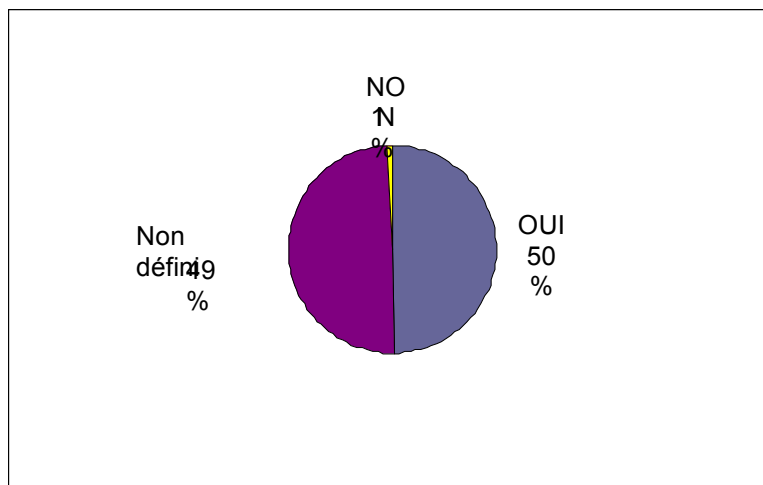
- **Connaissances requises.** Dans les trois pays, pour plus de 60 % des cours, on ne définit pas les conditions d'admission (ce qui semble signifier que ces cours sont destinés au « grand public »), mais on tend à exiger un certain degré d'expérience pratique (pour les cours destinés aux techniciens et aux installateurs) ou des connaissances de base en mathématiques et en sciences (pour les cours destinés aux titulaires d'un diplôme d'ingénieur) (Fig. 6).

Figure 6. Cours de formation sur les ER, par connaissances requises



- **Certification.** Environ la moitié des cours offerts dans les trois pays génèrent une forme de certification (Fig. 7).

Figure 7. Cours de formation sur les ER, avec et sans certification



1.3 Autres observations importantes

Durant le processus de recherche lié au projet, au-delà de la recherche de ce qui était offert sur le marché, nous avons fait d'autres constatations à propos de l'objet du projet.

1.3.1 Niveau d'instruction

Selon l'étude intitulée *Analyse situationnelle du secteur des énergies renouvelables au Canada, sous l'angle des ressources humaines*, qui a été menée par Le groupe Delphi, le niveau d'instruction moyen des personnes travaillant à la conception ou à la fabrication et à l'installation de systèmes photovoltaïques est celui d'un certificat professionnel ou d'un diplôme d'ingénieur [3].

La même étude a révélé que les entreprises spécialisées dans la réparation et l'entretien de gros parcs d'éoliennes sont à la recherche de « compagnons » d'apprentissage possédant plusieurs années d'expérience pertinente, mais aussi de récents diplômés dans ce domaine, moins expérimentés. Pour trouver une main-d'œuvre plus expérimentée, ils se tournent vers les électriciens ayant une expérience de la production et de la transmission d'électricité. Pour trouver une main-d'œuvre moins expérimentée, ils se tournent vers les gens de métier possédant des certificats en électricité et en mécanique [3].

1.3.2 Formation en milieu de travail

Un aspect très important de la recherche, qui n'était pas évident, est le fait que de nombreux intervenants des secteurs de l'énergie éolienne et solaire offrent leur propre formation en milieu de travail.

Selon une étude menée par Le groupe Delphi, la plupart des entreprises offrent une formation soit à l'interne, soit en milieu de travail, afin de développer les compétences requises [3].

- Dans le domaine de l'énergie héliothermique, il semble que les entreprises offrent leur propre formation principalement parce qu'il n'y pas vraiment pas assez de formations de ce type dans les collèges et les universités.
- En ce qui concerne les systèmes photovoltaïques, la plupart des entreprises embauchent des techniciens (en électricité ou en mécanique) ou des titulaires d'un diplôme d'ingénieur possédant des aptitudes de base, puis les forment dans des domaines directement liés aux systèmes PV.
- En ce qui concerne l'énergie éolienne, les principaux intervenants du secteur de l'entretien, comme GE et Vestas, offrent leur propre formation structurée à l'interne pour l'entretien de leur équipement.
- De plus, certaines entreprises spécialisées dans les activités de conception et d'installation font suivre des cours de certification en énergie solaire à leurs employés, tandis que d'autres fabricants offrent d'autres types de formation à leur personnel, par exemple à propos des logiciels et de la conception.

En outre, et particulièrement pour les grands parcs éoliens, le Center for American Progress indique que certains fournisseurs de services publics disposent déjà d'excellents programmes de formation, et entretiennent de très bonnes relations avec leur personnel, et que de nombreux syndicats offrent des programmes d'apprentissage très efficaces qui ouvrent la voie au perfectionnement des compétences et à l'obtention de titres [13].

1.3.3 Certification

La certification constitue un élément important pour les secteurs de l'énergie solaire et éolienne en Amérique du Nord.

Certains États des États-Unis (Arizona, Californie, Connecticut, Floride, Hawaï, Michigan, Nevada, Oregon, Utah et Wisconsin) et Porto Rico ont adopté des normes de délivrance de permis aux entrepreneurs pour l'installation de chauffe-eau solaires, de systèmes de chauffage solaire des locaux de type actif ou passif, de production

solaire de chaleur industrielle et de production d'électricité héliothermique, ainsi que de systèmes photovoltaïques. Ces normes visent à garantir que les entrepreneurs possèdent l'expérience et les connaissances nécessaires pour installer ces systèmes correctement [14].

La certification d'une profession est généralement un processus volontaire, en vertu duquel l'organisme de certification reconnaît les spécialistes répondant à certaines normes ou possédant certaines qualifications prédéterminées. Elle comprend généralement un examen qui permet d'évaluer les qualifications des candidats. Il existe plus de 1 000 programmes de certification aux États-Unis, qui visent aussi bien les grutiers que les experts de l'efficacité énergétique, les planificateurs financiers ou les techniciens de l'automobile [15].

Les programmes de certification volontaire atteignent trois objectifs importants [15] :

1. Ils permettent de mesurer la protection offerte au public, en accordant aux spécialistes un titre qui confirme leurs compétences.
2. Ils offrent aux spécialistes un moyen de se démarquer de leurs concurrents.
3. En améliorant potentiellement la qualité des services, ils améliorent la perception qu'a le public de la profession visée, et améliorent la visibilité et la réputation du secteur.

1.3.4 North American Board of Certified Energy Practitioners

Le North American Board of Certified Energy Practitioners (NABCEP, conseil nord-américain des spécialistes certifiés de l'énergie) est un intervenant de premier plan dans la région, car il offre des certifications et des programmes d'obtention de certificats aux spécialistes des ER de l'ensemble de l'Amérique du Nord [15].

Le NABCEP est un conseil composé de représentants bénévoles des intervenants du secteur des ER (secteur de l'énergie solaire, titulaires d'un certificat du NABCEP, organisations spécialistes des ER, responsables des politiques étatiques, établissements d'enseignement et gens de métier). La mission du NABCEP — appuyer les secteurs, professionnels et spécialistes des ER et de l'efficacité énergétique, et travailler avec eux — consiste à élaborer et à mettre en œuvre des programmes de délivrance de titres et de certification de qualité à l'intention des spécialistes [15].

Le NABCEP a commencé ses travaux en créant un programme de certification pour les installateurs de systèmes de production d'électricité solaire — baptisé NABCEP™ Solar PV Installer Certification. En octobre 2008, 587 installateurs avaient réussi l'examen de certification du NABCEP. Il y a 85 installateurs de systèmes héliothermiques certifiés par le NABCEP [15].

À l'heure actuelle, sous la supervision du NABCEP, le nouveau Small Wind Task Analysis Group (groupe d'analyse des petits parcs d'éoliennes, composé d'experts de ce type d'installations, par exemple des enseignants, des installateurs et d'autres chefs de file de l'énergie éolienne) élabore les questions qui feront partie de l'examen du NABCEP consacré aux petits parcs éoliens, qui pourrait être prêt d'ici mars 2010 [16].

1.3.5 Normes de compétence des installateurs de chauffe-eau solaires au Mexique

Au Mexique, il existe une nouvelle norme officielle pour les compétences des installateurs de chauffe-eau solaires, qui certifie la qualité de leur travail dans l'industrie du bâtiment [17].

1.3.6 Agrément

L'Interstate Renewable Energy Council (IREC) est en train de créer un cadre de normes et de paramètres de l'Institute for Sustainable Power Quality (ISPQ), afin qu'il soit possible de comparer le contenu, la qualité et les ressources d'un grand nombre de programmes de formation consacrés aux ER, à l'efficacité énergétique et aux technologies de production répartie. Il s'agit d'un cadre international qui garantit la légitimité de ce qui est enseigné et des responsables de l'enseignement [18].

L'IREC est une organisation sans but lucratif qui appuie les services de marketing visant l'éducation, la coordination, l'acquisition, l'adoption et la mise en place de lignes directrices et de normes uniformes, le perfectionnement de la main-d'œuvre et la protection des consommateurs. Les membres de **l'IREC sont les bureaux de l'énergie des États et des municipalités, d'autres organismes** municipaux et étatiques, des laboratoires nationaux, des organisations et entreprises spécialistes de l'énergie solaire et des ER, et des particuliers. De plus, l'IREC travaille avec de nombreux partenaires : gouvernement fédéral, organisations environnementales nationales et municipales, commissions de réglementation, représentants des consommateurs nommés par l'État, fournisseurs d'énergie, groupes de compagnies de services publics, universités et instituts de recherche [19].

1.3.7 Critères d'admission aux programmes de formation

L'Interstate Renewable Energy Council (IREC) a procédé à une évaluation de la qualité afin de s'assurer que les programmes de formation destinés aux spécialistes visaient à leur offrir une instruction leur permettant d'acquérir des connaissances et des compétences pratiques, et abordaient de façon appropriée les questions de sécurité et de codes.

En collaboration avec l'Institute for Sustainable Power (ISP), le Partnership for Environmental Technology Education (PETE) et d'autres experts de l'enseignement et de la délivrance de titres, l'IREC a établi six critères recommandés pour la formation des spécialistes [12] :

1. Les cours de formation des spécialistes devraient offrir à ceux-ci une éducation, une formation et un perfectionnement des compétences qui leur permettront d'acquérir des connaissances, compétences et aptitudes pratiques.
2. La formation devrait aborder de façon appropriée les questions liées à la sécurité, aux codes et aux compétences de base associées à une tâche approuvée par l'industrie ou à une analyse des emplois.
3. La formation devrait être offerte dans un environnement doté des installations et des outils appropriés, et utiliser des pratiques sécuritaires.
4. La formation devrait offrir une structure d'apprentissage formelle et planifiée, permettant d'offrir une sorte de rétroaction à l'apprenant et de surveiller ses progrès.

5. La formation devrait être administrée par une entité légalement enregistrée.

6. La formation devrait être offerte par une entité qui possède des qualités d'administration et de gestion reconnues, et qui : a été vérifiée par une tierce partie dans le cadre d'un processus d'agrément conventionnel; a reçu l'approbation du gouvernement ou du corps de métier concerné; est agréée par l'ISPQ ou un autre organisme d'évaluation de la qualité.

1.3.8 Emplois verts

La recherche d'« emplois verts » a permis de trouver deux initiatives importantes dont il faudrait également tenir compte : a) la *Green Jobs Act of 2007* et b) les systèmes de recherche d'emplois verts sur Internet.

- **La *Green Jobs Act of 2007*.** Comme le stipulait l'*Energy Independence and Security Act*, le ministère de l'Énergie des États-Unis (DOE) devait établir un programme de formation des spécialistes de l'efficacité énergétique et des ER avant le 16 juin 2008 [20]. De plus, le DOE allait octroyer aux entités admissibles des subventions aux partenariats nationaux de formation en ER (National Energy Training Partnerships Grants) selon un processus concurrentiel, afin de permettre à ces entités d'offrir une formation conduisant à l'autonomie économique, et de perfectionner la main-d'œuvre dans les secteurs de l'efficacité énergétique et des ER [21].
- **Greenjobs.** L'initiative Greenjobs est un exemple de site Internet qui offre des services et de l'information sur l'emploi dans le secteur des ER. Ce site, lancé en 2004, porte plus précisément sur tous les aspects de l'emploi dans les secteurs des ER du monde entier; cela va de simples listes de postes à des services de recrutement complets, en passant par une analyse de l'emploi dans les divers secteurs liés aux ER [22].

1.3.9 Groupe de travail sur l'éducation de l'AWEA

Il existe une initiative importante, menée par le groupe de travail sur l'éducation de l'American Wind Association (AWEA). Elle crée une tribune destinée aux membres du secteur de l'énergie éolienne et à des particuliers issus du monde de l'enseignement. En particulier, le groupe de travail fait la promotion : des programmes de formation professionnelle pour les collèges communautaires et techniques; des programmes universitaires et de perfectionnement professionnel dans les établissements offrant des programmes de premier et de deuxième cycle; et des possibilités de bourses, grâce au Educational Scholarship Program de l'AWEA [23].

2. Difficultés, problèmes, défis, possibilités d'amélioration et recommandations, dans une perspective trinationale

La présente section cherche à répondre à trois questions de base :

- Quels sont les difficultés et les problèmes qui nuisent actuellement à l'expansion effective des services d'installation et d'entretien, grâce aux programmes existants de formation et d'enseignement?
- Quelles sont les possibilités d'amélioration?
- Quel pourrait être le rôle d'un mécanisme de collaboration trinationale?

Quels sont les difficultés et les problèmes qui nuisent actuellement à l'expansion effective des services d'installation et d'entretien, grâce aux programmes existants de formation et d'enseignement?

Compte tenu de l'importance croissante du marché des ER en Amérique du Nord, on observe un regain d'intérêt pour les cours sur les ER et les programmes de formation des spécialistes des ER (comme nous l'avons mentionné précédemment), offerts aussi bien par des écoles secondaires que par des universités, des collèges communautaires, des syndicats et des ONG locales et nationales.

Par contre, à mesure qu'un plus grand nombre de programmes sont offerts par divers établissements, il faut régler divers problèmes pour que ces programmes soient utiles au marché du travail dans le secteur des ER en particulier, et pour les stratégies régionales de promotion des ER en général.

Le marché n'est pas assez bien établi pour appuyer l'élaboration de programmes de formation à plus grande échelle.

Un des problèmes les plus importants (en particulier au Mexique et au Canada) tient au fait que le marché n'est pas encore assez bien établi pour que les établissements d'enseignement et les étudiants potentiels croient qu'il s'agit vraiment d'un secteur viable dans lequel on peut trouver du travail [3]. Cela signifie que, pour de nombreux établissements, il peut être trop risqué d'investir des ressources pour s'établir comme des prestataires de formation dans le domaine des ER. Cela peut aussi être reflété par le fait que la plupart des cours offerts sont de courte durée et ne donnent qu'une idée générale de la technologie à l'étude, sans transmettre les compétences et les connaissances nécessaires sur ce marché.

Le secteur des ER connaît une croissance rapide.

Au Canada, de plus en plus de gens redoutent que la pénurie de main-d'œuvre qualifiée freine l'expansion de l'industrie, si celle-ci poursuit sa croissance rapide sans se doter d'une stratégie de recrutement ciblée [3].

Il n'y a pas assez de formation consacrée à l'énergie héliothermique au niveau collégial et universitaire.

Selon l'étude menée par Le groupe Delphi pour le ministère canadien de l'Industrie, les personnes ayant une expérience de la conception de systèmes fonctionnant à l'énergie solaire sont difficiles à trouver; il ne semble exister actuellement aucun

programme de formation axé sur la désignation des sites, la conception de parcs éoliens ou la planification de projets; et il y a très peu de programmes de formation consacrés aux systèmes PV, sans doute parce qu'encore récemment, peu de gens pensaient pouvoir faire une vraie carrière dans ce secteur [3].

Il existe un décalage entre ce qui est offert et les besoins réels du secteur.

Au Canada (et probablement dans toute la région), il semble qu'il y ait un décalage entre ce qui est enseigné durant les cours offerts à l'extérieur du secteur et les besoins actuels de celui-ci. Selon l'étude menée par Le groupe Delphi, les membres du secteur de l'énergie éolienne interrogés ne semblent pas rechercher activement des diplômés de programmes existants, et ont remarqué qu'on pourrait améliorer les qualifications des nouveaux diplômés en ajoutant quelques cours relatifs aux éoliennes aux programmes spécialisés existants et aux cours sanctionnés par un diplôme d'ingénieur [3].

On va sans doute manquer de ressources (formateurs qualifiés) pour mettre en œuvre adéquatement les programmes de formation.

Il existe un autre obstacle (actuel et potentiel) au développement des capacités de formation en particulier, mais aussi du secteur des ER en général : c'est le manque de formateurs qualifiés, en particulier si le secteur connaît une croissance plus rapide qu'à l'heure actuelle.

Incertitudes à propos de l'élaboration de nouvelles politiques

Un des principaux obstacles à l'élaboration d'un plus grand nombre de programmes de formation est le fait que les politiques en vigueur ne donnent pas assez de garanties aux personnes investissant dans la création de capacités de formation axée sur les ER. C'est particulièrement important dans le contexte mexicain.

Il n'y a pas assez de codes et de normes au Mexique.

Le manque de codes et de normes au Mexique risque de nuire à la formation, car il n'existe aucune référence précise qui puisse être utilisée durant ce processus.

Quelles sont les possibilités d'amélioration?

Pour garantir le succès des efforts de perfectionnement de la main-d'œuvre, on peut appliquer plusieurs dispositions importantes aux contrats appuyés par le gouvernement fédéral dans le cadre de l'établissement d'un réseau national. Il est extrêmement utile d'établir des critères clairs pour protéger l'intégrité du marché du travail, les entrepreneurs qui soumissionnent pour ces travaux et la qualité des emplois qu'ils créent [13].

Il faut établir ou renforcer des politiques qui donneront des assurances aux personnes souhaitant investir dans les capacités de formation.

Étant donné qu'un des principaux obstacles est le fait que le marché ne soit pas assez bien établi pour faciliter un développement des programmes de formation à plus grande échelle, il faudrait adopter des politiques qui offriraient une sécurité aux personnes investissant dans la capacité de formation. Par de nombreux moyens (incitatifs, allègements fiscaux, subventions et obligation d'intégrer un certain niveau

d'ER au réseau), certaines de ces politiques sont déjà bien implantées dans certaines régions des États-Unis et du Canada. Par contre, elles devraient être réunies en une politique commune à toute l'Amérique du Nord.

Il faut exploiter les capacités et les pratiques exemplaires existantes.

Il faudrait accorder la priorité dès le départ au recrutement de participants aux programmes de formation existants et à l'utilisation des pratiques exemplaires. Une fois que le marché commencera à croître de façon significative, on pourra instaurer de nouvelles capacités basées sur les pratiques et programmes existants.

Il faut créer de nouveaux cours ou en ajouter aux cours existants.

Dans les domaines où l'on a établi le manque de capacités (p. ex., les cours ou les crédits portant sur les éoliennes et les chauffe-eau solaires), il faudrait concevoir et offrir de nouveaux cours, et en ajouter d'autres, par exemple, des cours sur les pratiques standards en plomberie ou une formation sur le CVCA. Cela suffirait pour répondre aux besoins immédiats de formation sur l'installation [3].

Il faut rendre la certification relative aux ER obligatoire dans les contrats.

Il existe une politique claire (déjà en vigueur dans certains États américains) qu'on devrait rendre universelle; elle exige que les installateurs travaillant dans le cadre de projets financés ou appuyés par les gouvernements soient certifiés. Cela éviterait par ailleurs toute perception négative sur le marché résultant d'installations mal exécutées, et cela garantirait que les investissements publics génèrent une valeur publique à long terme, un développement économique de qualité et des salaires/avantages sociaux intéressants.

Il faut renforcer l'agrément.

Parallèlement à la certification obligatoire, l'agrément des établissements offrant la formation devrait être renforcé et étendu, ce qui garantirait l'uniformité et la qualité des modes de prestation de la formation. Cet agrément pourrait être inspiré du processus utilisé par les établissements aux pratiques exemplaires, semblables à celle que l'Interstate Renewable Energy Council (IREC) applique par l'intermédiaire de l'Institute for Sustainable Power Quality (ISPQ) [18].

Il faut obtenir l'appui du secteur des ER.

Pour être utile et fructueux, tout programme de formation doit bénéficier des commentaires des intervenants du secteur. Il est donc essentiel d'obtenir l'appui du secteur des ER lors de l'élaboration et de l'extension de ces programmes, pour la conception des programmes d'études et l'accès à l'équipement adapté à la formation. Une autre solution a été suggérée : la création de partenariats publics/privés pour la formation de la main-d'œuvre avec des organisations communautaires [3].

Il faut renforcer les capacités de formation en ligne.

Les capacités en ligne, en particulier en espagnol, pourraient faciliter grandement l'essor du marché mexicain de la formation sur les ER.

Quel pourrait être le rôle d'un mécanisme de collaboration trinational?

Rendre l'information relative aux capacités de formation facilement accessible.

Grâce à un système d'information commun basé sur le Web, qui intègre les données sur la formation offerte par les établissements régionaux et sur les capacités connexes, on pourrait plus facilement adapter la demande de formation à l'offre; mais cela pourrait aussi stimuler la collaboration entre ces établissements.

Promouvoir la certification et l'agrément, et mettre en place des systèmes communs.

Grâce à l'utilisation de pratiques exemplaires et des capacités existantes, on pourrait promouvoir des systèmes régionaux communs de certification et d'agrément, afin de garantir la qualité à moindre coût pour la région.

Promouvoir la formation des techniciens et ingénieurs mexicains.

Étant donné qu'à l'évidence, le Mexique est le pays où les capacités de formation sont les moins développées, et qui va sans doute connaître la croissance la plus rapide à l'avenir, il faudrait accorder une attention particulière à la création de capacités régionales pour les techniciens du pays.

Cela pourrait être fait dans différents contextes, qu'il s'agisse de collaboration entre services publics, syndicats et universités ou de programmes précis.

Quels mécanismes financiers (secteur privé, gouvernements, organisations caritatives et organisations internationales) pourraient créer des possibilités de formation en matière d'ER pour les étudiants et les experts des trois pays?

S'appuyer sur les ententes gouvernementales et trinacionales existantes.

La Commission de coopération environnementale et le Groupe de travail nord-américain sur l'énergie sont des organisations auxquelles on pourrait faire appel pour étudier, faciliter et conclure des ententes trinacionales qui pourraient être financées par les trois pays grâce à un fonds commun.

Promouvoir des ententes au sein du secteur

Étant donné que le recrutement de personnel qualifié est un enjeu essentiel pour la croissance durable du secteur des ER, et que certaines entreprises gèrent ou pourraient gérer des projets dans les trois pays, on pourrait envisager la création d'un groupe de travail trinacional public/privé chargé de promouvoir les partenariats de formation auprès d'organisations communautaires.

3. Évaluation de la technologie

3.1 Système photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques (PV) produisent de l'énergie électrique en utilisant l'énergie solaire pour faciliter le flux d'électrons et produire ainsi un courant électrique continu (CC). La technologie PV est commercialisée depuis de nombreuses années. On la considère comme une technologie d'énergie renouvelable (ER) relativement évoluée, puisqu'il existe de nombreux projets de petite taille à l'échelle de l'Amérique du Nord. Étant donné que les systèmes PV produisent de l'électricité (qui est la qualité la plus élevée d'énergie), ils peuvent donc être utilisés directement pour alimenter divers types d'équipement ou être convertis en divers types de chaleur. Ils peuvent également être mesurés au compteur et leur production peut être revendue au fournisseur de services publics.

Les systèmes PV offrent une certaine flexibilité d'utilisation et d'installation, non seulement en raison de la qualité supérieure d'énergie qu'ils produisent, mais aussi parce qu'il est possible de les intégrer à des immeubles (sur le toit ou la façade). Cela en fait un choix populaire pour la production d'électricité renouvelable à petite échelle.

3.1.1. Composants

Un système PV est composé : de panneaux photovoltaïques, qui génèrent le courant électrique continu; d'un équipement de distribution électrique et de protection, pour distribuer l'électricité; de plusieurs autres composants optionnels assurant la conversion et la qualité de l'électricité, permettant d'emmagasiner de l'énergie et offrant une structure de fixation (ils varient selon l'utilisation).

Voici les principaux éléments des systèmes PV :

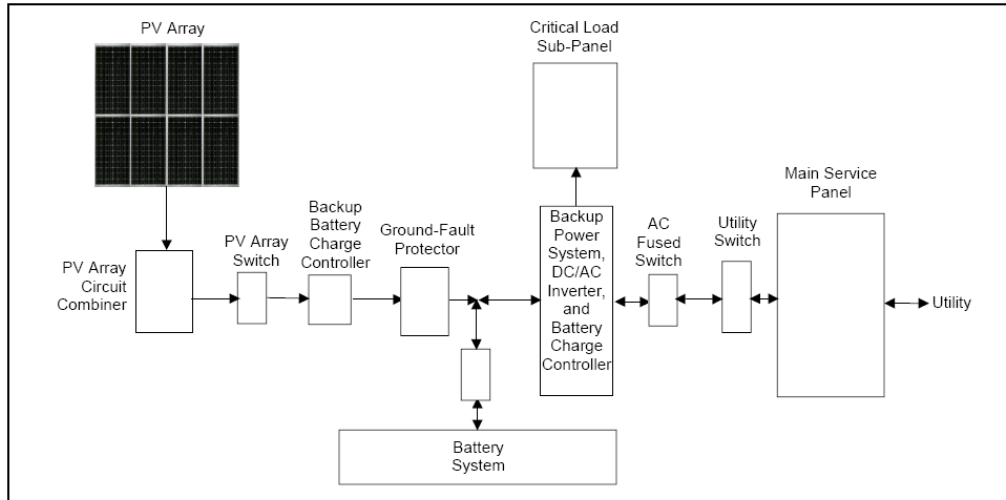
- **Panneau PV.** Le panneau PV est l'élément central du système PV, puisqu'il convertit la lumière du soleil en courant continu (CC). Les panneaux PV commerciaux sont habituellement composés d'un matériau photovoltaïque à base de silicium, mais il existe plusieurs autres matériaux, et des études récentes portant sur les matières plastiques conductrices se sont révélées prometteuses en ce qui concerne l'efficacité et le faible coût.
- **Onduleur.** L'onduleur convertit le courant continu provenant du panneau en courant alternatif (CA), qui constitue la forme commune d'électricité alimentant le réseau et utilisé pour faire fonctionner l'équipement des immeubles et des maisons. Les onduleurs destinés au raccordement au réseau peuvent également servir de protection contre l'îlotage (ils évitent la fourniture d'électricité au réseau en cas de panne de celui-ci) et mesurer la qualité de l'électricité, afin de garantir que l'électricité alimentant le réseau offre la tension, le courant et la phase appropriés.
- **Distribution et protection électriques.** L'équipement de distribution et de protection électriques sert à distribuer l'électricité produite par les panneaux PV aux autres composants du système. Les dispositifs de protection comprennent les dispositifs de désaccouplage, les fusibles et les disjoncteurs, qui offrent une protection contre la surtension et des points de coupure d'alimentation pour la maintenance du système.

- **Compteur.** Les systèmes PV qui fournissent de l'électricité au réseau public sont reliés soit au compteur électrique existant, soit à un compteur auxiliaire ou bidirectionnel, ce qui permet de suivre et de mesurer l'électricité produite par le système PV.
- **Stockage.** Les systèmes PV qui ne sont pas connectés au réseau électrique utilisent généralement des batteries pour accumuler l'énergie électrique et garantir que les besoins en électricité établis au départ seront satisfaits, et que toute électricité excédentaire sera stockée. Les systèmes de stockage dans des batteries devraient donc être d'une taille appropriée, non seulement pour garantir le nombre souhaité de jours d'autonomie lorsque le soleil ne brille pas assez, mais aussi pour produire suffisamment de courant pour répondre aux besoins établis au départ. De plus, les systèmes de stockage dans des batteries nécessitent l'utilisation d'un contrôleur de charge, qui garantit que les batteries sont en cours de charge à la tension et avec le courant appropriés. Il existe plusieurs types de batteries, notamment les accumulateurs au plomb, qui sont les plus couramment utilisés dans les systèmes commerciaux. Parmi les nouvelles technologies, on compte les batteries redox au vanadium (BRV) et les volants d'inertie, ainsi que la production d'hydrogène destiné aux piles à combustible [24].
- **Structure de fixation.** Quelle que soit leur application prévue, les panneaux PV nécessitent une structure sur laquelle ils seront fixés. Dans les cas des systèmes intégrés aux immeubles, les panneaux sont le plus souvent fixés directement sur le toit ou les murs existants, à l'aide d'attaches. L'angle d'installation des panneaux dépend de l'angle du toit ou des murs. Il existe également des options de fixation autres que l'intégration à un immeuble; elles nécessitent généralement un système d'accrochage auquel les panneaux sont fixés. Ce type de système peut être installé sur le toit de l'immeuble ou au niveau du sol. Il offre la flexibilité de pouvoir choisir un angle de fixation plus précis afin de maximiser l'incidence des rayonnements solaires, et peut également offrir des options plus évoluées, comme l'heure ou le suivi saisonnier du déplacement du soleil, afin de maximiser encore plus la production d'électricité.

3.1.2. Comment les principaux composants sont-ils intégrés?

Il existe deux types de systèmes PV à usage résidentiel : les systèmes qui interagissent avec le réseau électrique et n'ont pas de batteries de secours; les systèmes qui utilisent le stockage dans des batteries et interagissent avec le réseau ou sont complètement indépendants du réseau. (Fig. 8)

Figure 8. Composants d'un système PV



Source : guide de la conception et de l'installation des systèmes photovoltaïques (PV), [25]

Figure 8

PV array = Générateur PV

PV array circuit ... = Combinateur de circuits PV

PV array switch = Commutateur du générateur PV

Backup Battery... = Contrôleur de charge de batterie de secours

Ground Fault... = Disjoncteur de fuite à la terre

Critical load... = Sous-panneau de charge critique

Backup Power... = Système d'alimentation de secours, convertisseur cc/ca et contrôleur de charge de batterie

AC fused... = Interrupteur CA à fusibles

Utility... = Interrupteur de service

Utility = Service public

Battery system = Système de batteries

3.1.3. Problèmes particuliers liés à la conception, à l'installation, au fonctionnement et à l'entretien

Conception

Il faut tenir compte de trois éléments quand on conçoit un système PV : il faut maximiser le rayonnement solaire incident, répondre aux besoins en électricité associés à l'application prévue et déterminer les besoins de systèmes de secours et les solutions de remplacement.

- **Maximiser le rayonnement solaire.** Parce que les systèmes PV convertissent la lumière solaire en énergie électrique, ils devraient être orientés de manière à maximiser les rayonnements solaires qui frappent les panneaux tout au long d'une journée et d'une année. Le premier facteur à prendre en compte est l'ombre. Il faut veiller à ce que l'emplacement des panneaux ne soit pas obstrué par des éléments susceptibles de faire de l'ombre à divers moments de la journée et de l'année. Lorsqu'on choisit l'angle d'installation approprié, il faut généralement fixer les panneaux selon un angle similaire à la latitude de l'emplacement. Plusieurs stratégies peuvent modifier cette technique : restrictions imposées par l'intégration à un immeuble (p. ex., un panneau peut devoir être fixé à un angle proche de l'angle de la surface sur laquelle on l'installe); maximisation de la production d'énergie pour qu'elle coïncide avec la

tarification au compteur horaire; minimisation de l'accumulation de neige grâce à un accroissement de l'angle.

- **Établissement de la taille du système et protection.** Lorsqu'on détermine la taille des composants d'un système PV, il faut tenir compte de la charge électrique de l'application qu'on veut en faire. Les systèmes non reliés au réseau (autonomes) sont conçus pour fournir la fraction souhaitée des besoins énergétiques établis (qu'on appelle la fraction solaire). La taille d'un système relié au réseau dépend habituellement de facteurs autres que la fourniture de la fraction souhaitée de la charge électrique d'un projet (p. ex., les conducteurs peuvent inclure des critères économiques et sociaux, comme un objectif en matière d'ER ou de réduction des gaz à effet de serre). Lorsqu'on détermine la taille d'un système non relié au réseau, il faut tenir compte de plusieurs facteurs, notamment du nombre d'heures d'ensoleillement, de la taille des batteries et du profil de la demande d'électricité (c'est ce dont traite la section « Batteries de secours » ci-après). Un autre facteur à prendre en compte est la méthode utilisée pour connecter les panneaux PV. Ces panneaux peuvent être connectés soit en série ou en parallèle; ce choix peut influencer sur la tension et le courant, ce qui peut créer des pertes lors de la distribution de l'électricité.
- **Batteries de secours.** Pour déterminer la taille des batteries de secours, il faut tenir compte de deux facteurs principaux. La taille de l'ensemble de batteries devrait dépendre des besoins en électricité de la charge, ainsi que du nombre de jours de puissance de secours que les batteries devraient fournir. En outre, la capacité des batteries est inversement proportionnelle à la vitesse à laquelle elles se déchargent. Cela signifie que, plus la batterie se décharge lentement, plus la capacité de l'ensemble de batteries est élevée.
- **Exigences définies dans les codes.** Lorsqu'on conçoit le système, il faut également respecter les exigences du code de l'électricité de l'État/de la province où ce système est installé. Il est important de tenir compte de la taille des câbles et des dispositifs de protection, qui doivent être adaptés à la température et au courant appropriés. Il faut également installer des dispositifs de désaccouplage à divers points pour permettre la maintenance de composants comme les onduleurs et les batteries, et veiller à ce que le système soit correctement mis à la terre.

Installation

Diverses questions doivent être examinées avec une attention particulière durant l'installation de systèmes PV. En fait, l'installation est vraiment tributaire de la configuration de la maison concernée et du type de toit [25].

- **Emplacement.** L'installateur du système PV doit être capable de reconnaître les problèmes propres à l'emplacement, ainsi que les besoins et les solutions, qui sont liés à l'incidence du rayonnement solaire (pas d'ombre), à la fixation (espace disponible, état des surfaces acceptable et points et surfaces de soutien adéquats) et à l'espace de travail en général (en ce qui concerne la sécurité).
- **Fixation et manipulation.** Étant donné qu'une bonne partie de la fixation se fait aux endroits les plus élevés d'une installation, il faut absolument connaître les procédures de manipulation et savoir les appliquer pour éviter tout danger pour la sécurité et tout dommage aux biens.

- **Assemblage.** Pour assembler un système PV, il faut posséder des compétences générales en électricité, mais aussi certaines compétences propres à ce type de système.
- **Mise à l'essai, dépannage, fonctionnement et entretien.** Un système PV doit subir une série de tests, qui garantissent qu'il fonctionne conformément à ce que prévoyait sa conception initiale, et il faut déterminer toute défaillance.

Une équipe expérimentée peut installer un système PV de 2 kW sans batterie en deux à quatre jours-personnes. Les systèmes équipés de batteries de secours nécessitent plus de main-d'œuvre que ceux qui n'en ont pas, en raison des câbles additionnels nécessaires pour le sous-panneau de charge critique. Le temps d'installation d'un système avec batteries peut être de 50 % à 100 % plus long [25].

Étant donné que les systèmes PV génèrent de l'électricité, leur installation doit être confiée à des électriciens certifiés ou leur équivalent (selon l'État/la province). Toutefois, les systèmes PV peuvent nécessiter l'intervention d'autres gens de métier, comme les couvreurs quand les panneaux sont installés sur la structure d'un immeuble. Les installateurs devraient comprendre qu'il est important de respecter les spécifications de conception du système, afin de garantir qu'on s'approchera le plus possible du rendement souhaité.

Fonctionnement et entretien

Les exigences de fonctionnement et d'entretien des systèmes PV sont généralement simples. Il existe plusieurs façons de surveiller la production d'électricité : des simples compteurs intégrés aux onduleurs ou vendus séparément, aux programmes plus élaborés permettant une surveillance et un suivi sur le Web du rendement d'un système PV.

Par ailleurs, l'entretien est généralement facile. Il faut : s'assurer que les bornes et les connexions des batteries sont exemptes de corrosion pour les systèmes autonomes; que toute ouverture pratiquée dans un immeuble demeure scellée; que toutes les connexions électriques sont bien serrées et que les boîtes de connexion sont scellées; s'assurer que les panneaux PV sont propres et en état de marche. Pour s'assurer que les panneaux fonctionnent bien, il faut veiller à ce que la tension du système demeure à la valeur de dimensionnement ou soit proche de cette valeur.

3.2 Éoliennes

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable dont l'exploitation est au point sur le plan technologique; c'est déjà une source courante d'électricité propre, un important catalyseur de la croissance économique et l'ER qui connaît la plus forte croissance dans le monde.

L'énergie produite par le vent est en fait l'énergie cinétique des importantes masses d'air se déplaçant à la surface de la Terre. Les pales de l'éolienne transforment cette énergie cinétique en énergie mécanique ou électrique, selon l'utilisation finale qu'on souhaite en faire. L'énergie mécanique est le plus souvent utilisée pour pomper de l'eau dans les régions rurales ou éloignées, tandis que les éoliennes qui produisent de l'énergie électrique alimentent des maisons et des entreprises, ainsi que d'importants réseaux électriques.

Il existe deux types d'éoliennes de base : à axe vertical (la plus connue étant celle qui a été conçue par Darrieus et Savonius) et à axe horizontal (de type « ventilateur »). Les éoliennes à axe horizontal sont les plus courantes aujourd'hui; elles représentent la majeure partie des éoliennes productrices d'électricité dans le monde.

On peut également classer les éoliennes selon leur aérodynamisme. Ainsi, l'interaction aérodynamique des pales avec le vent peut se faire par traînée ou par portance, ou par une combinaison des deux.

Il existe des éoliennes de toutes les dimensions, mais on peut généralement les classer selon la taille du rotor (on parle alors de petits, moyens ou grands générateurs). Les grands générateurs (éoliennes de la classe du mégawatt) font généralement partie d'un parc éolien et sont directement reliés au réseau électrique, tandis que les petites et moyennes éoliennes sont généralement utilisées de façon individuelle pour des applications bien précises et locales.

- **Éoliennes de la classe du mégawatt.** Elles sont généralement installées dans des parcs éoliens. Un parc éolien est un regroupement d'éoliennes installées au même endroit, qu'on utilise pour produire de l'électricité. Un grand parc éolien peut compter quelques dizaines, mais parfois des centaines d'éoliennes, et peut couvrir plusieurs centaines de kilomètres carrés. Il arrive que les parcs éoliens soient implantés en mer ou au milieu d'un lac, ce qui permet d'exploiter la force des vents soufflant à la surface de l'eau. Les éoliennes d'une capacité de 100 kilowatts (kW) ou plus sont considérées comme des éoliennes pour la production d'électricité en réseau.
- **Petites et moyennes éoliennes.** En règle générale, les petites et moyennes éoliennes sont celles dont la capacité nominale peut aller jusqu'à 100 kilowatts. Même si leur contribution énergétique est moins élevée en chiffres absolus, elles aident considérablement de nombreux résidents des collectivités rurales; de plus, on commence à les utiliser sur le marché des systèmes électriques interconnectés et pour certaines applications hors réseau, un peu partout dans le monde.

4.2.1 Composants

Une éolienne comprend un grand nombre de composants. Voici ceux qui équipent directement les sous-systèmes :

- **Rotor.** Le rotor est composé d'un moyeu et de pales, qui convertissent l'énergie produite par le vent en énergie transmise à un arbre rotatif. Une éolienne type destinée à la production d'électricité comprend trois pales de haute technologie faites de matériaux laminés, qui doivent avoir un rapport résistance-poids élevé; c'est le cas des matériaux composites, du bois de balsa, de la fibre de carbone et de la fibre de verre. On utilise aussi parfois des matériaux qui protègent contre la foudre. Les pales de l'éolienne à portance ont la forme d'une surface portante, comme les ailes d'un avion, afin de maximiser l'extraction de puissance à partir du vent. Chaque pale est vissée sur le moyeu du rotor, et un mécanisme de pas est interposé afin de permettre à la pale de tourner sur son axe, et de tirer ainsi avantage des différentes vitesses du vent.

- **Nacelle.** La nacelle est l'élément qui contient le groupe motopropulseur. Celui-ci comprend une boîte d'engrenage, qui est activée par le rotor grâce à un arbre et sert principalement à augmenter le nombre de tours par minute, afin d'atteindre une vitesse adaptée au générateur électrique. Pour plus de sécurité, l'arbre comporte généralement deux systèmes de freinage indépendants. Il faut que la boîte d'engrenage soit assez robuste pour supporter les fréquents changements de couple causés par le changement de vitesse du vent. La turbine éolienne est dotée d'un dispositif d'orientation qui permet au rotor de toujours être face au vent.
- **Tour.** On utilise une tour élevée afin de tirer le maximum d'énergie du vent. Elle mesure habituellement 30 mètres ou plus, de sorte que l'éolienne puisse exploiter des courants plus puissants et moins turbulents. La nacelle et le générateur sont installés en haut de cette tour, généralement composée de plusieurs sections tubulaires en acier, réunies par des boulons et recouvertes de peinture et de scellant. Pour installer une tour aussi haute, ainsi que la nacelle et le rotor, il faut une grue d'une hauteur et d'une capacité extrêmes.
- **Systèmes de contrôle.** Le fonctionnement de l'éolienne est régulé par un équipement électronique qui comprend un module de contrôle informatisé, lequel réagit aux données transmises par divers capteurs. Ces capteurs détectent d'importantes variables, notamment : la vitesse et la direction du vent; la vitesse du rotor; le pas d'hélice; les vibrations de la turbine; la température du lubrifiant; la quantité d'énergie électrique produite. Un système de sécurité peut prendre le contrôle en cas d'urgence. Pour contrôler la puissance électrique et l'adapter à la tension, au courant et la phase du réseau récepteur, le générateur est équipé d'une télécommande et d'un système de surveillance.
- **Fondation.** La tour est généralement fixée à une fondation à l'aide d'une bride de fixation et de tiges vissées coulées dans le béton ou boulonnées à un tronçon de tour encastré. Pour la fondation des tours tubulaires, on peut opter pour une construction à dalle, à plusieurs piles ou à une seule pile, selon l'état du sol où l'éolienne est construite. En plus de l'installation de chacune des éoliennes, d'autres travaux de construction doivent être entrepris sur place : installation des câbles électriques; connexion des éoliennes au réseau électrique; voies d'accès; équipement de soutien au sol; construction et aménagement d'une sous-station électrique.

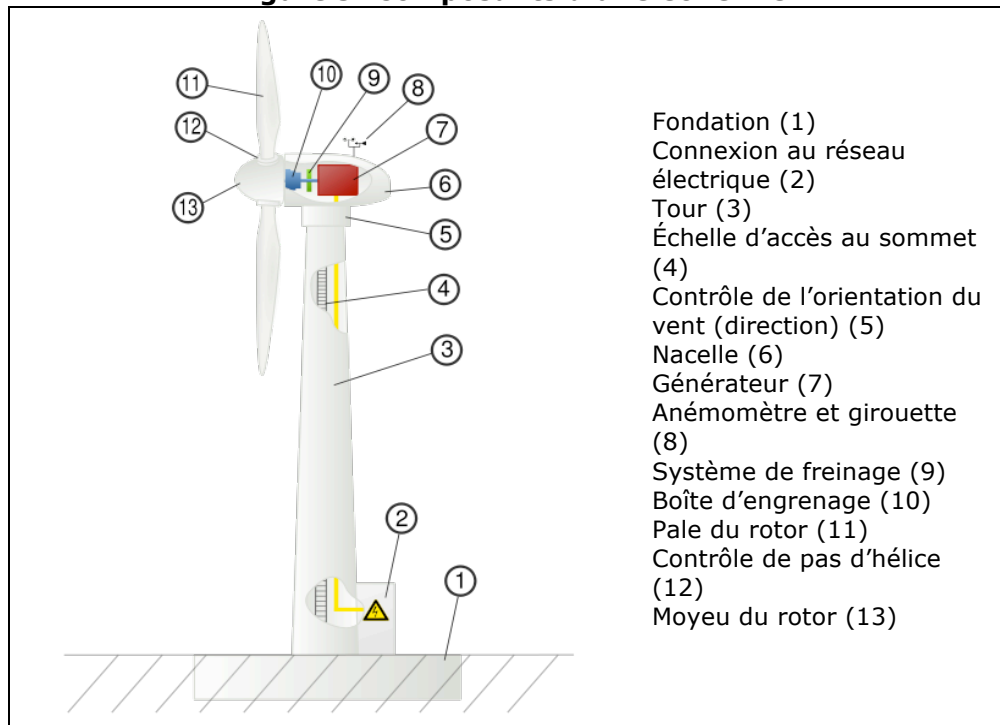
Les petites éoliennes sont généralement plus simples que les éoliennes de la classe du mégawatt. Elles comprennent un rotor, un gouvernail, un générateur ou un alternateur monté sur un cadre, une tour, des câbles, des contrôleurs, des onduleurs et, au besoin, des batteries. Ces petites éoliennes génèrent habituellement un courant continu, qui nécessite l'utilisation d'un onduleur pour convertir le courant continu des batteries en courant alternatif, utilisé pour alimenter les électroménagers domestiques.

3.2.2 Comment les principaux composants sont-ils intégrés?

Les éoliennes convertissent l'énergie produite par le vent en énergie rotative, qui alimente un générateur électrique. Étant donné que la puissance que peut produire une éolienne dépend principalement de la taille de ses pales, ce paramètre définit sa « surface balayée », ou la quantité de vent interceptée par l'éolienne. Les pales sont installées en haut d'une tour élevée, elle-même connectée à un groupe

motopropulseur, habituellement doté d'une boîte d'engrenage qui transfère l'énergie rotative des pales à un générateur. Celui-ci convertit l'énergie en question en électricité. L'arbre, le groupe motopropulseur et le générateur se trouvent dans un boîtier protecteur appelé nacelle. À l'intérieur de la nacelle, on trouve aussi de l'équipement électronique et électrique : commandes, câbles électriques, équipement de soutien au sol et équipement d'interconnexion. L'ensemble de ces équipements contrôle la turbine, garantit une productivité maximale et transmet l'électricité générée (Fig. 9).

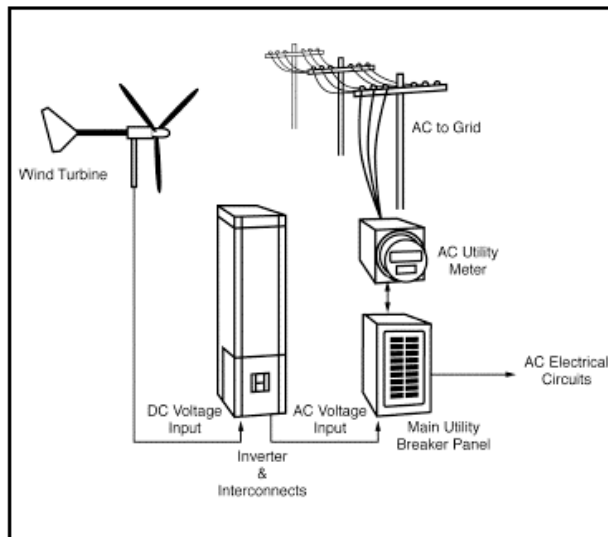
Figure 9. Composants d'une éolienne



Source : Wikipedia [26].

Les petites éoliennes servent principalement à fournir de l'électricité à des maisons ou à des systèmes de pompage de l'eau, et peuvent être soit reliées au réseau, soit autonomes, auquel cas elles comportent un système de stockage de l'énergie (Fig. 10).

Figure 10. Schéma d'une petite éolienne reliée au réseau



Source : ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, Canada [27].

Wind turbine = Turbine éolienne

DC Voltage Input = Entrée en tension continue
AC voltage input = Entrée en tension alternative
Inverter... = Onduleur et interconnexions
Main utility... = Panneau du disjoncteur général
AC to grid = CA au réseau
AC utility meter = Compteur CA
AC electrical circuits = Circuits électriques CA

3.2.3 Problèmes particuliers liés à la conception, à l'installation, au fonctionnement et à l'entretien

Les exigences de conception et d'installation d'une éolienne dépendent vraiment de sa taille. Les petites éoliennes peuvent être installées par le propriétaire de la maison, tandis que les grandes éoliennes nécessitent des opérations complexes.

Conception

Voici les principaux éléments à prendre en compte lorsqu'on conçoit une éolienne :

- **Évaluation des ressources.** L'évaluation des ressources éoliennes est un élément clé de la conception d'une éolienne, étant donné que la présence de vent est essentielle à la faisabilité technique et économique d'un tel projet. De plus, il est fondamental de connaître les variations horaires et saisonnières de l'intensité et de la direction des vents (parallèlement à d'autres facteurs secondaires comme l'humidité relative) pour pouvoir définir la technologie éolienne la plus adéquate.
- **Choix et aménagement du site.** Le choix du site qui accueillera une grande éolienne ou du site qui sera approprié pour une petite éolienne constitue une étape très importante. Par exemple, il est préférable d'implanter l'éolienne en haut du versant d'une colline balayé par les vents, parce que l'éolienne ira chercher davantage de vents dominants que dans un ravin ou sur le versant abrité de la même colline. De plus, il faut tenir compte des obstacles existants (arbres, maisons et granges), ainsi que de possibles obstructions futures (nouveaux édifices ou arbres qui n'ont pas atteint leur pleine hauteur). Par ailleurs, il faut que l'éolienne soit installée face au vent et se trouve à 10 mètres au-dessus de n'importe quelle structure présente dans un rayon de 100 mètres.
- **Choix de la turbine.** Les turbines éoliennes modernes sont conçues pour fonctionner pendant près de 120 000 heures durant leur cycle de vie, qui est évalué à 20 ans. Parce que la vitesse des vents augmente avec l'altitude, plus la tour sera haute, plus l'éolienne pourra produire de puissance. Ainsi, des investissements relativement peu importants dans l'augmentation de la hauteur d'une tour peuvent générer un excellent rendement en matière de production électrique. De plus, la tour place la turbine au-dessus des turbulences de l'air qu'on peut observer près du sol, en raison d'obstructions comme les collines, les édifices et les arbres.
- **Fondations.** Le type approprié d'ancrage ou de fondation dépend du type de sol sur lequel l'éolienne sera construite. Les petites éoliennes n'ont généralement pas besoin de fondations.

- **Exigences définies dans les codes et règles de sécurité.** L'installation d'une éolienne est assujettie aux codes de l'électricité. Ces codes définissent les paramètres appropriés pour le câblage et l'installation, ainsi que l'utilisation de composants qui ont été certifiés pour la sécurité-incendie et la sécurité électrique par des laboratoires d'essai approuvés.

Installation

Les critères d'installation des éoliennes dépendent de la taille de celles-ci.

- **Éolienne de la classe du mégawatt.** L'installation d'une grande éolienne est une entreprise complexe. Premièrement, il faut bien planifier et organiser le transport des composants de l'éolienne, compte tenu de leur taille, de leur poids et de leurs dimensions; il faut faire preuve d'innovation, utiliser la logistique, et mener des activités de fabrication et d'assemblage sur place. En plus des manœuvres liées à l'assemblage de l'éolienne sur place, il faut parfois construire un réseau routier et les fondations des éoliennes, et installer les câbles électriques, de même qu'une sous-station.
- **Petites éoliennes.** L'installation de petites éoliennes est très différente de celle des éoliennes géantes. Par exemple, une éolienne de moins de trois mètres de diamètre peut être installée par le propriétaire de la maison ou quelqu'un qui possède des compétences de base en construction. Maintenant qu'on utilise des mâts légers et inclinables pour les petites éoliennes, leur installation n'a jamais été aussi simple. Toutefois, le risque est proportionnel à la taille de l'éolienne qu'on installe, car les composants sont plus lourds si l'éolienne est plus grosse. Dans certains cas, on a besoin d'un équipement spécial. Pour une éolienne de taille intermédiaire, la meilleure option consiste à confier l'installation à un entrepreneur professionnel et expérimenté, car il aura besoin d'équipement spécialisé pour soulever les composants.

Fonctionnement et entretien

L'entretien des éoliennes est un facteur important pour l'atteinte de leurs objectifs opérationnels. Les coûts d'entretien sont habituellement moins élevés que ceux des systèmes conventionnels de production d'électricité. L'entretien des éoliennes se fait en principe deux fois par an et nécessite l'interruption du service pendant 12 à 18 heures. En général, on ne met hors circuit que quelques éoliennes à la fois dans un même parc aux fins d'entretien. On arrête l'ensemble du parc éolien uniquement pour assurer l'entretien de la sous-station, qui dure généralement 12 heures et a lieu deux fois par an, durant les périodes de faible production.

Les systèmes utilisant l'énergie éolienne comptent parmi ceux qui sont les plus exigeants pour les boîtes d'engrenage et les générateurs, en raison de la variabilité des charges, qui est extrêmement difficile à prévoir. Ce sont donc ces deux éléments qui ont le plus souvent besoin d'entretien. En outre, ce sont les deux éléments les plus exposés aux frottements et à l'usure; parfois, il faut utiliser une grande grue pour les réparer.

Les pales n'ont habituellement pas besoin d'un entretien spécial. Le seul entretien périodique requis est le nettoyage ou l'inspection visuelle destinée à en vérifier l'intégrité.

Tout comme les grandes éoliennes, les petites éoliennes nécessitent un certain niveau d'entretien annuel. Il faut vérifier d'éventuelles traces de corrosion sur les principaux composants de l'éolienne. Il faut vérifier les boulons et les connexions électriques, et les resserrer au besoin. Au bout de quelques années, il faudra peut-être remplacer les pales et les roulements. Il faut également vérifier le système de fixation du bord d'attaque des pales à la recherche de traces d'usure, et le remplacer au besoin.

3.3 Chauffe-eau solaires

Les chauffe-eau solaires (CES) sont des systèmes qui chauffent l'eau à l'aide des rayonnements directs et indirects du soleil. Ils utilisent un capteur solaire pour chauffer un fluide thermodynamique, qui transfère la chaleur du soleil à un réservoir d'eau.

On peut utiliser ces systèmes pour chauffer l'eau directement ou indirectement, dans le cadre de diverses applications destinées aux maisons, aux entreprises, à l'industrie ou à l'agriculture :

- eau chaude domestique, piscines, chauffage radiant, chauffage de locaux ou climatisation;
- traitement de l'eau chaude dans les maisons et les immeubles à plusieurs unités d'habitation, et pour des applications commerciales et institutionnelles, p. ex. dans les écoles, les centres de santé, les hôpitaux, les bureaux, les immeubles, les restaurants et les hôtels;
- petites installations commerciales ou industrielles, comme les lave-autos, les laveries automatiques et les fermes piscicoles;
- importantes charges industrielles et réseaux de chauffage de district.

On peut classer les CES en fonction de la façon dont l'eau chaude accumulée circule dans le système, selon un procédé actif ou passif :

- **Dispositif actif.** Les CES actifs sont dotés de pompes de circulation et de commandes; il en existe deux types principaux :
 - **Circulation directe ou circuit ouvert.** Les pompes font circuler l'eau dans les capteurs, jusqu'à l'installation finale. Ces CES fonctionnent bien dans les endroits où il gèle rarement.
 - **Circulation indirecte ou circuit fermé.** Les pompes font circuler un fluide caloporteur antigèle dans les capteurs, jusqu'à un échangeur de chaleur qui chauffe l'eau alimentant l'installation. Ces CES sont couramment utilisés dans les régions où il gèle fréquemment.
- **Dispositif passif.** Les CES passifs fonctionnent sur le principe de la convection naturelle, qui fait circuler un liquide réchauffeur dans un circuit fermé vertical, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser une pompe conventionnelle. Il existe deux types principaux de systèmes passifs :

- **Thermosiphon.** L'eau coule dans le système lorsque l'eau chaude monte et que l'eau plus froide descend. Le capteur doit être installé sous le réservoir, de sorte que l'eau chaude monte dans celui-ci. Ces systèmes sont fiables, mais les entrepreneurs doivent faire très attention à la conception du toit, car le réservoir est très lourd. Ils coûtent généralement plus cher que les systèmes passifs intégrés de captage-stockage.
- **Système intégré de captage-stockage.** Dans ce type de système, c'est le capteur qui sert de système de stockage de l'eau chaude. L'eau froide coule progressivement dans le capteur, où elle est chauffée par le soleil. L'eau est extraite par le haut (là où elle est la plus chaude), et l'eau froide de remplacement coule dans le bas. Ce système est simple, parce qu'il ne nécessite ni pompe ni contrôleur. Il est particulièrement efficace dans les endroits où la température descend rarement sous le point de congélation et où les besoins en eau chaude des ménages sont maximaux durant la journée et la soirée.

3.3.1 Composants

Les principaux composants d'un CES sont les capteurs, les réservoirs de stockage, les systèmes de circulation et les systèmes de secours.

- **Capteurs.** Le capteur solaire est l'élément principal du CES, car il capte l'énergie solaire et la transmet au fluide thermodynamique afin de le chauffer. À l'aide d'électricité domestique ou solaire, ce fluide est acheminé dans des canalisations qui transfèrent la chaleur du support absorbant à un réservoir d'eau isotherme (parfois directement ou par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur), ou vers un autre dispositif qui va utiliser le fluide chauffé. Le capteur peut être une simple boîte isotherme avec couvercle en verre, équipée d'une surface absorbante plate composée d'une feuille de métal noir fixée sous des tuyaux en cuivre, ou d'un ensemble de tubes en métal entourés d'un cylindre en verre sous vide. Il existe quatre types principaux de capteurs solaires utilisés couramment : les capteurs profilés plasturgiques, les capteurs plans, les systèmes intégrés de captage-stockage et les capteurs à tubes sous vide.
 - **Capteurs profilés plasturgiques.** Ces capteurs (qui peuvent être en polypropylène, en élastomère EPDM ou en plastique PTE) sont composés de tubes ou de panneaux profilés dans lesquels l'eau circule, puis est chauffée par le rayonnement solaire.
 - **Capteur plan.** Un capteur plan comprend une mince pellicule absorbante (faite d'aluminium, d'acier ou de cuivre, sur laquelle on applique un revêtement noir ou sélectif), complétée par une grille ou une bobine tubulaire contenant un liquide, et disposée dans un boîtier isotherme doté d'un couvercle en verre ou en polycarbonate. Les capteurs plans se trouvent généralement dans des boîtes étanches, sous un ou plusieurs couvercles en verre ou en plastique (polymère).
 - **Systèmes intégrés de captage-stockage.** Les SICS, ou réchauffeurs en lots, comprennent un ou plusieurs réservoirs ou tubes noirs, dans une boîte vernie isotherme. L'eau froide traverse d'abord le capteur solaire, qui la préchauffe. Elle se dirige ensuite dans le chauffe-eau auxiliaire conventionnel, fournissant ainsi une alimentation fiable en eau chaude. Ces systèmes doivent

être installés uniquement dans les régions où il gèle rarement, en raison des conduits extérieurs, qui pourraient geler s'il fait très froid.

- **Capteurs à tubes sous vide.** Ces capteurs comportent des rangées parallèles de tubes en verre transparent. Chaque tube est fait d'un tube externe en verre et d'un tube absorbant en métal fixé à une ailette. La lumière solaire qui frappe le tube externe en verre chauffe le tube en métal. Les tubes sous vide en verre/métal sont généralement scellés du côté du collecteur, et l'absorbant est scellé dans la partie sous vide.

Les capteurs solaires les plus couramment utilisés sont les capteurs plans isothermes. Dans les régions où il fait extrêmement chaud, ces capteurs sont généralement plus économiques que les tubes sous vide. Les panneaux moins coûteux (comme les panneaux en polypropylène) sont utilisés pour les piscines. Les capteurs à tubes sous vide sont plus efficaces que les capteurs plans dans les régions froides, parce qu'ils dépendent uniquement la lumière qu'ils reçoivent, et non de la température extérieure.

- **Réservoirs de stockage.** Sauf dans le cas des systèmes intégrés de captage-stockage, la plupart des CES nécessitent un réservoir de stockage bien isolé. Ces réservoirs sont pressurisés ou non, et le type qu'on utilise dépend de la conception d'ensemble du système. Ils sont généralement faits d'acier inoxydable, de fibre de verre ou de plastique résistant aux hautes températures. Il existe aussi des réservoirs en béton ou en bois (bains tourbillons). De plus, il existe des limites applicables à la température et à la pression, qui doivent être conformes aux codes locaux du bâtiment, de la plomberie et de la mécanique; ils doivent être isolés pour éviter toute perte de chaleur excessive; il faut leur appliquer un revêtement protecteur ou un scellant pour éviter la corrosion ou les fuites. On peut avoir besoin de réservoirs spéciaux ou personnalisés pour les systèmes qui doivent stocker de grandes quantités d'eau.
- **Système auxiliaire.** Les CES ont presque toujours besoin d'un système auxiliaire pour les journées nuageuses et les périodes où la demande est plus forte. Les chauffe-eau conventionnels disposent généralement d'un système auxiliaire, qui fait déjà partie du CES. Dans les systèmes à un seul réservoir, le chauffe-eau de secours est combiné au système de stockage de l'énergie solaire, dans un seul et même réservoir.
- **Systèmes de circulation.** Un CES comprend une pompe, des soupapes, des crépines et un réservoir de dilatation thermique.
 - **Pompe.** Dans un système actif, il faut une pompe pour transférer le liquide du capteur solaire au réservoir d'eau chaude. Le système à thermosiphon, où la circulation se fait naturellement, n'a pas besoin de pompe.
 - **Fluide thermodynamique.** Le fluide thermodynamique nécessaire à l'élément absorbant peut être l'eau chaude du réservoir ou un liquide contenant de l'antigel, qui est pompé dans un circuit séparé, lequel transmet la chaleur par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur (il s'agit généralement d'une spirale tubulaire en cuivre, à l'intérieur du réservoir).
 - **Commandes.** Les systèmes actifs ont besoin de commandes pour transférer la chaleur recueillie à partir des capteurs solaires. Ils peuvent aussi offrir des

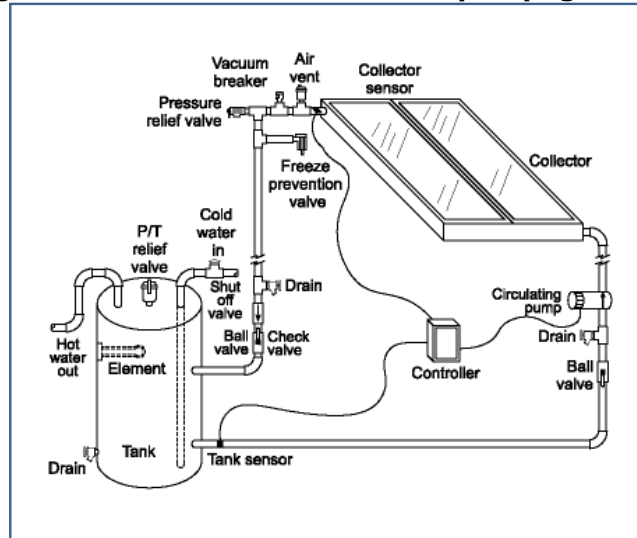
fonctions de sécurité, par exemple : une protection contre la surchauffe; une protection des systèmes saisonniers contre le gel, ou la protection contre le redémarrage d'un gros système après une période de stagnation; l'affichage ou le transfert des messages d'erreur ou des alarmes; les panneaux d'affichage à distance; la saisie de données locale ou à distance.

- **Logement et soutien.** Les composants utilisés pour loger et soutenir sont eux aussi importants; ils sont généralement adaptés à chaque installation.

3.3.2 Comment les principaux composants sont-ils intégrés?

Les éléments d'un CES sont reliés soit par des tuyaux, soit par des fils électriques, et leur intégration dépendra de la taille du système, de son utilisation, des types de demande et du climat dans la région visée. (Fig. 11).

Figure 11. Chauffe-eau solaire à pompage direct



Source : Karnitz, A. *Solar Water Heating System*. [28]

- Hot water out = Sortie d'eau chaude
- Drain = Drain
- Tank = Réservoir
- Element = Élément
- P/T Relief Valve = Soupape de sûreté P/T
- Cold water in = Entrée d'eau froide
- Shut off valve = Soupape d'arrêt
- Ball Valve = Soupape à bille
- Tank sensor = Détecteur du réservoir
- Pressure relief valve = Détendeur de pression
- Vacuum breaker = Soupape antivide
- Air vent = Évén
- Freeze Prevention valve = Soupape antigivrage
- Collector sensor = Capteur du collecteur
- Collector = Collecteur
- Controller = Contrôleur
- Circulating pump = Pompe de circulation

3.3.3 Problèmes particuliers liés à la conception, à l'installation, au fonctionnement et à l'entretien

Conception

Le rendement annuel d'un chauffe-eau solaire équipé d'un réservoir de stockage dépend des caractéristiques du système, du rayonnement solaire existant, de la température ambiante et des caractéristiques de la charge de chauffage. Lorsqu'ils sont bien conçus, les CES peuvent fonctionner alors que la température extérieure est nettement inférieure à zéro, et ils sont également protégés contre la surchauffe durant les très chaudes journées d'été.

L'élément le plus important de la conception est la taille du collecteur et du réservoir, car elle détermine la rentabilité de l'investissement. Ainsi, pour que la conception soit appropriée, il est recommandé de calculer la charge à l'aide de logiciels spécialisés.

Par ailleurs, même si l'installation de base d'un système solaire n'a rien d'inquiétant, tout système d'utilisation des énergies renouvelables doit être correctement intégré

aux services déjà en place dans les immeubles pour être pleinement opérationnel. Cela signifie que le concepteur et l'installateur du système doivent connaître parfaitement la façon dont fonctionnent les services conventionnels, et dont le système peut être conçu pour fonctionner de concert avec des chaudières à condensation, par exemple [29].

Enfin, le système doit être conforme aux codes locaux relatifs à l'utilisation de l'énergie solaire, à la plomberie et à l'électricité.

Installation

Diverses questions doivent être examinées avec une attention particulière durant l'installation.

- **Emplacement.** L'installateur d'un CES doit être capable de reconnaître les problèmes précis liés à l'emplacement, ainsi que les besoins et les solutions connexes. Ils peuvent porter sur l'incidence des rayonnements solaires (absence d'ombre), la fixation (espace disponible, état acceptable des surfaces et points/surfaces de fixation adéquats) et l'espace de travail en général (en ce qui concerne la sécurité).
- **Fixation et manipulation.** Étant donné qu'une bonne partie de la fixation se fait aux endroits les plus élevés de l'installation, il faut absolument connaître les procédures de manipulation et savoir les appliquer, pour éviter tout danger pour la sécurité et tout dommage aux biens.
- **Assemblage.** Pour assembler un CES, il faut avoir des connaissances générales en plomberie et en électricité, mais aussi posséder des compétences propres à ce type de système. Par exemple, pour pouvoir intégrer un chauffe-eau électrique standard à un système solaire, l'installateur doit modifier une partie de la plomberie, parce qu'un réservoir conventionnel ne dispose pas de système d'alimentation du collecteur ou d'orifice de retour.
- **Mise à l'essai, dépannage, fonctionnement et entretien.** Il faut faire subir une série d'essais au CES pour s'assurer qu'il fonctionne selon les spécifications initiales et déterminer toute défaillance (fuites, fonctionnement inadéquat des soupapes et des commandes). Par ailleurs, même si un entretien minimal est nécessaire, ces essais devraient être effectués à quelques années d'intervalle.

Fonctionnement et entretien

Les systèmes fonctionnant à l'énergie solaire nécessitent des inspections périodiques et un entretien de routine, ce qui garantit leur bon état de marche. Par ailleurs, de temps à autre, il faudra peut-être réparer ou remplacer des composants.

Les inspections de ces systèmes devraient porter sur les questions/composants suivants : ombrage des capteurs; vitrage et joints des capteurs; plomberie, réseau de gaines et serre-fils; isolation des tubes, conduits et câbles; points d'entrée dans les toits; structures de soutien; pompes; fluides caloporteurs; systèmes de stockage [30].

4. Connaissances requises et contextes institutionnels

L'industrie des énergies renouvelables regroupe une foule de professionnels œuvrant dans divers domaines et possédant des compétences variées. D'une part, des professionnels de la recherche sur les matériaux, les pièces et les systèmes et des professionnels de l'évaluation des ressources; d'autre part, des spécialistes de la conception, de l'installation, de la vente, de l'exploitation et de l'entretien des systèmes et de leurs composantes. L'industrie doit également pouvoir compter sur une vaste gamme de compétences dans le domaine des affaires, comme les ventes, les finances, le traitement des données et la gestion des ressources humaines.

Le présent rapport porte plus particulièrement sur les professionnels de la recherche, de la conception, de l'achat, de l'installation, de l'inspection, de l'exploitation et de l'entretien de chauffe-eau alimentés à l'énergie éolienne, photovoltaïque et solaire (de petite et de grande taille).

4.1 Systèmes photovoltaïques

Le secteur photovoltaïque réunit les divers intervenants qui participent aux activités de recherche et de conception, à la fabrication, à l'installation et à la vente de systèmes photovoltaïques et de leurs composantes. On peut classer plus précisément les emplois dans les catégories suivantes [3] :

- Recherche et production
- Conception et acquisition de systèmes
- Installateurs, inspecteurs, personnel d'entretien et spécialistes des ventes techniques

4.1.1 Recherche et production

Ce type d'emploi suppose généralement des activités de recherche et développement (R et D) concernant les panneaux photovoltaïques et les composantes d'installation et fournitures (CIF). La R et D relative aux panneaux PV peut inclure notamment la recherche sur des matériaux semi-conducteurs ou encore la conception des panneaux. En ce qui a trait aux composantes des systèmes, la R et D porte surtout sur les onduleurs, les contrôleurs de charge et les systèmes de fixation. Les composantes liées à la distribution d'énergie et à la protection ne sont habituellement pas fabriquées exclusivement pour les systèmes PV; elles ne doivent donc pas être associées directement au secteur PV.

- **Recherche dans le secteur photovoltaïque.** Les emplois dans ce domaine nécessitent généralement des études universitaires dans un domaine technique comme la physique et l'ingénierie, et notamment des connaissances sur les matériaux, les semi-conducteurs, l'électronique de puissance et le génie mécanique, ainsi que d'autres compétences techniques et scientifiques connexes. Les postes sont généralement occupés par des ingénieurs électriciens, des ingénieurs en mécanique, des ingénieurs chimistes, des ingénieurs en matériaux, des spécialistes de la conception de systèmes et des ingénieurs des procédés de fabrication.

- **Techniciens à la production et technologues en production.** Cette catégorie d'emplois inclut généralement des activités de R et D portant sur les panneaux PV et les CIF, ou encore le service après-vente ou le soutien technique postinstallation. Le personnel du secteur de la R et D participe habituellement au processus de fabrication des diverses composantes des panneaux PV et des CIF, de même qu'à l'assemblage des panneaux et des composantes. Certains emplois de cette catégorie exigent un diplôme ou un certificat d'études collégiales avec spécialisation dans un domaine précis de la fabrication. Par contre, certains postes d'assemblage général n'exigent aucune formation particulière.

Les emplois dans le secteur de la R et D se trouvent généralement dans les entreprises qui fabriquent les panneaux PV et les CIF. Certains techniciens et technologues travaillent pour des distributeurs d'équipement PV qui offrent des services d'installation, on encore pour des installateurs de systèmes PV.

4.1.2 Conception et acquisition de systèmes

Les concepteurs de systèmes participent à la conception et à l'intégration des composantes d'un système PV. Ils doivent connaître les diverses composantes des systèmes, les contraintes et les caractéristiques de leur conception, ainsi que les liens entre elles. Les postes de concepteurs de systèmes peuvent être occupés par des ingénieurs ou des technologues en électricité, puisque le travail comporte la conception des différentes composantes d'un réseau de distribution d'électricité, du producteur (panneaux) jusqu'à l'utilisateur final. Aucune formation ou certification officielle n'est requise. Une connaissance théorique des systèmes électriques, des courants alternatif et continu, de même que des diverses composantes d'un système PV est essentielle. Les concepteurs de système doivent également connaître les exigences des codes de l'électricité en vigueur sur le territoire visé.

Les principaux employeurs des concepteurs de système sont les distributeurs de systèmes PV, de même que des entreprises privées (habituellement des firmes d'ingénieurs, pour pouvoir soumettre des dessins techniques) qui fournissent des services de conception de systèmes PV (et parfois d'autres technologies de production d'énergie renouvelable).

4.1.3 Installateurs, inspecteurs et personnel d'entretien

Il existe cinq grandes catégories de professionnels qui travaillent sur le terrain.

- **Installateurs de systèmes.** Les installateurs de systèmes PV peuvent posséder des connaissances similaires à celles des concepteurs; ils doivent cependant avoir des aptitudes pour le travail pratique sur le terrain, pas seulement des connaissances théoriques. Comme c'est le cas pour les concepteurs, les installateurs n'ont besoin d'aucune certification officielle. Ce sont généralement des gens de métier qui ont une formation d'électricien, la majorité du travail (à l'exception de l'installation des panneaux et du système de fixation sur les toits ou les murs) comportant l'utilisation de composantes électrique et des connexions électriques. Pour être reconnu comme installateur de système PV, il faut avoir suivi une formation sur les courants alternatif et continu, et connaître le fonctionnement des onduleurs, des contrôleurs de charge, des piles, des appareils de mesure et d'affichage, et des génératrices. Les installateurs doivent également connaître les exigences des codes de l'électricité en vigueur sur le territoire visé.

- **Personnel d'entretien.** Le personnel qui s'occupe du service après-vente/installation fournit généralement un soutien technique relativement à l'équipement PV et à l'ensemble des systèmes. Les exigences qui s'appliquent au personnel d'entretien sont les mêmes que celles qui s'appliquent aux installateurs de systèmes PV, auxquelles on ajoute la capacité de résoudre les problèmes.
- **Spécialistes des ventes techniques.** Il s'agit généralement de technologues ou d'ingénieurs qui possèdent une certaine formation en vente. Les spécialistes des ventes techniques doivent très bien connaître l'équipement qu'ils vendent - panneaux PV, onduleurs, contrôleurs de charge, piles et autres CIF. Ces technologues et techniciens doivent également avoir une formation dans le domaine de l'électricité et bien connaître les diverses composantes d'un système PV pour pouvoir régler les problèmes techniques et remplacer l'équipement défectueux. Une entreprise peut ne pas s'occuper de l'ensemble du système, mais il faut quand même en connaître les composantes, la fonction et l'utilisation pour être en mesure d'aider les clients à choisir le bon matériel, et parfois même créer un premier système évolué.
- **Personnel des secteurs des ressources humaines et de l'administration.** Le personnel des secteurs des ressources humaines et de l'administration n'a besoin d'aucune formation relative aux systèmes PV; il est cependant utile de posséder des connaissances générales sur ces systèmes et leurs composantes, afin de limiter la formation en cours d'emploi. Ces connaissances générales peuvent servir dans l'accomplissement de diverses tâches, comme l'acheminement des appels et des questions à la bonne personne, la présélection des candidats à des postes, la tenue de registres des pièces et la préparation de contrats.
- **Inspecteurs.** Les inspecteurs n'ont pas besoin d'une certification particulière, mais ils doivent très bien connaître les codes et les normes, afin de s'assurer que les installations sont conformes. Les inspecteurs peuvent donc avoir fait des études dans divers domaines; cela étant, il faut généralement un diplôme dans un domaine technique pour comprendre l'équipement et pouvoir trouver façon d'assurer la conformité.

Les entreprises de distribution de systèmes PV, les entreprises qui offrent des services d'installation ou celles qui se spécialisent dans l'installation des systèmes PV sont les principaux employeurs des installateurs.

Les inspecteurs travaillent surtout pour des municipalités ou des entreprises qui offrent leurs services aux municipalités.

Les emplois de spécialistes des ventes se trouvent surtout dans les entreprises qui vendent des pièces de systèmes PV, que ce soit des panneaux, des installations de stockage ou du matériel de protection de l'approvisionnement en électricité.

Tous les employeurs ont besoin de personnel dans les secteurs des ressources humaines et de l'administration.

4.2 Systèmes éoliens

Le secteur de l'énergie éolienne est un secteur multidisciplinaire qui emploie des ingénieurs spécialisés dans divers domaines et d'autres spécialistes possédant des compétences variées. Par ailleurs, comme les activités dans ce secteur sont de nature internationale, la connaissance d'une autre langue est particulièrement utile.

Pour de nombreux emplois, on n'exige pas de diplôme ou de compétences spécifiques au secteur éolien, mais pour d'autres, il faut une formation particulière. Dans la majorité de ces cas, on exige un diplôme d'études collégiales ou universitaires et une spécialisation dans le domaine de l'énergie éolienne.

- **Évaluation des ressources et prévisions.** Les spécialistes de l'évaluation des ressources éoliennes conçoivent, préparent, installent et exploitent des systèmes de collecte de données sur la vitesse et la direction du vent (à différentes hauteurs), la température et le taux d'humidité, afin de prévoir le rendement énergétique du vent; ces données sont ensuite utilisées pour déterminer la disposition des turbines et le type de turbines à installer. Ils utilisent un logiciel spécialisé et rédigent des rapports incluant les principaux résultats de leur évaluation.
- **Évaluation des incidences environnementales.** Ce genre d'évaluation fait partie du processus de délivrance de permis d'exploitation d'un parc d'éoliennes. Les spécialistes de l'évaluation des incidences environnementales doivent avoir des connaissances dans divers domaines : faune (notamment la faune aviaire et les chauves-souris), bruit, perturbation du paysage, effet stroboscopique, interférence avec les systèmes de télécommunications, questions de nature archéologique et questions de sécurité. Leur travail consiste à déterminer les effets concrets de l'installation d'éoliennes dans un endroit donné, afin d'éviter ou de minimiser ces effets, et remplir les rapports voulus. De manière générale, les titulaires de ces postes doivent détenir un baccalauréat; dans certains cas, un diplôme de technicien suffit.
- **Conception (ingénierie et approvisionnement).** Le spécialiste de la conception dans le secteur de l'énergie éolienne détermine la meilleure conception de turbine et la meilleure disposition des installations de manière à exploiter au maximum les caractéristiques du vent et à maximiser la production d'énergie. Le professionnel de l'approvisionnement et de l'ingénierie est le principal responsable de l'achat et de la gestion de la livraison des principaux équipements, plus particulièrement les principales composantes des éoliennes. Il doit : cibler les principaux fabricants pour faciliter la mise en œuvre des plans d'activité à long terme; faire des évaluations du coût total de possession; gérer des contrats d'approvisionnement complexes et volumineux; veiller à la livraison en temps opportun de l'équipement sur le terrain. Les titulaires de ce type de poste doivent détenir un diplôme d'études collégiales en ingénierie.
- **Installation.** On peut classer les installateurs d'éoliennes en deux groupes. Les installateurs d'éoliennes de très grande taille; ce sont eux qui construisent et érigent les tours qui supporteront ces éoliennes. Ces postes doivent donc être occupés par des personnes qualifiées qui possèdent une expérience ou ont fait des études dans le domaine de la construction, étant donné qu'il faut faire appel

aux techniques de génie civil et utiliser de l'équipement lourd comme des grues, des chargeurs, des compacteurs, etc. Dans le domaine de la construction de parc d'éoliennes, les postes sont variés et les études nécessaires dépendent de l'activité. Pour ce qui est de l'installation de petites éoliennes, il faut des aptitudes de base au travail manuel, ainsi qu'une bonne connaissance des connexions électriques et de l'installation de matériel électrique.

- **Exploitation et entretien.** Les postes liés à l'exploitation et à l'entretien dans le secteur de l'énergie éolienne nécessitent une certaine spécialisation, les personnes qui les occupent étant chargées de veiller au rendement optimal du parc d'éoliennes, de même qu'au bon fonctionnement des éoliennes. Les opérateurs sont formés pour détecter et éviter tout problème potentiel, et pour maximiser la production d'énergie. Ils sont également en mesure de réagir en cas d'urgence durant l'exploitation du parc. Les postes dans le domaine de l'entretien sont également occupés par des techniciens spécialisés, qui doivent très bien connaître le fonctionnement des éoliennes pour pouvoir en faire l'entretien périodique. Les techniciens ont généralement suivi une formation offerte dans les collèges communautaires ou par les promoteurs.
- **Spécialistes des ventes techniques.** Les spécialistes des ventes de systèmes d'éoliennes doivent avoir tous les outils nécessaires pour faire une démonstration du produit aux acheteurs et promoteurs potentiels; ils doivent entre autres posséder des connaissances techniques sur les caractéristiques et les capacités des éoliennes et de l'équipement auxiliaire. On recommande donc des études collégiales dans un domaine technique ou de l'expérience dans le secteur de l'énergie éolienne. Dans la majorité des cas, les vendeurs sont formés par le fabricant; ils connaîtront ainsi le produit pratiquement dans ses moindres détails.

Les spécialistes de la prévision de la production d'énergie éolienne et les spécialistes de l'évaluation des ressources travaillent souvent pour les firmes d'experts-conseils qui font des analyses de faisabilité sur les sites ciblés pour la réalisation d'importants projets de production d'énergie éolienne. Ces spécialistes sont également embauchés par des laboratoires nationaux, des universités et des administrations locales qui veulent connaître la disponibilité de la ressource dans des sites ou des régions donnés.

Certains concepteurs travaillent pour des firmes d'experts-conseils. Il en va de même pour les promoteurs, dont le travail consiste à déterminer la meilleure disposition pour maximiser la production énergétique à partir de la ressource locale.

Les installateurs sont généralement des spécialistes qualifiés; ils travaillent souvent pour de grandes entreprises ou des entrepreneurs en construction. Dans le cas des petites éoliennes, les installateurs sont souvent embauchés par de petites entreprises du secteur de l'énergie renouvelable ou bien ils sont travailleurs autonomes. Les spécialistes de l'entretien et les exploitants des éoliennes travaillent souvent pour des promoteurs.

4.3 Chauffe-eau solaires

Dans ce secteur précis, on recherche trois catégories de spécialistes :

- Spécialistes de la conception et de l'achat de systèmes
- Installateurs, inspecteurs et responsables de l'entretien
- Spécialistes des ventes techniques

4.3.1 Conception et achat de systèmes

Les concepteurs de systèmes intègrent les diverses composantes d'un système de chauffage de l'eau à l'énergie solaire et doivent avoir une connaissance technique de ces composantes, des impératifs et des particularités de leur conceptualisation, ainsi que de leur interaction. Ils doivent également veiller à ce que la conception d'un système soit conforme aux normes en vigueur. Les concepteurs de systèmes peuvent avoir une formation comme ingénieurs ou technologues en mécanique, étant donné que le travail consiste à concevoir des systèmes comportant des éléments de plomberie ainsi que des pièces électriques et électroniques. Une connaissance théorique des systèmes hydrauliques et thermiques est essentielle.

4.3.2 Installateurs, inspecteurs et personnel d'entretien

Il existe trois grandes catégories de professionnels qui travaillent sur le terrain.

- **Installateurs de systèmes.** L'installateur qualifié possède des aptitudes et des connaissances dans les domaines de la construction et de l'exploitation d'équipement et d'installations héliothermiques, et il a suivi une formation relative aux dangers connexes à ce secteur. Cette catégorie inclut l'installateur, le contremaître, le superviseur et/ou le gestionnaire de site.
- **Inspecteurs.** Les inspecteurs n'ont pas besoin d'une certification particulière, mais ils doivent très bien connaître des codes et les normes, afin de s'assurer que les installations sont conformes. Les inspecteurs peuvent donc avoir fait des études dans divers domaines; cela étant, il faut généralement un diplôme dans un domaine technique pour comprendre l'équipement et pouvoir trouver d'autres moyens de conformité.
- **Personnel d'entretien.** Le personnel qui s'occupe du service après-vente/installation fournit généralement un soutien technique relativement à l'équipement de chauffage de l'eau à l'énergie solaire et à l'ensemble des systèmes. Les exigences qui s'appliquent au personnel d'entretien sont les mêmes que celles qui s'appliquent aux installateurs, auxquelles on ajoute la capacité de résoudre les problèmes.

4.3.3 Spécialistes des ventes techniques.

- Il s'agit généralement de technologues ou d'ingénieurs qui possèdent une certaine formation en vente. Les spécialistes des ventes techniques doivent avoir d'excellentes connaissances au sujet de l'équipement qu'ils vendent et de l'intégration des différentes composantes.

Les concepteurs de systèmes travaillent généralement pour les distributeurs ou pour des entreprises privées qui fournissent des services de conception de systèmes.

Les installateurs trouvent généralement de l'emploi au sein des entreprises de distribution de chauffe-eau solaires qui offrent des services d'installation, ou au sein

d'entreprises d'installation de systèmes. Certains sont également travailleurs autonomes.

Les inspecteurs, quant à eux, travaillent généralement pour une municipalité, des promoteurs immobiliers ou des entreprises qui fournissent des services aux municipalités et aux promoteurs.

Les spécialistes des ventes techniques trouveront de l'emploi au sein des entreprises qui vendent des chauffe-eau solaires.

Toutes ces catégories d'employeurs ont également besoin de personnel dans les domaines des ressources humaines et de l'administration.

Références

1. REN21. *Renewables 2007 Global Status Report*, 2008.
2. Global Insight. *Current and Potential Green Jobs in the US Economy*, 2008, Lexington, MA, p. 41.
3. The Delphi Group. *Analyse situationnelle du secteur des énergies renouvelables au Canada, sous l'angle des ressources humaines*, 2007, p. 120.
4. PNUÉ. *Green Jobs: Towards decent work in a sustainable, low-carbon world. Policy messages and main findings for decision makers*, 2008, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Nairobi, Kenya, p. 36.
5. Pollin, R. et coll. *Green Recovery. A Program to Create Good Jobs and Start Building a Low-Carbon Economy*, 2008, Center for American Progress, p. 42.
6. ACORE. *Overview. Renewable Energy Provisions. American Recovery and Reinvestment Act of 2009*, 2009.
7. 39^e LÉGISLATURE DE L'ONTARIO. *Loi de 2009 sur l'énergie verte*, 2009, Assemblée législative de l'Ontario.
8. Kammen, D.M., K. Kapadia et M. Frupp. *Putting Renewables to Work: How Many Jobs Can the Clean Energy Industry Generate?*, 2004, University of California, Berkeley.
9. Trevor Houser, S. Mohan et R. Heilmayr. *A Green Global Recovery? Assessing US Economic Stimulus and the Prospects for International Coordination*, 2009, p. 21.
10. Roger H. Bezdec. *Renewable Energy, efficiency Creates Jobs for U.S. and Colorado*. solartoday.org, 2009 (mars 2009).
11. Kamenetz, A. *Ten Best Green Jobs for the Next Decade 2009* [cité le 8 mars 2009].
12. Weissman, J.M. et K. Laflin. *TRENDS IN PRACTITIONER TRAINING FOR THE RENEWABLE ENERGY TRADES*, dans *35th ASES Annual Conference*, 2006, Denver, Colorado, p. 5.
13. Hendricks, B. *Wired for Progress. Building a National Clean-Energy Smart Grid*, Center for American Progress, Editor, 2009, p. 66.
14. DSIRE. *Contractor Licensing Requirements for Renewable Energy*, 2009 [Disponible à l'adresse : <http://dsireusa.org/library/includes/type.cfm?Type=License&Back=regtab&CurrentPageID=7&EE=1&RE=1&Search=TableType>].
15. NABCEP. *North American Board of Certified Energy Practitioners*, 2009 [cité le 8 mars 2009], disponible à l'adresse : <http://www.nabcep.org/>.
16. NABCEP. *Small Wind Certification Comes to NABCEP*, 2009 [cité le 8 mars 2009], disponible à l'adresse : <http://www.nabcep.org/news/small-wind-certification-comes-to-nabcep>.
17. CONOCER. *Norma Técnica de Competencia Laboral para Instalación del sistema de calentamiento solar de agua*, CONOCER, Editor, 2009, *Diario Oficial de la Federación*, p. 13.
18. IREC. *Renewable Energy Training Catalog*, 2009 [cité le 8 mars 2009], disponible à l'adresse : <http://www.irecusa.org/trainingCatalog/>.
19. IREC. *What is IREC?* 2009 [cité le 8 mars 2009].
20. 110th Congress. *ENERGY INDEPENDENCE AND SECURITY ACT OF 2007*, Public Law 110-140, 2007 [cité le 8 mars 2009], disponible à l'adresse :

- http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=110_cong_public_laws&docid=f:publ140.110.
21. EEI, *Title X – Green Jobs*, E.E. Institute, Editor, 2008, Edison Electric Institute, p. 3.
 22. Green Jobs. *About Greenjobs*, 2009 [cité le 8 mars 2009], disponible à l'adresse : http://www.greenjobs.com/Public/Info/about_us.aspx.
 23. Association, A.W.E. *AWEA Education Working Group*, 2009 [cité le 8 mars 2009], disponible à l'adresse : <http://www.awea.org/education/workinggroup/goals.html>.
 24. World, R.e. *Photovoltaic systems*. [cité en décembre 2008] disponible à l'adresse : <http://www.renewableenergyworld.com/rea/tech/solarpv>.
 25. CEC. *A GUIDE TO PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEM DESIGN AND INSTALLATION*, California Energy Commission, Sacramento, Californie.
 26. Wikipedia. *Wind power*, 2009 [cité en mars 2009], disponible à l'adresse : http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power.
 27. Clarke, S. *Electricity Generation Using Small Wind Turbines At Your Home Or Farm*, 2009 [cité en mars 2009], disponible à l'adresse : <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/03-047.htm>.
 28. Karnitz, A. *Solar Water Heating System*, Requirements for Engineering, 115, 2002 [cité en décembre 2008], disponible à l'adresse : <http://www.humboldt.edu/~ccat/solarheating/hotwaterheating/andySP2002/swh.html>.
 29. Jakeway, P. *Exploiting the opportunities for solar hot water*, MBS, août 2007, disponible à l'adresse : http://www.modbs.co.uk/news/fullstory.php/aid/3680/Exploiting_the_opportunities__for_solar_hot_water.html.
 30. DOE. *Solar Water Heating System Maintenance and Repair*, 2009 [cité en février 2009], disponible à l'adresse : http://apps1.eere.energy.gov/consumer/your_home/water_heating/index.cfm/mytopic=12950.

