

2014

Les défis des emplois verts de l'industrie du photovoltaïque au Québec

Bouchra Bakhiyi
Université de Montréal

Joseph Zayed
Université de Montréal, IRSST

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Bakhiyi, B. et Zayed, J. (2014). *Les défis des emplois verts de l'industrie du photovoltaïque au Québec* (Rapport n° R-817). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

É

Projets spéciaux

Études et recherches

RAPPORT R-817



Les défis des emplois verts de l'industrie du photovoltaïque au Québec

*Bouchra Bakhiyi
Joseph Zayed*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : www.csst.qc.ca/AbonnementPAT

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2014
ISBN : 978-2-89631-723-3 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
mai 2014



Projets spéciaux

Études et recherches

■ RAPPORT R-817

Les défis des emplois verts de l'industrie du photovoltaïque au Québec

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Bouchra Bakhiyi¹, Joseph Zayed^{1,2}

*¹Département de santé environnementale et santé au travail,
Université de Montréal*

²Direction scientifique, IRSST



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du photovoltaïque ayant accepté de participer à cette recherche en répondant aux questionnaires d'enquête. Les auteurs désirent également remercier Mme Chantal Bellefeuille de la Direction scientifique de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) pour son aide et son travail minutieux pour la relecture ainsi que pour l'organisation matérielle et la mise en page du rapport.

SOMMAIRE

L'industrie du photovoltaïque (PV), pourvoyeuse d'électricité solaire à faible empreinte écologique, est un secteur d'activité en pleine croissance ayant généré quelque 220 000 emplois verts dans le monde en 2010, avec une projection de près de 2 000 000 à l'horizon 2020. L'industrie du photovoltaïque fait face néanmoins à des risques potentiels pour la santé et la sécurité des travailleurs et ce, tout le long du cycle de vie des systèmes photovoltaïques. L'objectif général de cette recherche était de dresser un portrait de l'industrie du PV au Québec. Elle visait plus précisément à : 1) réaliser le bilan de la revue de la littérature; 2) identifier les substances chimiques auxquelles sont exposés les travailleurs tout en documentant leurs risques potentiels; 3) déterminer les procédés de fabrication et d'exploitation problématiques en matière de santé et de sécurité; 4) identifier les entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du photovoltaïque; 5) estimer le nombre d'emplois directs et indirects qu'elle génère; 6) définir les besoins en recherche dans le domaine de la santé et de la sécurité des travailleurs.

La méthodologie comportait une revue de la littérature dans les bases de données scientifiques et de littérature grise, l'identification des entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV et enfin, le développement, la validation et l'application d'un questionnaire auprès de ces entreprises pour dresser le portrait de l'industrie au Québec.

Les résultats ont permis de mettre en évidence l'exposition des travailleurs du secteur de la fabrication et du recyclage de composants photovoltaïques à de nombreuses substances chimiques potentiellement toxiques et à des substances potentiellement dangereuses à propriétés corrosives et explosives, notamment le cadmium, l'arsenic, le silane et l'indium. Les travailleurs du secteur de l'exploitation, notamment ceux œuvrant dans l'installation de systèmes photovoltaïques, sont, quant à eux, exposés à des problématiques en matière de sécurité relatives aux chutes de hauteur, à l'électrocution, aux blessures et lacérations, ainsi qu'aux incendies.

L'enquête menée en 2012 auprès des entreprises québécoises a permis de recenser 163 entreprises québécoises actives dans le photovoltaïque : quatre dans le secteur de l'extraction et de la fabrication et 159 dans le secteur de l'installation et de la distribution de systèmes PV et de ses composantes. Près de la moitié des entreprises ayant participé à l'enquête étaient actives dans le secteur du PV depuis plus de cinq ans et aucun accident de travail n'a été signalé. Les données obtenues permettent d'estimer le nombre de travailleurs dans le domaine du PV à environ 1300. Même si l'avenir de l'industrie du PV demeure largement tributaire des politiques énergétiques et des mesures incitatives mises de l'avant par les gouvernements de même que de la conjoncture économique, le nombre de travailleurs devrait occuper une place plus importante dans le paysage énergétique au Québec.

Cette étude est une première au Québec. Elle constitue un apport important à l'avancement des connaissances tant scientifiques qu'organisationnelles relatives à l'impact de la production et de l'implantation de l'énergie photovoltaïque sur la santé et la sécurité du travail. Dans une perspective de croissance potentielle de ce secteur, et corollairement du nombre de travailleurs concernés, plusieurs enjeux et pistes de recherche dégagés dans cette étude mériteraient d'être approfondis.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
SOMMAIRE.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	ix
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 Contexte global.....	1
1.2 L'industrie du photovoltaïque au Québec.....	1
1.3 Problématique en santé et en sécurité du travail.....	2
1.4 Objectifs.....	3
2. MÉTHODOLOGIE.....	5
2.1 Revue de la littérature.....	5
2.1.1 Revue de la littérature scientifique.....	5
2.1.2 Autres sources de données.....	5
2.2 Identification des entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV.....	6
2.3 Enquête menée auprès des entreprises québécoises.....	6
2.3.1 Élaboration des questionnaires.....	7
2.3.2 Validation des questionnaires.....	7
2.3.3 Critères de sélection des entreprises actives et collecte des données.....	9
3. RÉSULTATS.....	11
3.1 Synthèse des connaissances.....	11
3.1.1 Typologie des emplois de l'industrie du PV.....	11
3.1.2 Risques en santé et en sécurité du travail associés à l'industrie du photovoltaïque.....	12
3.2 Résultat de l'enquête menée auprès des entreprises québécoises du PV.....	24
3.2.1 Renseignements généraux.....	24
3.2.2 Renseignements spécifiques.....	25
3.2.3 Volet santé et sécurité du travail.....	28

4.	DISCUSSION.....	31
4.1	Perspective du photovoltaïque au Québec.....	31
4.2	Difficultés méthodologiques.....	32
4.3	Besoin prioritaire en formation.....	33
4.4	Besoins prioritaires en recherche.....	33
5.	CONCLUSION.....	37
	BIBLIOGRAPHIE.....	39
	ANNEXE A : QUESTIONNAIRE DESTINÉ AUX ENTREPRISES ACTIVES DANS LE SECTEUR DE L'EXTRACTION ET DE LA FABRICATION.....	55
	ANNEXE B : QUESTIONNAIRE DESTINÉ AUX ENTREPRISES ACTIVES DANS LE SECTEUR DU PHOTOVOLTAÏQUE.....	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Thématiques et sous-objectifs abordés par les deux questionnaires d'enquête menée auprès de deux types d'entreprises actives dans le secteur du photovoltaïque.....	8
Tableau 2	Compétences et types de métiers associés à l'industrie du photovoltaïque	11
Tableau 3	Synthèse des principales substances chimiques potentiellement toxiques associées à l'industrie du photovoltaïque selon la nature du potentiel toxique, le type d'industrie concernée, l'application et la source d'exposition potentielle..	15
Tableau 4	Substances associées à l'industrie du photovoltaïque pouvant porter atteinte à la sécurité des travailleurs selon le type d'industrie et leur application	21
Tableau 5	Synthèse des principaux risques physiques associés à la phase d'exploitation des panneaux photovoltaïques (installation/désinstallation, entretien/maintenance).....	23
Tableau 6	Nombre de travailleurs dans les entreprises québécoises du photovoltaïque en 2012 ayant participé à l'enquête	28
Tableau 7	Matériaux manipulés, utilisés ou générés par les entreprises lors de l'extraction et de la fabrication liées au secteur du photovoltaïque.	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Schéma synthétisant les principales étapes relatives aux phases du cycle de vie de l'industrie du photovoltaïque du silicium cristallin et de celle des couches minces	13
Figure 2	Nombre d'années d'activité dans le secteur du photovoltaïque des entreprises québécoises	25
Figure 3	Types de systèmes photovoltaïques installés par les entreprises québécoises au cours des douze mois de 2012.....	26
Figure 4	Ensemble des travaux ayant été effectués lors de l'installation de systèmes PV au cours des douze mois de 2012 et pourcentage des entreprises y ayant contribué	27
Figure 5	Autres travaux ayant été effectués durant l'exploitation et en fin de vie de systèmes photovoltaïques et pourcentage des entreprises les ayant réalisés	28

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte global

L'industrie du photovoltaïque (PV), comme celle des énergies renouvelables, génère, tout au long de son cycle de vie, un ensemble d'activités professionnelles directes et indirectes se répartissant entre les différentes phases de production (extraction de matériaux, fabrication des matières premières, production de cellules solaires, assemblage de modules et de panneaux), de commercialisation (conception, transport et installation), d'exploitation (entretien et maintenance), de désinstallation, de récupération des déchets et enfin de recyclage tant des panneaux solaires que des batteries de stockage (IREC, 2008; CSE, 2009; PVemployment, 2009).

Plusieurs générations de cellules PV sont actuellement commercialisées, dont celle à base de silicium cristallin de première génération qui occupe plus de 50 % du marché. Les cellules en couches minces de deuxième et de troisième générations, faisant appel notamment à la nanotechnologie, prennent également de l'importance et impliquent l'utilisation des matériaux de type tellure de cadmium, sulfure de cadmium, di-séléniure de cuivre indium ainsi que du cuivre, de l'indium, du gallium et du di-séléniure (EPIA/GREENPEACE, 2011; Rahman, 2011).

Les systèmes PV étant associés à la production d'une énergie à faible empreinte écologique, les emplois de ce secteur d'activité sont classés « verts » selon la définition du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE, 2008). Le secteur a employé plus de 220 000 travailleurs dans le monde en 2010 et des estimations annoncent qu'il générera plus de 800 000 emplois en 2015 et près de 2 000 000 en 2020 (EPIA/Greenpeace, 2008 et 2011).

1.2 L'industrie du photovoltaïque au Québec

Au Québec, l'industrie du PV occupe actuellement une place émergente dans le paysage énergétique. À cet effet, le gouvernement du Québec a adopté des dispositions visant à soutenir cette industrie dans sa dernière stratégie énergétique *L'énergie pour construire le Québec de demain – La stratégie énergétique du Québec 2006-2015* (MRNF, 2006). De plus, un contexte local favorable du fait d'un taux d'ensoleillement satisfaisant ainsi que des applications futures pertinentes dans le domaine du bâtiment laissent présager une croissance significative de l'énergie PV au Québec (Funk, 2010; Bastien et Athienitis, 2011).

Plusieurs entreprises ont d'ailleurs investi dans ce secteur et emploient un nombre de travailleurs répartis notamment entre :

- deux mines d'extraction de la silice dédiée spécifiquement à l'énergie photovoltaïque¹;
- une usine de grande envergure de fabrication de silicium grade solaire (Timminco, 2008);
- une unité de fabrication et de recyclage de matériaux purs (tellure, cadmium, sélénium) et de sels dérivés (tellure de cadmium et sulfure de cadmium notamment), essentiellement sous

¹ Information tirée d'une communication avec le ministère des Ressources Naturelles et de la Faune en date du 1^{er} novembre 2011.

forme de nanoparticules destinées à l'élaboration de cellules en couches minces (5N Plus, 2013);

- environ 300 petites entreprises de conception, d'installation, d'entretien et de maintenance des panneaux solaires selon l'annuaire professionnel;
- de façon résiduelle et marginale deux usines de récupération et de recyclage des batteries acide-plomb; usines qui ne se consacrent pas principalement à l'énergie photovoltaïque (Exid Technologies, 2013; Newalta, 2013).

1.3 Problématique en santé et en sécurité du travail

Bien qu'ayant pour ambition de générer une électricité « propre », l'industrie du PV fait face à des risques potentiels en matière de santé et de sécurité des travailleurs, et ce, durant les différentes phases de production, d'exploitation et de fin de vie des systèmes (DHHS/NIOSH, 2011).

Les préoccupations d'ordre sanitaire et sécuritaire ont fait l'objet de nombreuses réflexions en Europe (Heijungs et coll. 2004) et aux États-Unis (SVTC, 2009). L'intégration en août 2012 des panneaux photovoltaïques à la directive européenne WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) illustre d'ailleurs la prise de conscience du potentiel toxique des déchets des systèmes PV désormais classés déchets électroniques (Eur-lex Europa, 2012). De plus, dès 2003, des cadres juridiques répondaient à ces préoccupations par l'implantation de la Directive RoHS (*Restriction Of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment*) qui a été renforcée en 2006 par l'adoption du règlement REACH (Règlement sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques). Le règlement REACH est entré en vigueur en Europe le 1^{er} juin 2007 afin de rehausser le niveau de protection en matière de santé humaine et d'environnement sans pour autant affecter les processus d'innovation dans l'industrie chimique européenne (Eur-lex Europa, 2006; Barboni et Giovannone, 2009). L'entreprise Canadian Solar Inc. a d'ailleurs reçu la certification REACH en mars 2011 (Canadian Solar, 2011). Cette entreprise est l'un des plus grands fabricants de panneaux solaires au monde.

De nombreuses réflexions et recommandations d'organismes tant nationaux qu'internationaux ont également porté sur la nécessité d'entreprendre des études pour brosser un portrait de l'évolution de l'industrie du PV en analysant attentivement tant les aspects de sécurité et les normes existantes dans les milieux de travail que l'émergence de risques potentiels pour la santé et la sécurité liés aux matériaux et aux procédés de fabrication, de récupération et de recyclage (ApolloAlliance/Green for All, 2008; PNUE, 2008; DHHS/NIOSH, 2011; Ellwood et coll. 2011).

Les risques potentiels pour la santé et la sécurité des travailleurs diffèrent selon les générations de cellules solaires et les différentes phases du cycle de vie, soient celles de production, de commercialisation et d'exploitation et enfin la phase de fin de vie des systèmes solaires.

1.4 Objectifs

L'objectif général de cette recherche est de dresser un portrait de l'industrie du PV au Québec et de circonscrire les points névralgiques du volet santé et sécurité des travailleurs (SST) en anticipant les risques potentiels liés aussi bien à l'exposition à des substances potentiellement toxiques qu'à des procédés de fabrication et d'exploitation problématiques en matière de sécurité.

De manière plus spécifique, cette recherche vise à :

- 1) réaliser le bilan de la revue de la littérature;
- 2) identifier les substances chimiques auxquelles sont exposés les travailleurs tout en documentant leurs risques potentiels;
- 3) déterminer les procédés de fabrication et d'exploitation problématiques en matière de sécurité;
- 4) identifier les entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV;
- 5) estimer le nombre d'emplois directs et indirects de cette industrie;
- 6) définir les besoins en recherche dans le domaine de la santé et de la sécurité des travailleurs.

2. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie comporte la réalisation d'une revue de la littérature, l'identification des entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV et enfin, l'estimation du nombre de travailleurs à partir d'une enquête menée auprès de ces entreprises.

2.1 Revue de la littérature

Afin d'identifier les substances chimiques auxquelles sont potentiellement exposés les travailleurs associés à l'industrie du PV ainsi que les procédés de fabrication et d'exploitation problématiques à l'égard de la sécurité, une revue systématique de la littérature basée sur les données bibliographiques publiées dans des revues internationales et dans des banques de données scientifiques et grises par le biais notamment de sites internet gouvernementaux, institutionnels, de groupements professionnels et d'entreprises privées a été réalisée. Les risques potentiels pour la santé et la sécurité des travailleurs ont été déterminés selon les générations de cellules solaires et les différentes phases du cycle de vie soit la production (à la fois de l'industrie du silicium cristallin et de celle des couches minces utilisant principalement l'indium, le sélénium et le tellure de cadmium), la phase de commercialisation et d'exploitation (installation, entretien et maintenance des panneaux solaires) et enfin la phase de fin de vie des systèmes solaires (désinstallation et recyclage des composants de systèmes PV).

2.1.1 Revue de la littérature scientifique

Les banques de données bibliographiques, principalement entre les années 2000 et 2012, ont été compulsées de façon systématique : Current Contents, Embase, Référence SST (INRS-Bibliographie, CISILO, NIOSHTIC, OSHLINE), IRIS EPA, Toxline et SciFinder Scholar. Comme les préoccupations spécifiques aux travailleurs du domaine de l'énergie photovoltaïque n'ont fait l'objet d'une attention soutenue que depuis les dix dernières années, nous avons concentré notre attention sur la littérature publiée au cours de cette période.

De nombreux mots-clés en français et en anglais ont été mis à contribution et plusieurs combinaisons ont été utilisées, notamment : photovoltaïque, panneaux, travailleurs, fabrication, installation, exposition, risques chimiques, risques physiques, silicium cristallin, cadmium*, tellure*, sélénium*, arsenic*, gallium*, indium*, germanium*², nanoparticules, acide fort, base forte, déchets électroniques, recyclage.

2.1.2 Autres sources de données

De nombreux sites gouvernementaux et institutionnels ont également été visités. Il s'agit notamment de ceux de l'US Environmental Protection Agency (US EPA), de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), de l'International Agency for Research on Cancer (IARC), de l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), de la Commission électrotechnique internationale (CEI),

² L'astérisque qui suit les substances chimiques indique que la recherche a concerné la substance indiquée ainsi que ses dérivés tels qu'exploités par l'industrie du PV (par exemple: sulfure de cadmium pour cadmium, tellure de cadmium pour cadmium et tellure, arsénure de gallium pour arsenic et gallium)

du National Health Service (NHS), du Center for Disease Control (CDC), de Santé Canada (SC), d'Environnement Canada (EC), de Ressources naturelles Canada (RNC), du Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST), de l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA), du National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), du National Photovoltaic Environmental Research Center (Brookhaven National Laboratory), du Conseil de l'Union européenne (CUE - REACH), de l'European Agency for Safety and Health at Work (OSHA-EUROPA), de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), de l'Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement (IBGE) et de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).

Des sites internet de groupements professionnels œuvrant dans l'industrie du PV ont également été ratisés afin d'élargir les informations sur les marchés du PV ainsi que sur les risques SST s'y rattachant, notamment l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics, l'Oregon Solar Energy Industries Association et l'Association Hespul. Certains sites internet d'entreprises privées associées à l'industrie du PV en particulier ou aux industries des énergies renouvelables en général ont également été visités afin d'affiner les détails relatifs aux procédures d'extraction, de fabrication et d'exploitation, notamment 5N Plus, Green Rhino Energy et Soluxtec.

2.2 Identification des entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV

Afin d'identifier les entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV et de permettre l'élaboration d'un répertoire valide portant le nom de l'entreprise, ses coordonnées ainsi que la personne ressource, de nombreux sites électroniques comme ceux du Centre de Recherche Industrielles du Québec, de l'Association Québécoise des Énergies Renouvelables, d'Enviro-accès, de l'Association Canadienne de l'Énergie Solaire ont été explorés.

La consultation du Répertoire québécois des énergies renouvelables (Énergie Solaire Québec, 2011-2012) et de nombreuses communications avec le ministère des Ressources naturelles (MRN), le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE), d'Industrie Canada, des Ressources humaines et Développement des compétences Canada, le CanmetENERGY de Ressources naturelles Canada, ainsi que la Corporation des maîtres électriciens du Québec (CMEQ) se sont également avérées nécessaires.

2.3 Enquête menée auprès des entreprises québécoises

Après avoir parcouru les divers sites potentiels pouvant fournir des données sur le sujet, le Groupe connaissance et surveillance statistiques de l'IRSST, spécialisé notamment dans les méthodes de recensement, a conclu que la seule façon d'obtenir des données fiables sur le nombre de travailleurs dans l'industrie du PV était de procéder par une enquête auprès de toutes les entreprises.

Celle-ci a été réalisée par le biais de questionnaires transmis à chaque entreprise québécoise de l'industrie du PV. Une telle enquête apparaissait innovante puisqu'aucune étude de ce genre

n'avait été menée à ce jour et qu'elle permettait de dresser un portrait de l'industrie du PV au Québec en appréciant le profil général de ce secteur d'activité.

2.3.1 Élaboration des questionnaires

Initialement, un unique questionnaire a été conçu, mais l'idée de deux questionnaires d'enquête s'est par la suite imposée par souci de clarté et dans l'optique de s'adresser spécifiquement aux :

- entreprises actives dans le marché de l'extraction ou de la fabrication liées au secteur du PV (Annexe A);
- entreprises actives dans le marché de l'installation des systèmes PV (Annexe B).

Les deux questionnaires, dont la portée temporelle est limitée à l'année 2012, étaient composés de trois parties et comportaient des thématiques différentes totalisant entre 14 et 22 questions selon le marché principal de l'entreprise :

- a) la première partie, descriptive et commune aux deux questionnaires, était axée sur des renseignements généraux et comptait un total de cinq questions;
- b) la deuxième partie, également descriptive, s'attardait sur des renseignements plus spécifiques quant aux diverses activités de l'entreprise en lien avec le secteur du PV. Le contenu différait d'un questionnaire à l'autre en raison des spécificités du marché de l'extraction/fabrication (5 questions) et de celui de l'installation (13 questions);
- c) la troisième partie, se concentrait sur le volet santé et sécurité du travail en mettant l'accent sur le nombre de travailleurs et les catégories d'emplois ainsi que sur le nombre et les types d'accidents de travail survenus dans la filière PV de l'entreprise. Le contenu des questions, au nombre de quatre pour les deux questionnaires, différait sensiblement en ce qui a trait aux catégories d'emplois et à la diversité des substances chimiques associées à l'activité principale de l'entreprise.

Chaque questionnaire comportait un numéro d'identification individuel visant à assurer la confidentialité des données recueillies. Le Tableau 1 synthétise les thématiques principales abordées par les deux questionnaires et leurs sous-objectifs spécifiques selon le type d'entreprise.

2.3.2 Validation des questionnaires

Les questionnaires développés ont été validés en trois étapes impliquant la contribution de professionnels en santé et sécurité du travail, du Groupe connaissance et surveillance statistiques de l'IRSSST ainsi que du Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES) de l'Université de Montréal. Les questionnaires validés sont présentés en annexes A et B.

Étape 1 : Professionnels en santé et en sécurité du travail

Comme indiqué précédemment, un questionnaire unique avait initialement été élaboré pour réaliser l'enquête auprès des entreprises de PV. L'ossature, la sélection des questions, leur ordonnancement, le choix des termes ainsi que des substances chimiques potentiellement toxiques et/ou dangereuses associées à l'industrie du PV ont ensuite été perfectionnés à la lumière des recommandations de deux hygiénistes du travail et d'un expert en sécurité du travail.

Tableau 1 – Thématiques et sous-objectifs abordés par les deux questionnaires d'enquête menée auprès de deux types d'entreprises actives dans le secteur du photovoltaïque

Thématiques	Sous-objectifs associés au questionnaire destiné aux fabricants et extracteurs	Sous-objectifs associés au questionnaire destiné aux installateurs de systèmes PV
Renseignements généraux	Connaître l'historique de l'entreprise et la durée de son implication dans le secteur du photovoltaïque.	<i>Idem.</i>
Renseignements spécifiques	Connaître les caractéristiques propres au marché de la production (extraction de matériaux bruts ou production de matériaux de base, recyclage, etc.).	Connaître les caractéristiques propres au marché de l'installation (type de systèmes PV installés et modalités d'installation, entretien et maintenance, recyclage, etc.).
	Connaître les types d'activités spécifiques liées à ce marché (conditions de manipulation, travaux de soudure, usage de four, etc.).	Connaître les types de travaux préparatoires et de pose effectués lors de l'installation des systèmes photovoltaïques (supports de montage en hauteur, enlèvement de revêtement de construction, raccordement au réseau électrique public, etc.).
		Obtenir les informations relatives aux activités de collecte et de recyclage des systèmes photovoltaïques.
Volet santé et sécurité du travail	Connaître le nombre et la catégorie de travailleurs (conducteur de camion, ingénieur, technicien, etc.).	Connaître le nombre et la catégorie de travailleurs (électricien, grutier, ingénieur civil, etc.).
	Identifier ou confirmer les substances chimiques associées à l'activité photovoltaïque de l'entreprise (matériaux manipulés, utilisés et/ou générés).	Rapporter et décrire les accidents de travail (nombre de victimes et genre d'accidents) liés à l'activité (travaux de pose de panneaux, travaux de raccordement électrique, etc.).
	Rapporter et décrire les accidents de travail (nombre de victimes, tâches associées, nature des lésions, etc.) liés à la manipulation de produits chimiques ou à des tâches connexes.	Déterminer si l'entreprise s'informe de la présence d'amiante dans les éléments de construction avant l'installation de panneaux.

Étape 2 : Groupe connaissance et surveillance statistiques

En vue d'affiner les catégories d'emplois et de bonifier le volet santé et sécurité du travail en fonction des genres d'accidents et de la nature des lésions, deux professionnels du Groupe connaissance et surveillance statistiques de l'IRSST ont été sollicités. C'est au cours de cette consultation que l'idée de recourir à deux questionnaires spécifiques à chacune des activités principales des entreprises s'est imposée. En effet, il est apparu problématique de continuer sur la lancée d'un unique questionnaire vu les caractéristiques propres au marché de la production comparativement à celui de l'installation. De plus, la rubrique concernant les substances chimiques potentiellement toxiques et/ou dangereuses est associée essentiellement au marché de la production. Deux questionnaires ont donc été conçus.

Étape 3 : Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES) de l'Université de Montréal

La validation effectuée par le CERES, pour l'octroi d'un certificat d'éthique, a exigé quelques modifications du contenu de la lettre de sollicitation devant accompagner les questionnaires. Il fallait ainsi préciser que l'envoi du rapport final de la recherche aux entreprises participantes serait systématique et respecterait la confidentialité des données personnelles (d'entreprises). Les deux questionnaires n'ont, par contre, nécessité aucune modification.

De plus, le comité d'éthique a exigé la rédaction d'un script décrivant dans le détail le contenu de l'échange téléphonique lors de l'établissement d'un premier contact avec les entreprises et devant mentionner entre autres l'engagement du groupe de chercheurs de conserver toutes les données personnelles confidentielles. Ce script a été subséquemment approuvé. Il visait à établir un contact avant l'envoi des questionnaires aux entreprises, favorisant en cela un taux de réponse plus élevé.

2.3.3 Critères de sélection des entreprises actives et collecte des données

Comme précisé à la section 2.2, la liste des entreprises œuvrant dans l'industrie du PV a été établie. Concernant celles œuvrant dans l'installation de systèmes PV, seules les entreprises intervenant dans le secteur du bâtiment et qui disposaient de données en matière de risques pour la santé et la sécurité ont été retenues. Ont donc été exclues de l'étude les entreprises québécoises spécialisées dans l'installation de systèmes PV sur véhicules récréatifs.

Un premier contact téléphonique a d'abord été établi et lorsque l'entreprise répondait aux critères de sélection, elle était informée des objectifs de la recherche en suivant à la lettre le contenu du script téléphonique. Ce premier appel permettait également de valider l'adresse postale ou de correspondance ainsi que le nom de la personne ressource à laquelle envoyer le questionnaire.

Le questionnaire spécifique au marché principal de chacune des entreprises participantes leur a ensuite été envoyé accompagné d'une lettre de sollicitation personnalisée ainsi que d'une enveloppe de retour préaffranchie.

Après un délai de 15 à 25 jours, un deuxième contact téléphonique permettait de vérifier si les questionnaires avaient été remplis et retournés. Certaines entreprises ont demandé qu'on leur retourne le questionnaire, mais sous forme électronique. Un troisième rappel téléphonique a parfois été nécessaire à des fins de rappel.

3. RÉSULTATS

3.1 Synthèse des connaissances

3.1.1 Typologie des emplois de l'industrie du PV

Le long du cycle de vie de l'industrie du PV on retrouve deux catégories d'emplois :

- les emplois directs regroupant notamment les chercheurs, les concepteurs, les fabricants, les préposés à la vente et à la distribution, les installateurs, les préposés à l'entretien, à la maintenance et au recyclage des panneaux PV;
- les emplois indirects incluant notamment les extracteurs de matériaux bruts, les fabricants de connectiques, de câblage, de verre, de plastique, de polymères divers ou encore de miroirs et de lentilles, les fournisseurs de métaux industriels (aluminium, cuivre, zinc, etc.), les architectes, les financiers et investisseurs, etc. (IREC, 2008; CSE, 2009; PV employment, 2009; IRENA, 2011).

L'industrie du PV regroupe généralement des métiers traditionnels, notamment pour effectuer les travaux miniers et métallurgiques, et d'autres plus spécialisés en haute technologie pour la fabrication des cellules et leur assemblage en modules ainsi que celles des onduleurs. Seul le métier d'installateurs PV nécessite un profil extrêmement exigeant en termes de formation spécifique et requiert également une habilitation ou licence spéciale adaptée aux types de travaux à réaliser et aux nombreuses tâches critiques en matière de sécurité aussi bien en Europe (OPPBT, 2011), aux États-Unis (NABCEP, 2011), au Canada (CSA, 2012) qu'au Québec (Régie du bâtiment du Québec, 2013). Le Tableau 2 est une synthèse des principales compétences et métiers associés à l'industrie du PV à travers le monde excluant les départements administratifs et le réseau de distributeurs de composants électriques et électroniques PV.

Tableau 2 - Compétences et types de métiers associés à l'industrie du photovoltaïque

Compétences	Types de métiers
Extraction de matériaux bruts notamment le quartz, le zinc, le plomb et le cuivre	Ingénieur civil ou des mines, géologue, technicien en géologie et en minéralogie, dynamiteur, opérateur de machines, etc.
Transformation des matériaux	Ingénieur en génie métallurgique et en procédés de transformation, technicien et manœuvre en métallurgie, technicien de production, mécanicien d'usine, etc.
Fabrication des modules PV	Ingénieur chimiste et physicien, technicien de production, technicien en haute technologie et en technique traditionnelle d'assemblage de cellules/modules/panneaux et onduleurs, opérateur de four, électricien, vitrier, mécanicien, technicien de contrôle qualité, etc.
Fabrication des composants du "balance of system" ou BOS (batteries solaires, onduleurs, câbles, châssis aluminium, etc.)	Technicien en haute technologie pour l'assemblage et les essais des onduleurs; ingénieurs de fabrication pour la conception des procédés, Ingénieur en fabrication, technicien en travaux des métaux, etc.
Installation des systèmes PV	Ingénieur civil, électricien et électronicien travailleur en construction générale, électricien, soudeur, grutier, conducteur d'engins lourds, couvreur, charpentier, manœuvre, plombiers, etc.
Entretien et maintenance des systèmes PV	Opérateur d'entretien et maintenance.

Informations tirées de : IREC, 2008; CSE, 2009; PV employment, 2009; Canmet ENERGY, 2011; Hamilton, 2011; IRENA, 2011;

3.1.2 Risques en santé et en sécurité du travail associés à l'industrie du photovoltaïque

Si la majorité des emplois associés à l'industrie du PV ne sont pas nouveaux, les procédés technologiques impliquent, eux, de nouvelles conditions de travail et l'émergence probable de nouveaux risques pour la santé et la sécurité des travailleurs (ILO, 2011). La revue de la littérature révèle que ces risques sont susceptibles de se produire durant les trois grandes phases du cycle de vie de l'industrie du PV que sont la production, l'exploitation et la fin de vie des systèmes PV.

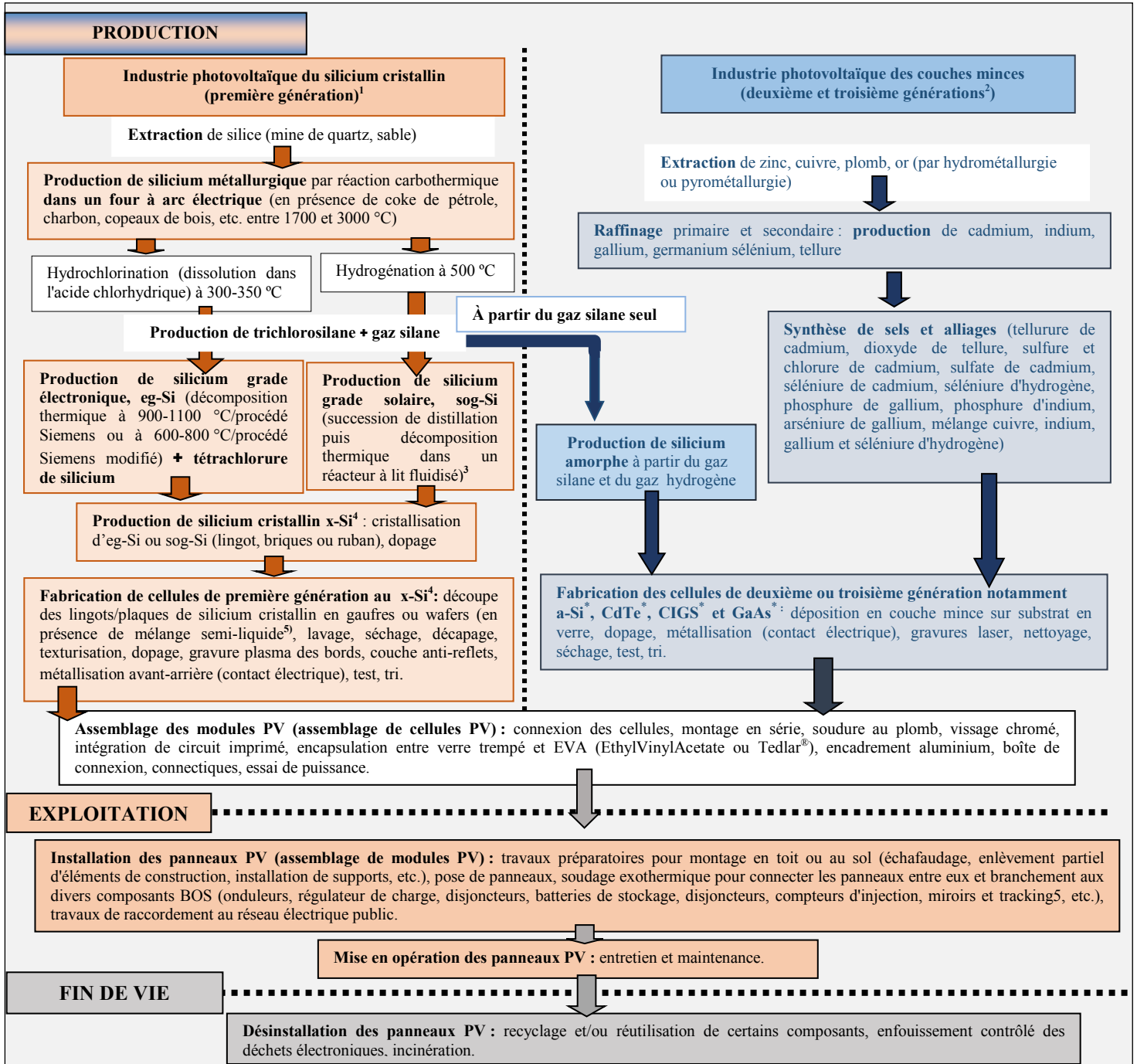
Chacune de ces phases est subdivisée en plusieurs étapes. Celles concernant la production de modules PV, tout particulièrement la fabrication des cellules PV, diffèrent selon les générations en raison des divers procédés de fabrication permettant ainsi de distinguer l'industrie du silicium cristallin de première génération et celle des couches minces de deuxième et troisième générations. La phase d'exploitation, commune aux générations PV, consiste en l'installation de panneaux PV sur toit ou au sol et leur connexion à d'autres composants pour assurer leur fonctionnalité tels l'onduleur (convertissant le courant continu en courant alternatif) et les batteries solaires (pour stocker l'énergie dans les cas de systèmes PV autonomes). La phase de fin de vie consiste en la désinstallation des panneaux PV, le recyclage et/ou la réutilisation et/ou l'enfouissement de certains composants.

La Figure 1 est un schéma synthèse des principales étapes relatives aux phases du cycle de vie de l'industrie du PV du silicium cristallin et de celle des couches minces. Les informations nécessaires à l'élaboration de la Figure 1 ont été tirées de : Fthenakis, 2004; Miquel, 2009; SVTC, 2009; IBGE, 2010a; Gerbinet, 2011; CanmetENERGY, 2012; Green Rhino Energy, 2012; Billard et coll. 2012; SCHL, 2013; 5N Plus, 2013.

Examen du volet sanitaire

De nombreuses substances chimiques potentiellement toxiques sont utilisées, générées ou manipulées par les travailleurs de l'industrie du PV, les exposant ainsi à de possibles risques chimiques. L'exposition potentielle peut principalement survenir à la suite de l'inhalation de ces substances sous forme de poussières, de fumées et/ou de vapeurs bien que l'ingestion, les contacts cutanés et oculaires soient également envisageables (Fthenakis et Moskowitz, 2000; EPRI, 2003; SVTC, 2009).

Les risques chimiques associés à la phase de production des modules PV peuvent différer selon les générations de cellules PV en raison de procédés de fabrication distincts. Certains matériaux demeurent généralement communs à cette phase, notamment les adjuvants (agents dopants pour l'amélioration de la conductivité, agents de revêtement, additifs pour câblage et connectiques ou encore additifs retardateurs de flamme) et les agents nettoyants. La plupart de ces substances sont par ailleurs régies par le programme de gestion des risques de l'*US EPA-Risk Management Program's* (USEPA-RMPs) (Fthenakis et coll. 2006).



¹ Description du procédé le plus courant d'obtention du silicium cristallin par voie chimique (il existe également la voie métallurgique).

² La troisième génération concerne essentiellement les cellules PV multijonctions à base d'arséniure de gallium.

³ La production de silicium grade solaire par la "route silane" est la voie chimique la plus utilisée après celle du procédé Siemens.

⁴ x-Si désigne le silicium cristallin qui se décline soit en monocristallin ou polycristallin à couches épaisses soit en ruban à couches minces.

⁵ le «mélange semi-liquide» est un mélange de composants abrasifs (alumine, carbure de silicium, carbure de gallium, soude, potasse, etc.).

* a-Si : silicium amorphe, CdTe : tellure de cadmium; CIS/CIGS : Cuivre, Indium, Sélénium, Gallium; GaAs : arséniure de gallium.

Figure 1 – Schéma synthétisant les principales étapes relatives aux phases du cycle de vie de l'industrie du photovoltaïque du silicium cristallin et de celle des couches minces.

Les risques chimiques sont également associés à la fabrication et au recyclage de composants annexés aux panneaux PV tels les onduleurs, les batteries solaires et les supports en aluminium. Les travailleurs affectés au recyclage des modules PV ne sont pas non plus à l'abri du danger en raison de leur exposition potentielle, notamment à des substances réputées cancérigènes contenues aussi bien dans les structures de supports que dans les cellules PV comme le plomb, l'arsenic, le cadmium ou encore le chrome hexavalent.

La manipulation des substances potentiellement toxiques ne présage que partiellement des risques sanitaires qui vont varier selon leurs propriétés toxicologiques et leur concentration dans les médias environnementaux. L'intensité, la fréquence et la durée d'exposition des travailleurs sont des paramètres fondamentaux, de même que les systèmes de ventilation, d'extraction des vapeurs toxiques et de détection ainsi que les mesures de protection individuelle (Fthenakis et Moskovitz, 2000; Fthenakis, 2003a et 2003b).

Le risque chimique associé à la phase d'installation de modules PV en panneaux PV est essentiellement lié à la présence possible d'amiante, un cancérigène avéré faisant partie du groupe 1 (IARC, 2012a) (Tableau 3), dans certains bâtiments résidentiels, commerciaux, agricoles ou industriels. Dans la plupart des installations, les panneaux sont, en effet, intégrés au bâti, ce qui implique le décollage de la couverture initiale (tuiles, plaques ondulées et autres panneaux de toiture et de façade) lors de l'installation et la remise en suspension atmosphérique potentielle de fibres d'amiante. Selon Beillevaire et Moussus (2011) et l'OPPBTP (2011), le risque associé à l'amiante lors de l'installation de panneaux PV est aggravé, notamment dans les cas suivants :

- absence d'étude sur l'éventualité de travaux de préparation et de désamiantage;
- incompatibilité entre les travaux de désamiantage et les activités du site d'installation des panneaux PV;
- carence en ce qui a trait à la qualité de la formation, de la protection individuelle et collective des travailleurs/intervenants;
- absence de plan de retrait, de filières d'élimination ou des mesures de nettoyage adéquates.

Le Tableau 3 est une synthèse des principales substances chimiques potentiellement toxiques associées à l'industrie du PV (cancérigène et/ou non cancérigène), le type d'industrie du PV concerné, leur application ainsi que la source d'exposition potentielle des travailleurs. Il faut toutefois noter que, de façon générale, l'information fournie dans ce volet sanitaire est essentiellement qualitative. La littérature demeure relativement très pauvre en études de terrain quantifiant l'exposition des travailleurs de l'industrie du PV. Une de celles-ci (Chen, 2007) a porté sur l'exposition au phosphore d'indium (InP), cancérigène du groupe 2A (IARC, 2006a), de travailleurs du secteur des semi-conducteurs à Taiwan. Rappelons que 20 % de la production de InP est réservée à la fabrication de cellules PV multijonctions au GaAs (IARC, 2006a). Ainsi, l'étude de Chen révèle des taux sanguins et urinaires d'indium supérieurs à ceux du personnel administratif non exposé. Il existe également une corrélation entre les concentrations auxquelles sont exposés les travailleurs et celles des liquides biologiques. Ces résultats mettent ainsi en évidence la réalité de l'exposition potentielle à l'InP dans le secteur du PV tout particulièrement, comme le mentionne Chen, en cas de systèmes de protection déficiente ou défaillant.

Tableau 3 - Synthèse des principales substances chimiques potentiellement toxiques associées à l'industrie du photovoltaïque selon la nature du potentiel toxique, le type d'industrie concernée, l'application et la source d'exposition potentielle

Substances chimiques	Potentiel toxique cancérigène : classement IARC ^a et organe(s)/tissu(s) cible(s)	Potentiel toxique non cancérigène : organe(s)/tissu(s) cible(s) et exemples de pathologies	Industrie du PV	Application	Source d'exposition potentielle (étapes de cycle de vie)
Acide fluorhydrique (fluorure d'hydrogène)		Peau (irritation); yeux (conjonctivite, kératite); poumon (bronchopathie chronique, pharyngite) (INRS, 2011a)	S ^b	Agent de gravure et nettoyant	Fabrication de cellules au x-Si*
Alumine		Poumon (fibrose) (Krewski et coll. 2007)	S	Concasseur et agent abrasif	- Production de poudre de silice par concassage du quartz et/ou de la silice dans broyeur à boulets d'alumine - Fabrication de cellules x-Si* (découpe des lingots de x-Si*)
Aluminium	La production d'aluminium est classée groupe 1 ^c (IARC, 2012b) <i>Poumon</i>	Poumon (fibrose) (Krewski et coll. 2007)	S/CM ^d	- Technique de métallisation face arrière (x-Si* et a-Si*) - Matériau de base pour certaines cellules multijonctions au GaAs* - Matériau de base pour châssis en aluminium de panneaux PV - Matériau de soudure (mêlé à l'oxyde de cuivre)	- Fabrication et recyclage de modules x-Si* et a-Si* (contact électrique) ainsi que certains types de panneaux au GaAs* - Fabrication et recyclage des châssis aluminium - Installation de panneaux PV : soudure exothermique pour assurer la continuité de masse électrique
Amiante	Groupe 1 <i>Poumon, Surfaces mésothéliales du poumon, Larynx, Pharynx, Ovaire</i> (IARC, 2012a)	Poumon (WHO, 1998)	S/CM	Matériau de construction (toiture, façade, etc.)	Installation de modules PV intégrés partiellement ou totalement au bâti (enlèvement partiel ou total d'éléments de construction amianté)
Argent		Peau (argyrisme) (Fiche IRIS EPA) ^e	S	Sérigraphie d'argent en face avant des cellules x-Si* (contact électrique)	Fabrication et recyclage de modules x-Si*
Arsenic et arséniure de gallium	Groupe 1 <i>Poumon, Peau, Vessie</i> (IARC, 2012c)	Peau (dermite et plaies); sang (anémie); nerfs (névrite sensitivo-motrice) (INRS, 2006a)	S/CM	Matériau de base pour cellules aux GaAs* et pour batterie plomb-acide	Fabrication et recyclage de modules au GaAs* et de batterie plomb-acide
Arsine (trihydrure d'arsenic)		Sang (anémie hémolytique chez le rat et le hamster) (INRS, 2000)	S/CM	Gaz dopant	Fabrication de cellules PV
Cadmium	Groupe 1 <i>Poumon, Prostate</i> (IARC, 2012d)	Poumon (emphysème); os (ostéomalacie); rein (tubulopathie proximale) (INRS, 1997)	CM	Matériaux de base pour cellules au CdTe*, CIS* ^f et CIGS* ^f	- Raffinage de zinc, cuivre ou plomb - Fabrication et recyclage de modules au CdTe* et CIS*/CIGS*

Substances chimiques	Potentiel toxique cancérogène : classement IARC ^a et organe(s)/tissu(s) cible(s)	Potentiel toxique non cancérogène : organe(s)/tissu(s) cible(s) et exemples de pathologies	Industrie du PV	Application	Source d'exposition potentielle (étapes de cycle de vie)
Chlore actif		Peau (acné chloré); poumon (bronchite chronique); SNC* (céphalée, vertige) (INRS 2008a)	S	Agent oxydant	Fabrication de cellules x-Si* (composant du slurry)
Chrome Hexavalent (Chrome VI)	Groupe 1 ^c <i>Poumon</i> (IARC, 2012e)	Tractus respiratoire (irritation, ulcération); peau (dermatite allergique, ulcère) (Assem et coll. 2007)	S/CM	Matériau de base pour éléments chromés (vis, cadre, revêtement)	Fabrication et recyclage de panneaux PV
Composés organiques volatiles (toluène, benzène, méthanol, alcool isopropylique, acétone, dichlorométhane, trichloroéthylène, etc.)	Benzène : Groupe 1 <i>Sang</i> (IARC, 2012g) Dichlorométhane : Groupe 2B ^g <i>Pancréas</i> ^h (IARC, 1999a) Trichloroéthylène : Groupe 1 ⁱ - <i>Rein</i> ^j		S/CM	Dérivés de production	Raffinage du zinc et du cuivre par électro-obtention; Fabrication de cellules PV (étapes de nettoyage, lavage et séchage)
Cuivre		Poumon (irritation, toux sèche); rein (tubulopathie proximale chez le rat); foie (hépatomégalie) (ATSDR, 2004)	CM	- Matériau de base - Matériau de soudage (oxyde de cuivre en poudre)	Fabrication de cellules aux CdTe* (production de tellure); fabrication et recyclage de modules CIS/CIGS* Installation des panneaux PV : soudure exothermique pour assurer la continuité de masse électrique
Étain		Poumon (stannose); sang (anémie); appareil digestif (distension gastro-intestinale) (ATSDR, 2005)	S/CM	- Matériau de base - Agent de déposition en couche mince	- Fabrication de cellules au silicium monocristallin - Fabrication et recyclage de modules couches minces
Fumée de soudure exothermique	Les fumées de soudure exothermique ne sont pas explicitement mentionnées dans les risques cancérogènes attribués aux fumées de soudure en général	Poumon (pneumoconiose, asthme, bronchite) - peau (dermatite allergique)- autre (fièvre des métaux) (INRS, 2012)	S/CM	Dérivé de soudure	Installation de panneaux PV : Soudure exothermique pour assurer la continuité de masse électrique
Gaz (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, dioxyde de soufre)		SNC* (céphalées, vertige); appareil digestif (gastralgie); poumon (bronchite chronique) (INRS 2005; 2006b; 2009a)	S	Dérivés de production	Fabrication de silicium métallurgique
Germane		Sang (anémie hémolytique) (US EPA, 2007)	CM	Gaz dopant pour cellules a-Si*	Fabrication de cellules a-Si*
Indium		Poumon (fibrose pulmonaire, protéinose alvéolaire pulmonaire) (Cummings et coll. 2012)	CM	Matériau de base	Fabrication et recyclage de panneaux CIS*, CIGS* et au GaAs*

Substances chimiques	Potentiel toxique cancérogène : classement IARC ^a et organe(s)/tissu(s) cible(s)	Potentiel toxique non cancérogène : organe(s)/tissu(s) cible(s) et exemples de pathologies	Industrie du PV	Application	Source d'exposition potentielle (étapes de cycle de vie)
Oxychlorure de phosphore (trichlorure de phosphore)		Poumon (dyspnée, toux sèche); SNC* (vertiges, anorexie) - peu de données de toxicité chronique (INRS, 2003)	S	Gaz dopant	Fabrication de cellules au x-Si*
Phosphine		SNC* (coma, convulsion); poumon (œdème aigu); cœur (nécrose) (INRS, 2008b)	S/CM	Gaz dopant	Fabrication de cellules PV
Phosphure d'indium (InP)	Groupe 2A ^k <i>Poumon (chez le rat et la souris)</i> (IARC, 2006a)	Poumon (fibrose interstitielle chez la souris); appareil génital (altération de la spermatogénèse et atteinte testiculaire chez le hamster mâle) (ESHA, 2010)	CM	Matériau de base pour cellules multijonctions ^c au GaAs*	Fabrication et recyclage de panneaux au GaAs*
Plomb	Groupe 2A <i>Estomac</i> (IARC, 2006b)	Sang (anémie); appareil digestif (liseré de Burton, colique de plomb, cytolysé hépatique, pancréatite aiguë); SNC (encéphalopathie, paralysie pseudo-radiale); rein (néphropathie tubulaire interstitielle) (INRS, 2006c)	S/CM	- Matériau de base pour batterie solaire au plomb-acide et pour circuits intégrés de modules PV* - Matériau de base pour verre protecteur - Soudure des cellules PV*	Fabrication du verre trempé protecteur Fabrication et recyclage de modules PV et de batteries solaires
Polybromodiphényl ether (PBDEs)	Groupe 2B ^g <i>Foie (chez le rat)</i> (IARC, 1987a)	SNC* (dommages irréversibles des fonctions cérébrales chez le rat et la souris); Système endocrinien (perturbation, diminution des hormones thyroïdiennes T4 chez le rat) (Buckenmeier et coll. 2010)	S/CM	- Matériau de base pour circuits imprimés de modules PV* et onduleurs - Retardateur de flamme pour panneaux PV* et onduleurs	Fabrication et recyclage de modules PV et des onduleurs
Sélénium et dérivés (séléniure d'hydrogène et dioxyde de sélénium)		Cavité buccale (goût métallique, haleine alliacée); peau (ictère); phanères (ongles cassants, alopecie) (INRS, 2011b)	CM	Matériau de base ou agent de déposition (séléniure d'hydrogène)	Fabrication et recyclage de panneaux CIS*/CIGS*
Silice cristalline	Groupe 1 ^c <i>Poumon</i> (IARC, 2012f)	Poumon (silicose) (Sellamuthu et coll. 2011)	S/CM	Matériau de base (x-Si* et a-Si*)	- Extraction de silice (mine de quartz) - Fabrication de silicium métallurgique : fumée de silice - Fabrication de cellules x-Si* : découpage des plaques de x-Si* (émissions de poussières fines de silice ou "kurf" ^h) - Recyclage de panneaux x-Si*

Substances chimiques	Potentiel toxique cancérogène : Classement IARC ^a et organe(s)/tissu(s) cible(s)	Potentiel toxique non cancérogène : Organe(s)/tissu(s) cible(s) et exemples de pathologies	Industrie du PV	Application principale	Source d'exposition potentielle (étapes de cycle de vie)
Solvants organiques (acétone, isopropanol, dichlorométhane, trichloroéthylène, alcool isopropylique, benzène, éthanol, dichlorométhane, éthyle acétate, trichloroéthylène, etc.)	Benzène : Groupe 1 ^c <i>Sang</i> (IARC, 2012g) Dichlorométhane : Groupe 2B ^g <i>Pancréas</i> ^h (IARC, 1999a) Trichloroéthylène : Groupe 1 ⁱ - <i>Rein</i> ^j	SNC* (vertige, céphalées, somnolence); peau (dermite); rein (insuffisance rénale); foie (cirrhose); sang (hématotoxicité); yeux (trouble de la vision) (SPP, 2002)	S/CM	- Agents nettoyants - Agent d'extraction pour raffinage de zinc et de cuivre par électro-obtention; - Agents liants pour pâtes métalliques avant-arrière des cellules PV	- Production de métaux et métalloïdes purs (cadmium, indium, gallium, sélénium, etc.) - Fabrication de cellules PV (contacts électriques)
Sulfure d'hydrogène		SNC* (céphalées, trouble de la mémoire; yeux (œdème cornéen); poumon (bronchite irritative); appareil digestif (nausée, diarrhée) (INRS, 2009b)	CM	Matériau de base pour cellules CIS*/CIGS*	Fabrication de cellules CIS*/CIGS*
Tellure		Cavité buccale (haleine aliacée); SNC (céphalées, vertige); poumon (œdème) (RTK, 2009; Berriault et Lightfoot, 2011)	CM	Matériau de base pour production cellules CdTe*, CIS*/CIGS*	Fabrication et recyclage de panneaux au CdTe*, CIS*/CIGS*
Tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane)	Groupe 2B ^g <i>Foie (chez la souris et le rat), Sein (chez le rat)</i> ^l (IARC, 1999 b)	SNC* (atteinte neurologique); foie (cirrhose); poumon (œdème aigu) (INRS, 2009c)	S	Agent de gravure	Fabrication de cellules x-Si*
Thiouree	Groupe B2 ^m : <i>Glande thyroïde et foie chez le rat et la souris</i> (EPA, Fiche Toxnet) ⁿ Groupe 3 ^o (IARC, 2001)	Peau (allergie de contact); glande thyroïde (hypothyroïdie); sang (leucopénie et agranulocytose) (Fiche Toxnet) ⁿ	CM	Matériau de base	Fabrication de cellules CdTe* et CIS*/CIGS*
Trifluorure de bore		SNC* (céphalées); appareil digestif (nausée, vomissement); atteinte rénale et hépatique (chez l'animal) (EPA, 2008)	S/CM	Gaz dopant	Fabrication de cellules PV

(a) IARC : International Agency for Research on Cancer – (b) S : Industrie du photovoltaïque du silicium cristallin de première génération – (c) Groupe 1 : "L'agent est cancérogène pour l'homme" – (d) CM : Industrie du photovoltaïque des couches minces de deuxième et troisième génération – (e) Fiche IRIS EPA (Integrated Risk Information System US Environmental Protection Agency), *Silver*. Repéré à : <http://www.epa.gov/iris/subst/0099.htm> - (f) La fabrication de cellules CIS/CIGS nécessite du tellure de cadmium comme couche tampon et du sulfure de cadmium comme agent de déposition – (g) Groupe 2B : "L'agent est peut-être cancérogène pour l'homme" – (h) Études épidémiologiques : augmentation des cancers pancréatiques sans relation dose-effet (INRS, 2010) – (i) Le trichloroéthylène était considéré cancérogène groupe 2A jusqu'à la publication de Guha et coll., 2012 qui confirme que la substance est cancérogène pour l'homme (Monographie IARC en préparation) – (j) Une méta-analyse rapporte un risque significatif relatif au cancer du rein alors que les preuves épidémiologiques sont limitées quant à une association entre l'exposition au trichloroéthylène et le lymphome non hodgkinien ou le cancer du foie (Guha et coll., 2012) – (k) Groupe 2A : L'agent est probablement cancérogène pour l'homme – (l) Présence de lacunes dans les études de cancérogénicité (Santé Canada, 2011) – (m) Groupe B2 : probablement cancérogène chez l'homme (US Environmental Protection Agency) – (n) Fiche Toxnet, *Thiourea*. Repéré à : <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+1401> – (o) Groupe 3 : "L'agent est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme".

(*) a-Si : silicium amorphe; x-Si : silicium cristallin; CdTe : tellure de cadmium; CIS : Cuivre, Indium, Sélénium; CIGS : Cuivre, Indium, Gallium, Sélénium; SNC : système nerveux central; GaAs : arsénure de gallium.

Les propriétés toxicologiques et notamment la toxicité chronique de certaines substances demeurent encore à l'étude. C'est le cas, entre autres, pour le tellure, le gallium, l'indium, le germane et le germanium, le mélange CIS et CIGS ainsi que le tellure de cadmium (CdTe) bien que les données d'expérimentation animale attribuent une toxicité aigüe moindre pour le CdTe comparativement au Cd (Zayed et Phillippe, 2009).

L'émergence de la technologie photovoltaïque nanoparticulaire ajoute une nouvelle problématique en termes de risques chimiques associés à l'industrie du PV. Les marchés de puits quantiques ou de nanocristaux de tellure de cadmium, de séléniure de cadmium ou encore d'arséniure d'indium (Ma et coll. 2009; Freitas et coll. 2010), de nanotubes et de fullerènes (Manzetti et Anderson, 2012) et des nanofils de silicium (Tian et coll. 2007) connaissent un développement accéléré en raison de leurs performances et de leurs coûts de production de plus en plus compétitifs (Razykov et coll. 2011). Bien que les risques sanitaires associés aux nanoparticules ne soient pas encore totalement maîtrisés, quelques études expérimentales sur des cellules de culture humaine ont mis en lumière une cytotoxicité plus importante des puits quantiques au CdTe par rapport à des solutions aqueuses de cadmium en raison d'une taille critique favorisant leur pénétration et leur accumulation dans les inclusions nucléaires pouvant provoquer ainsi d'importants dommages (Su et coll. 2010). La toxicité élevée des nanotubes et des fullerènes de carbone serait également attribuée à leur fort taux de pénétration cellulaire, à leur capacité de former des agrégats pour ensuite interagir avec différents composants biochimiques cellulaires, pouvant ainsi être à l'origine de leurs potentiels génotoxique et mutagène (Manzetti et Anderson, 2012).

Examen du volet sécuritaire

Il convient de distinguer deux types de risque pouvant compromettre la sécurité des travailleurs de l'industrie du PV :

- le risque chimique associé à des substances potentiellement dangereuses qui se concentrent essentiellement dans la phase de production de cellules PV;
- le risque physique que l'on retrouve principalement dans la phase d'exploitation des systèmes PV (installation, entretien/maintenance, désinstallation).

Risque chimique associé à la phase de production de cellules PV

La production de cellules PV requiert l'exploitation de nombreuses substances chimiques dont les propriétés sont asphyxiantes (argon, hélium, hexafluoroéthane, etc.), irritantes (ammoniac, diborane, sélénium, etc.) et/ou corrosives (acides et bases fortes, tétrachlorure de silane) présentant ainsi des dangers potentiels pour les travailleurs en cas d'inhalation, d'ingestion, de contact accidentel avec la peau ou les yeux. Certaines de ces substances sont également qualifiées d'inflammables voire d'explosives tels les gaz silane, l'hydrogène et le méthane.

Quoique considérée comme relativement sécuritaire durant la phase production (Fthenakis et coll. 2006), l'industrie du PV n'a fait l'objet que de très peu d'études évaluant le risque associé à la manipulation de substances chimiques. Le risque explosif demeure néanmoins la principale préoccupation de nature sécuritaire. Six accidents non mortels ont été signalés aux États-Unis entre 1994 et 1999 par l'USEPA-RMPs (Fthenakis et coll. 2008) alors que des explosions

mortelles de gaz silane ont été rapportées à Taiwan en 2005 (Chen et coll. 2006) et en Inde en 2007 (Biello, 2010).

Le Tableau 4 est une synthèse des principales substances pouvant porter atteinte à la sécurité des travailleurs lors de la production de cellules PV, tenant compte du type d'industrie du PV, de leur application et de leurs propriétés. Les informations nécessaires à l'élaboration du tableau ont été tirées de : Fthenakis et Moskowitz, 2000; Jha et coll. 2001; EPRI, 2003; Fthenakis, 2003a et 2003b, Fthenakis et coll. 2006; Miquel, 2009; SVTC, 2009; Oregon gouv, 2013.

Risques physiques

L'installation des systèmes PV est effectuée :

- dans le bâtiment, principalement en hauteur, soit en toiture inclinée (sur supports, en tuiles solaires ou intégrés au bâti), en toiture plate (en terrasse), en façade (bardage), en garde-corps de balcon, en brise-soleil, en combrière de parking ou encore en verrière;
- au sol, sur supports vissés en milieux urbain ou agricole (ABB SACE, 2010; INERIS/CSTB, 2010);
- au sol, sur supports vissés en centrale ou ferme solaire à échelle industrielle, en zones rurales ou désertiques (EPIA/Greenpeace, 2011).

Les installations en hauteur, sur toit incliné ou plat, sont privilégiées, car elles offrent un espace vital et optimisent la réception de l'énergie solaire. La pose et le branchement des panneaux entre eux et aux différents composants du système PV est un travail complexe et souvent difficile, car il impose des travaux préparatoires (notamment le contrôle et la réfection au besoin de la couverture de toit, enlèvement partiel ou total de la couverture de toit ou de façade si les panneaux sont intégrés au bâti), la mise en place d'un véritable chantier de construction pour assurer ces divers travaux avec utilisation de grue, de treuils, de monte-matériaux, etc. pour soulever et déplacer les panneaux PV et finalement des travaux électriques de branchement des panneaux en séries avec travaux délicats de soudure exothermique, de branchement aux batteries solaires et à l'onduleur ainsi que du raccordement au réseau électrique public (ABB SACE, 2010; IBGE, 2010a; OPPBTP, 2011).

Les risques physiques forment une combinaison unique et spécifique au PV, car ils associent des risques de chutes de hauteur, de blessures et de lacérations, des risques ergonomiques liés à la manutention des panneaux solaires particulièrement lourds et encombrants ainsi que des risques d'électrocution lors de l'installation, de la maintenance et de l'entretien des systèmes PV (nettoyage, inspection des raccordements, vérification de l'onduleur) ainsi que de la désinstallation des panneaux PV pour réparation, échange ou en fin de vie (OSEIA, 2006; OPPBTP, 2011; INRS, 2013).

Tableau 4 - Substances associées à l'industrie du photovoltaïque pouvant porter atteinte à la sécurité des travailleurs selon le type d'industrie et leur application

Substances chimiques potentiellement dangereuses	Industrie du PV concernée	Application principale	A [†]	C [†]	In [†]	Ir [†]	E [†]
Acides chlorhydriques	S ^a /CM ^b	Fabrication de eg-Si*; agent de gravure et nettoyeur pour cellules x-Si, a-Si et GaAs					
Acide fluorhydrique	S	Agent de gravure et nettoyeur pour cellules x-Si *					
Ammoniac ^c	S/CM	Couche antireflet pour modules PV*					
Argon	CM	Agent de dépôt en couche mince					
Bases fortes (soude, potasse)	S/CM	- Agents lixiviant pour production de zinc et récupération de cadmium - Agent nettoyeur pour cellules PV*					
Chlore actif	S	Composant du slurry pour la découpe des lingots/plaques de x-Si *					
Diazote	S/CM	Dopant pour cellules PV*					
Diborane	CM	Dopant pour cellules a-Si*					
Dioxyde de sélénium	CM	Dérivés et produit intermédiaire de fabrication de cellules CIS*/CIGS*					
Gallium	CM	Matériau de base pour cellules au GaAs*					
Hélium gaz	CM	Agent de dépôt pour couche mince					
Hexafluoroéthane (SF6)	S	Agent de gravure des cellules x-Si*					
Hydrogène gaz	S/CM	Fabrication des cellules x-Si* et a-Si*					
Méthane gaz	CM	Fabrication des cellules a-Si* et GaAs					
Oxychlorure de phosphore (trichlorure de phosphoryle)	S/CM	Dopant pour cellules x-Si*					
Phosphine gaz	S/CM	Dopant pour cellules PV*					
Sélénium	CM	Matériau de base pour cellules CIS*/CIGS*					
Séléniure d'hydrogène	CM	Agent de dépôt pour cellules CIS*/CIGS*					
Silane gaz	S/CM	Matériau de base pour la fabrication de cellules x-Si* et a-Si*					
Sulfure d'hydrogène	CM	Matériau de base pour la fabrication de cellules CIS*/CIGS*					
Tellure	CM	Matériau de base pour la fabrication des cellules CdTe*, CIS*/CIGS*					
Tétrachlorure de silicium ^c (tétrachlorosilane)	S/CM	Produit intermédiaire et/ou dérivés de fabrication des cellules x-Si* et du gaz silane destiné à la fabrication des cellules a-Si*					
Trichlorosilane	S/CM	Produit intermédiaire pour la fabrication de cellules x-Si* et de gaz silane destiné à la fabrication des cellules a-Si*					
Trifluorure d'azote (NF3)	S	Nettoyeur réacteurs et gravure x-Si*					
Trifluorure de bore	S/CM	Dopant pour cellules PV*					

(a) S : Industrie du photovoltaïque du silicium cristallin de première génération - (b) CM : Industrie du photovoltaïque des couches minces de deuxième et troisième générations - (c) réagit violemment avec l'eau pour donner de l'acide chlorhydrique et provoquer de graves dommages tissulaires (Kapias et coll., 2001) - (†) A : asphyxiant, C : corrosif, In : inflammable, Ir : irritant, E : explosif - (*) a-Si : silicium amorphe; eg-Si : silicium grade électronique; x-Si : silicium cristallin; CIS : Cuivre, Indium, Sélénium; CIGS : Cuivre, Indium, Gallium, Sélénium; GaAs : arséniure de gallium; CdTe : tellure de cadmium; PV : photovoltaïque.

Les risques électriques associés à l'installation de systèmes PV sont également complexes par leurs spécificités et leurs multiplicités (OSEIA, 2006; IBGE, 2010a et 2010 b; INRS, 2013; Photovoltaïque.info, 2012). Les divers intervenants (ingénieur civil, électricien, manœuvre, soudeur, etc.) sont, en effet, exposés à :

- deux sources de production d'électricité et donc de dangers potentiels que constituent les panneaux PV et le réseau électrique public en soi;
- deux types de courant électrique :
 - un courant continu associé à un circuit DC (*direct current*) formé des panneaux PV, des câblages dirigés vers les onduleurs ainsi que des éléments de coupure, de sectionnement et de protection;
 - un courant alternatif composant à son tour un circuit AC (*alternating current*) formé par l'onduleur, convertissant le courant continu en alternatif, les câblages et ouvrages associés au branchement avec les batteries solaires ou au branchement avec le réseau électrique public ainsi que les éléments de coupure, de sectionnement et de protection;
- un risque électrique exclusif au courant continu :
 - dû à l'absence de dispositif de coupure de tension électrique provenant des panneaux PV lorsque ceux-ci sont en pleine lumière du jour;
 - produisant des arcs électriques persistants, car difficiles à interrompre en cas de mauvais contact avec possibilité d'incendie.

Peu de recherches se sont intéressées aux lésions professionnelles des travailleurs du PV bien que l'aspect sécuritaire de l'installation des panneaux solaire soit souvent souligné (OSHA, 2013). S'il n'y a pas de données statistiques spécifiques aux chutes en hauteur lors de l'installation et de la maintenance des panneaux PV, des cas mortels de chutes de hauteur ont néanmoins été signalés en France (OPPBTP, 2011) et aux États-Unis (California Department of Public Health, 2010). Ce risque est associé à un nouveau cadre de travail en hauteur pour des métiers traditionnellement au sol comme les électriciens et les soudeurs (OPPBTP, 2011).

Une étude menée en 2012 sur les risques sécuritaires liés aux projets de constructions durables certifiés LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) indique une augmentation de 24 % du taux de chutes de hauteur par rapport aux bâtiments traditionnels (Fortunato et coll. 2012). D'autres risques sont identifiés comme les chutes d'objet et les accidents associés généralement aux conditions de travail des chantiers de construction telle la circulation d'engins lourds (INRS, 2013). Certes, ces accidents ne sont pas spécifiquement liés à l'énergie PV, mais ils s'y greffent puisque les constructions durables y font souvent appel. Le Tableau 5 est une synthèse des principaux risques physiques associés à l'installation de panneaux PV selon l'activité concernée ainsi que des exemples de facteurs aggravants. Les informations nécessaires à l'élaboration du tableau sont tirées de : OSEIA, 2006; Conergy, 2007; Erico, 2007; IBGE, 2010 b; INERIS/CSTB, 2010 et 2011; Soluxtec, 2010; OPPBTP, 2011; Richez et coll., 2011; Photovoltaïque.info, 2012; INRS, 2013.

Tableau 5 - Synthèse des principaux risques physiques associés à la phase d'exploitation des panneaux photovoltaïques (installation/désinstallation, entretien/maintenance)

Risque physique	Causes	Exemples de facteurs aggravants
Chute de hauteur; glissade; chute d'objet; déséquilibre; effondrement des panneaux sous le poids de l'installateur	<ul style="list-style-type: none"> - Travail en hauteur et/ou en pente. - Circulation sur des surfaces de résistance variable (panneaux, toitures, charpente, couverture, etc.). - Équipements lourds et volumineux : moyens de préhension (ventouses, crochets, etc.), harnachement, longes, sacs à dos, etc. - Échafaudages. - Dispositif défectueux de harnais et de longes. 	<p>Conditions climatiques : rosée, pluie, verglas, neige, vent fort (augmentation des risques de chutes à partir de 30km/h) - Degré de la pente : risque de chute augmenté à partir de 15°.</p> <p>Niveau insuffisant de la qualité et de l'adéquation du matériel (normalisé ou non), de la vérification des moyens de protection et de préhension individuelle et collective des travailleurs, de la sécurité des échafaudages et de la qualification et expérience en aptitudes spécifiques à l'installation de panneaux PV (notamment travail en hauteur, maîtrise du matériel antichute, habitude du port de harnais et d'équipements lourds).</p> <p>Mauvaise coordination entre travailleurs du chantier - Absence de lieux de stockage sécuritaire du matériel.</p>
Choc électrique (électrocution pouvant être fatale ou entraîner une chute de hauteur); foudroiement; brûlure électrique	<p>Production d'arc électrique par le courant continu.</p> <p>Travaux électriques divers sur circuit en courant continu et alternatif dont branchement en série des panneaux PV, travaux de branchement avec les batteries solaires et/ou de raccordement au réseau électrique public).</p> <p>Travaux d'entretien et maintenance des systèmes PV (notamment des onduleurs).</p>	<p>Travaux au voisinage de lignes électriques à haute tension - Travaux au contact de réseaux électriques aériens nus - Absence de signalétique réglementaire pour câbles sous tension.</p> <p>Niveau d'expérience et de formation insuffisant de l'ensemble des travailleurs/intervenants, électriciens ou non.</p> <p>Qualité insuffisante du matériel PV connectiques (onduleurs, câbles, boîte de jonction, sectionneurs, etc.) - Défaut d'installation électrique : surchauffe des circuits électriques, défaillance, montage non conforme, connecteurs non harmonisés, défaut de connexion, surtension, ouverture de boîte de jonction, etc. - Installation de modules PV de configurations différentes - Organe de coupure de tension fermé durant les travaux.</p> <p>Conditions météorologiques défavorables : forte chaleur, impact de foudre.</p> <p>Arc électrique dû à l'intensité du courant.</p> <p>Défaut de conception, chutes d'objets, etc., car risque accru d'incendie de panneaux PV - Concentration artificielle de lumière solaire sur les modules PV - Vieillessement des gaines de sécurité par la chaleur générée par les panneaux (environ 70 °C).</p> <p>Utilisation d'outils mouillés - Déplacement non sécurisé sur les modules.</p> <p>Modules empilés - Port de bijoux métalliques.</p>
Collision, choc	Circulation d'engins lourds d'approvisionnement : monte-charge, chariot télescopique, treuil avec accessoires, chariot de manutention, etc.	Qualité et régularité insuffisantes de l'entretien des engins lourds - Absence ou nombre limité de panneaux de signalisation - Entrave à la circulation des engins - Mauvaise coordination entre travailleurs du chantier - Absence de lieux de stationnement sécuritaire des engins à l'écart du chantier.
Risque ergonomique (effort excessif)	Ensemble des activités concernant l'installation, la maintenance/entretien et désinstallation de panneaux PV (manipulation, port et déplacement de charges lourdes, déplacement restreint sur surface réduite, etc.).	Méthodologie de travail inadéquate entraînant une sollicitation excessive de l'organisme à moyen et long terme.
Blessure, lacération	Travaux de manutention liés à l'installation de panneaux PV (manipulation des modules PV à bords tranchants).	Manipulation de modules PV sans port de gants protecteurs. Manipulation de modules PV endommagés; bris de modules. Port d'habit de travail à manches courtes.
Brûlure thermique	Chaleur produite par les panneaux PV sous tension Travaux de soudure exothermique pour assurer la continuité de masse électrique entre panneaux PV.	Déplacement sur les panneaux PV sans chaussures protectrices. Fortes chaleurs.
Incendie	Production d'arc électrique par le courant continu. Circuits électriques en surcharge.	Non-conformité aux normes électriques du bâtiment. Défaut d'installation électrique: surchauffe des circuits électriques - Défaillance, montage non conforme, connecteurs non harmonisés - Défaut de connexion, surtension, ouverture de boîte de jonction, etc. - Outils humides - Marche sur les modules - Modules empilés. - Risque explosif lié à l'activité du site. - Fortes chaleurs.

3.2 Résultat de l'enquête menée auprès des entreprises québécoises du PV

Au total 163 entreprises québécoises ont été répertoriées en raison de leur implication dans le domaine du PV : quatre dans le secteur de l'extraction et la fabrication et 159 dans le secteur de l'installation et de distribution de systèmes PV et de ses composantes. De ces entreprises :

- 46 n'ont pu être jointes ni par voie téléphonique ni par voie électronique;
- 47 n'installaient pas de systèmes PV. Même si la plupart d'entre elles étaient désignées comme installatrices de panneaux solaires, elles n'effectuaient que la distribution de composants pour systèmes PV. Parmi ces entreprises certaines étaient spécialisées exclusivement dans les véhicules récréatifs ou dans le conseil et/ou l'exploitation d'énergie renouvelable. Certaines aussi sous-traitaient intégralement les travaux d'installation en fournissant l'ouvrage à des entrepreneurs électriciens et elles ne souhaitaient pas participer à l'enquête;
- trois n'ont effectué aucune installation de systèmes PV au cours des douze mois de l'année 2012;
- une est apparue sous deux noms différents;
- quatre avaient cessé leurs activités;
- une n'avait pas encore amorcé ses activités.

Le questionnaire d'enquête n'a donc été transmis qu'à 61 entreprises québécoises du PV. Au deuxième appel téléphonique de confirmation de la réception des questionnaires :

- trois entreprises se sont retirées, car elles étaient spécialisées dans les véhicules récréatifs et avaient omis de le mentionner lors du premier contact téléphonique;
- une entreprise n'était plus active dans le domaine du PV.

Sur ces 61 entreprises, 34 ont rempli et retourné les questionnaires, soit environ 60 %, alors qu'un questionnaire a dû être éliminé puisque les réponses démontraient que l'entreprise installait exclusivement des systèmes PV sur des véhicules récréatifs. L'analyse des résultats a donc été effectuée à partir de 33 questionnaires complétés et a porté sur les activités des entreprises au cours de l'année 2012.

3.2.1 Renseignements généraux

Nombre d'années d'activités dans le secteur du PV des entreprises répondantes

Près de la moitié des entreprises sont actives dans le secteur du PV depuis cinq ans ou plus. De manière globale, la majorité des entreprises le sont depuis au minimum deux années (88 %), comme illustré à la Figure 2. Ceci témoigne du fait que le secteur est déjà bien implanté au Québec.

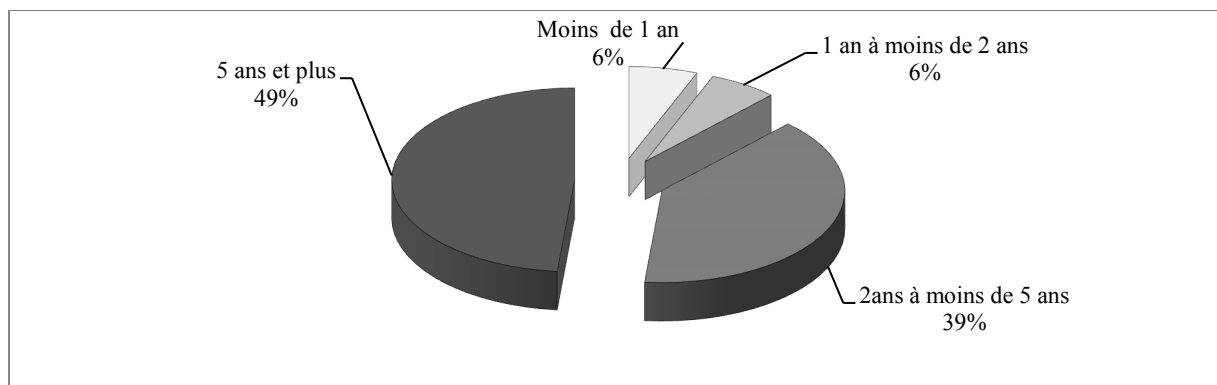


Figure 2 - Nombre d'années d'activité dans le secteur du photovoltaïque des entreprises québécoises

Nombre d'heures consacrées au secteur du photovoltaïque

Les entreprises ne sont pas actives uniquement dans le PV. Moins de 10 % d'entre elles sont spécialisées presque exclusivement dans le PV, c'est-à-dire qu'elles y ont consacré un nombre moyen d'heures par semaine représentant 90 % ou plus du temps. Néanmoins près de la moitié des entreprises (49 %) y consacrent plus de 30 % de leurs heures totales. On constate également que plus l'activité de l'entreprise est récente, plus le temps qu'elle consacre au PV est important, témoignant ainsi d'une tendance vers une place de plus en plus prépondérante du travail associé au PV au fur et à mesure que de nouvelles entreprises s'établissent.

3.2.2 Renseignements spécifiques

Entreprise active dans l'extraction et la fabrication liées au secteur du PV

Une entreprise québécoise est spécialisée dans la fabrication du tellure de cadmium à usage solaire et le recyclage de résidus de métaux. D'autres activités de production lui sont propres tels les travaux en salle blanche et l'usage de fours résistifs.

Entreprises actives dans l'installation des systèmes PV

Pour l'installation de systèmes PV associés au bâtiment en milieu essentiellement résidentiel, institutionnel, industriel, commercial et agricole, 32 entreprises québécoises sont actives.

Type de systèmes PV installés

La majorité des entreprises québécoises (87 %) ont été actives dans l'installation des systèmes PV autonomes et 13 % n'ont effectué que des installations raccordées au réseau (Figure 3). Aucune entreprise n'a installé des fermes solaires (assemblage de plusieurs panneaux installés au sol et raccordés au réseau électrique public) et toutes ignorent si elles le feraient au cours des cinq prochaines années.

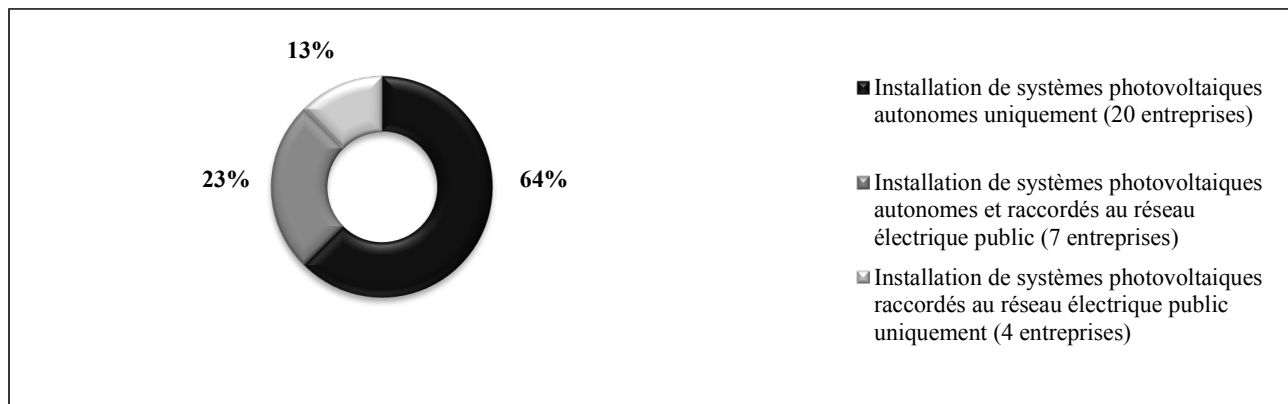


Figure 3 - Types de systèmes photovoltaïques installés par les entreprises québécoises au cours des douze mois de 2012

Près de 70 % des entreprises ayant installé des systèmes PV hybrides associent des générateurs diesel comme deuxième source d'énergie. Les panneaux PV installés sont à 90 % composés de silicium solaire de première génération. Une seule entreprise a installé des panneaux de deuxième génération de tellurure de cadmium, de complexe cuivre, indium, sélénium (CIS) et cuivre, indium, gallium, sélénium (CIGS).

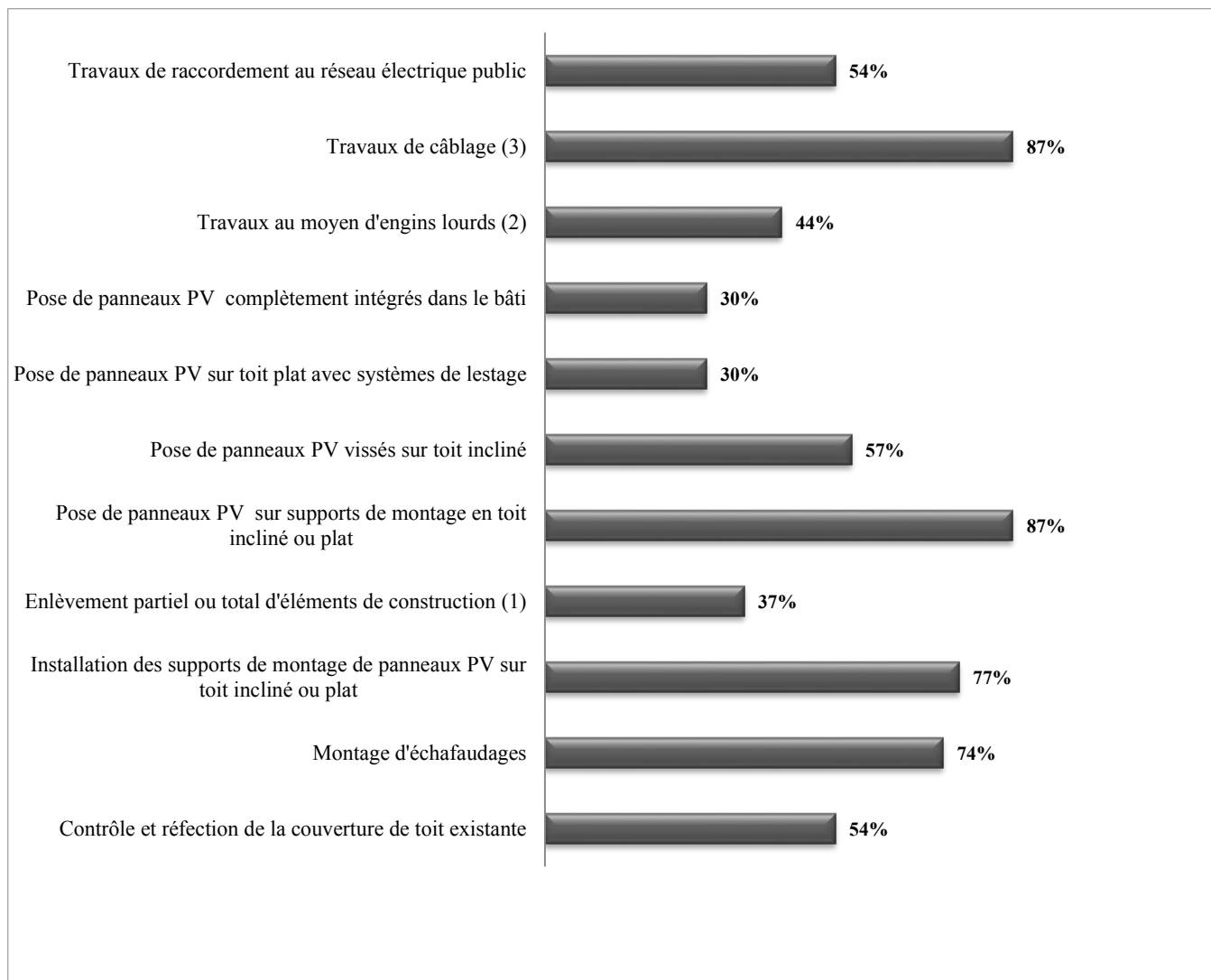
En termes de pratiques de travail et de conditions de manipulation :

- la majorité des entreprises répondantes (91 %) ont effectué des travaux en hauteur sur toiture alors que 9 % n'ont effectué que des installations PV au sol en milieu urbain ou agricole, en dehors des centrales solaires;
- 22 % des entreprises ont installé des panneaux PV entièrement intégrés au bâti;
- le milieu résidentiel (dont les chalets isolés) est le plus desservi avec 97 % des entreprises qui y effectuent des installations tandis que 12 % s'adressent au milieu industriel.

Travaux spécifiques aux entreprises actives dans l'installation des systèmes PV

De nombreux travaux ont accompagné l'installation des systèmes PV sur toit (incliné ou plat) ou au sol. Il s'agit de travaux préparatoires (contrôle et réparation de couverture de toit, montage d'échafaudage, installation de supports de montage sur toit, enlèvement d'éléments de construction), de travaux de pose en série de modules PV (sur support de montage, vissé, avec système de lestage), de travaux au moyen d'engins lourds (grues, treuils, monte-matériaux) pour transporter les modules et différents matériaux ainsi que divers travaux électriques de câblage (branchement en série des modules PV et connexion aux onduleurs et batteries solaires) et de raccordement au réseau électrique public. Qu'elles réalisent par elles-mêmes ou qu'elles sous-traitent ces travaux d'accompagnement, la grande majorité des entreprises sont concernées notamment par le montage d'échafaudage (74 %), l'installation des supports de montage (77 %) et les travaux de pose de panneaux PV sur toit incliné ou plat (87 %) ainsi que les travaux électriques de câblage (87 %), la pose de panneaux PV vissés sur toit incliné (57 %), le contrôle et la réparation de la couverture de toit existante (54 %) et le raccordement au réseau électrique public (54 %). La Figure 4 est une synthèse de l'ensemble des travaux ayant été effectués lors de

l'installation de systèmes PV et le pourcentage des entreprises y ayant contribué qu'elles les aient réalisés elles-mêmes ou sous-traités.



(1) Matériaux de revêtement de toit, couvertures et façades, balustrades, parapets, combrières, etc.

(2) Grues, treuils, nacelles, monte-charges, etc.

(3) Branchement en série des panneaux et raccordement aux onduleurs et aux batteries.

Figure 4 - Ensemble des travaux ayant été effectués lors de l'installation de systèmes PV au cours des douze mois de 2012 et pourcentage des entreprises y ayant contribué

Les travaux d'entretien et de maintenance des systèmes PV, la collecte de certains composants en fin de vie (panneaux PV, batteries solaires et onduleurs) font également partie des activités principales liées au secteur du PV des entreprises répondantes (Figure 5).

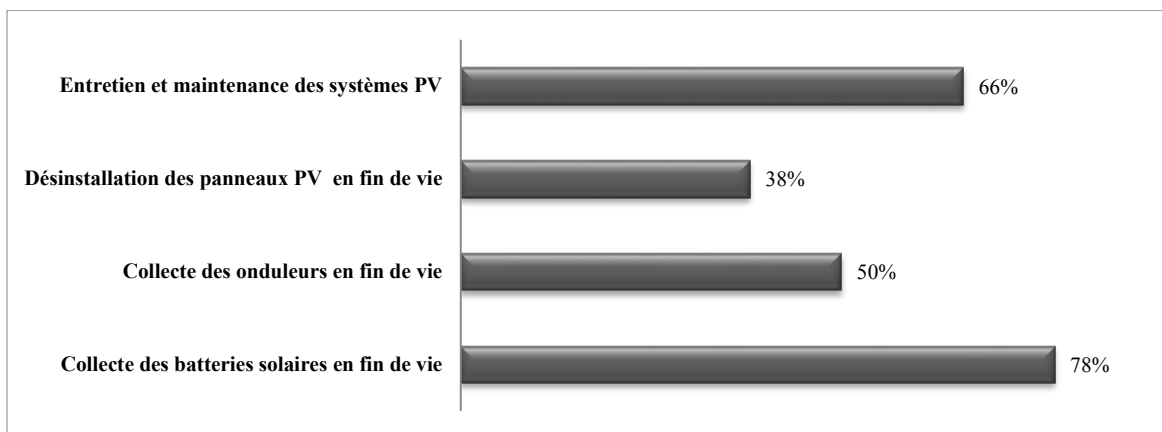


Figure 5 - Autres travaux ayant été effectués durant l'exploitation et en fin de vie de systèmes photovoltaïques et pourcentage des entreprises les ayant réalisés

3.2.3 Volet santé et sécurité du travail

Les emplois directs et indirects des entreprises québécoises du PV sont diversifiés et correspondent aux profils identifiés dans la revue de la littérature. L'enquête révèle que le nombre total de travailleurs impliqués au sein des entreprises ayant répondu au questionnaire était de 261 pour 2012. Les détails relatifs aux catégories d'emploi sont présentés au Tableau 6.

Tableau 6 - Nombre de travailleurs dans les entreprises québécoises du photovoltaïque en 2012 ayant participé à l'enquête

Catégorie de travailleurs	Nombre	Catégorie de travailleurs	Nombre
Architecte	7	Ingénieur en procédés de transformation	3
Charpentier-menuisier	10	Ingénieur mécanicien	2
Commis d'entrepôt	2	Magasinier	1
Conducteur d'engins de chantier	6	Manœuvre/Manutentionnaire	23
Contremaître/Surveillant	8	Mécanicien (dont mécanicien d'usine)	7
Couvreur	4	Personnel administratif et de gestion	29
Électricien	43	Personnel affecté au service de nettoyage	2
Entrepreneur en couverture	3	Préposé à la réception/expédition des marchandises	2
Géologue	1	Soudeur	5
Grutier	3	Technicien de production	52
Ingénieur chimiste	3	Proposé au service de vente	4
Ingénieur civil	10	Technicien de maintenance et d'entretien	8
Ingénieur électricien	13	Techniciens (autres)	5
Ingénieur en génie métallurgique	5	TOTAL	261

Les substances chimiques potentiellement toxiques et/ou dangereuses qui sont manipulées, utilisées et/ou générées par les entreprises répondantes, notamment du secteur de l'extraction/fabrication, sont détaillées au Tableau 7. Aucun accident de travail en lien avec les activités PV des entreprises n'a été rapporté.

Tableau 7 - Matériaux manipulés, utilisés ou générés dans les entreprises lors de l'extraction et de la fabrication liées au secteur du photovoltaïque

Matériau	Manipulé	Utilisé	Généré
Cadmium	✓	✓	
Composés organiques volatils (<i>acétone, benzène, etc.</i>)	✓	✓	
Cuivre	✓	✓	
Gallium	✓		
Gaz (<i>monoxyde de carbone, dioxyde de soufre, etc.</i>)	✓	✓	✓
Indium	✓		
Oxydants (<i>chlore, oxygène, etc.</i>)	✓	✓	
Poussières métalliques	✓	✓	✓
Résine époxy, scellants	✓	✓	
Sélénium	✓	✓	✓
Solvants organiques	✓	✓	
Substances corrosives (<i>acides/bases forts</i>)	✓	✓	
Tellure	✓	✓	✓
Tellure de cadmium	✓	✓	✓
Vapeur métallique (<i>four, soudure électrique</i>)			✓
Zinc	✓	✓	

4. DISCUSSION

4.1 Perspective du photovoltaïque au Québec

Comme indiqué précédemment, l'enquête révèle que le nombre total de travailleurs impliqués au sein des entreprises ayant répondu au questionnaire était de 261 pour 2012. Ce nombre n'est cependant pas représentatif de l'ensemble de l'industrie québécoise du PV pour deux raisons importantes :

- sur les 57 entreprises ayant accepté de participer à l'enquête, seules 33 ont complété le questionnaire;
- seules 21 entreprises sur les 33 ayant rempli le questionnaire ont fourni l'information relative au nombre moyen de travailleurs.

Par simple extrapolation des données fournies par ces 21 entreprises, si toutes celles actives dans l'installation ou la distribution avaient participé à l'enquête soit un total de 163, le nombre total de travailleurs aurait gravité autour de 2 025. Ce chiffre sous-estime toutefois le nombre des travailleurs pour les raisons suivantes :

- l'enquête n'inclut pas l'ensemble des entrepreneurs électriciens autonomes auxquels certaines entreprises contactées et qui ne souhaitent pas participer à l'enquête fournissent de l'ouvrage pour l'installation de systèmes PV dont elles assuraient la vente et la distribution de composants. Il est difficile de chiffrer le nombre d'entreprises sous-traitant l'intégralité des travaux d'installation, car toutes n'y font pas mention. Il serait extrêmement long et laborieux d'effectuer une recherche auprès de tous les entrepreneurs électriciens autonomes du Québec qui effectuent de tels travaux;
- la majorité des entreprises répondantes sous-traitent la plupart des travaux qui accompagnent l'installation des panneaux PV, notamment les travaux d'enlèvement partiel ou total d'éléments de construction (83 %), les travaux de raccordement au réseau public (87 %) et les travaux aux moyens d'engins lourds (64 %). Les travailleurs impliqués dans l'exécution de ces tâches spécifiques à un chantier d'installation de systèmes PV ne sont donc pas pris en compte;
- l'enquête ne couvre pas non plus les travailleurs des centres de recyclage, en bout de chaîne du secteur du PV, vers lesquels sont dirigés les batteries solaires et les onduleurs en fin de vie, car de tels centres ne sont pas exclusifs au PV.

L'enquête menée auprès des entreprises québécoises du PV indique que le développement de ce secteur d'activité est perçu favorablement puisque 91 % de ces entreprises estiment que son évolution se fera sous le signe de la croissance dans les cinq prochaines années. Néanmoins, cinq nouvelles entreprises ont été implantées depuis un an alors que quatre ont cessé leurs activités. Ces fermetures découlent principalement d'un déménagement en Ontario où le secteur du PV connaît un essor remarquable grâce à des programmes incitatifs avantageux tels le Programme d'offre standard en matière d'énergie renouvelable (POSER), le Programme de tarifs de rachat garantis (TRG) et le programme de TRG pour micro-projets (CanmetENERGIE, 2012).

Au Québec, plusieurs initiatives ont été mises en place pour encourager l'installation de systèmes PV autonomes et raccordés au réseau électrique public. Ainsi, le Programme d'aide à

l'installation d'équipements solaires opérationnels (PAIESO) non connectés au réseau électrique public a été créé le 27 mars 2012 et s'est terminé vers le 31 mars 2013. Ce programme était doté d'une enveloppe globale de 7 millions de dollars octroyée par le Fonds vert et visait à réduire d'environ 3 500 tonnes l'émission de gaz à effet de serre par année (MRNF, 2011) tout en étant réservé aux secteurs municipal, institutionnel, commercial, industriel et agricole. Environ 75 % des coûts totaux du projet étaient couverts à concurrence de 300 000 \$. Les projets acceptés à la fin décembre 2012 permettraient l'installation de 206,7 kW et si, au terme de ce programme, la totalité de son budget était dépensée, il y aurait 802 kW de modules solaires PV à travers le Québec³.

En termes d'installations raccordées au réseau électrique public, l'engouement en Europe et en Amérique du Nord pour l'autoproduction (ou production d'électricité par le biais d'une source d'énergie renouvelable quelconque et l'injection dans le réseau électrique public) a incité Hydro-Québec à instaurer dès 2008 une option tarifaire dite de mesurage net destinée aux clients résidentiels, agricoles et à certains clients industriels (Gagnon, 2008). Ainsi, 41 installations PV raccordées au réseau électrique public ont été répertoriées en février 2013 et Hydro-Québec prévoyait 60 clients potentiels pour cette année dans le cadre de son programme d'autoproduction (ESQ, 2013).

Concernant le secteur de la fabrication du silicium solaire, des avancées ne sont pas exclues quant à l'installation au Québec de joueurs d'envergure internationale qui pourront relancer le dynamisme de ce secteur.

D'autre part et selon l'information recueillie auprès de certaines personnes œuvrant dans les mines, l'extraction de silice de haute qualité à visée photovoltaïque pourrait également connaître un développement avantageux au Québec.

Même si l'avenir de l'industrie du PV demeure largement tributaire des politiques énergétiques et des mesures incitatives mises de l'avant par les gouvernements de même que de la conjoncture économique, de telles perspectives du secteur du PV au Québec laissent présager une augmentation notable du nombre de travailleurs aussi bien dans le marché de l'extraction, de la fabrication de matériau de base que dans celui de l'installation des systèmes PV autonomes et raccordés au réseau électrique public.

4.2 Difficultés méthodologiques

L'étape devant aboutir à un répertoire d'entreprises œuvrant dans le PV n'a pas été une mince tâche car il n'en existe, à ce jour, aucun d'officiel encore moins d'exhaustif. Elle a été donc effectuée par collecte de bribes d'information provenant de sources différentes et éparses, majoritairement d'origine associative. Les seules ayant permis d'identifier les entreprises du secteur de l'extraction/fabrication sont le CanmetENERGIE de Ressources naturelles Canada et un responsable du ministère des Ressources naturelles du Québec avec lequel nous avons eu des échanges. Le répertoire de l'association Énergie Solaire Québec a été extrêmement utile, même

³ Information obtenue par échange de courriels avec l'Agence de l'efficacité énergétique du ministère des Ressources naturelles du Québec en date du 17 décembre 2012.

s'il est malheureusement très incomplet. La visite de sites internet mis en ligne par des groupements professionnels ou des associations à but non lucratif (Enviroaccess.ca, panneaux-solaires.ca, Écohabitation.com) a été nécessaire et plutôt fructueuse. L'Association canadienne de l'énergie solaire (CanSia) propose sur son site web un répertoire qui recense plus d'entreprises ontariennes que québécoises tandis que l'Association québécoise des énergies renouvelables ne fournit aucun renseignement sur les entreprises du secteur du PV.

L'annuaire électronique Canada 411 a été également généreusement mis à contribution, mais en utilisant le mot-clé « solaire » et non pas le mot « photovoltaïque ». Quelques entreprises du secteur du PV contactées dans le cadre de l'enquête ont également accepté de communiquer les coordonnées d'autres acteurs dans le domaine.

Ce travail a permis dans un premier lieu d'identifier 163 entreprises classées comme œuvrant dans le secteur du solaire PV. Néanmoins, à ce stade, la tâche était loin d'être achevée, car il fallait sélectionner lesquelles de ces entreprises étaient réellement actives dans le marché de l'installation de systèmes PV dans le bâtiment. En considérant les entreprises spécialisées dans la distribution de composants PV et/ou l'installation de systèmes PV sur véhicules récréatifs, celles n'ayant pu être jointes après plusieurs appels téléphoniques et/ou envois de courriels et celles ayant cessé leurs activités, cette tâche aura permis finalement de ne retenir que 57 entreprises (voir Section 3.2).

4.3 Besoin prioritaire en formation

Considérant la croissance possible de l'énergie photovoltaïque au Québec, la formation des installateurs de systèmes PV revêt une grande importance puisqu'elle n'est actuellement qu'embryonnaire. Les électriciens sont peu familiarisés avec le courant continu produit par les panneaux PV. Les connaissances du solaire PV seraient également lacunaires chez les enseignants en électricité.

Quatre arguments de taille plaident en faveur d'une priorisation de la formation spécifique et continue ainsi que d'une certification plus solide dans ce domaine :

- 1) la réalité des risques électriques majeurs en courant continu et alternatif associés à la manipulation des composants PV lors des divers travaux de branchement et câblage;
- 2) la prise de conscience des installateurs de PV de leur connaissance lacunaire en matière d'électricité PV et ainsi de leur volonté manifeste de se former pour se protéger et pour éviter les dangers d'une installation défectueuse;
- 3) la croissance escomptée du nombre d'installateurs de panneaux PV en regard des prévisions de croissance des entreprises répondantes et des divers programmes incitatifs;

4.4 Besoins prioritaires en recherche

La littérature compulsée a mis en évidence l'existence de risques potentiels pour la santé et la sécurité des travailleurs (SST) au sein de l'industrie du PV. Quant aux résultats de l'enquête, ils ont permis de confirmer la réalité de ces risques au sein des entreprises québécoises et d'identifier différentes sources tenant compte :

- de procédés de fabrication dont les problèmes sanitaires peuvent occasionner l'exposition des travailleurs à un certain nombre de substances potentiellement toxiques (silice, cadmium, sélénium, composés organiques volatils, gaz, solvants organiques, etc.);
- de procédés d'exploitation qui soulèvent des problèmes sécuritaires (travail en hauteur pour installation/entretien/maintenance/désinstallation des systèmes PV, travaux de branchement électrique des panneaux PV, travaux électriques de raccordement aux batteries solaires et/ou au réseau électrique public).

Les recherches devraient donc être orientées afin d'anticiper, de prévenir ou minimalement de réduire l'exposition aux facteurs de risques potentiels.

Volet sanitaire

Les recherches prioritaires viseraient essentiellement :

- la caractérisation de l'exposition des travailleurs du secteur du PV sur l'étendue du cycle de vie aux diverses substances potentiellement toxiques à caractère cancérigène ou non. Les travailleurs des centres de recyclage de composants PV sont à inclure dans le lot, car, avec le temps, le volume de composants PV en fin de vie des systèmes PV va augmenter progressivement à l'échelle provinciale;
- la caractérisation de l'exposition à l'amiante des travailleurs actifs dans l'installation des systèmes PV étant donné sa présence possible dans les éléments de construction dont l'enlèvement partiel ou total est effectué lors des travaux préparatoires;
- l'appréciation de l'importance des expositions multiples aux cancérigènes potentiels pouvant se produire essentiellement dans le secteur de la fabrication de matériaux de base et du recyclage de composants PV. Une telle appréciation serait préalable à l'identification des pistes prioritaires dans le domaine des risques cancérigènes potentiels;
- l'identification des processus et des modes d'organisation du travail susceptibles d'influencer l'exposition aux diverses substances potentiellement toxiques;
- la documentation des pratiques de travail, des procédés et des moyens déjà mis en place par les entreprises en vue d'effectuer des mesures ambiantes d'exposition aux substances potentiellement toxiques;
- la documentation des méthodes de protection et de surveillance biologique et ambiante de l'exposition mises en place par les entreprises;
- l'évaluation des propriétés toxicologiques, notamment en termes de toxicité chronique pour certaines substances reconnues comme étant très toxiques;
- la caractérisation et le contrôle de l'exposition des travailleurs du secteur de la fabrication aux diverses nanoparticules PV.

Volet sécuritaire

Les principales recherches relatives au volet sécuritaire gravitent principalement autour de l'installation des systèmes PV :

- la documentation des pratiques organisationnelles de travail accompagnant l'installation de systèmes PV notamment en hauteur afin d'identifier les situations spécifiques pouvant influencer l'exposition des travailleurs aux divers risques physiques et accidents incluant la préparation du chantier;
- la documentation des pratiques organisationnelles de sécurité dans l'optique d'une meilleure protection des travailleurs et d'une plus grande sensibilisation des différents intervenants aux facteurs de risques;
- l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies de communication, de sensibilisation et de diffusion de l'information pour l'ensemble des entreprises incluant les entreprises dans le secteur de l'installation, l'ensemble des électriciens entrepreneurs, les firmes de génie-conseil spécialisés dans le bâtiment écologique, les cabinets d'architectes et les distributeurs/vendeurs de composants PV.

5. CONCLUSION

Cette recherche a permis de réaliser le bilan de la revue de la littérature dans le domaine de l'énergie photovoltaïque, d'identifier les substances chimiques auxquelles sont exposés les travailleurs, de documenter les risques potentiels de ces substances, d'identifier les procédés de fabrication et d'exploitation problématiques en matière de sécurité, de recenser les entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV, d'estimer les emplois directs et indirects impliqués et de déterminer les besoins en formation et en recherche dans le domaine de la santé et la sécurité des travailleurs.

Cette étude est une première au Québec. Elle constitue un apport important à l'avancement des connaissances tant scientifiques qu'organisationnelles relatives à l'impact de la production et de l'implantation de l'énergie photovoltaïque sur la santé et la sécurité du travail. Dans une optique d'une croissance potentielle de ce secteur, et corollairement du nombre de travailleurs concernés, plusieurs enjeux et pistes de recherche dégagés dans cette étude mériteraient d'être approfondis.

BIBLIOGRAPHIE

5N Plus. 2013. Page du site internet de 5N Plus Inc. Mise à jour 2013. Repéré à : <http://www.5nplus.com/index.php/fr/> {dernière consultation : 2 décembre 2012}.

ABB SACE. *Installations photovoltaïques*. Document d'application technique numéro 10. Italie : ABB SACE, une division de ABB. 2010. Repéré à : [http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/f15336a175d4158fc12579d6002b1bb0/\\$file/1TXH000157C0301_QT10_FR.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/f15336a175d4158fc12579d6002b1bb0/$file/1TXH000157C0301_QT10_FR.pdf) {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Apollo Alliance/Green for all. *Green-Collar Jobs in America's Cities. Building pathways out of poverty and careers in the clean energy economy*. Minneapolis/San Francisco/Washington DC : Apollo Alliance Report. 2008. 22 p. Repéré à : http://www.americanprogress.org/issues/2008/03/pdf/green_collar_jobs.pdf {dernière consultation : 18 mars 2013}.

Assem, L. et H. Zhu. *Chromium*. Toxicological overview. Bedfordshire, United Kingdom: Institute of Environment and Health, Cranfield University. Health Protection Agency, 2007. Repéré à : http://www.hpa.org.uk/webc/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947362170 {dernière consultation : 17 mars 2013}.

ATSDR. *Toxicological Profile for Copper*. Atlanta, Georgia: U.S. Department Of Health And Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004: 12-15. Repéré à : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.pdf> {dernière consultation : 10 janvier 2013}.

ATSDR. *Toxicological Profile for Tin and Tin Compounds*. Atlanta, Georgia: U.S. Department Of Health And Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2005: 12-15. Repéré à : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp55.pdf> {dernière consultation : 10 janvier 2013}.

Barboni, A. et M. Giovannone. *Occupational Health and Safety Issue in the Photovoltaics Industry*. Modena, Italie: Adapt – Marco Biagi Foundation University of Modena and Reggio Emilia, 2009. Repéré à : www.adapt.it/acm-on-line/Home/documento4236.html {dernière consultation : 18 mars 2013}.

Bastien, D. et A. Athienitis. *Le Potentiel des Énergies Solaires au Québec*. Montréal : Greenpeace International, 2011, 50 p. Repéré à : <http://www.greenpeace.org/canada/Global/canada/report/2011/09/Le%20potentiel%20des%20%C3%A9nergies%20solaires%20au%20Qu%C3%A9bec.pdf> {dernière consultation : 20 mars 2013}.

Bautista, R.G. « Processing to Obtain High-Purity Gallium ». *Journal of the Minerals*, vol. 55, n° 3, 2003, p. 22-26.

Beillevaire, J. et L. Moussus (Janvier 2011). Installations photovoltaïques, Risques associés et bonnes pratiques. *La Lettre du Coordonateur Pays de la Loire*, n° 17, p. 1-2. Repéré à : http://www.carsat-pl.fr/risques/actualites_revues/doc/lettre_coord_17.pdf {dernière consultation : 22 mars 2013}.

Berriault, C.J. et N.E. Lightfoot. « Occupational tellurium exposure and garlic odour ». *Occupational Medicine*, Oxford Journals, vol.61, n° 2, 2011, p. 132-135.

Biello, D. (2010). Explosive silicon gas casts shadow on solar power industry. *Scientific American, Energy and Sustainability News*, 2 avril 2010. Repéré à : <http://www.Scientificamerican.com/article.cfm?id=explosive-gas-silane-used-to-make-photovoltaics> {dernière consultation: 17 mai 2013}.

Billard, Y, F. Bazin et O. Lacroix. *Recyclage des Panneaux Photovoltaïques en Fin de Vie, État des Lieux International*. Étude n°11-0912/1A, Synthèse. Villeurbanne : RECORD, Réseau Coopératif de Recherche sur les Déchets. 2012. Repéré à : http://www.record-net.org/record/synthPDF/Synth_record11-0912_1A.pdf {dernière consultation : 15 janvier 2013}.

Bowes, T. *National Electrical Code and Safety Considerations when Grounding Photovoltaic Modules via Rack Mounting Hardware*. Las Cruces, New Mexico : Southwest Technology Development Institute, New Mexico State University. Sans date de publication. 2013. Repéré à : <http://www.nmsu.edu/~tdi/pdf-resources/A%20Critical%20Look%20at%20PV%20Module%20Grounding2.pdf> {dernière consultation : 18 mars 2013}.

Buckenmeier, N, C. Dereumeaux, P. Rouy et M. Vigneron. *Les Polybromo Diphenyl Ethers. Projet d'évaluation des risques sanitaires*. Rennes : École des Hautes Études en Santé Publique, Avril 2010. 46 p. Repéré à : http://documentation.ehesp.fr/memoires/2010/persan_igs/pbde.pdf {dernière consultation : 10 mars 2013}.

Cal-Fire. *Fire Operations for Photovoltaic Emergencies*. California: Office of the State Fire Marshal, California Department of Forestry and Fire Protection, 2010. 68 p. Repéré à : <http://osfm.fire.ca.gov/training/pdf/Photovoltaics/Fire%20Ops%20PV%20lo%20resl.pdf> {dernière consultation : 10 janvier 2013}.

California Department of Public Health - Occupational Health Branch. California Fatality Assessment and Control Evaluation. *A Solar Panel Installer Dies When He Falls off a Roof*. California FACE Program. Richmond, California, 7 avril 2010. Repéré à : <http://www.cdph.ca.gov/programs/ohb-face/Documents/10CA003.pdf> {dernière consultation: 10 janvier 2013}.

Canadian Solar. *Canadian Solar Achieves ISO 14001 Environmental Management Standards and REACH Certification*. Canadian Solar Inc, 2011. Repéré à : [http://www.ws-energia.com/np4EN/%7B\\$clientServletPath%7D/?newsId=115&fileName=Canadian_Solar_Achieves_ISO_14001__and_R.pdf](http://www.ws-energia.com/np4EN/%7B$clientServletPath%7D/?newsId=115&fileName=Canadian_Solar_Achieves_ISO_14001__and_R.pdf) {dernière consultation : 10 janvier 2013}.

CanmetENERGY. *Profil du Secteur de L'Énergie Solaire Photovoltaïque au Canada*. Rapport n°2012-063 (RP-TEC). Varennes: Centre de Recherche CanmetENERGIE, Ressources Naturelles du Canada, 2012. Repéré à :

<http://canmetenergie.nrcan.gc.ca/sites/canmetenergy.nrcan.gc.ca/files/files/pubs/2012-063-fra.pdf> {dernière consultation : 4 mars 2013}.

Chen, J.R., H.Y. Tsai, S.K. Chen, H.-R. Pan, S.C. Hu, C.C. Shen, C.M. Kuan, Y.C. Lee et C.C. Wu. « Analysis of a Silane Explosion in a Photovoltaic Fabrication Plant ». *Process Safety Progress*, vol.25, n° 3, 2006, p. 237- 244.

Chen, H.W. « Exposure and Health Risk of Gallium, Indium, and Arsenic from Semiconductor Manufacturing Industry Workers ». *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 78, n°2, 2007, p. 123–127.

Conergy. *Installation Manual for Conergy PV Modules*. Waterloo, New South Wales : Conergy Ply Ltd, 2007. Repéré à : http://www.solarharness.com.au/images/stories/Solar_Harness/Downloads/conergy%20pv%20modules_installation%20manual_lores.pdf {dernière consultation : 31 mars 2013}.

CSA. *Construction Electrician (NOC 7241), Solar Photovoltaic (PV) Systems (SPVC)*. Personnel Certification Services. Mississauga, Ontario: Canadian Standard Association Group, 2012. Repéré à : <http://www.csa.ca/documents/pc/SPVC-Handbook-Application.pdf> {dernière consultation : 31 mars 2013}.

CSE. *Enquête sur la main-d'œuvre dans le secteur de l'énergie solaire au Canada. Pour un avenir brillant*. Programme des Conseils Sectoriels. Ottawa : Conseil Sectoriel de l'Électricité maintenant Ressources Humaines, Industrie Électrique du Canada, 2009. Repéré à : http://www.brightfutures.ca/lmi/fr/Final%20Report_LMI%20Solar_Fr.doc.pdf {dernière consultation : 20 février 2013}.

Cummings KJ, M. Nakano, K. Omae , K. Takeuchi , T. Chonan T, Y.L. Xiao, R.A. Harley, V.L. Roggli, A. Hebisawa, R.J. Tallaksen, B.C. Trapnell, G.A. Day, R. Saito, M.L. Stanton, E. Suarathana, K. Kreiss. « Indium Lung Disease ». *Chest*, vol. 141, n° 6, 2012, p. 1512-1522.

DHHS/NIOSH. *Making Green Job Safe Workshop*. Washington DC: Department of Health and Human Services/National Institute for Occupational Safety and Health, 2011. Repéré à : <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-201/pdfs/2011-201.pdf> {dernière consultation : 20 février 2013}.

Ellwood, P., S. Bradbrook, J. Reynolds et M. Duckworth. *Foresight of New and Emerging Risks to Occupational Safety and Health Associated with New Technologies in Green Jobs by 2020. Phase II: Key Technologies*. Report commissioned by the European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), 2011. 49 p. Repéré à : <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/foresight-green-jobs-key-technologies> {dernière consultation : 12 avril 2013}.

Énergie Solaire Québec. *Répertoire québécois des énergies renouvelables*. Ville Saint-Laurent : Québec. Édition 2011-2012. 31 p.

Énergie Solaire Québec. « Le PV en 2013 ». Page du site Internet de Énergie Solaire Québec. Mise à jour en 2013. Repéré à : <http://www.esq.qc.ca/styled-5/styled-14/> {dernière consultation : 29 mars 2013}.

Enocean. *Solar cell Handling Instructions, ECS 3X0*. Handling Instruction V1.0. Oberhaching, Germany: EnOcean GmbH, 2009. Repéré à : http://www.enocean.com/en/enocean_modules_902mhz/ECS3x0_Handling_Instructions_V1.0_10.pdf/ {dernière consultation : 18 mars 2013}.

EPIA/Greenpeace. *Solar Generation V, Solar Electricity for over One Billion People and Two Million Jobs by 2020*. European Photovoltaic Industry Association, Brussels, Belgium and Greenpeace International Report, Amsterdam, The Netherlands, 2008. 73 p. Repéré à : http://www.photovoltaique.info/IMG/pdf/EPIA_SG_V_ENGLISH_FULL_Sept2008.pdf {dernière consultation : 17 janvier 2013}.

EPIA/Greenpeace. *Solar Generation 6, Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World*. European Photovoltaic Industry Association, Brussels, Belgium and Greenpeace International, Amsterdam, The Netherlands, 2011. 100 p. Repéré à : <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2011/Final%20SolarGeneration%20VI%20full%20report%20lr.pdf> {dernière consultation : 17 janvier 2013}.

EPRI. *Potential Health and Environmental Impacts Associated With the Manufacture and Use of Photovoltaic Cells*. Technical Report. Electric Power Research Institute, Palo Alto, Californie, and California Energy Commission, Sacramento, Californie, 2003. 1000095. Repéré à : <http://www.energy.ca.gov/reports/500-04-053.PDF> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Erico. CADWELD® PLUS Welding Material. Material Safety Data Sheet. Solon, Ohio : ERICO International Corporation, 2007. Repéré à : <http://www.erico.com/public/library/MSDS/LT1298.pdf> {dernière consultation : 18 mars 2013}.

ESHA. *Background document to the opinion of the committee for risk assessment on a proposal for harmonised classification and labelling of indium phosphide*. EC number: 244-959-5, CAS number: 22398-80-7. European Chemical Agency, Committee for Risk Assessment, 2010. 41 p. Repéré à : <http://echa.europa.eu/documents/10162/56fcf7e-ed65-4d3c-9e8f-4fddef879789> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Eur-lex Europa. Regulation (EC) Number 1907/2006 of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of European Union*, L 136/3, 18 December 2006. Repéré à : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:en:PDF> {dernière consultation : 10 janvier 2013}.

Eur-lex Europa. Directive 2012/19/UE du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2012 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) (refonte). *Le Journal Officiel de l'Union Européenne*, L 197/38, 24 Juillet 2012. Repéré à : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:FR:PDF> {dernière consultation : 12 janvier 2013}.

EurObserv'Er. Baromètre photovoltaïque 2011. *Le Journal du Photovoltaïque*, Hors Série, n° 7, Avril 2012. Repéré à : http://eurobserv-er.org/pdf/photovoltaic_2012.pdf {dernière consultation : 5 janvier 2013}.

Exid Technologies. Page du site Internet de Exid Technologies. Mise à jour 2013. Repéré à : <http://www.exide.com/> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Freitas, J., I. Grova, L. Akcelrud, E. Arici, N. Sariciftci et A. Nogueira. « The effects of CdSe incorporation into bulk heterojunction solar cells ». *Journal of Materials Chemistry*, vol.20, 2010, p. 4845-4853.

Fthenakis, V.M. Overview of Potential Hazards, In Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Chapter V-I, T. Markvart and L. Castaner, (Ed.), Elsevier, 2003a, p. 857-868.

Fthenakis V.M. «Hazard Analysis for The Protection of PV Manufacturing Facilities» in : Proceeding from the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, May 11-18, 2003b. Volume 2. IEEE Digital Library, Conference Publications, 2003 b, p. 2090-2093. Repéré à : <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1306361> {dernière consultation : 23 mars 2013}.

Fthenakis, V.M. « Life Cycle Impact Analysis of Cadmium in CdTe PV Production ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.8, n° 4, 2004, p. 303-334.

Fthenakis, V.M. et P.D. Moskowitz. « Photovoltaics: Environmental, Health and Safety Issues and Perspectives ». *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*, vol.8, 2000, p. 27-38.

Fthenakis, V.M., H.C. Kim, A. Colli et C. Kirchsteiger (2006). Evaluation of risks in the life cycle of photovoltaics in a comparative context. *Brookhaven National Laboratory Publications*, Upton, New York. Repéré à : http://www.bnl.gov/pv/files/pdf/abs_191.pdf {dernière consultation : 23 mars 2013}.

Fthenakis, V.M., C. Carlisle et W. Chan (2008). Silane safety in amorphous silicon and silicon nitride operations. *Brookhaven National Laboratory Publications*, Upton, New York. Repéré à : http://www.bnl.gov/pv/files/pdf/abs_190.pdf {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Funk, D., 2010. L'énergie solaire : Circonstances et conditions d'exploitation au Québec. Sherbrooke, Canada, Université de Sherbrooke. Centre Universitaire de Formation en Environnement, 2010, 88 p. Maître en Environnement (M. Env).

Gagnon, R. (Mars 2008). Des crédits verts pour les auto-producteurs, Chronique du Livre bleu et autres et autres règlements d'Hydro-Québec. *Électricité Québec*, p 16-18. Repéré à : http://www.hydroquebec.com/cmeq/pdf/chronique_mr_08.pdf {dernière consultation : 25 mars 2013}.

Gerbinet, S. *Évaluation environnementale de systèmes de production d'électricité renouvelable*. Liège, Belgique. Université de Liège. Laboratory of Chemical Engineering, 2011, 186 p. Master en Ingénieur Civil en Chimie et Sciences des Matériaux.

Green Rhino Energy. « Solar Power, Technologies ». Page du site Internet de Green Rhino Energy Ltd, 2012. Repéré à : http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_manufacturing.php {dernière consultation : 17 mai 2013}.

Guha, N., D. Loomis, Y. Grosse, B. Lauby-Secretan, F. El Ghissassi, V. Bouvard, L. Benbrahim-Tallaa, R. Baan, H. Mattock et K. Straif. « Carcinogenicity of trichloroethylene, tetrachloroethylene, some other chlorinated solvents, and their metabolites ». On behalf of the International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group, *The Lancet Oncology*, vol. 13, n° 12, 2012, p. 1192 – 1193.

Hamilton, J. *Green Jobs: Solar power*. Report 2. Washington DC: US Bureau of Labor Statistics, 2011. Repéré à : http://www.bls.gov/green/solar_power/solar_power.pdf (31 mars 2013) {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Health Canada. « Priority Substances List Assessment Report for Releases from Primary and Secondary Copper Smelters and Copper Refineries - Releases from Primary and Secondary Zinc Smelters and Zinc Refineries ». Page du site Internet de Health Canada. Mise à jour du 17 décembre 2007. Repéré à : http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl2-lsp2/copper_cuivre_zinc/copper_cuivre_zinc_2-eng.php {dernière consultation : 17 mai 2013}.

Heijungs, R., A. de Koning, T. Lighthart et R. Korenromp. Improvement of LCA Characterization and LCA practice for metals. Report R 2004/347. The Netherlands: Netherlands Organisation for Applied Scientific Research TNO. 2004. Repéré à : <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/finished/metals-in-lcia.html> {dernière consultation : 18 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Polychlorinated biphenyls and Polybrominated biphenyls*. Vol 41. Sup. 7. Lyon, France : IARC. 1987a. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol18/volume18.pdf> {dernière consultation : 16 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Some Aziridines, N-, S- & O-Mustards and Selenium*. Vol.9. Sup. 7. Lyon, France: IARC. 1987 b. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol9/volume9.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Dichloromethane*. Vol.77. Lyon, France : IARC. 1999a. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol71/mono71-10.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Carbon tetrachloride*. Vol.20. Sup. 7, 71. Lyon, France : IARC.

1999 b. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol71/mono71-17.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Thiourea*. Vol. 79. Lyon, France: IARC. 2001. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol79/mono79-24.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Indium phosphide and other indium compounds*. Vol. 86. Lyon, France: IARC. 2006a. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Publications/techrep42/TR42-2.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Inorganic and organic lead compounds*. Vol. 87. Lyon, France: IARC. 2006 b. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol87/volume87.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Asbestos (chrysotile, amosite, crocidolite, tremolite, actinolite, and anthophyllite)*. Vol. 14. Sup. 7, 100C. Lyon, France: IARC. 2012a. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C-11.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Occupational exposures during aluminium production*. Vol. 34. Sup. 7, 100 F. Lyon, France: IARC. 2012b. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F-22.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Arsenic and arsenic compounds*. Vol. 23, Sup. 7, 100C. Lyon, France: IARC. 2012c. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C-6.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Cadmium and cadmium compounds*. Vol. 58, 100C. Lyon, France: IARC. 2012d. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C-8.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Chromium (IV) Compounds*. Vol. 49, 100C. Lyon, France: IARC. 2012e. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C-9.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Silica dust, crystalline, in the form of quartz or cristobalite*. Vol. 68, 100C. Lyon, France : IARC. 2012f. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C-14.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IARC. International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Benzene*. Vol. 29. Supp. 7, 100F. Lyon, France : IARC. 2012 g. Repéré à : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

IBGE. *Le photovoltaïque : les différents types d'implantations*. Infofiches Énergie. Bruxelles : Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2010a. Repéré à : http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/Mod6_Types_implantation_FR.PDF {dernière consultation : 15 février 2013}.

IBGE. *Le photovoltaïque, gestion des Risques*. Bruxelles : Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2010b. Repéré à : http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/Mod9_Gestion_risques_FR.PDF {dernière consultation : 15 février 2013}.

ILO. *Promoting Decent Work in a Green Economy*. ILO Backgroud Note to "Towards a green Economy : Pathways to sustainable development and poverty eradication, UNEP 2011". Geneva: International Labor Organization , 2011, 27p. Repéré à : http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/documents/publication/wcms_152065.pdf {dernière consultation : 10 février 2013}.

INERIS/CSTB. *Prévention des Risques associés à l'implantation de cellules photovoltaïques sur des bâtiments industriels ou destinés à des particuliers*. Rapport final DRA-10-108218-13522A. France: Institut national de l'environnement industriel et des risques et Centre scientifique et technique du bâtiment, 2010, 228 p. Repéré à : <http://www.ineris.fr/centredoc/photovoltaique-web.pdf> {dernière consultation : 27 février 2013}.

INERIS/CSTB. *Prévention du risque incendie lié aux cellules photovoltaïques installées sur bâtiment*. France : Institut national de l'environnement industriel et des risques et Centre scientifique et technique du bâtiment, 2011. Repéré à : http://www.cstb.fr/fileadmin/documents/actualites/communiques_dossiers_presse/2011/Dp_Photovoltaique.pdf {dernière consultation : 27 février 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Cadmium et composés minéraux*. FT n° 60. Paris, France : INRS, 1997. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2060> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Trihydrure d'arsenic*. FT n°53. Paris, France : INRS, 2000. Repéré à :

<http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2053> {dernière consultation : 5 mars 201 317 mai 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Trichlorure de phosphore*. FT n° 108. Paris, France : INRS, 2003. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20108> {dernière consultation : 5 mars 201 317 mai 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Dioxyde de carbone*. FT n° 238. Paris, France : INRS, 2005. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20238> {dernière consultation : 5 mars 201 317 mai 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Arsenic et composés minéraux*. FT n° 192. Paris, France : INRS, 2006A. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20192> {dernière consultation : 5 mars 201 317 mai 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Dioxyde de soufre*. FT n° 41. Paris, France : INRS 2006b. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2041> {dernière consultation : 5 mars 201 317 mai 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Plomb et composés minéraux*. FT n° 59. Paris, France : INRS, 2006c. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2059> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Ammoniaque et solution aqueuse*. FT n° 16. Paris, France : INRS, 2007. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2016> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Chlore*. FT n° 51. Paris, France : INRS, 2008a. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2051> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Phosphine*. FT n° 179. Paris, France : INRS, 2008b. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20179> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Monoxyde de carbone*. FT n° 47. Paris, France : INRS, 2009a. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2047> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Sulfure d'hydrogène*. FT n° 32. Paris, France : INRS, 2009b. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2032> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Tétrachlorométhane*. FT n° 8. Paris, France : INRS, 2009c. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%208> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Dichlorométhane*. FT n° 34. Paris, France : INRS, 2010. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2013> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Fluorure d'hydrogène et solutions aqueuses*. FT n° 6. Paris, France : INRS, 2011a. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%206> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Institut national de recherche et de sécurité Fiche Toxicologique. *Sélénium et composés*. FT n° 150. Paris, France : INRS, 2011b. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20150> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. Les fumées de soudage et technique connexes. Aide-mémoire technique ED 6132. Paris, France : Institut national de recherche et de sécurité, 2012. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%206132> {dernière consultation : 5 mars 2013}.

INRS. *Pose, maintenance et dépose des panneaux solaires thermiques et photovoltaïques en sécurité*. Recommandation R.467. France : Institut national de recherche et de sécurité, Mars 2013. Repéré à : <http://www.ameli.fr/employeurs/prevention/recherche-de-recommandations/pdf/R467.pdf> {dernière consultation : 17 mai 2013}.

IREC. Occupational Profiles for the Solar Industry. Latham, New-York: Interstate Renewable Energy Council, 2008, 10 p. Repéré à : http://irecusa.org/uploads/media/Occupational_Profiles_August_2008_Final.pdf {dernière consultation : 7 mars 2013}.

IRENA. Renewable Energy Jobs: Status, Prospects & Policies, Biofuels and Grid-Connected Electricity Generation. Abu Dhabi, United Arab Emirates: International Renewable Energy Agency, 2011, 29 p. Repéré à : <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RenewableEnergyJobs.pdf> {dernière consultation : 7 mars 2013}.

Jha M.K., V Kumar et R.J Singh. « Review of Hydrometallurgical Recovery of Zinc From Industrial Wastes ». *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 33, n° 1, 2001, p. 1-22.

- Kapias, T., R.F. Griffiths et C. Stefanidis. «Spill Behaviour Using REACTPOOL: Part II. Results for Accidental Releases of Silicon Tetrachloride (SiCl₄)». *Journal of Hazardous Materials*, vol. 81, n° 3, 2001, p. 209–222.
- Krewski D., R. A. Yokel, E. Nieboer, D. Borchelt, J. Cohen, J. Harry, S. Kacew, J. Lindsay, A.M. Mahfouz, et V. Rondeau. « Human Health Risk Assessment for Aluminium, Aluminium Oxide, and Aluminium Hydroxide ». *Journal of Toxicological Environmental Health Part B Critical Reviews*, vol. 10 (Suppl. 1), 2007, p. 1–269.
- Liu, Y., W. Chen, A. G. Joly, Y. Wang, C. Pope, Y. Zhang, J.O. Bovin, et P. Sherwood. « Comparison of water-soluble CdTe nanoparticles synthesized in air and in nitrogen ». *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 110, n° 34, 2006, p.16992-7000.
- Liu Y, Chen W, Joly AG, Wang Y, Pope C, Lu, M.F, M.C. Huang, J.J. Lin, 2012. «Emission distribution of volatile organic compounds of semiconductor and photovoltaic (TFT-LCD) industries» in Proceedings of 2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), XianNing, China, April 16-18, 2011, IEEE Digital Library, Conference Publications, 2011, p. 1206 – 1211. Repéré à : <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05769244&tag=1> {dernière consultation : 17 mars 2013}.
- Ma, W., J.M. Luther, H. Zheng, Y. Wu et A. Paul Alivisatos. « Photovoltaic devices employing ternary PbS_xSe_{1-x} nanocrystals ». *Nano Letters*, vol. 9, n° 4, 2009, p. 1699-1703.
- Manzetti, S. et O. Andersen. « Toxicological Aspects of Nanomaterials used in Energy Harvesting Consumer Electronics ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, n° 4, 2012, p. 2102–2110.
- Minéraux Industriels France. « La silice ». Page du site Internet de Minéraux Industriels France. Sans date de mise à jour. 2013. Repéré à : http://www.mi-france.fr/doc/01_FR_Silice_fact_sheet.pdf {dernière consultation : 17 mai 2013}.
- MRNF. *La Stratégie Énergétique du Québec 2006-2015*. Gouvernement du Québec : Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, 2006. Repéré à : <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/energie/strategie/strategie-energetique-2006-2015.pdf> {dernière consultation : 17 mai 2013}.
- MRNF. « Programme d'aide à l'installation d'équipements solaires opérationnels (PAIESO) ». Page du site Internet du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Efficacité Énergétique, Gouvernement du Québec 2008-2011. Repéré à : <http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/clientele-affaires/municipalites/programme-daide-a-linstallation-dequipements-solaires-operationnels/#c3617> {dernière consultation : 20 mai 2013}.
- Miquel, C. *Systèmes photovoltaïques : Fabrication et Impact Environnemental*. Synthèse. Villeurbanne, France : Hepsul, Énergie renouvelable et efficacité énergétique, 2009. Repéré à : En ligne http://www.photovoltaique.info/IMG/pdf/PV_Fab_Envnt_final_26082009.pdf {dernière consultation : 17 mai 2013}.

NABCEP. *Photovoltaic Installer. Job Task Analysis*. Clifton Park, New York: North American Board for Certified Energy Practitioners, 2011, 19p. Repéré à : <http://www.nabcep.org/wp-content/uploads/2011/10/NABCEP-PV-installer-JTA-10-4-11.pdf> {dernière consultation : 27 mars 2013}.

Newalta, 2010. « Fiche Entreprises ». Page du site Internet de Les Affaires.com, consultée le 10 janvier 2013. Repéré à : <http://www.lesaffaires.com/fiches-entreprise/Newalta-1579#.UZzQm4c3vZU> {dernière consultation : 28 mars 2013}.

NPI. *Emission Estimation Technique Manual for Zinc Concentrating, Smelting and Refining*. Government of Australia: National Pollutant Inventory, Environment Australia, 1999. Repéré à : <http://www.npi.gov.au/publications/emission-estimation-technique/pubs/fzinc.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

OPPBTP. *Pose des panneaux photovoltaïques, préparation d'un chantier*. Fiche Pratiques Métiers. Boulogne-Billancourt, France : Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux Publics, 2011. Repéré à : www.oppbtp.fr/content/download/20364/121275 {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Oregon.gov. *Health and Safety Concerns of Photovoltaic Solar Panels*. Government of Oregon : Office of Innovative Partnerships and Alternative Funding. Sans date de mise à jour. 2013. Repéré à : <http://cms.oregon.gov/ODOT/HWY/OIPP/docs/life-cyclehealthandsafetyconcerns.pdf> {dernière consultation : 7 mars 2013}.

OSEIA. *Solar Construction Safety*. Solar Safety Manual. Oregon Solar Energy Industries Association, Portland, USA, 2006, 112 p. Repéré à : http://www.coshnetwork.org/sites/default/files/OSEIA_Solar_Safety_12-06.pdf [15 mars 2013] {dernière consultation : 27 mars 2013}.

OSHA. « Green Job Hazards: Solar Energy ». Page du site Internet de US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration. Sans date de mise à jour. Repéré à : <http://www.osha.gov/dep/greenjobs/solar.html> {dernière consultation : 27 mars 2013}.

Photovoltaïque.info. « Prévention contre les chocs électriques et les risques incendies ». Page du site Internet de Photovoltaïque.info, Rubrique Normes, Guide et Sécurité. Mise à jour du 5 septembre 2012. Repéré à : <http://www.photovoltaïque.info/Prevention-contre-les-chocs.html> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

PNUE. *Emplois Verts : Pour un travail décent dans un monde durable à faible émission de carbone*. Nairobi, Kenya: Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2008. Repéré à : http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---webdev/documents/publication/wcms_098488.pdf {dernière consultation : 7 mars 2013}.

Prevor. « Le risque chimique dans l'industrie photovoltaïque ». Page du site Internet de Prevor, Prévoir et Sauver. Mise en ligne le 22 février 2011. Repéré à : <http://www.prevor.com/FR/sante/RisqueChimique/articles/photovoltaïque/photovoltaïque.php> {dernière consultation : 7 mars 2013}.

PVemployment. *Solar Photovoltaic Employment in Europe, The Role of Public Policy for Tomorrow's Solar Jobs*. PVemployment, Belgium, European Photovoltaic Industry Association, Belgium, WIP-Renewable Energies, Germany, University of Flensburg, Germany, National Technical University of Athens, Greece, 2009. Repéré à : <http://www.pvemployment.org/index.php?id=39> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Rahman, M. (2011). La physique quantique au service des cellules photovoltaïques. *Techniques de l'Ingénieur, Environnement-Sécurité-Énergie*. Mise en ligne le 16 mai 2011. Repéré à : http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/environnement-securite-energie-thematique_191/la-physique-quantique-au-service-des-cellules-photovoltaïques-article_61876/ {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Razykov, T.M., C.S. Ferekides, D. Morwl, E. Stefanakos, H.S. Ullal et H.M. Upadhyaya. « Solar photovoltaic electricity : current status and future prospects ». *Solar Energy*, vol.85, 2011, p. 1580–1608.

Régie du Bâtiment Québec. *Guide pour déterminer la licence requise, Sous-catégories 13.5 : Entrepreneurs en installations spéciales ou préfabriquées*. Gouvernement du Québec : Régie du bâtiment Québec. 2013. Mise à jour 2013. Repéré à : https://www.rbq.gouv.qc.ca/guide-pour-determiner-la-licence-requise/liste-des-sous-categories.html?tx_gdlr_pi1%5Bannexe%5D=3&tx_gdlr_pi1%5Bsubcat%5D=60 {dernière consultation : 20 mars 2013}.

Richez, J-P, G. Brasseur et J. Clergiot (2011). Énergie Renouvelable, Vers un développement durable de la prévention. *Travail et Sécurité*, n° 174, février 2011, p. 19-34. Repéré à : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=TS714page18> {dernière consultation : 7 février 2013}.

RTK. *Tellurium*. Hazardous Substance Fact Sheet. New Jersey: New Jersey Department of Health and Senior Service, Right to Know Program, 2009. Repéré à : <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1777.pdf> {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Santé Canada. *Le tétrachlorure de carbone, recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*. Document technique. Ottawa : Santé Canada, 2011, 51p. Repéré à : http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/carbon-carbone/carbon-carbone-fra.pdf {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Sellamuthu, R., C. Umbright, S. Li, M. Kashon et P. Joseph. « Mechanisms of crystalline silica-induced pulmonary toxicity revealed by global gene expression profiling ». *Inhalation Toxicology*, vol. 23, n°. 14, 2011, p. 927-937.

SCHL. « Les installations photovoltaïques (PV) ». Page du site Internet de la Société canadienne d'hypothèque et de logements, SCHL 1996-2013. Repéré à : http://www.schl.ca/fr/co/enlo/efenreco/efenreco_003.cfm {dernière consultation : 17 mars 2013}.

SolarThinFilms. « Thin-film PV manufacturing equipment ». Page du site Internet de SolarthinFilms Inc. Mise à jour en 2007. Repéré à : http://www.solarthinfilms.com/active/en/home/products__services/turnkey_pv_thinfilm_factorie/s/asi_manufacturing_process.html {dernière consultation : 17 mars 2013}.

Soluxtec. PowerSlate Mono Serie Dark Blue TM. Notice d'installation. Soluxtec SA, Luxembourg, Version du 1.1.2010. Repéré à : <http://www.soluxtec.eu/download/302/notice-d-installation-powerslate-serie-frameless.pdf> {dernière consultation : 8 mars 2013}.

SPP. Données de base sur la toxicité des principaux solvants industriels. Document préparatoire au séminaire de septembre 2002. Paris : Hopital Cochin, Service de Pathologie Professionnelle, 2002. Repéré à : <http://www.uvmt.org/Multimedia/solvants.pdf> {dernière consultation : 8 mars 2013}.

Su, H., M. Hu, C. Fan, Y.He, Q. Li, W. Li, L.H. Wang, P. Shen et Q. Huang. « The cytotoxicity of CdTe quantum dots and the relative contributions from released cadmium ions and nanoparticle properties ». *Biomaterials*, vol.31, n°18, 2010, p. 4829-34.

SVTC. *Towards a Just and Sustainable Solar Energy Industry*. Resources Report. Silicon Valley Toxics Coalition, San Fransisco, California, 2009, 45 p. Repéré à : http://svtc.org/wp-content/uploads/Silicon_Valley_Toxics_Coalition_-_Toward_a_Just_and_Sust.pdf {dernière consultation : 27 février 2013}.

Tian, B. X. Zheng, T. J. Kempa, Y. Fang, N. Yu, G. Yu1, J. Huang1 et C.M. Lieber. « Coaxial Silicon Nanowires as Solar Cells andNanoelectronic Power Sources ». *Nature*, vol.449, 2007, p.885-889.

Timminco. *Becancour Silicon Inc.* Timminco Ltd. 2008. Repéré à : <http://www.timminco.com/docs/presentations/Oct24/Feb72008.pdf> {dernière consultation : 22 novembre 2011}.

US EPA. Health Effects Support Document for Boron. Document Number EPA-822-R-08-002. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water (4304T), 2008: p. 7-1 à 7-27. Repéré à : http://www.epa.gov/ogwdw/ccl/pdfs/reg_determine2/healtheffects_ccl2-reg2_boron.pdf {dernière consultation : 7 mars 2013}.

US EPA. Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) For Germane. Interim: 09-2009. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2009 : p. 8-16. Repéré à : http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/germane_interim_sep_09_v1.pdf (20 mars 2013) {dernière consultation : 7 mars 2013}.

Vest, H. (2002). Fundamentals of the recycling of lead-acid batteries. Infogate/ Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Repéré à : http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/E017E_2002.pdf {dernière consultation : 17 mars 2013}.

WHO. *Chrysotile Asbestos. Environmental Health Criteria 203*. Geneva: World Health Organization, 1998. Repéré à : http://whqlibdoc.who.int/publications/1998/9241572035_eng.pdf {dernière consultation : 20 février 2013}.

Wild-Scholten, M.J. et E. Alsema. « Towards Cleaner Solar PV: Environmental and Health Impacts of Crystalline Silicon Photovoltaics ». *Refocus*, vol. 5, n° 5, 2004, p. 46–49.

Zayed, J. et S. Phillippe. « Acute Oral and Inhalation Toxicities in Rats with Cadmium Telluride ». *International Journal of Toxicology*, vol. 28, n° 4, 2009, p. 259-265.

**ANNEXE A : QUESTIONNAIRE DESTINÉ AUX ENTREPRISES
ACTIVES DANS LE SECTEUR DE L'EXTRACTION ET DE LA
FABRICATION**

Portrait de l'industrie du photovoltaïque au Québec Volet fabricant et extracteur

Date : Jour Mois Année

Numéro du questionnaire :

Note importante : L'acronyme "PV" utilisé dans ce questionnaire fait référence au mot *photovoltaïque*.

PARTIE A

Nous voulons d'abord obtenir des renseignements généraux sur votre entreprise.

QUESTION 1 : Quel est le nombre d'années d'existence de votre entreprise ?

- moins de 1 an 1 an à moins de 2 ans
 2 ans à moins de 5 ans 5ans et plus

QUESTION 2 : Depuis combien de temps votre entreprise est-elle active dans le secteur du PV ?

- moins de 1 an 1 an à moins de 2 ans
 2 ans à moins de 5 ans 5ans et plus

QUESTION 3 : Quel est le nombre moyen d'heures de travail consacrées **par semaine** au PV au sein de votre entreprise ces douze (12) derniers mois? _____

QUESTION 4 : Que représente, **en pourcentage**, ce nombre moyen d'heures par rapport à l'ensemble de l'activité de l'entreprise ?

- moins de 10 % 10 % à moins de 30 % 30 % à moins de 50 %
 50 % à moins de 70 % 70 % à moins de 90 % 90 % et plus

QUESTION 5 : Comment pensez-vous que la filière PV de votre entreprise va évoluer au cours des cinq (5) prochaines années?

- Croissance Décroissance Stabilité Ne sais pas

PARTIE B

Nous voulons maintenant obtenir des renseignements spécifiques liés au secteur PV de votre entreprise.

QUESTION 6 : Veuillez préciser votre/vos champ(s) d'activités en cochant la ou les case(s) appropriée(s).

- **Extraction de matériau(x) brut(s)** Oui Non

Si oui, le(s)quel(s)?

.....

.....

.....

.....

- **Production de matériau(x) de base** Oui Non

Si oui, le(s)quel(s)?

.....

.....

.....

.....

- **Fabrication de cellules PV** Oui Non

Si oui, lesquelles ?

.....

.....

.....

.....

- **Assemblage de modules PV**
Si oui, lesquelles ?

Oui Non

.....

.....

.....

.....

QUESTION 7 : Est-ce qu'il existe un département "**recyclage**" au sein de votre entreprise?

Oui Non

Si oui, veuillez préciser les composants recyclés :

- Résidus de panneaux PV
- Résidus de métaux
- Résidus de procédés manufacturés divers
- Autre(s)**, merci de préciser :

.....

.....

.....

QUESTION 8 : Si vous recyclez des panneaux PV, veuillez en préciser le(s) type(s) :

- Silicium cristallin Silicium amorphe Tellure de cadmium
- CIS (Di-Sélénium de Cuivre-Indium) CIGS (Cuivre Indium Gallium et Sélénium)
- Autre(s)**, merci de bien vouloir préciser:

.....

QUESTION 9 : Laquelle ou lesquelles des activités suivante(s) concerne(nt) votre entreprise?

- Travail souterrain
- Travail en salle blanche
- Travail au moyen de machinerie lourde (par exemple : engins de chantier et mines)
- Travail de soudure
- Usage de four (s)

QUESTION 10 : Si vous avez coché "usage de four(s)" à la question 9, veuillez préciser le(s) type(s) de four(s) :

- Four à arc électrique
- Four à fusion
- Four à oxycombustion
- Autre(s), merci de préciser :.....

PARTIE C

Les questions suivantes portent sur le volet santé et sécurité des travailleurs de votre entreprise.

QUESTION 11 : Au cours des douze (12) derniers mois, quel a été le nombre de travailleurs par catégorie de profession au sein de votre entreprise ? Veuillez indiquer ce nombre dans chacune des cases blanches appropriées dans le tableau suivant.

Conducteur de camion		Mécanicien	
Commis d'entrepôt		Mineur d'extraction	
Conducteur d'engins de chantier		Opérateur de machines	
Contremaître/Surveillant		Opérateur de four	
Concierge		Opérateur de grue	
Cuisinier		Personnel administratif et de gestion	
Dynamiteur		Personnel d'entretien et de soutien des mines	
Électricien		Personnel affecté au service de nettoyage	
Foreur		Préposé à la réception/expédition des marchandises	
Gardien de sécurité		Soudeur	
Géologue		Technicien/Technologue en génie mécanique	
Géochimiste		Technicien/Technologue en génie industriel	
Géophysicien		Technicien/Technologue en génie métallurgique	
Infirmier		Technicien/Technologue en contrôle qualité	
Ingénieur chimiste		Technicien/Technologue en géologie/minéralogie	
Ingénieur civil		Technicien/Technologue en maintenance industrielle	
Ingénieur électricien		Technicien/Technologue, autre :	
Ingénieur en génie métallurgique		Technicien/Technologue, autre :	
Ingénieur en fabrication des métaux		Autre(s) catégorie(s) de profession, merci de préciser:	
Ingénieur mécanicien			
Ingénieur en procédés de transformation			
Magasinier			
Manoeuvre/Manutentionnaire			

QUESTION 12 : Parmi les matériaux suivants, le(s)quel(s) a/ont été manipulé(s) et/ou utilisé(s) et/ou généré(s) dans votre entreprise au cours des douze (12) derniers mois ? Veuillez cocher la ou les case(s) blanche(s) appropriée(s). Si "*autre(s)*", veuillez en préciser la nature.

Matériau	Manipulé	Utilisé	Généré
Alumine			
Amiante			
Bois			
Cadmium			
Charbon			
Colle			
Composés organiques volatils (<i>acétone, benzène, etc.</i>)			
Cuivre			
Gallium			
Gaz (<i>monoxyde de carbone, dioxyde de soufre, etc.</i>)			
Germanium			
Indium			
Oxydants (<i>chlore, oxygène, etc.</i>)			
Pétrole			
Plomb			
Poussières de silice			
Poussières métalliques			
Poussières de bois			
Résine époxy, scellants			
Sélénium			
Silice			
Solvants organiques			
Substances corrosives (<i>acides/bases forts</i>)			
Tellure			
Tellure de cadmium			
Vapeur métallique (<i>four, soudure électrique</i>)			
Zinc			
Si autre(s), merci de bien vouloir préciser :			

QUESTION 13 : Au cours des douze (12) dernières mois, y-a-t-il eu un ou des accident(s) de travail en lien avec la filière PV de votre entreprise?

Oui Non

Si non, vous avez rempli le questionnaire, merci de votre collaboration.

Si oui, veuillez remplir le tableau suivant en indiquant dans la ou les case(s) blanche(s) appropriée(s) le **nombre de travailleurs impliqués** dans cet/ces accident(s) selon la ou les conséquence(s) et la ou les tâche(s) associée(s).

Tâche	Conséquence		
	Récupération sans séquelles	Séquelle(s)*	Décès
Conduite d'engin(s) lourd(s)			
Manipulation de machine(s) lors de la production			
Manipulation de produits chimiques			
Utilisation de four (s)			
Autre(s)			

* fait référence à toute atteinte permanente à l'intégrité physique (par exemple : *perte d'un doigt, perte d'un oeil*) et/ou neurologique (par exemple : *trouble du sommeil, trouble de la marche*) et/ou psychique (par exemple : *trouble dépressif, trouble douloureux*).

QUESTION 14 : Pour l'/les accident(s) non mortel(s) survenu(s) au cours des douze (12) derniers mois, veuillez préciser dans la ou les case(s) blanche(s) appropriée(s) **le nombre de lésions** selon leur(s) nature(s). Pour **un même accident de travail**, si un travailleur a subi **plusieurs lésions**, **ne tenir compte que de celle ayant entraîné la durée d'absence la plus longue.**

Nature des lésions	Nombre
Blessure superficielle	
Brûlure électrique	
Brûlure thermique	
Entorse-Foulure	
Fracture	
Mal de dos	
Plaie ouverte	
Si autre(s), merci de bien vouloir préciser :	

Merci d'avoir bien voulu répondre à ce questionnaire

**ANNEXE B : QUESTIONNAIRE DESTINÉ AUX ENTREPRISES ACTIVES
DANS LE SECTEUR DU PHOTOVOLTAÏQUE**

PARTIE B
Comme votre entreprise est active dans le secteur de l'installation des systèmes PV, nous voulons maintenant obtenir des renseignements spécifiques à cette activité.

QUESTION 6 : Veuillez indiquer le(s) type(s) de systèmes que vous avez installé(s) au cours des douze (12) derniers mois, le(s) types d'installation(s) réalisée(s) (*panneaux PV intégrés au bâti, partiellement intégrés au bâti et/ou non intégrés au bâti*) ainsi que le(s) milieu(x) d'activité concernés. Cochez la ou les case(s) blanche(s) appropriée(s) :

Milieux d'activités	Sytèmes PV autonomes			Systèmes PV raccordés au réseau électrique public		
	Panneaux PV intégrés au bâti	Panneaux PV partiellement intégrés au bâti (montés sur support ou vissés)	Panneaux PV non intégrés au bâti (au sol avec support)	Panneaux PV intégrés au bâti	Panneaux PV partiellement intégrés au bâti (montés sur support ou vissés)	Panneaux PV non intégrés au bâti (au sol avec support)
Milieu résidentiel						
Milieu institutionnel						
Milieu industriel						
Milieu commercial						
Milieu agricole						
Autre(s), merci de préciser:						

QUESTION 7 : Si vous êtes concerné par les systèmes PV autonomes, est-ce que vous avez installé des systèmes PV hybrides au cours des douze (12) derniers mois? (Si vous n'êtes pas concerné par ces systèmes, passez à la question 8)

- Oui Non

Si oui, veuillez indiquer la ou les deuxième(s) source(s) d'énergie associée(s) aux systèmes PV hybrides que vous avez installés au cours des douze (12) derniers mois :

- Générateur diesel Génératrice éolienne Autre(s):

QUESTION 8 : Si vous êtes concerné par les systèmes PV au sol, est-ce que vous avez installé des trackers ou suiveurs solaires au cours des douze (12) derniers mois? (Si vous n'êtes pas concerné par ces systèmes, passez à la question 9)

- Oui Non

Si non, prévoyez-vous de les installer dans les cinq (5) prochaines années ?

- Oui Non Ne sais pas

QUESTION 9 : Est-ce que vous avez installé des systèmes PV centralisés type "fermes solaires" au cours des douze (12) derniers mois ?

- Oui Non

Si non, prévoyez-vous de les installer dans les cinq (5) prochaines années :

- Oui Non Ne sais pas

QUESTION 10 : De quel(s) matériau(x) de base sont fabriqués les panneaux PV que vous avez installés au cours des douze (12) derniers mois ? Cochez la ou les case(s) appropriée (s) :

- Silicium cristallin Silicium amorphe Tellure de cadmium
 CIS (Di-Sélénium de Cuivre-Indium) CIGS (Cuivre Indium Gallium et Sélénium)
 Autre(s), merci de bien vouloir préciser:
 Ne sais pas

QUESTION 11 : Est-ce que vous effectuez l'entretien et la maintenance des systèmes PV que vous avez installés au cours des douze (12) derniers mois ?

Oui Non

QUESTION 12 : Lorsque vous avez installé des systèmes PV ces douze (12) derniers mois, lequel/lesquels des travaux suivants a été/ont été **réalisé(s) par vos soins** et lequel/lesquels a été/ont été **sous-traité (s)**. Cochez la ou les case(s) blanche(s) appropriée(s) :

Types de travaux	Réalisé par votre entreprise	Sous-traité
Travaux préparatoires de contrôle et de réfection éventuels de la couverture de toit existante avant pose de supports de panneaux PV sur toit incliné ou plat		
Travaux préparatoires de montage d'échafaudages		
Travaux préparatoires d'installation des supports de montage des panneaux PV sur toit incliné ou plat		
Travaux préparatoires d'installation des supports de montage des panneaux PV au sol		
Travaux préparatoires d'enlèvement partiel ou total d'éléments de construction (<i>matériaux de revêtement de toits, couvertures et façades, balustrades, parapets, ombrières, etc.</i>)		
Travaux de pose des panneaux PV sur supports de montage en toit incliné ou plat		
Travaux de pose des panneaux PV directement sur toit incliné sans support de montage		
Travaux de pose des panneaux PV avec systèmes de lestage sur toit plat sans support de montage		
Travaux de pose de toitures PV pour système PV intégré au bâti		
Travaux au moyen d' engins lourds (<i>grue, treuils, nacelles, monte-matériaux, etc.</i>) pour soulever/monter les panneaux PV		
Travaux de câblage des panneaux PV (branchement en série et raccordement à l'onduleur)		
Travaux de raccordement au réseau électrique public		

QUESTION 13 : Est-ce que vous effectuez la **désinstallation des panneaux PV** en fin de vie ?

- Oui Non

Si non, passez à la question **15**.

Si oui, avez-vous déjà procédé à la **désinstallation de panneaux PV** en fin de vie au cours des douze (12) derniers mois ?

- Oui Non

QUESTION 14 : Si vous avez déjà procédé à la **désinstallation de panneaux PV** en fin de vie au cours des douze (12) derniers mois, vers où les avez-vous dirigés ?

- Centre de recyclage Centre de stockage des déchets
 Lieu d'enfouissement
 Autres

QUESTION 15 : Est-ce que vous effectuez la collecte des **onduleurs** en fin de vie ?

- Oui Non

Si non, passez à la question **17**.

Si oui, avez-vous déjà collecté des **onduleurs** en fin de vie au cours des douze (12) derniers mois ?

- Oui Non

QUESTION 16 : Si vous avez déjà collecté des **onduleurs** en fin de vie au cours des douze (12) derniers mois, vers où les avez-vous dirigés ?

- Centre de recyclage Centre de stockage des déchets
 Lieu d'enfouissement
 Autres

QUESTION 17 : Est-ce que vous effectuez la collecte de **batteries solaires** en fin de vie ?

- Oui Non

Si non, passez à la question **19**.

Si oui, avez-vous déjà collecté des **batteries solaires** en fin de vie au cours des douze (12) derniers mois ?

- Oui Non

QUESTION 18 : Si vous avez déjà collecté des **batteries solaires** en fin de vie au cours des douze (12) derniers mois, vers où les avez-vous dirigées ?

- Centre de recyclage Centre de stockage des déchets
 Lieu d'enfouissement
 Autres

PARTIE C

Les questions suivantes portent sur le volet santé et sécurité des travailleurs qui ont contribué à l'installation des systèmes PV que votre entreprise a réalisée au cours des douze (12) derniers mois, peu importe qu'ils aient été ou non vos employés.

QUESTION 19 : Au cours des douze (12) derniers mois, quel a été le **nombre de travailleurs** qui ont contribué à l'installation des systèmes PV que votre entreprise a réalisée, peu importe que ces travailleurs aient été ou non vos employés? Veuillez indiquer ce nombre par catégorie de profession dans les cases blanches appropriées :

Architecte	
Charpentier-menuisier	
Conducteur de véhicules lourds	
Contremaître de chantier	
Couvreur	
Électricien	
Entrepreneur en couverture	
Fabricant des systèmes de couverture	
Grutier	
Ingénieur civil	
Ingénieur électricien	
Manœuvre	
Peintre	
Soudeur	
Technicien de maintenance et d'entretien	
Autre(s) catégorie(s) de profession, merci de préciser :	

QUESTION 20 : Au cours des douze (12) derniers mois, y-a-t-il eu un ou des accident(s) de travail en lien avec les activités d'installation de systèmes PV par votre entreprise?

Oui

Non

Si non, passez directement à la question 22.

Si oui, veuillez compléter le **tableau suivant** en indiquant dans la ou les case(s) blanche(s) appropriée(s) le **nombre de travailleurs impliqués** dans cet/ces accident(s) de travail selon la ou les conséquence(s), la ou les tâche(s) associée(s) et le ou les genre(s) d'accident(s) survenu(s).

Genre d'accident	Conséquence	Travaux préparatoires d'installation des panneaux PV	Travaux de pose des panneaux PV	Travaux de raccordement électrique des panneaux PV y compris au réseau électrique public	Travaux de maintenance et entretien des systèmes PV
Électrocution	Récupération sans séquelles				
	Séquelle(s)*				
	Décès				
Frappé par un objet	Récupération sans séquelles				
	Séquelle(s)*				
	Décès				
Chute de hauteur	Récupération sans séquelles				
	Séquelle(s)*				
	Décès				
Effort excessif	Récupération sans séquelles				
	Séquelle(s)*				
	Décès				
Autre(s)	Récupération sans séquelles				
	Séquelle(s)*				
	Décès				

* fait référence à toute atteinte permanente à l'intégrité physique (par exemple : *perte d'un doigt, perte d'un oeil*) et/ou neurologique (par exemple : *trouble du sommeil, trouble de la marche*) et/ou psychique (par exemple : *trouble dépressif, trouble douloureux*).

QUESTION 21 : Pour l'/les accident(s) non mortel(s) survenu(s) au cours des douze (12) derniers mois, veuillez préciser dans la ou les case(s) blanche(s) appropriée(s) **le nombre de lésions** selon leur(s) nature(s). Pour un même accident de travail, si un travailleur a subi **plusieurs lésions, ne tenir compte que de celle ayant entraîné la durée d'absence la plus longue.**

Nature des lésions	Nombre
Blessure superficielle	
Brûlure électrique	
Brûlure thermique	
Entorse-Foulure	
Fracture	
Mal de dos	
Plaie ouverte	

Si autre(s), merci de bien vouloir préciser :

Question 22 : Si vous avez installé des systèmes PV intégrés au bâti au cours des douze (12) derniers mois, vous êtes-vous informé de la présence d'**amiante** dans les éléments de construction dont vous avez effectué l'enlèvement partiel ou total ?

- Oui
 Non
 Je n'ai pas effectué ce type d'installation au cours des douze (12) derniers mois

Merci d'avoir bien voulu répondre à ce questionnaire