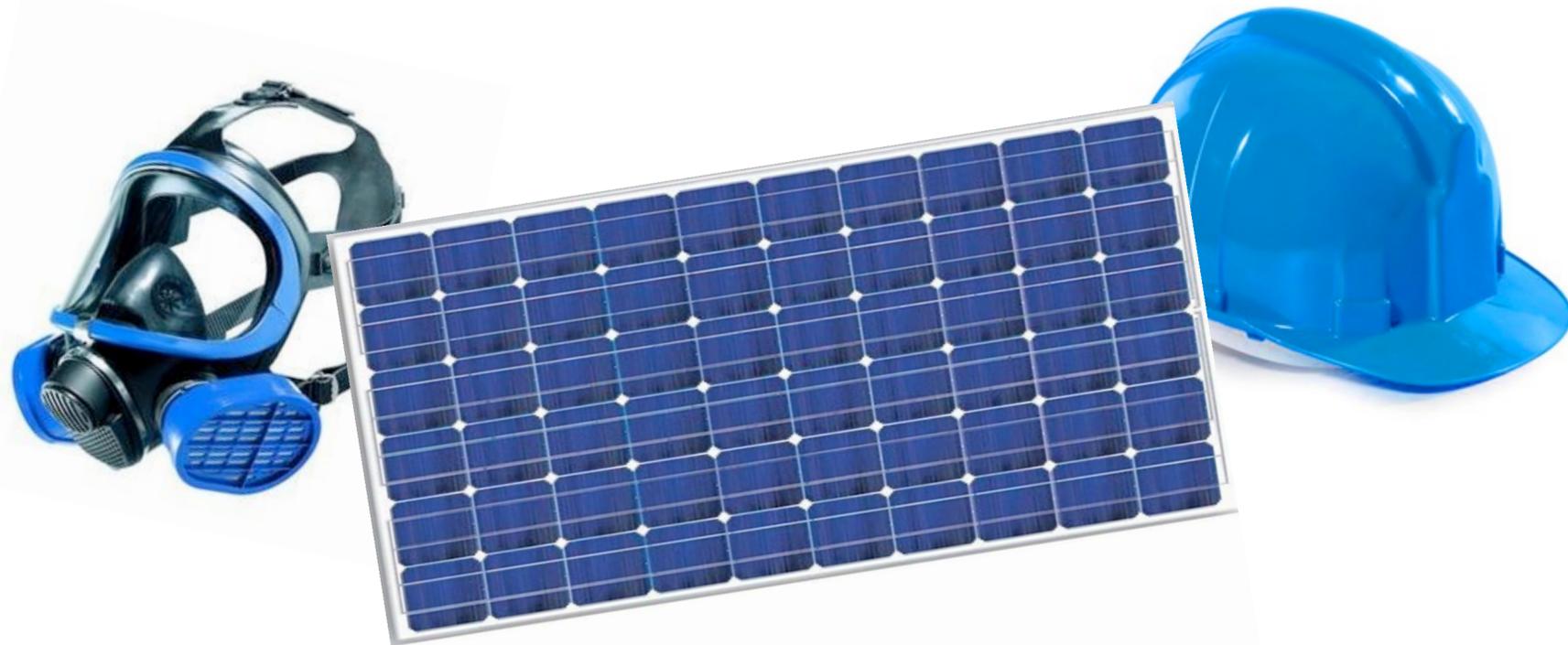


# Les défis des emplois verts de l'industrie du photovoltaïque au Québec

**Bouchra Bakhiyi**  
**Joseph Zayed**



**Rendez-vous de la science**  
**13 octobre 2015**

# L'industrie du photovoltaïque (PV) : contexte global

## Conception et fabrication de cellules PV

- 1<sup>re</sup> génération en couches épaisses  
(silicium)

- 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> génération en couches minces  
(Tellure de cadmium - Cuivre, Indium, Sélénium/Cuivre, Indium, Sélénium, Gallium [CIS/CIGS] - Arséniure de gallium )



## Applications

● Isolées



● Montées en série



Panneau PV

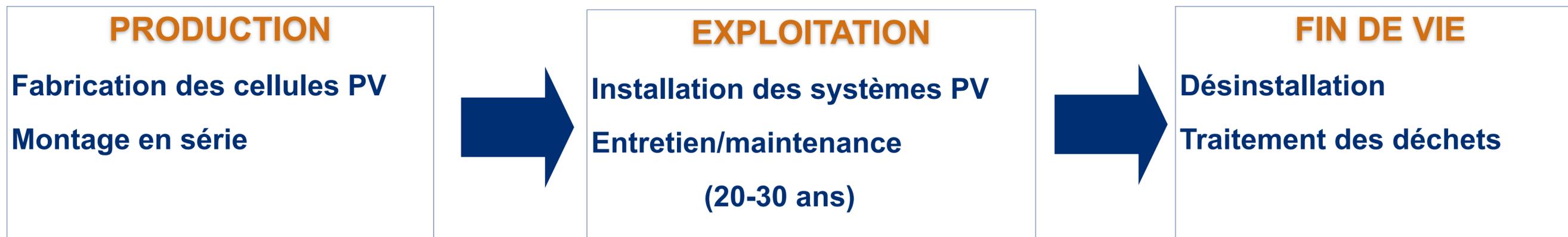


Systeme PV = Panneaux PV + accessoires (batteries, onduleurs, câblages, etc.)

# L'industrie du PV : contexte global



**Emplois tout au long du cycle de vie**



**Près de 2,5 millions d'emplois directs ou indirects dans le monde en 2014**

(Source : REN21, 2015. Renewable 2015, Global Status Report. Disponible à : [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015\\_Onlinebook\\_low1.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf))



## Objectifs

- Réaliser le bilan de la revue de littérature scientifique dans le domaine de l'énergie PV.
- Dresser le portrait de l'industrie du PV au Québec.
- Identifier les substances chimiques auxquelles sont exposés les travailleurs.
- Documenter les risques potentiels.

# Méthodologie

## I- Revue de la littérature

- Revue de la **littérature scientifique** (Embase, OSHLINE, IRIS EPA, INRS–Bibliographie, etc.)
- **Autres sources de données :**
  - **Sites Web gouvernementaux et institutionnels** (US EPA, OMS, CIRC, etc.)
  - **Sites Web de groupements professionnels** (Oregon Solar Energy Industries Association, Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics, etc.)
  - **Sites Web d'entreprises privées** (5N Plus, Soluxtec, etc.)

## II- Identification des entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV

### Sources multiples :

- Centre de recherche industrielle du Québec/**CRIQ**
- Association québécoise des énergies renouvelables/**AQPER**
- Association canadienne de l'énergie solaire/**CanSia**
- Répertoire québécois des énergies renouvelables (**Association énergie solaire Québec**)
- Autres sites Web : [enviroaccess.ca](http://enviroaccess.ca), [panneauxsolaires.ca](http://panneauxsolaires.ca), [ecohabitation.com](http://ecohabitation.com), etc.

## III- Enquête menée auprès des entreprises québécoises du PV

# Méthodologie

## Enquête menée auprès des entreprises québécoises du PV

- **Élaboration et validation de deux questionnaires d'enquête s'adressant uniquement aux propriétaires ou aux responsables des ressources humaines :**

- Entreprises actives dans le marché de **l'extraction ou de la fabrication liées au secteur du PV**
- Entreprises actives dans le marché de **l'installation des systèmes PV sur bâtiment**

- **Trois grandes thématiques abordées :**

- **Renseignements généraux** (nombre d'années d'existence ? Durée d'activité dans le secteur du PV ? Nombre d'heures consacrées au secteur du PV ? etc. )
- **Renseignements spécifiques** (Production de matériaux de base ? Recyclage ? Types de systèmes PV installés ? etc.)
- **Volet santé et sécurité au travail** (Types de substances chimiques manipulées ? Nombre et catégorie de travailleurs ? Lésions rapportées ? etc.)

**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 ?  
 1 an à moins de 2 ans  
 2 à 5 ans  
 5 ans 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  
 5 ans 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 ?  
 30 % à moins de 50 %  
 50 % à moins de 70 %  
 70 % à moins de 90 %  
 90 % et plus

QUESTION 4 : Que représente, en pourcentage, ce nombre moyen d'heures par rapport à l'ensemble de l'activité de l'entreprise ?  
 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  
 Stabilité  
 Décroissance  
 Ne sais pas

**Portrait de l'industrie du photovoltaïque au Québec**  
Volet installation

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

QUESTION 2 : Depuis combien de temps votre entreprise est-elle active dans le secteur du PV ?  
 1 an à moins de 2 ans  
 2 à 5 ans  
 5 ans 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 ?  
 30 % à moins de 50 %  
 50 % à moins de 70 %  
 70 % à moins de 90 %  
 90 % et plus

QUESTION 4 : Que représente, en pourcentage, ce nombre moyen d'heures par rapport à l'ensemble de l'activité de l'entreprise ?  
 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  
 Stabilité  
 Décroissance  
 Ne sais pas



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

## Résultats

**I- Synthèse des connaissances**

**II- Résultats de l'enquête**

# I- Synthèse des connaissances

Extraction de matériaux bruts (quartz, zinc, etc.) et transformation de matériaux :  
Emplois traditionnels (ingénieur civil, géologue, technicien en métallurgie, etc.)

Fabrication des panneaux PV et des composants accessoires (batteries, onduleurs, etc.) :  
Emplois spécialisés en haute technologie (ingénieur chimiste et physicien, technicien en travaux des métaux, etc.)

## A- Typologie des emplois de l'industrie du PV

Installation, entretien et maintenance des systèmes PV :

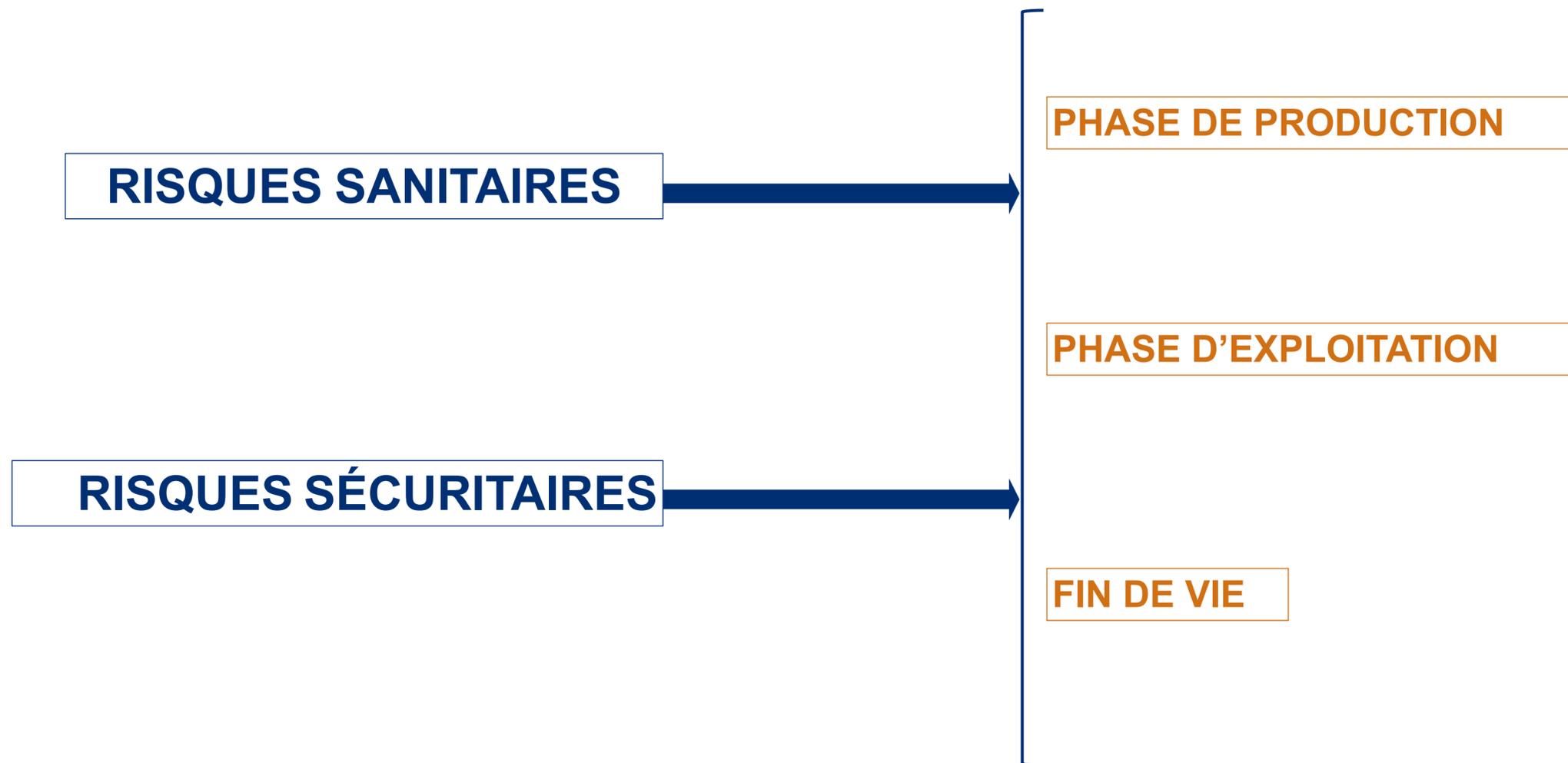
- Emplois traditionnels (charpentier, couvreur, soudeur, grutier, etc.)
- Un emploi spécialisé (installateur photovoltaïque, formation spécifique en courant continu et alternatif + accréditation)



# I- Synthèse des connaissances

Résultats

## B- Risques en santé et sécurité au travail associés à l'industrie du PV



### RISQUES SANITAIRES



NATURE DU RISQUE ET EXEMPLES DE SUBSTANCES CHIMIQUES IMPLIQUÉES	EXEMPLES DE PROCÉDÉS INDUSTRIELS CONCERNÉS
<b>TOXIQUES CANCÉROGÈNES (classement CIRC*)</b>	
Amiante (groupe 1)	Installation des panneaux PV (enlèvement d'éléments de construction)
Arsenic (groupe 1) et Phosphore d'indium (groupe 2A)	F/R** des panneaux à l'arséniure de gallium
Cadmium (groupe 1)	F/R des panneaux au tellure de cadmium et CIS/CIGS
Chrome hexavalent (groupe 1)	F/R des panneaux PV (matériau de base pour composants chromés : vis, cadre, revêtement, etc.)
Plomb (groupe 2A)	F/R des batteries solaires et panneaux PV (panneaux de verre) – Soudure des cellules PV-
Silice cristalline (groupe 1)	Extraction de silice – Fabrication de silice métallurgique – Fabrication des cellules au silicium cristallin (découpe des lingots)
Solvants organiques (Benzène - Trichloroéthylène/groupe 1)	Fabrication des cellules PV (agents nettoyants)
<b>TOXIQUES NON CANCÉROGÈNES (organes cibles)</b>	
Cuivre (Foie - Poumon - Rein)	F/R des panneaux CIS/CIGS
Gaz arsine , germane (sang) , trifluorure de bore (Poumon - Rein)	Fabrication des cellules PV (adjuvants)
Tétrachlorure de carbone (Foie - Poumon - Système nerveux central)	Fabrication de cellules au silicium (agent de gravure)

- \*Centre international de recherche sur le cancer – \*\* F/R: Fabrication et recyclage
- Groupe 1 : agent cancérogène pour l'Homme
- Groupe 2A : agent probablement cancérogène pour l'Homme



**RISQUES SÉCURITAIRES CHIMIQUES**



NATURE DU DANGER	EXEMPLES DE SUBSTANCES POTENTIELLEMENT DANGEREUSES	EXEMPLES D'USAGE INDUSTRIEL
<b>Corrosif</b>	Acides et bases fortes	Agents nettoyants et de gravure pour cellules PV
<b>Irritant</b>	Trifluorure de bore – Oxychlorure de phosphore	Adjuvants lors de la fabrication cellules PV
<b>Inflammable</b>	Diborane - Séléniure d'hydrogène	Adjuvants lors de la fabrication de cellules CIS/CIGS
<b>Explosif</b>	Diazote	Adjuvant lors de la fabrication de cellules PV
	Tellure	Matériau de base pour la fabrication de cellules en couches minces
	Phosphine gaz	Adjuvants lors de la fabrication de cellules PV
	Silane	Matériau de base pour la fabrication de cellules PV au silicium
<b>Asphyxiant</b>	Argon - Hélium	Adjuvants pour cellules PV en couches minces



### RISQUES SÉCURITAIRES PHYSIQUES



NATURE DU RISQUE	EXEMPLES DE CAUSES	EXEMPLES DE FACTEURS AGGRAVANTS
<b>Chute de hauteur</b>	<b>Travail en hauteur/pente /échafaudage</b> (glissade, chute d'objet, déséquilibre, effondrement des panneaux, etc.)	Conditions climatiques, degré de pente
<b>Choc électrique</b>	<b>Courant continu</b> généré par les panneaux PV – Travaux de branchements électriques	Raccordement au réseau électrique public, défaut d'installation
<b>Blessures</b>	<b>Travaux de manutention</b>	Panneaux PV cassés
<b>Risques ergonomiques</b>	<b>Manipulation/Déplacement</b>	Méthode de travail inadéquate
<b>Brûlures thermiques</b>	<b>Chaleur des panneaux PV</b>	Fortes chaleurs
<b>Incendie</b>	<b>Arc électrique</b> (courant continu)	Défaut d'installation électrique
<b>Collision, choc</b>	<b>Engins lourds</b> (chariot élévateur, chariot télescopique avec treuil, etc.)	Absence de panneaux de signalisation



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

## Résultats

**I- Synthèse des connaissances**

**II- Résultats de l'enquête**

- **163** entreprises répertoriées comme œuvrant dans le domaine du **solaire**, tenant compte de **sources différentes, éparses, majoritairement d'origine associative**
- **106** éliminées pour différentes raisons (dont 46 impossibles à joindre et 50 spécialisées dans la distribution de composants PV)
- **57** jointes par téléphone et/ou par courriel, ont accepté de recevoir le questionnaire
- Après **2 à 3 rappels téléphoniques et/ou échanges de courriels** :
  - **2 refus de participer**
  - **33 entreprises ont renvoyé le questionnaire** (taux de réponse de près de 60 %).

## II- Résultats de l'enquête

**33 entreprises**



**1 entreprise**

active dans le secteur de  
la fabrication



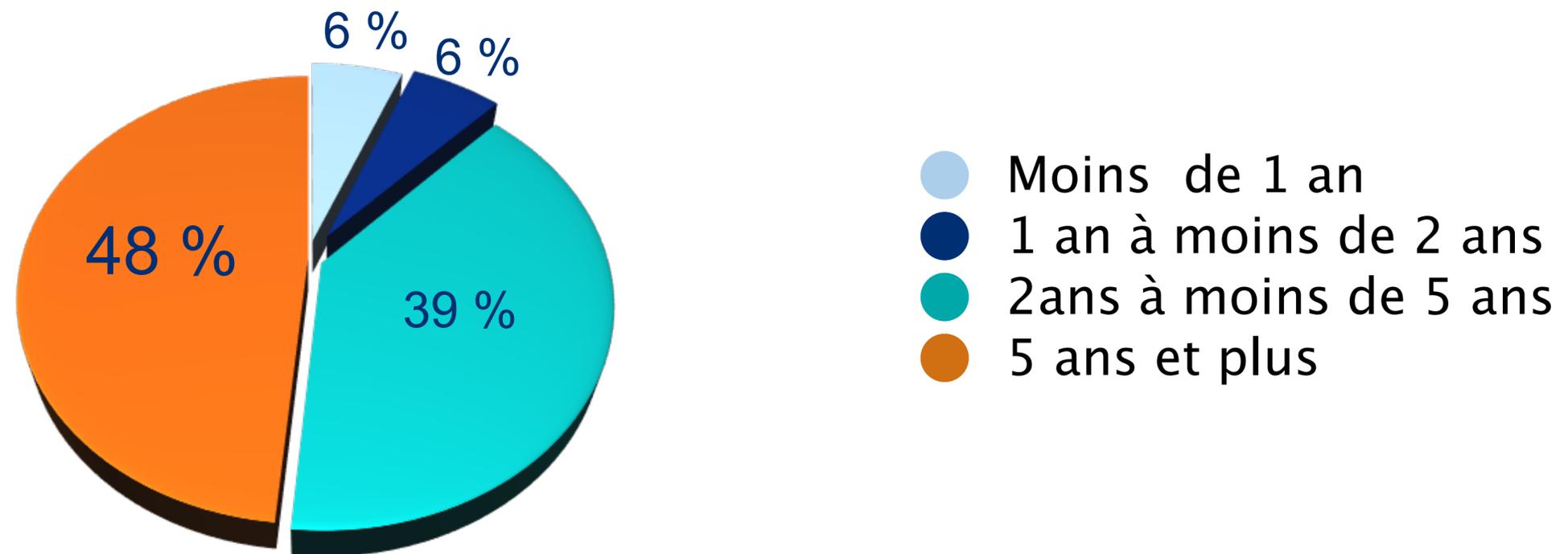
**32 entreprises**

actives dans l'installation des systèmes PV sur  
bâtiment

## II- Résultats de l'enquête

### Renseignements généraux

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



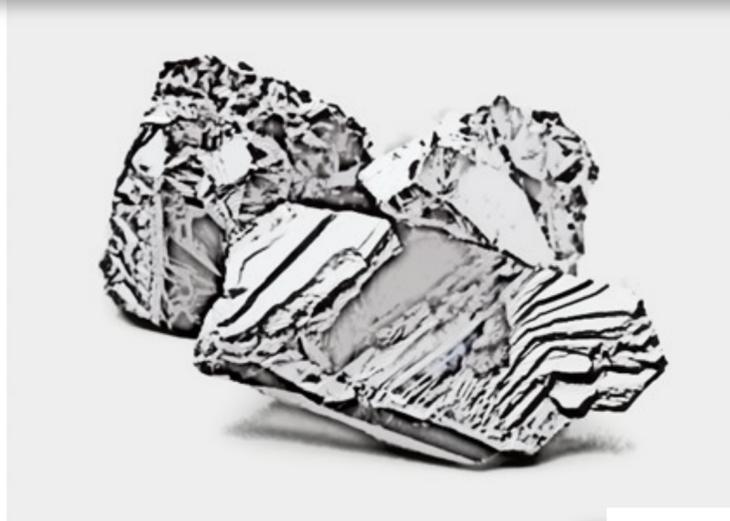
- **Près de 50 % des entreprises** ont consacré plus de 30 % de leurs heures de travail au secteur du PV
- **Plus l'entreprise est jeune et plus le temps consacré au secteur du PV est important**

## II- Résultats de l'enquête

### Renseignements spécifiques

- **Entreprise active dans le secteur de la fabrication**

Fabrication de **tellure de cadmium** à usage solaire



**Recyclage des métaux**

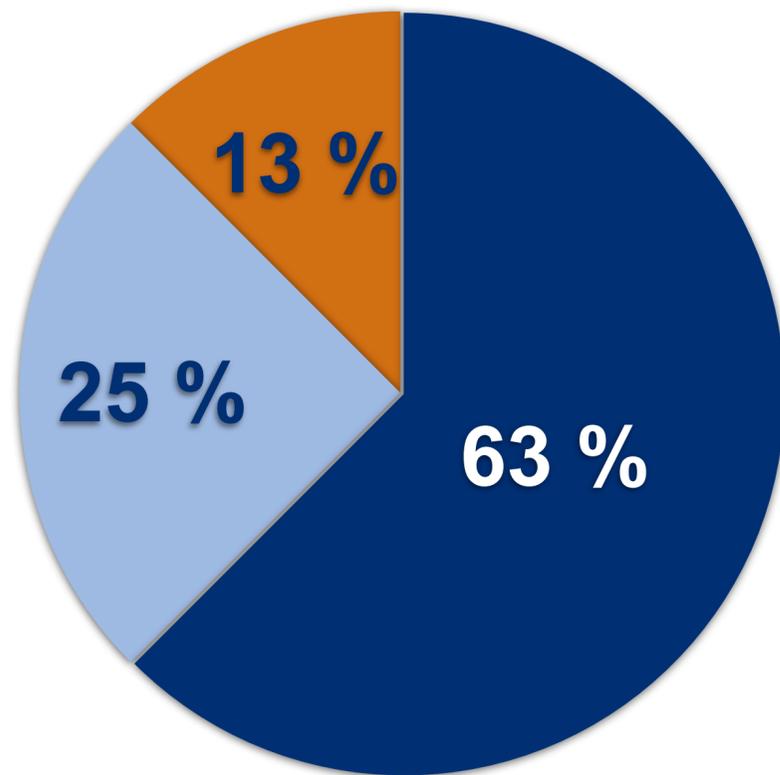
**Opérations en salle blanche**

## II- Résultats de l'enquête

### Renseignements spécifiques

#### ● Entreprises actives dans l'installation des systèmes PV sur bâtiment – 1/3

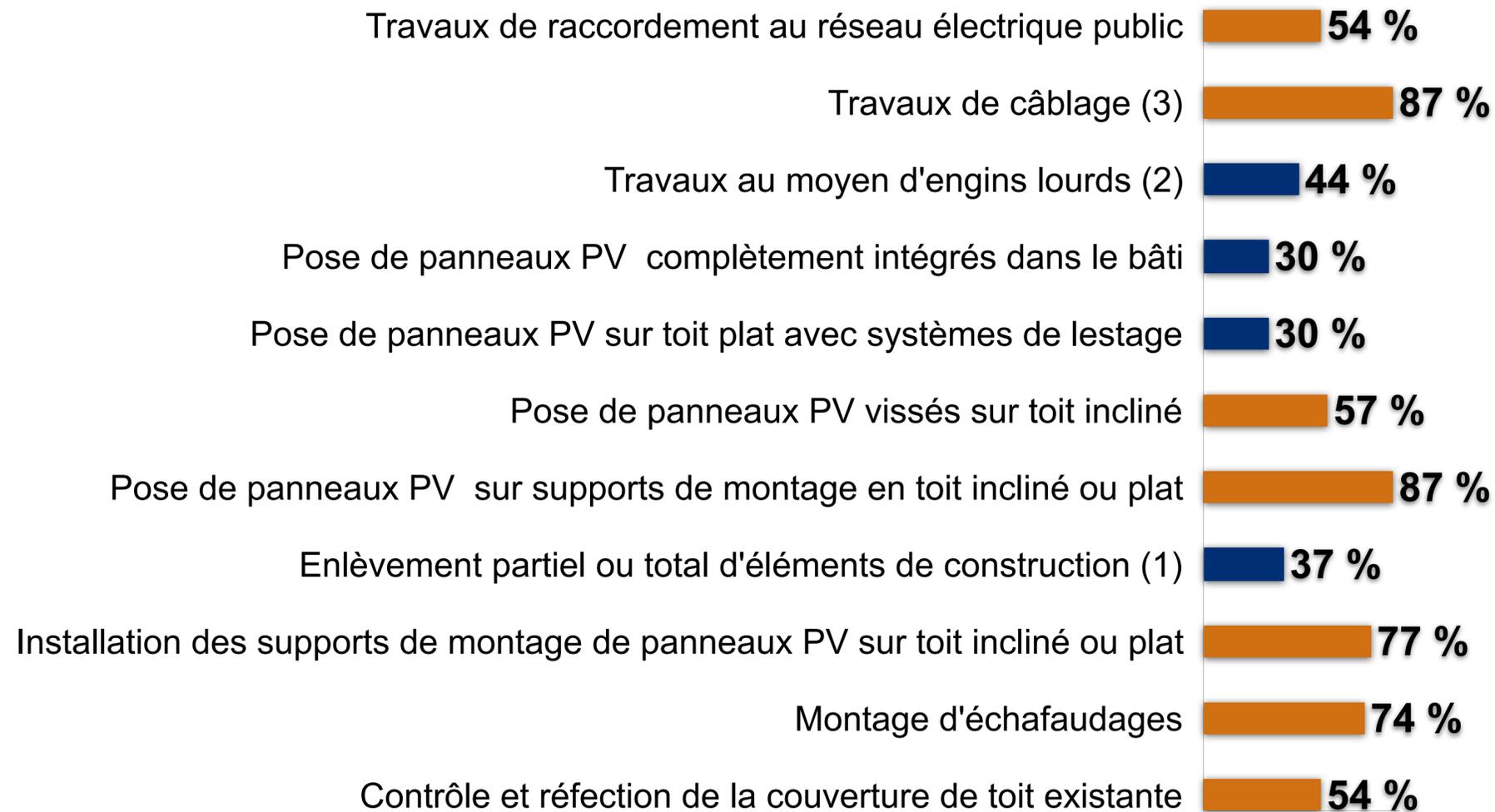
##### ● Types de systèmes PV installés



- Installation de systèmes photovoltaïques autonomes uniquement (20 entreprises)
- Installation de systèmes photovoltaïques autonomes et raccordés au réseau électrique public (8 entreprises)
- Installation de systèmes photovoltaïques raccordés au réseau électrique public uniquement (4 entreprises)

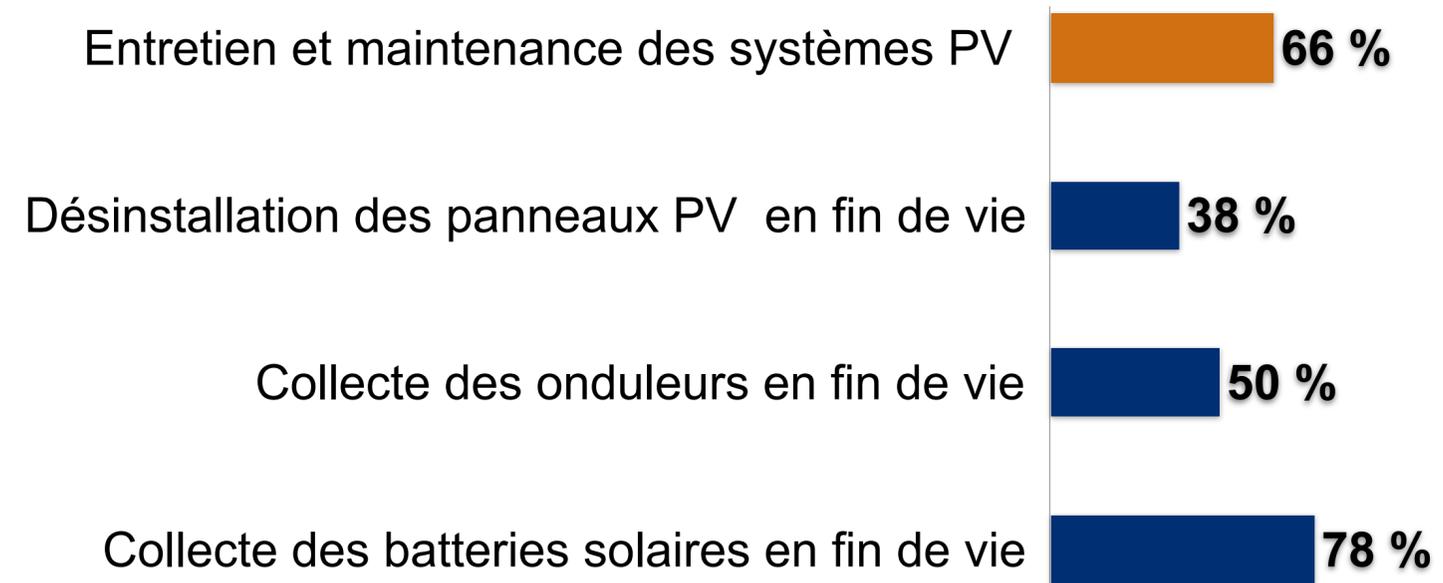
##### ● Milieux résidentiels +++ et industriels +

- **Entreprises actives dans l'installation des systèmes PV sur bâtiment – 2/3**
- **Travaux effectués lors de l'installation des systèmes PV sur bâtiment**



(1) Matériaux de revêtement de toit, couvertures et façades, balustrades, parapets, ombrières, etc. - (2) Grues, treuils, nacelles, monte-charge, etc. - (3) Branchement en série des panneaux et raccordement aux onduleurs et aux batteries.

- **Entreprises actives dans l'installation des systèmes PV sur bâtiment – 3/3**
- **Autres travaux effectués lors de l'exploitation des systèmes PV et en fin de vie**



### ● Catégories et nombre de travailleurs impliqués



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	Technicien (autres)	5
Ingénieur en génie métallurgique	5	<b>TOTAL</b>	<b>261</b>

### ● Matériaux manipulés, utilisés ou générés dans l'entreprise active dans le secteur de la fabrication

Matériau	Manipulé	Utilisé	Généré
Bois	✓	✓	
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	✓	✓	✓
Tellurure de cadmium	✓	✓	✓
Vapeur métallique ( <i>four, soudure électrique</i> )			✓
Zinc	✓	✓	



### ● Aucun accident de travail rapporté

## Conclusions

**Cette recherche aura permis :**

- de réaliser le bilan de la revue de littérature scientifique dans le domaine de l'énergie**
- d'identifier les entreprises québécoises œuvrant dans l'industrie du PV**
- d'identifier les procédés de fabrication et d'exploitation à problématique sécuritaire**
- d'identifier les substances chimiques auxquelles sont exposés les travailleurs et d'en documenter les risques potentiels.**

## Retombées pour l'industrie du PV au Québec

- **Vision globale de l'industrie du PV au Québec.**
- **Compréhension plus large de l'impact de la production et de la mise en exploitation des systèmes PV sur la santé et la sécurité au travail.**
- **Meilleure identification de besoins prioritaires en formation.**

# Publications

## Avant la réalisation de la recherche

### Un chapitre de livre

Bakhiyi, B. and Zayed, J. 2011. *Photovoltaic Conversion: Outlook at the Crossroads Between Technological Challenges and Eco-Strategic Issues*, In *Renewable Energy*, pp. 313-338, ISBN 978-953-307-408-5

- **A permis de défricher le terrain et de mettre en valeur les problématiques en santé et sécurité au travail en lien avec l'industrie du PV à travers le monde.**

## Après la réalisation du projet

### Une publication scientifique

Bakhiyi, B., Labrèche, F. and Zayed, J. 2014. « The photovoltaic industry on the path to a sustainable future — Environmental and occupational health issues »; *Environ Int* 73: 224–234.

### Une communication scientifique:

Bakhiyi, B. et Zayed, J. 2013. *L'énergie solaire en clair-obscur : entre avenir brillant et enjeux écologico-sanitaires* – 81<sup>e</sup> Congrès de l'ACFAS – 6 mai 2013 – Université de Laval, Québec

## Diffusion de l'information auprès des entreprises participantes



**Envoi par courrier postal d'une copie du rapport scientifique aux entreprises participantes avec l'aide de Marie-France d'Amours.**

**Merci de votre attention**

**Des questions ?**

