



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada

SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES INTÉGRÉS AUX BÂTIMENTS : LA PRODUCTION D'ÉNERGIE GRÂCE À L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

CanmetÉNERGIE
Varenes

PLAN DE LA PRÉSENTATION

1

Contexte

2

Qu'est-ce que le photovoltaïque intégré aux bâtiments (PVIB)?

3

Systemes PVIB au Canada

4

R et D en PVIB

5

Perspectives



PLAN DE LA PRÉSENTATION

1

Contexte

2

Qu'est-ce que le photovoltaïque intégré aux bâtiments (PVIB)?

3

Systemes PVIB au Canada

4

R et D en PVIB

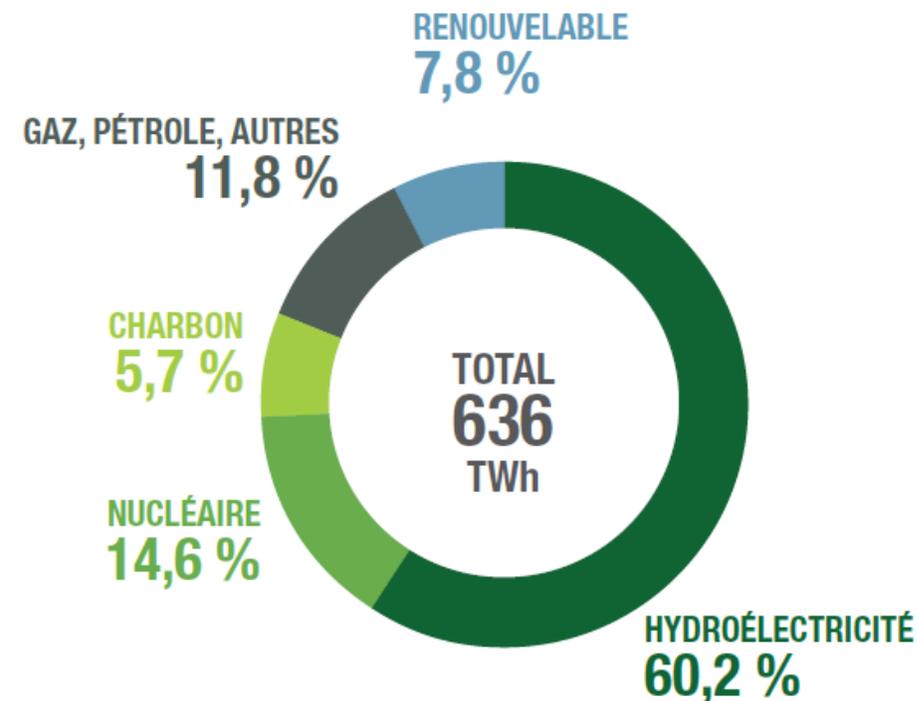
5

Perspectives



OBJECTIFS DE CARBONEUTRALITÉ

- Le réseau électrique du Canada est exempt d'émissions à plus de 82%
- Objectifs :
 - Carboneutralité du réseau électrique au Canada d'ici 2035 (Règlement sur l'électricité propre)
 - La totalité des voitures et camions légers à passagers vendus est composée de véhicules zéro émission d'ici 2035
 - Carboneutralité dans tous les secteurs de l'économie d'ici 2050

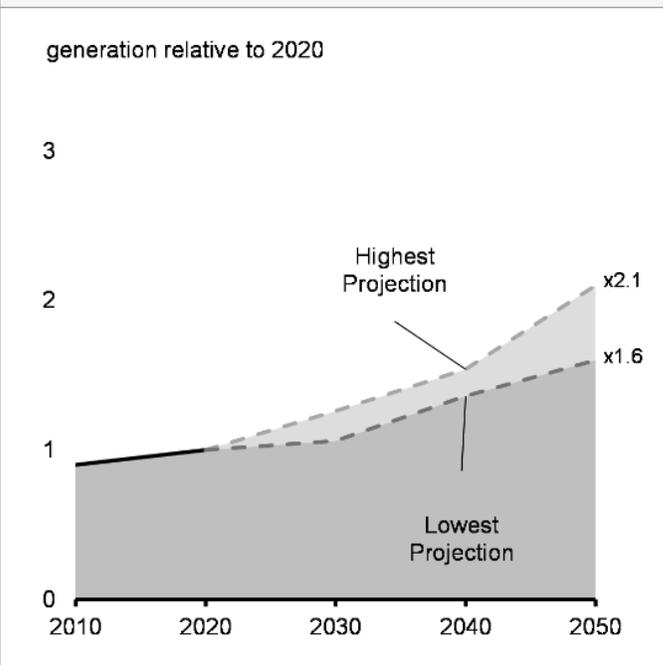


Production électrique au Canada par source, 2020
 Source : [RNCAN](#), [Cahier d'information sur l'énergie 2022-2023](#)

PERSPECTIVES DE CARBONEUTRALITÉ AU CANADA

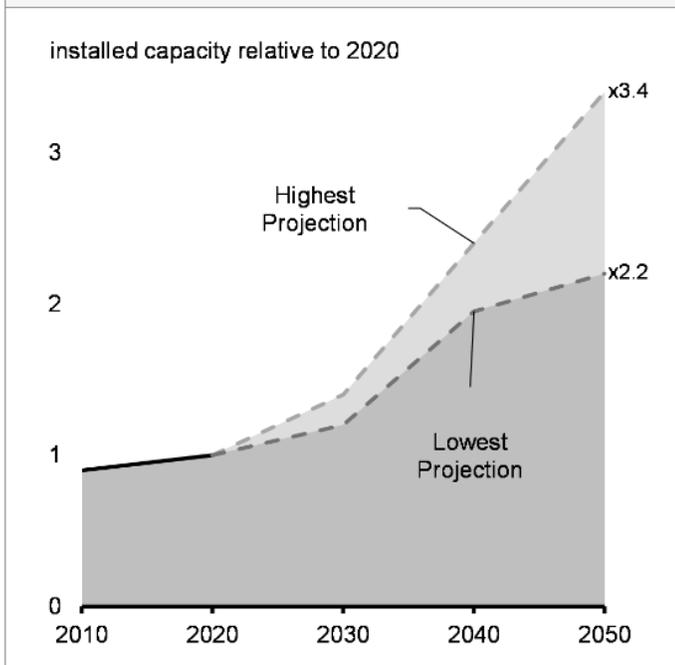
- L'électrification requise entraînera une forte augmentation de la demande
 - Énergie : 1.6-2.1x
 - Puissance : 2.2-3.4x
- Pénétration accrue de la production d'électricité renouvelable et propre
- Nouveaux paradigmes de planification et d'exploitation du réseau

Projected Electricity Generation Requirements in Canada, 2019-2050



Source: Canadian Climate Institute (2022), Bigger, Cleaner, Smarter: Pathways for Aligning Canadian Electricity Systems with Net Zero

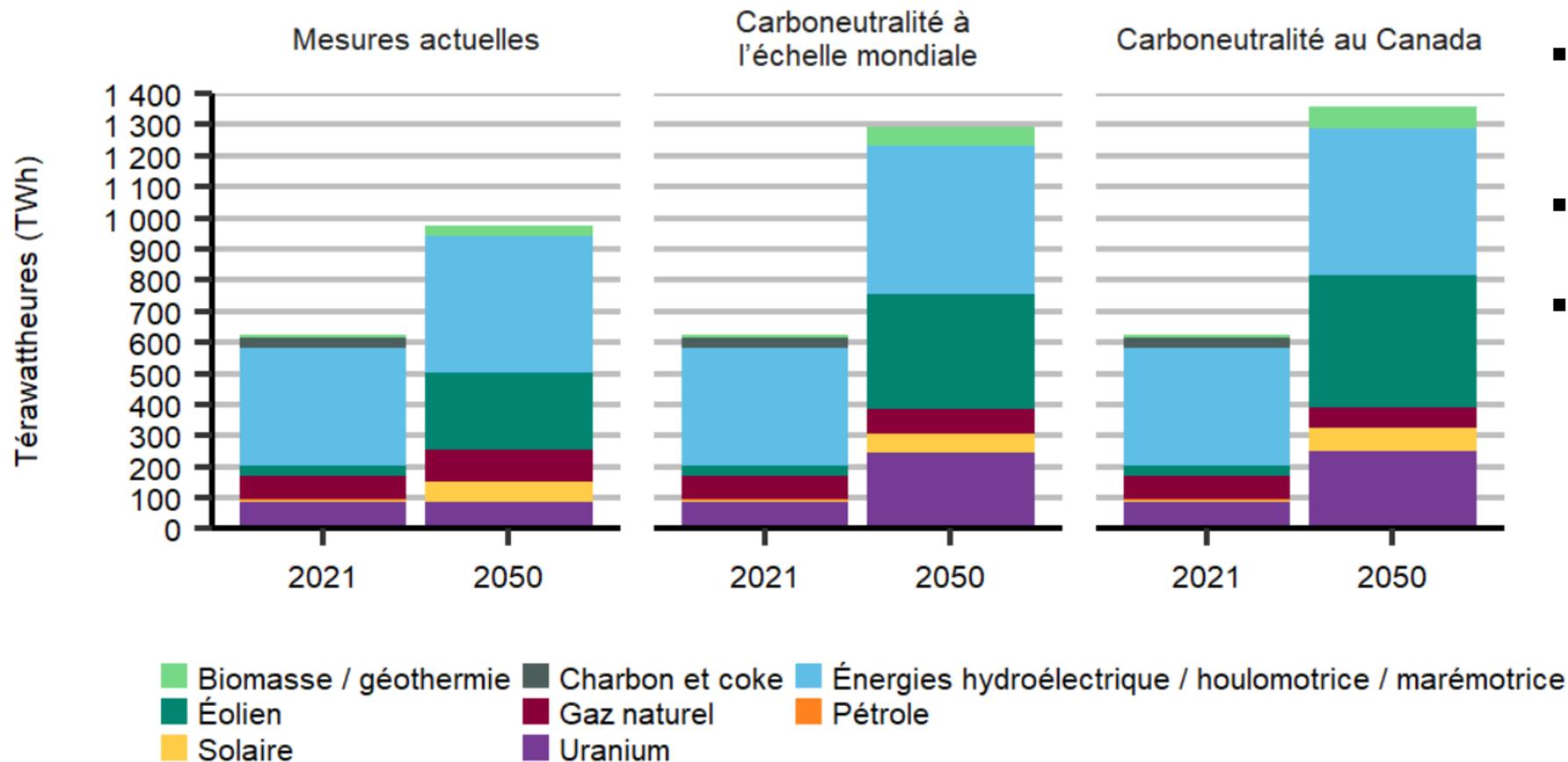
Projected Electricity Capacity Requirements in Canada, 2019-2050



Source: Canadian Climate Institute (2022), Bigger, Cleaner, Smarter: Pathways for Aligning Canadian Electricity Systems with Net Zero

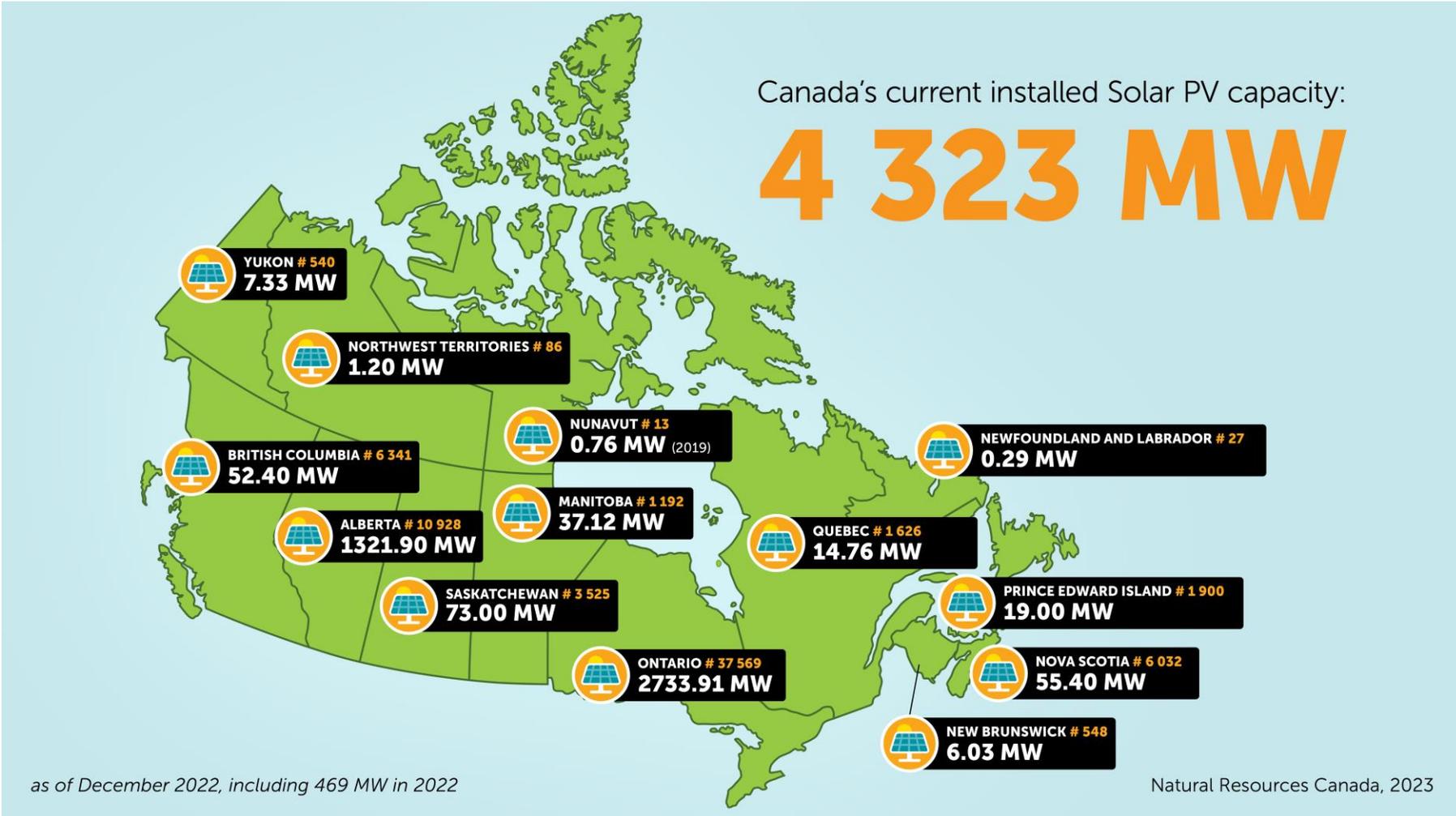
SCÉNARIOS 2050

RÉGIE DE L'ÉNERGIE DU CANADA – AVENIR ÉNERGÉTIQUE 2023

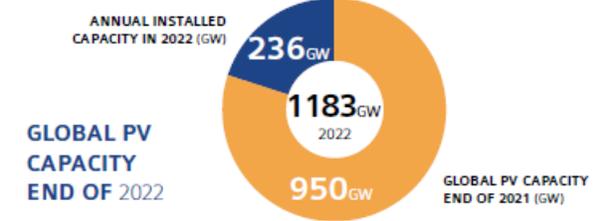
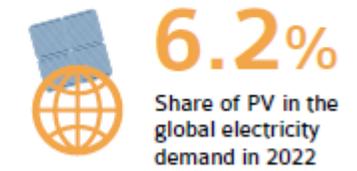


- Croissance substantielle de la production d'énergie éolienne
- Croissance constante de l'énergie solaire
- Dans le scénario de carboneutralité à l'échelle mondiale, la production solaire canadienne totale passe de **2,5 TWh en 2021 à 50 TWh en 2050**

CAPACITÉ INSTALLÉE D'ÉNERGIE SOLAIRE PV AU CANADA



PV CONTRIBUTION TO ELECTRICITY DEMAND



Source : [IEA, Trends in PV Applications 2023](#)

POTENTIEL PV AU CANADA

Canada		International	
Ville (Province)	Potentiel PV annuel* (kWh/kW)	Ville (Pays)	Potentiel PV annuel* (kWh/kW)
Regina (SK)	1361	Le Caire (Égypte)	1635
Calgary (AB)	1292	Capetown (Afrique du Sud)	1538
Winnipeg (MB)	1277	New Dehli (Inde)	1523
Montréal (QC)	1185	Los Angeles (É.-U.)	1485
Toronto (ON)	1161	Regina (Canada)	1361
Fredericton (NB)	1145	Sydney (Australie)	1343
Québec (QC)	1134	Rome (Italie)	1283
Charlottetown (PE)	1095	Rio de Janeiro (Brésil)	1253
Yellowknife (NT)	1094	Montréal (Canada)	1185
Victoria (CB)	1091	Beijing (Chine)	1148
Halifax (NE)	1074	Washington D.C. (É.-U.)	1133
Iqaluit (NU)	1059	St. John's (Canada)	933
Vancouver (CB)	1009	Tokyo (Japon)	885
Whitehorse (YT)	960	Berlin (Allemagne)	848
St. John's (TN)	933	Londres (Angleterre)	728

*Pour l'inclinaison égale à la latitude et l'orientation vers l'équateur



PLAN DE LA PRÉSENTATION

1

Contexte

2

Qu'est-ce que le photovoltaïque intégré aux bâtiments (PVIB)?

3

Systèmes PVIB au Canada

4

R et D en PVIB

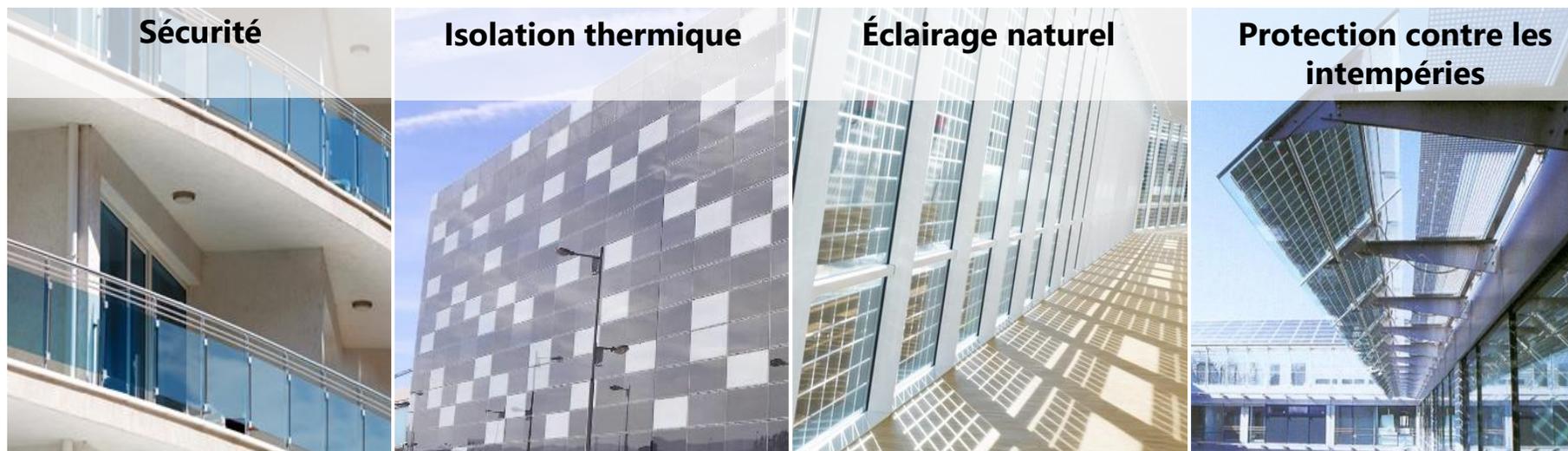
5

Perspectives



QU'EST-CE QUE LE PHOTOVOLTAÏQUE INTÉGRÉ AUX BÂTIMENTS (PVIB)?

- Composante du bâtiment avec une double fonctionnalité :
 - Convertir l'énergie solaire en électricité
 - Remplir une ou plusieurs fonctions de l'enveloppe du bâtiment



Source: https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/pdf/solar-photovoltaic/NRCan_BIPV_Factsheet_EN.pdf

LES AVANTAGES DU PVIB EN COMPARAISON AVEC...

- Les systèmes PV au sol :
 - L'espace requis ne va pas au-delà de l'empreinte du bâtiment
- Les systèmes PV ajoutés aux bâtiments :
 - S'intègre de façon plus esthétique
 - Remplace une partie des coûts associés à l'enveloppe du bâtiment
- Les enveloppes de bâtiment standard :
 - Produit de l'énergie sans émissions de GES
 - Peut réduire les coûts en électricité d'un bâtiment
 - Peut augmenter la flexibilité du bâtiment par rapport au réseau électrique
 - Peut augmenter la résilience du bâtiment



Source : Vulcan County, Alberta, 465 MW, Système PV au sol composé de modules bifaciaux avec suivi mono-axe
Crédit photo : Greengate



Source : Système PV de 40 kW ajouté au toit du centre CanmetÉNERGIE à Varennes.
Crédit photo : Site web RNCAN

LES TECHNOLOGIES DE CELLULES PVIB

Silicium cristallin

- Mono-Si
- Poly-Si
- Bifacial

Rigide, opaque, cellules espacées

Efficacité des modules au-delà de 22%

La puissance générée diminue avec l'augmentation de la température des cellules
(-0.50 %/°C)

Durée de vie > 25 ans

Couche mince à partir de silicium

- a-Si/ μ c-Si
- a-Si/nc-Si

Rigide ou flexible, Films "transparents"

Efficacité des modules jusqu'à 9%

La puissance générée est moins sensible à l'augmentation de la température des cellules
(-0.36 %/°C)

Durée de vie > 25 ans

Couche mince (autres)

- À partir de polymère
- À partir de Péroovskite

Flexible, transparent, Films à couleur réglable

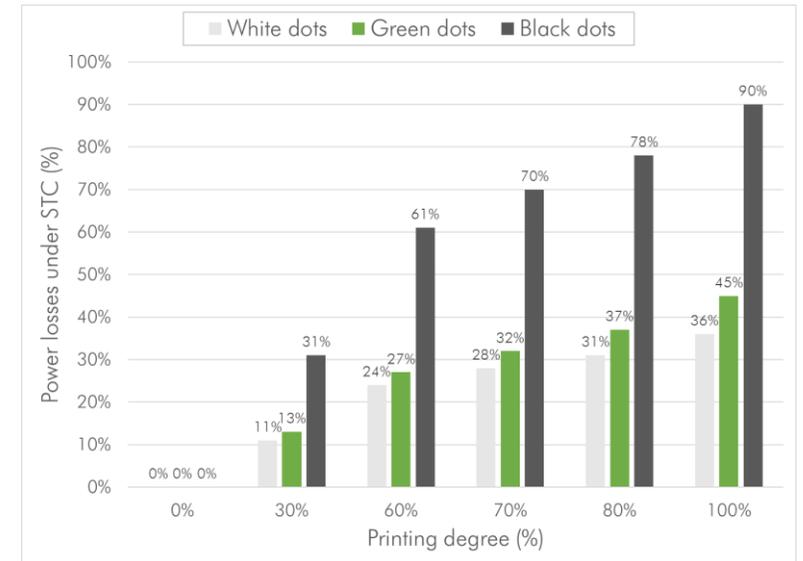
En développement

La puissance générée est peu sensible à la température des cellules
(+0.05 %/°C)

Durée de vie < 7 ans

REVÊTEMENTS ET IMPRESSIONS

- La plupart des méthodes de revêtements et impressions utilisées pour le verre peuvent être appliquées au PVIB
- Pour les solutions PVIB à base de verre, presque toutes les couleurs, formes et textures sont possibles
- Comme pour tout matériau de construction, la personnalisation a un impact important sur le prix des modules



Source: Adapted from a presentation of Dr. Pierluigi Bonomo, SUPSI



VITRAGE À REVÊTEMENT SPECTRALEMENT SÉLECTIF

PVIB au silicium amorphe



PVIB au silicium cristallin



PVIB fabriqué par Kromatix™ glass pour le verre à l'avant et laminé à l'usine d'Onyx Solar
Source : IEA-PVPS T15-07: 2019 Coloured BIPV Market, Research and Development
Crédits photo : <https://www.onyxsolar.com>

PLAN DE LA PRÉSENTATION

1

Contexte

2

Qu'est-ce que le photovoltaïque intégré aux bâtiments (PVIB)?

3

Systemes PVIB au Canada

4

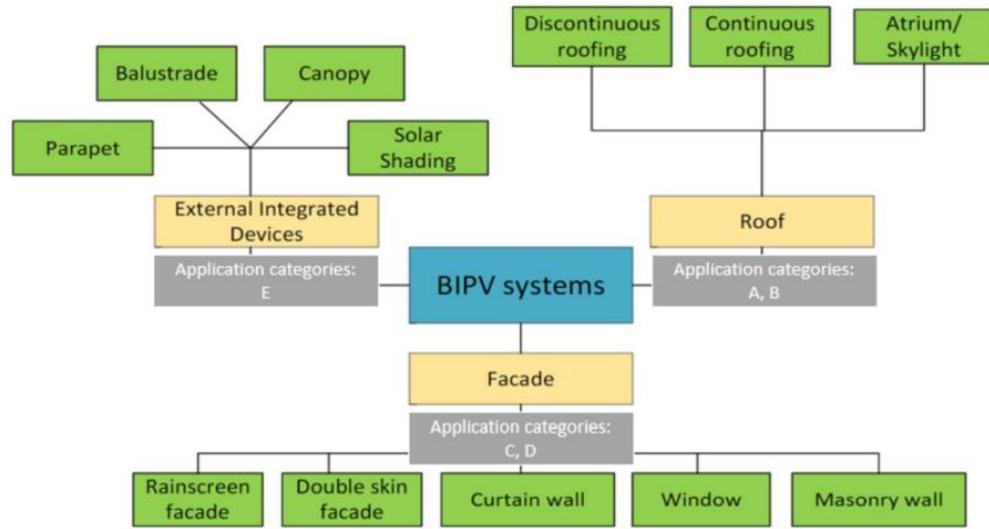
R et D en PVIB

5

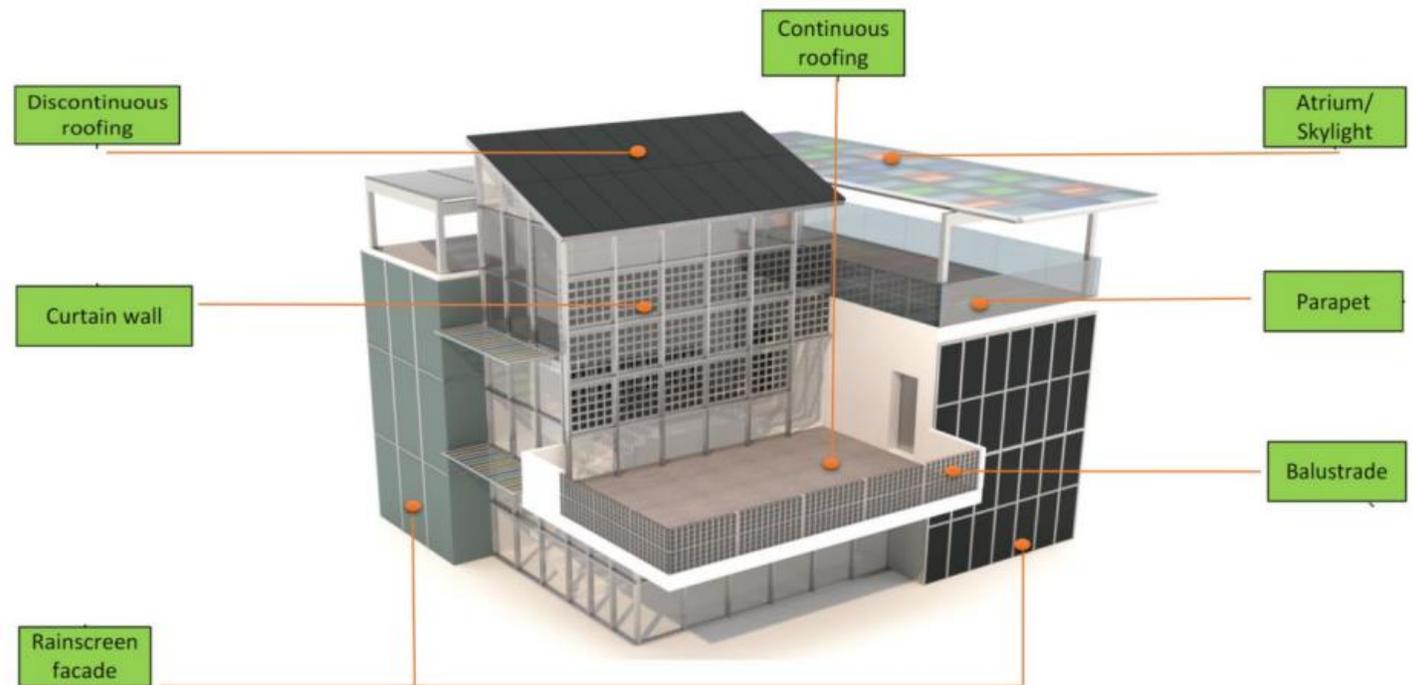
Perspectives



SYSTÈME DE CLASSIFICATION DES SYSTÈMES PVIB



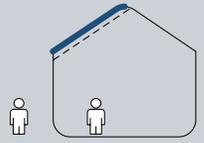
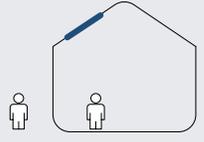
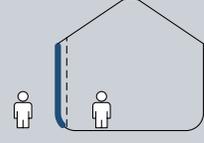
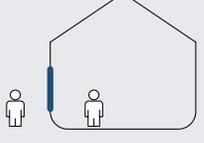
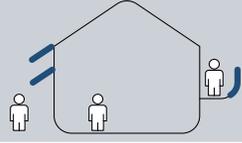
Source: IEA PVPS T15, Categorization of BIPV Applications 2021



Source: SUPSI, Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders, Status Report 2020

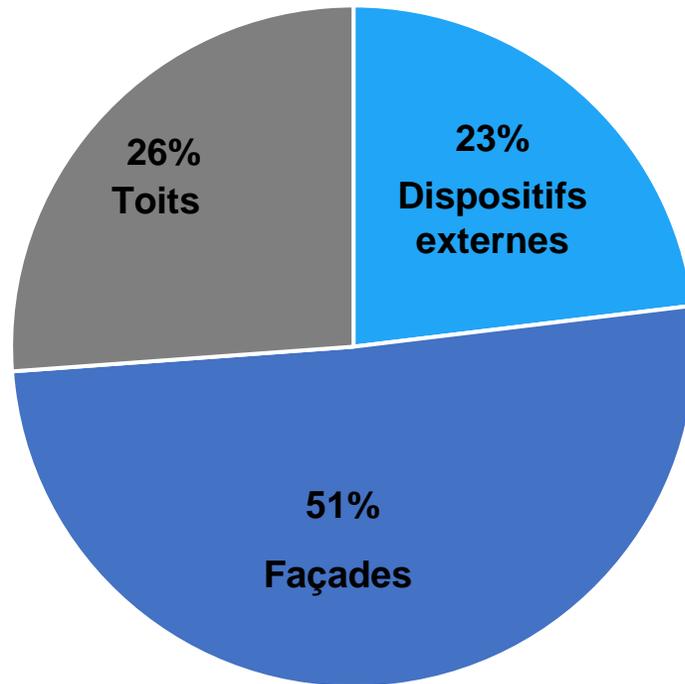
CATÉGORISATION DES SYSTÈMES PVIB

Selon la norme IEC 63092 :

Catégorie		
A	Incliné, intégré au toit , non accessible depuis l'intérieur du bâtiment.	
B	Incliné, intégré au toit , accessible depuis l'intérieur du bâtiment	
C	Non-incliné (vertical) intégré à l'enveloppe, non accessible depuis l'intérieur du bâtiment	
D	Non-incliné (vertical) intégré à l'enveloppe, accessible depuis l'intérieur du bâtiment	
E	Intégré à l' extérieur , accessible ou non de l'intérieur du bâtiment	

CAPACITÉ PVIB INSTALLÉE AU CANADA

- Système avec la plus grande capacité au Canada : Edmonton Convention Centre (170 kW_{DC})
- Capacité totale installée : > 2 MW



Crédits photo : Kybenergy.ca; Architecte: DIALOG



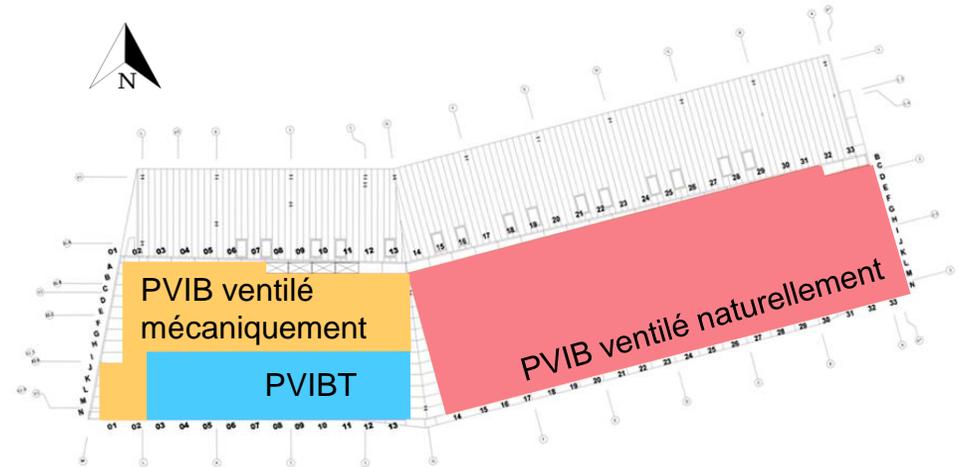
Edmonton Convention Centre

BIBLIOTHÈQUE DE VARENNES, VARENNES, QC



CATÉGORIE A

- Toit PVIB en 3 sections
 - Ventilé naturellement
 - Ventilé mécaniquement
 - Ventilé mécaniquement avec récupération de chaleur (PVI BT)
- Achievé en décembre 2014
- Capacité installée : 110 kW_{DC}



Crédits photo: Maxime Gagné; Architectes: Labbé-Larochette et Gagné-Leclerc et associées

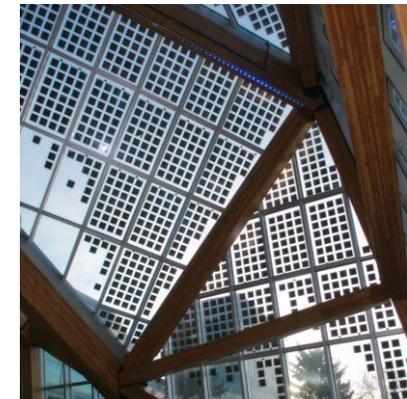
UNIVERSITY OF ALBERTA ALES, EDMONTON, AB



- Toit d'atrium PVIB
- Utilise des panneaux semi-transparents fabriqués sur mesure
- Achevé en 2018
- Capacité installée : 10 kW_{DC}



Crédits photo: The Gateway (top image), University of Alberta (Bottom photos)



JEANNE AND PETER LOUGHEED ARTS CENTRE, CAMROSE, AB.



CATÉGORIE C

- Façade PVIB (sur les 4 côtés) utilisant des panneaux PV standards
- Achevé en 2014
- Capacité installée : 122 kW_{DC}
- Produit environ 20% des besoins en électricité du bâtiment



Crédits photo : Gordon Howell



RED RIVER COLLEGE, WINNIPEG, MB

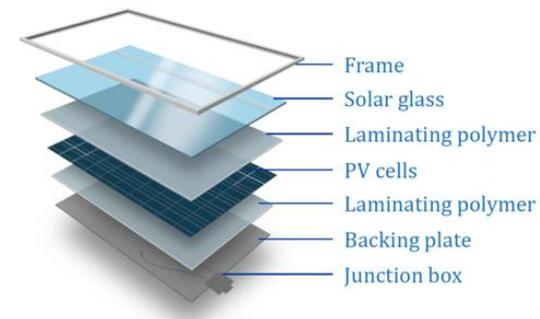


CATÉGORIE C

- Façade PVIB
 - Environ 400 panneaux
 - Superficie totale : 750 m²
 - Capacité installée : 100 kW_{DC}
- Utilise le verre solaire coloré à revêtement spectralement sélectif



Crédits photo: SwissINSO. Red River College: Architects: Diamond Schmitt

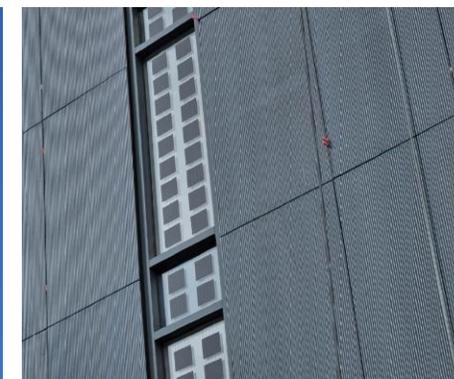
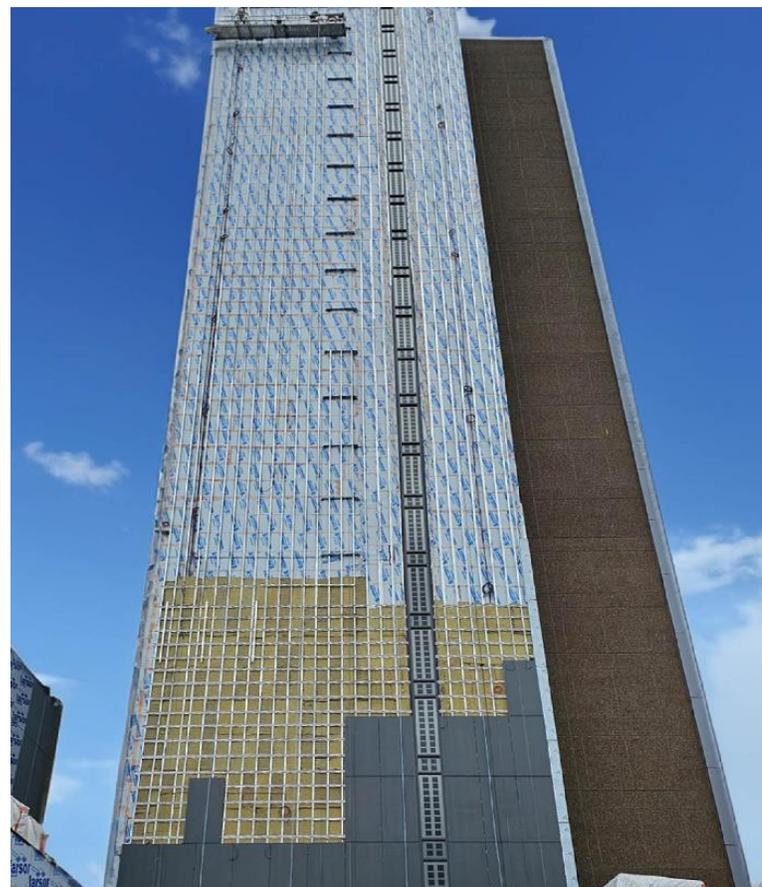


ST. MARY'S UNIVERSITY LOYOLA RESIDENCE, HALIFAX, N.-É. (EN COURS)



CATÉGORIE C

- Façade PVIB
 - Superficie totale : 6 000 pi²
 - Capacité installée : ~ 100 kW
- Bâtiment existant (rénovation)
- Accent avec des modules semi-transparents

Crédits photo: [Mitrex Green Building Projects](#)

CENTRE FOR INNOVATION, TECHNOLOGY, & ENTREPRENEURSHIP, SENECA COLLEGE, TORONTO, ON



- Mur-rideau PVIB
 - Comprend 18 panneaux de verre semi-transparents
 - Superficie totale : 47.4 m²
 - Capacité installée : 1.3 kW_{DC}
- Utilise des panneaux de silicium amorphe
- Complété en décembre 2018



Credits photo: Onyx Solar, Inhabitat; Architecte: Perkins and Will



BEECH HOUSE CONDOS, TORONTO, ON



- Auvent PVIB:
 - Sur six étages
 - Capacité installée : 72 kW_{DC}
- Achevé en 2021
- Génère plus de 90 000 kWh/année



Crédits photo: Aleetric Renewables; Architecte: Richard Ziegler
Architect

QUIZ: QUELS SONT LES SYSTÈMES PVIB?



SOURCE: GOOGLE IMAGES



QUIZ: QUELS SONT LES SYSTÈMES PVIB?



SOURCE: GOOGLE IMAGES

PLAN DE LA PRÉSENTATION

1

Contexte

2

Qu'est-ce que le photovoltaïque intégré aux bâtiments (PVIB)?

3

Systèmes PVIB au Canada

4

R et D en PVIB

5

Perspectives



DÉFIS ET OBSTACLES LIÉS AU PVIB AU CANADA

Coût-bénéfice

- Coût des produits
- Faibles incitatifs financiers
- Difficile d'estimer le coût des projets
- La valeur à long terme n'est pas toujours facile à définir

Technologie et performance

- Disponibilité des produits
- Manque d'options intégrées standardisées
- Manque de données sur les performances
- Disponibilité du personnel qualifié

Réglementation et savoir-faire

- Manque de normes et de réglementations
- Difficile de comprendre les exigences réglementaires
- Absence de lignes directrices au niveau de la conception

R ET D EN PIVB AU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL

- Normes et codes
 - Soutenir le développement de normes et de codes en lien avec le PVIB
- Coût-bénéfice
 - Estimer le potentiel au Canada
 - Évaluer la performance de systèmes PVIB et démontrer leur valeur ajoutée
- Intégration
 - Élaborer des lignes directrices en lien avec l'intégration des systèmes PVIB dans les bâtiments (enveloppe et systèmes CVAC)

R ET D EN PIVB AU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL

■ Normes et codes

- Soutenir le développement de normes et de codes en lien avec le PVIB

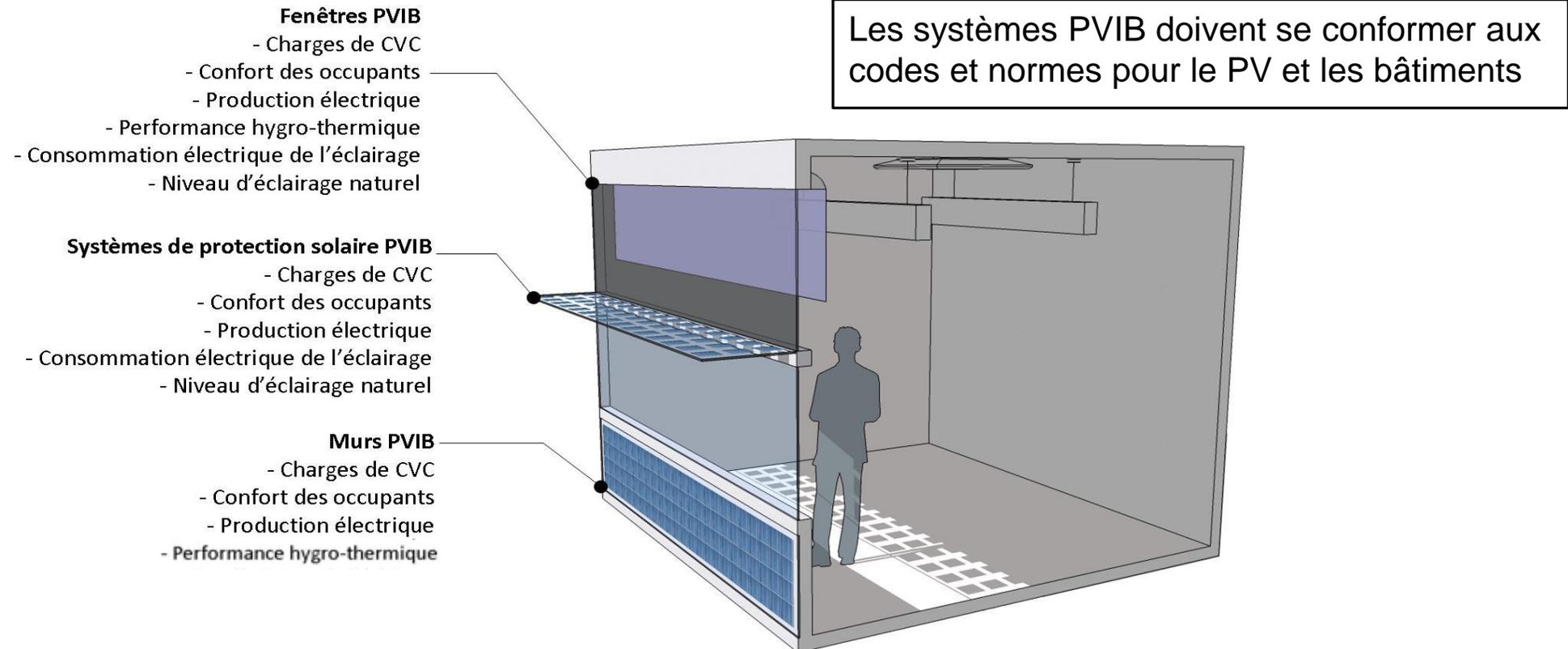
■ Coût-bénéfice

- Estimer le potentiel au Canada
- Évaluer la performance de systèmes PVIB et démontrer leur valeur ajoutée

■ Intégration

- Élaborer des lignes directrices en lien avec l'intégration des systèmes PVIB dans les bâtiments (enveloppe et systèmes CVAC)

L'IMPACT DU PVIB SUR UN BÂTIMENT

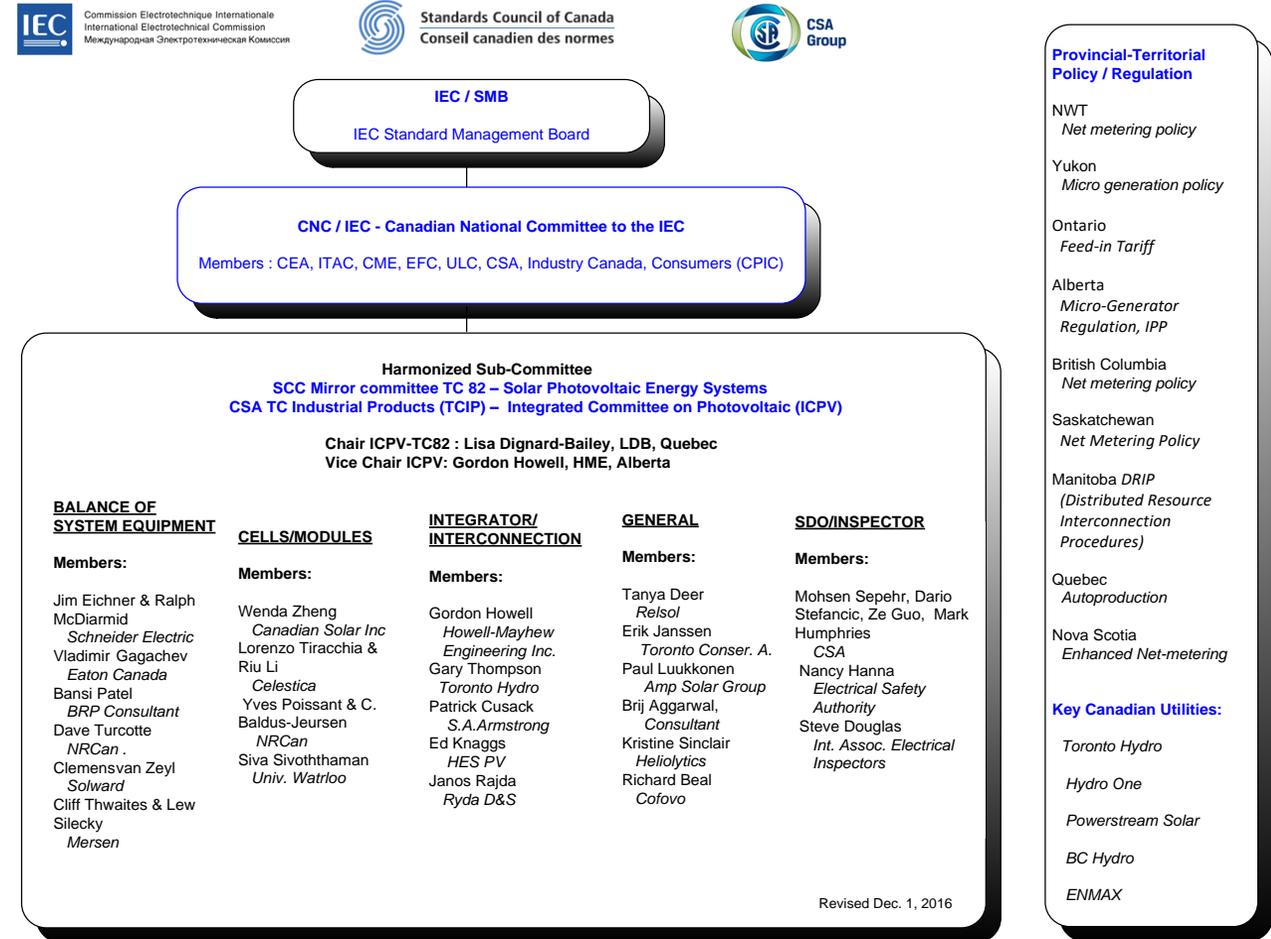


ÉTAT DES NORMES

- Norme européenne : EN 50583 -1 (module) -2 (système)
 - Publiée en 2016 et présentement en cours de révision
- Norme internationale : IEC 63092-1 et -2 (publiée en 2020)
 - Exigences électrotechniques
 - Exigences en lien avec le bâtiment (varie selon la présence ou non de verre)
 - Résistance mécanique et stabilité
 - Sécurité en cas d'incendie
 - Hygiène, santé et environnement
 - Sécurité et accessibilité en cours d'utilisation
 - Protection contre le bruit
 - Économie d'énergie et rétention de la chaleur
 - Utilisation durable des ressources naturelles

....ET AU CANADA

- Canadian Standard Association (CSA) Integrated Committee for Photovoltaics (ICPV) a approuvé un projet visant à examiner l'adoption de la norme IEC 63092-1 et -2 au Canada
- Un comité a été créé et l'examen de cette adoption est en cours



R ET D EN PIVB AU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL

■ Normes et codes

- Soutenir le développement de normes et de codes en lien avec le PVIB

■ Coût-bénéfice

- Estimer le potentiel au Canada
- Évaluer la performance de systèmes PVIB et démontrer leur valeur ajoutée

■ Intégration

- Élaborer des lignes directrices en lien avec l'intégration des systèmes PVIB dans les bâtiments (enveloppe et systèmes CVAC)

ESTIMATION DU POTENTIEL PV DANS L'ENVIRONNEMENT BÂTI

- **Estimés actuels pour le Canada**
 - Potentiel PV dans l'environnement bâti sur les toits : 160 GW (NARIS: A Canadian Perspective, 2021)
 - Production annuelle d'électricité PV : 167 TWh (calcul basé sur le ratio de performance)
 - 52% des besoins en électricité dans les secteurs résidentiel et commercial

TRAVAUX EN COURS

- **Objectif** : Estimer le potentiel PV dans l'environnement bâti (**par province et territoire**) pour intégration dans des études en lien avec la voie à suivre pour atteindre la carboneutralité
- Méthode simple en cours de validation pour différentes villes canadiennes en comparant avec des calculs plus détaillés effectués à partir de données LiDAR et d'empreintes des bâtiments
- Évaluation en cours pour d'autres applications :
 - Agrivoltaïque
 - Photovoltaïque flottant
 - Photovoltaïque au sol

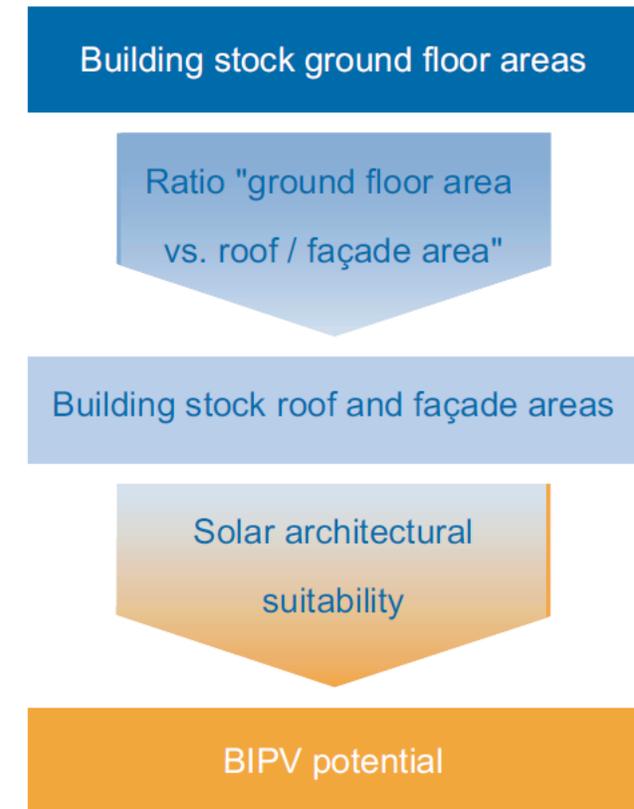


Figure 1: Most significant terms and factors for the BIPV potential

Source: Report IEA – PVPS – T7-4:2002 (summary)

PERFORMANCE DES SYSTÈMES PVIB

- Analyse approfondie de divers concepts PVIB à l'aide
 - de modèles
 - d'expériences en laboratoire
 - d'essais sur le terrain
 - d'études de cas
- Exemple d'étude de cas



- A : PVIB ventilé naturellement
- B : PVIB ventilé mécaniquement
- C : PVIB avec récupération de chaleur

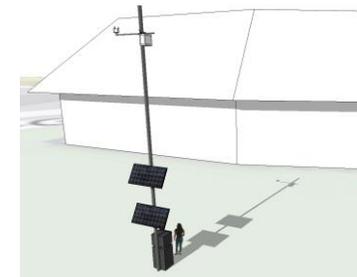
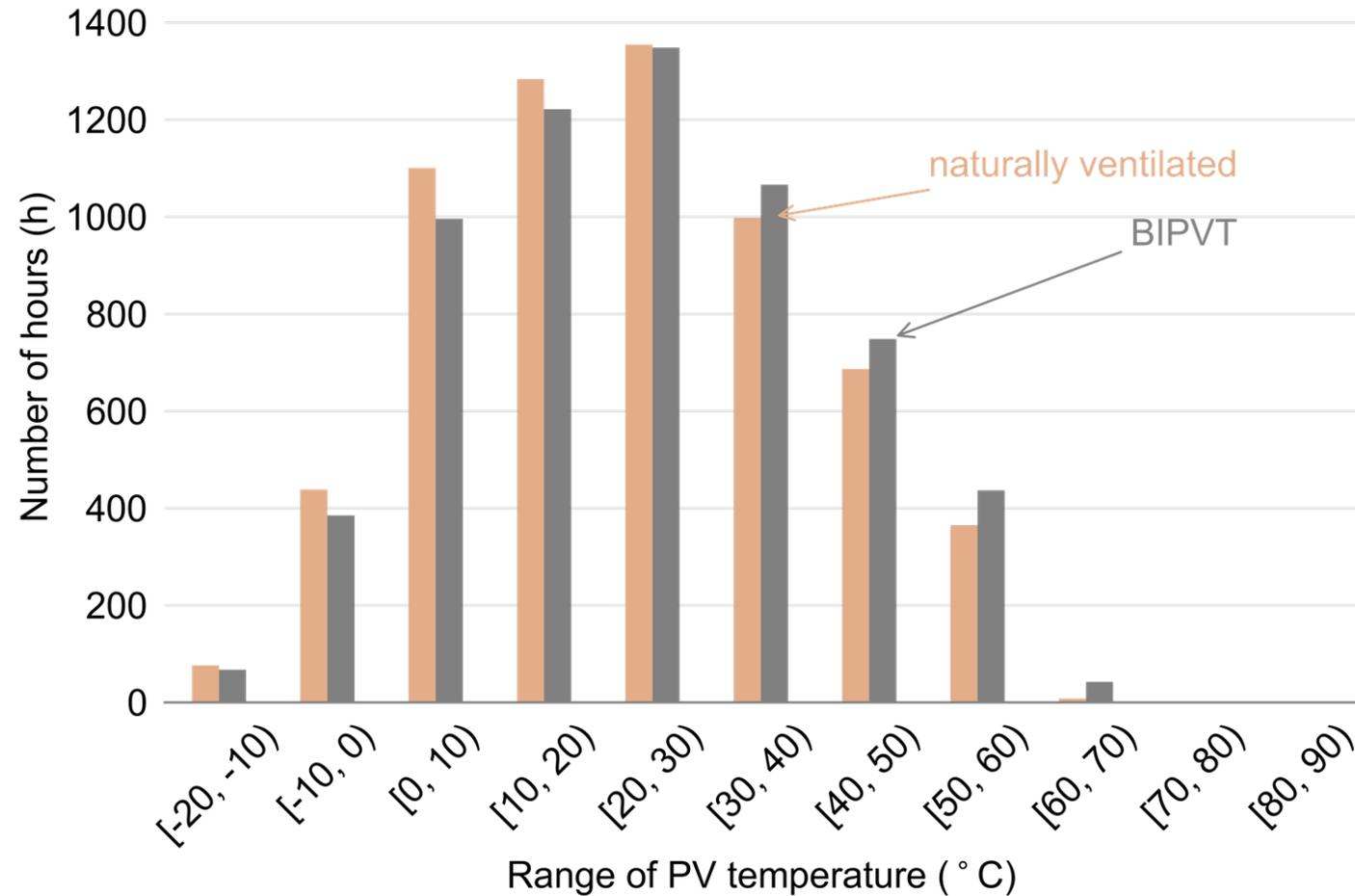


Photo credit: Maxime Gagné; Architectes: Labbé-Laroche et Gagné-Leclerc et associées

TEMPÉRATURES MESURÉES



R ET D EN PIVB AU GOUVERNEMENT FÉDÉRAL

- Normes et codes
 - Soutenir le développement de normes et de codes en lien avec le PVIB
- Coût-bénéfice
 - Estimer le potentiel au Canada
 - Évaluer la performance de systèmes PVIB et démontrer leur valeur ajoutée
- **Intégration**
 - **Élaborer des lignes directrices en lien avec l'intégration des systèmes PVIB dans les bâtiments (enveloppe et systèmes CVAC)**

TÂCHE 15 DE L'AIE PVPS – ENABLING FRAMEWORK FOR THE DEVELOPMENT OF BIPV (2020-2023)

■ Collaboration de 16 pays

Sous-tâche	
A	Technological Innovation System (TIS) analysis for BIPV
B	Cross-sectional analysis: learning from existing BIPV installations
C	BIPV guidelines 
D	Digitalization for BIPV
E	Pre-normative international research on BIPV characterization methods 

■ Publications récentes



Site web : [Enabling Framework for the Development of BIPV - IEA-PVPS](https://www.iea-pvps.org/)

DÉVELOPPEMENT DE LIGNES DIRECTRICES POUR LA CONCEPTION DE SYSTÈMES PVIB (MENÉ PAR LE CANADA ET L'ESPAGNE)



Objectifs

- Consolider les connaissances existantes de l'industrie PVIB
- Soutenir la mise en œuvre des meilleures pratiques (pour les nouveaux bâtiments et les bâtiments rénovés)
- Favoriser le processus de prise de décision qui pourrait conduire à une conception efficace et à une installation robuste



Livrable

- **Guide PVIB** contenant des lignes directrices en lien avec la conception de systèmes PVIB, l'installation, l'opération, la maintenance et la sécurité



Audience

- Professionnels du domaine du bâtiment, architectes, ingénieurs, consultants et installateurs

CONTENU

Études de cas PVIB

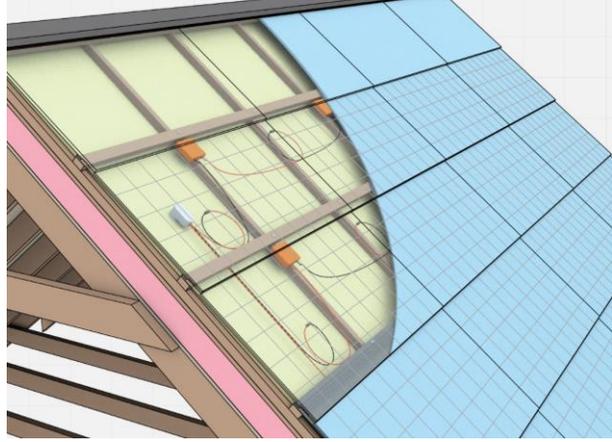
Contenu technique

- Production énergétique
- Performance thermique et gains solaires
- Éclairage naturel
- Gestion de l'eau et imperméabilisation
- Performance acoustique
- Sécurité et fiabilité
- Impact environnemental
- Esthétique et architecture

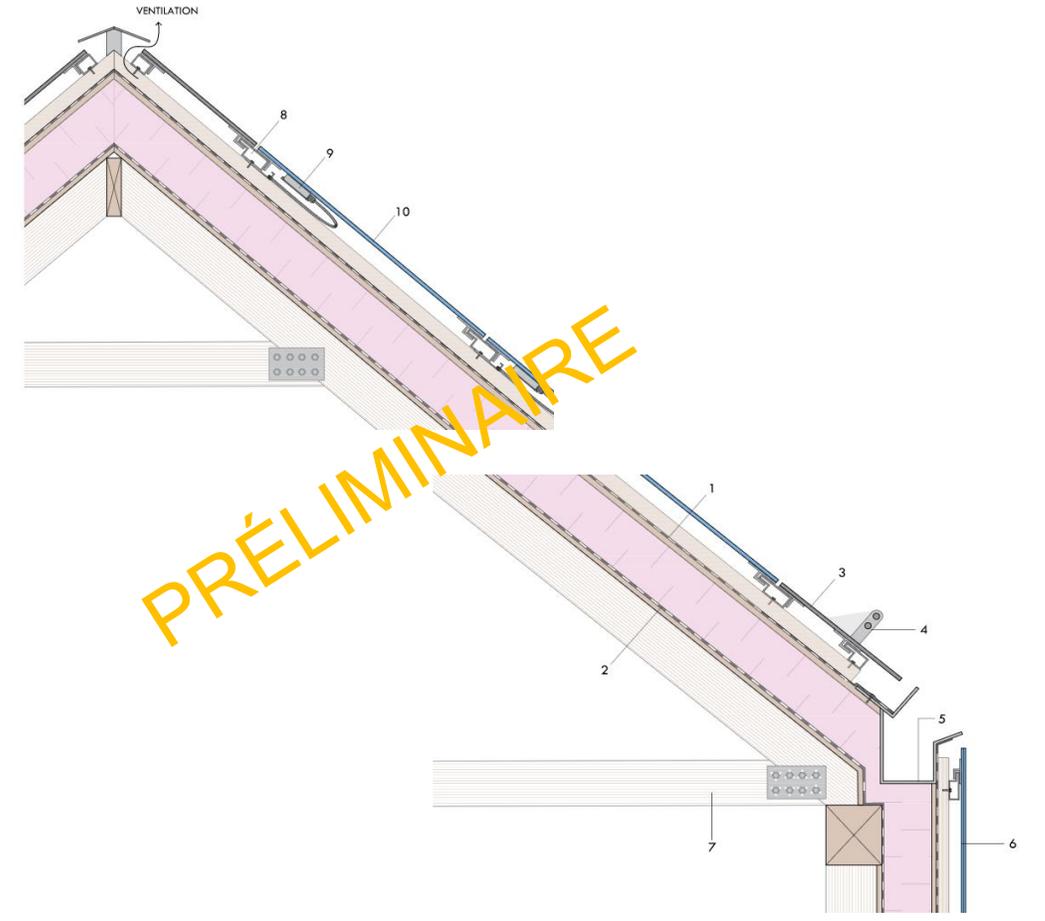
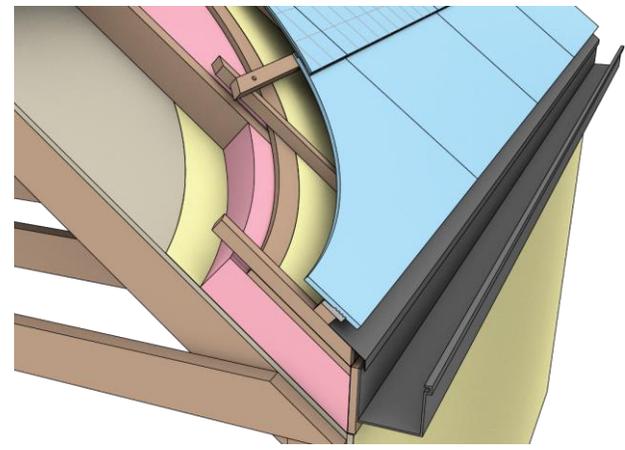


EXEMPLE

TOIT PVIB



TOIT PVIB (DÉTAILS)



PLAN DE LA PRÉSENTATION

1

Contexte

2

Qu'est-ce que le photovoltaïque intégré aux bâtiments (PVIB)?

3

Systèmes PVIB au Canada

4

R et D en PVIB

5

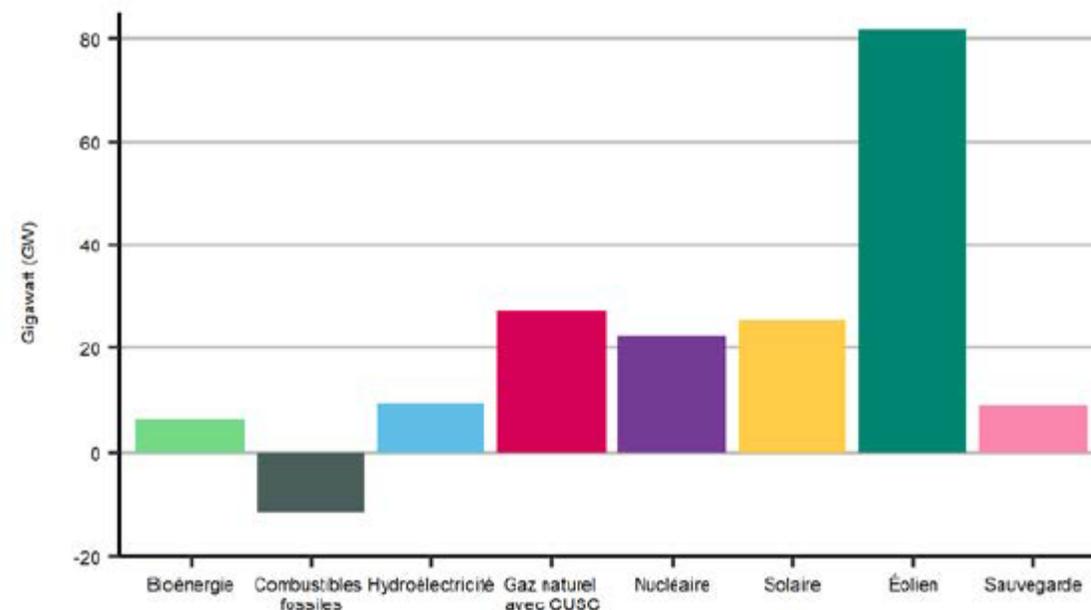
Perspectives



PERSPECTIVES CANADIENNES

- Prédiction de la Régie de l'énergie du Canada dans le scénario de carboneutralité à l'échelle mondiale pour la capacité solaire installée en 2050:
 - Totale: 25,2 GW
 - Sur les toits:
 - 8,2 GW (~1/3 de la capacité totale)
 - 2,5 % de la demande d'électricité des secteurs résidentiel et commercial (~12 TWh)

Variation de la capacité de production d'électricité entre 2021 et 2050, par combustible, scénario de carboneutralité à l'échelle mondiale

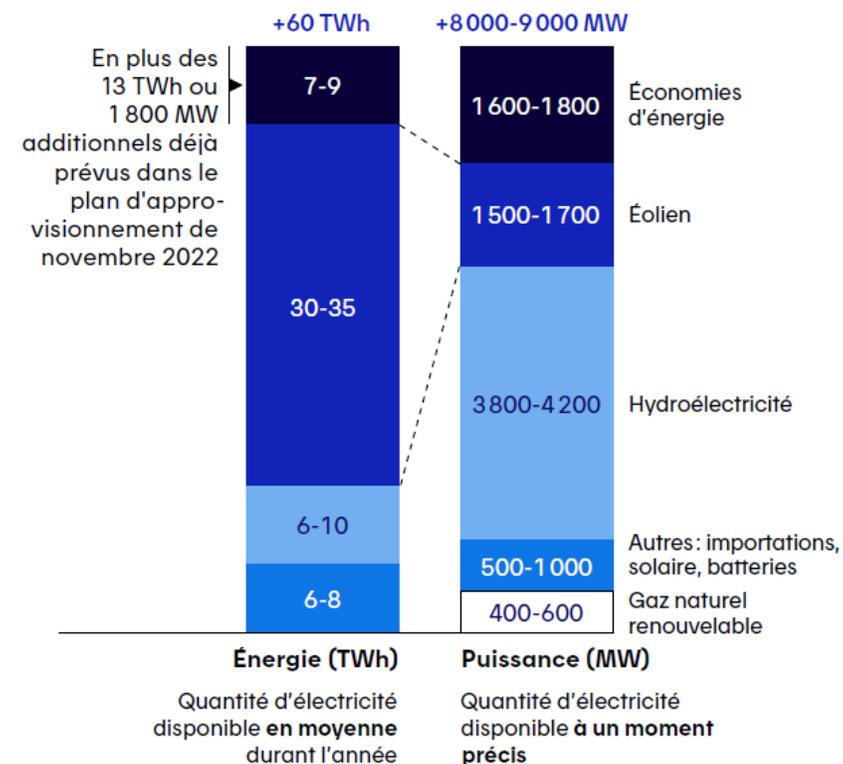


Source: Régie de l'énergie du Canada, Avenir énergétique au Canada 2023

...ET AU QUÉBEC

« ... nous faciliterons l'installation de panneaux solaires chez plus de 125 000 clients et clientes. L'autoproduction solaire pourrait satisfaire jusqu'à 45 % des besoins en électricité de ces ménages. »

Ajouts d'énergie et de puissance d'ici 2035



Source: Hydro-Québec, Vers un Québec décarboné et prospère, Plan d'action 2035

CONCLUSION

- Le réseau électrique du futur aura beaucoup plus d'énergie solaire
- Les bâtiments ont des surfaces disponibles pour accueillir de la production solaire
- Contrairement aux systèmes PV ajoutés aux bâtiments, les systèmes PV intégrés aux bâtiments :
 - S'intègrent de façon plus esthétique
 - Remplacent une partie des coûts associés à l'enveloppe du bâtiment

MERCI!



QUESTIONS?



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada



Contact : Véronique Delisle
veronique.delisle@nrcan-rncan.gc.ca
Gestionnaire de projets
Intégration des énergies renouvelables
Secteur de l'efficacité énergétique et de
la technologie de l'énergie
Ressources naturelles Canada |
Gouvernement du Canada



1615 boul. Lionel-Boulet
Varenes (QC) J3X 1P7
Téléphone: +1.450.652.4621
canmetenergie@rncan.gc.ca



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada 

Canada 

© His Majesty the King in Right of Canada, as represented by the Minister of Natural Resources, 2023