

Conférence du 5 mai 2022 – Guillaume Gautier



École de Technologie Supérieure
Université du Québec

Solaire photovoltaïque

Analyse de risques

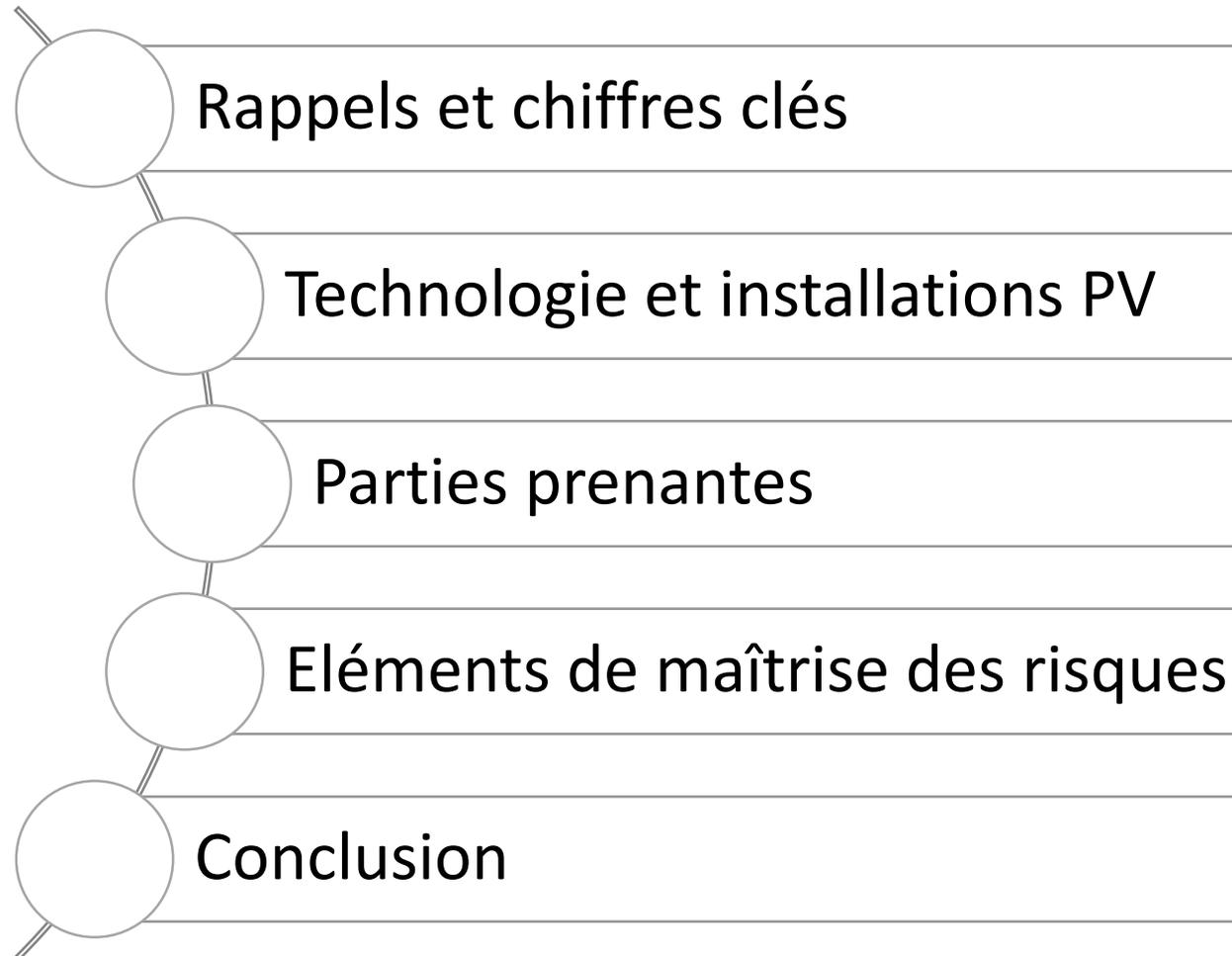


Vous devez
IDENTIFIER
les risques

Vous devez
EVALUER
les risques

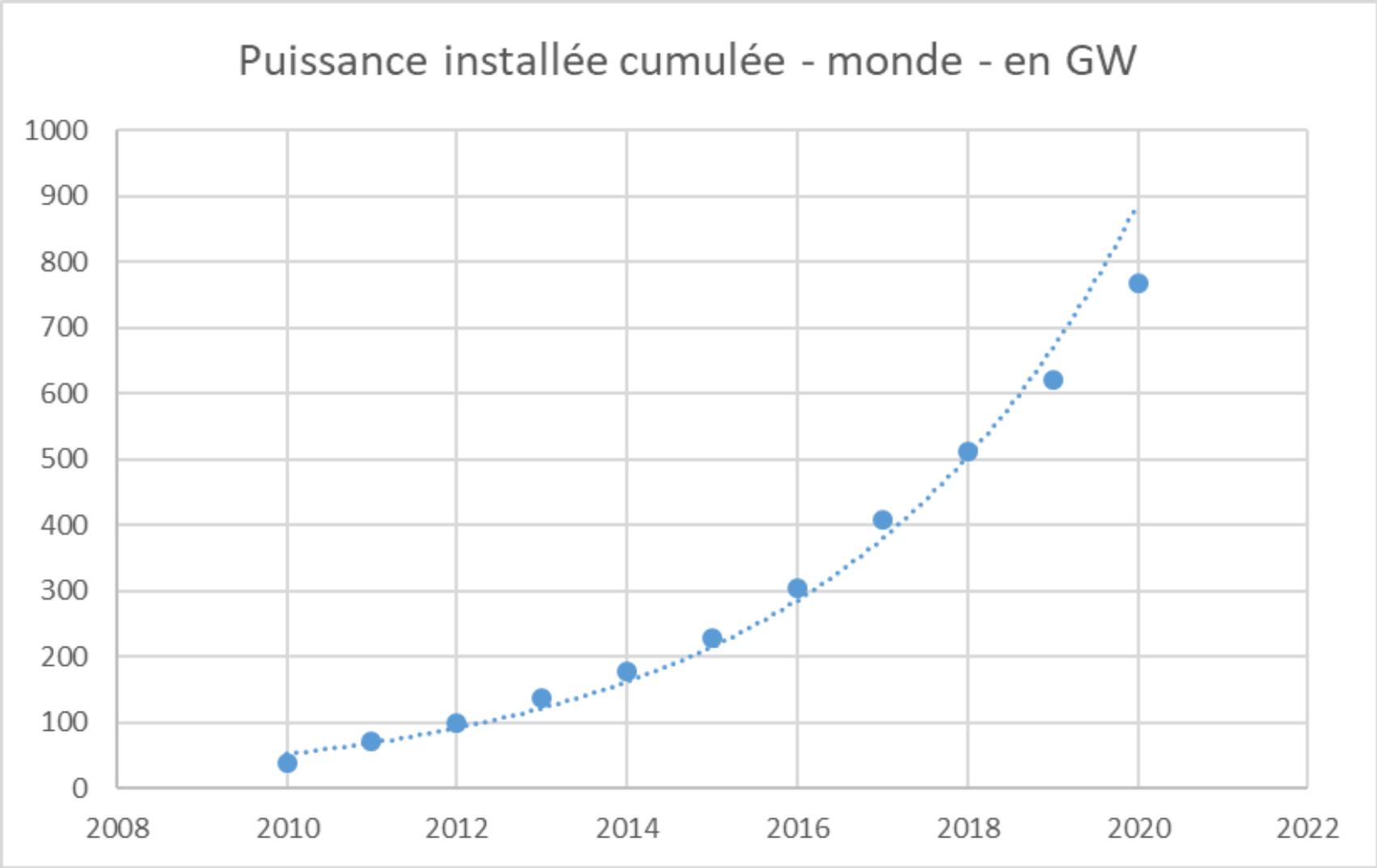
Vous devez
REDUIRE
les risques

Vous devez
SURVEILLER
les risques



1. Rappel et chiffres clés

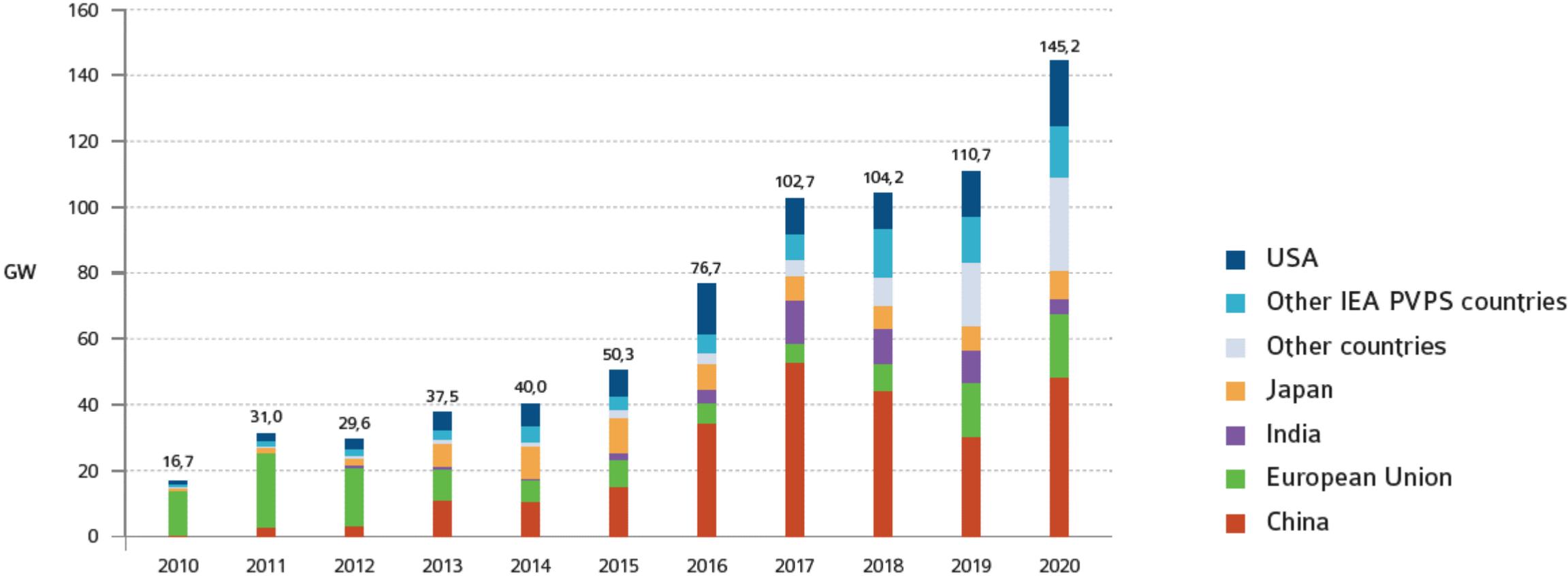
Evolution de la production d'électricité PV mondiale : une croissance quasi exponentielle



Eq : $y = 1E-246e^{0,2837x}$

Source IEA

Puissance annuelle installée par région : une croissance soutenue au niveau mondial, une disparité selon les régions

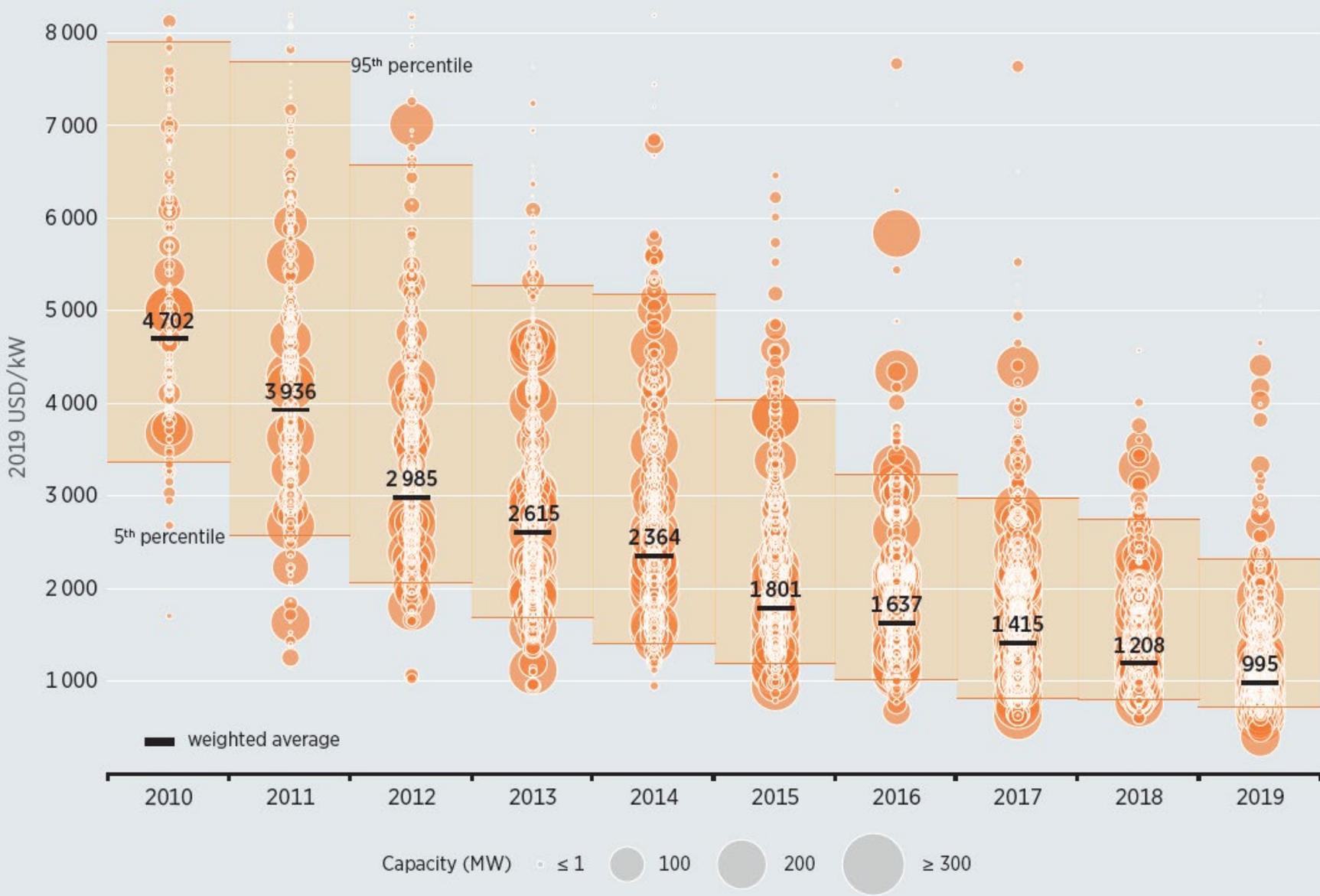


Source IEA

Top 10 des marchés PV : en 2011, 426 MW pour rentrer dans le top ; en 2020, il faut 3 GW

RANKING	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1.	ITALY	GERMANY	CHINA	CHINA	CHINA	CHINA	CHINA	CHINA	CHINA	CHINA
2.	GERMANY	ITALY	JAPAN	JAPAN	JAPAN	USA	INDIA	INDIA	USA	USA
3.	CHINA	CHINA	USA	USA	USA	JAPAN	USA	USA	INDIA	VIETNAM
4.	USA	USA	GERMANY	UK	UK	INDIA	JAPAN	JAPAN	JAPAN	JAPAN
5.	FRANCE	JAPAN	ITALY	GERMANY	INDIA	UK	TURKEY	AUSTRALIA	VIETNAM	GERMANY
6.	JAPAN	FRANCE	UK	SOUTH AFRICA	GERMANY	GERMANY	GERMANY	TURKEY	AUSTRALIA	AUSTRALIA
7.	BELGIUM	AUSTRALIA	ROMANIA	FRANCE	KOREA	THAILAND	KOREA	GERMANY	SPAIN	INDIA
8.	UK	INDIA	INDIA	KOREA	AUSTRALIA	KOREA	AUSTRALIA	MEXICO	GERMANY	KOREA
9.	AUSTRALIA	GREECE	GREECE	AUSTRALIA	FRANCE	AUSTRALIA	BRAZIL	KOREA	UKRAINE	SPAIN
10.	GREECE	BULGARIA	AUSTRALIA	INDIA	CANADA	TURKEY	UK	NETHERLANDS	KOREA	NETHERLANDS
RANKING EU	1.	1.	2.	3.	3.	4.	5.	4.	2.	2.
MARKET LEVEL TO ACCESS THE TOP 10										
	426 MW	843 MW	792 MW	779 MW	675 MW	818 MW	944 MW	1 621 MW	3 130 MW	3 036 MW

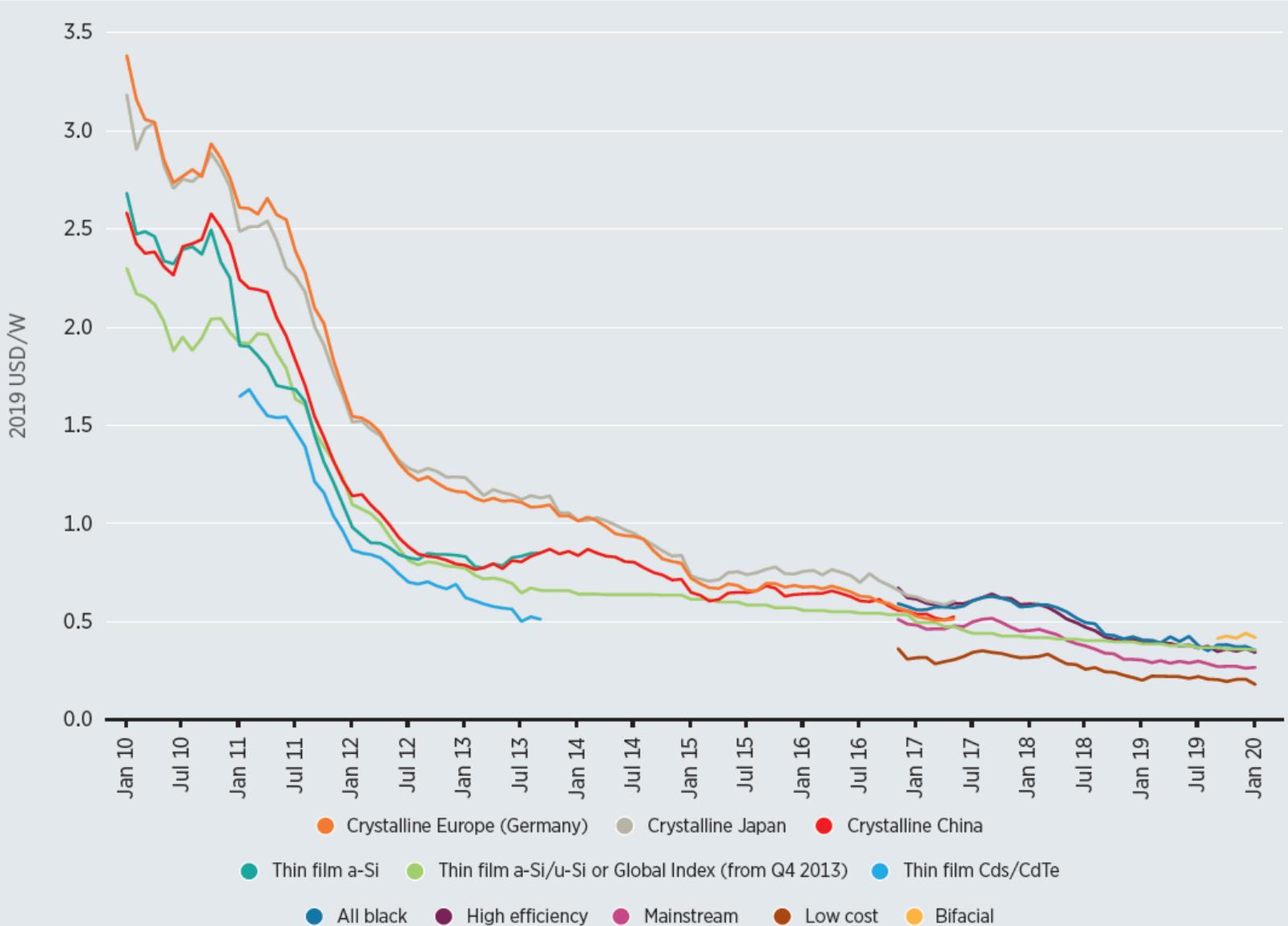
Evolution du coût du PV : le prix des installations PV a diminué de l'ordre de 80% sur 10 ans



Nota :

En résidentiel, en France, La baisse des coûts d'installation sont plutôt autour de 50 à 60%

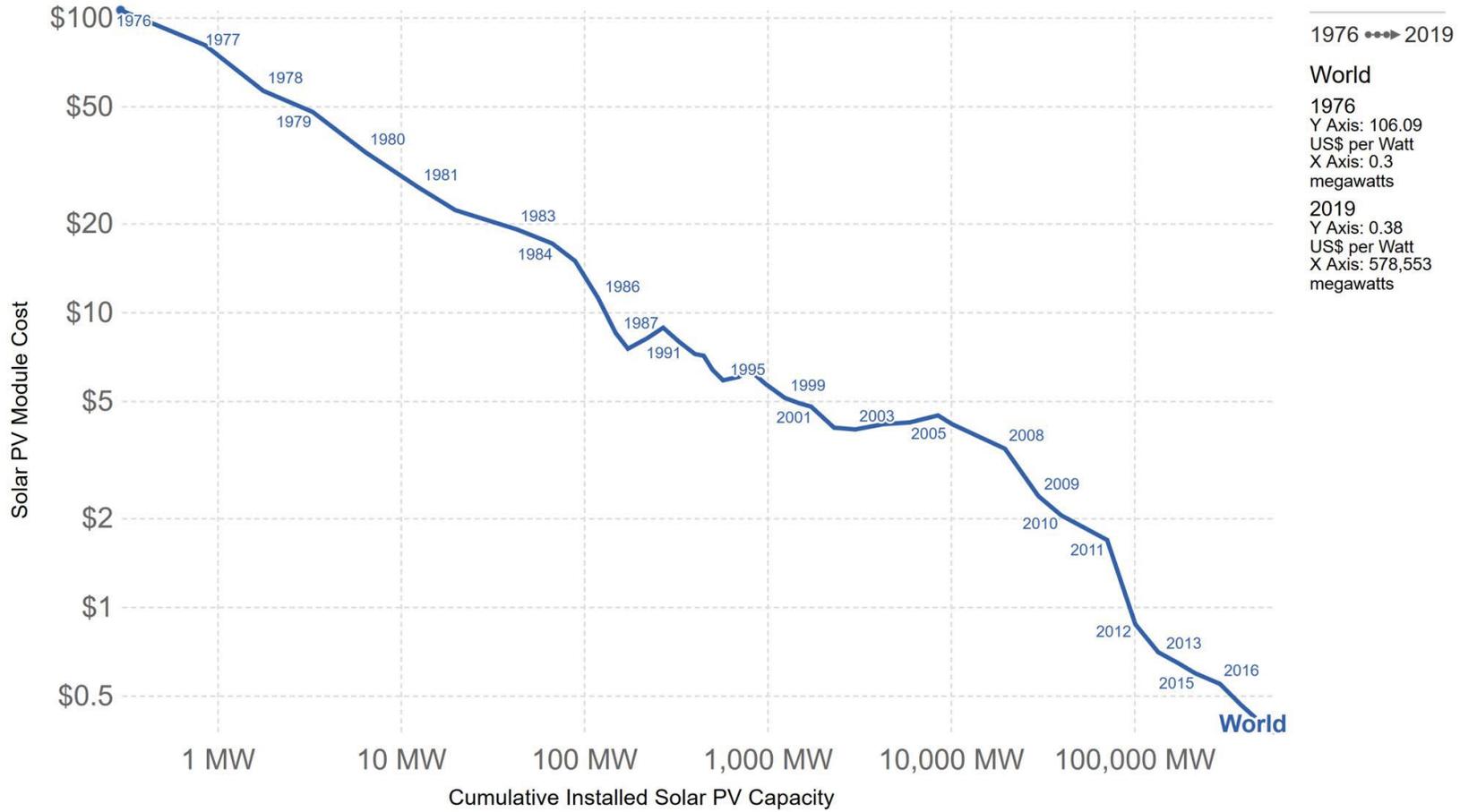
Le prix des modules PV a diminué de ~90%



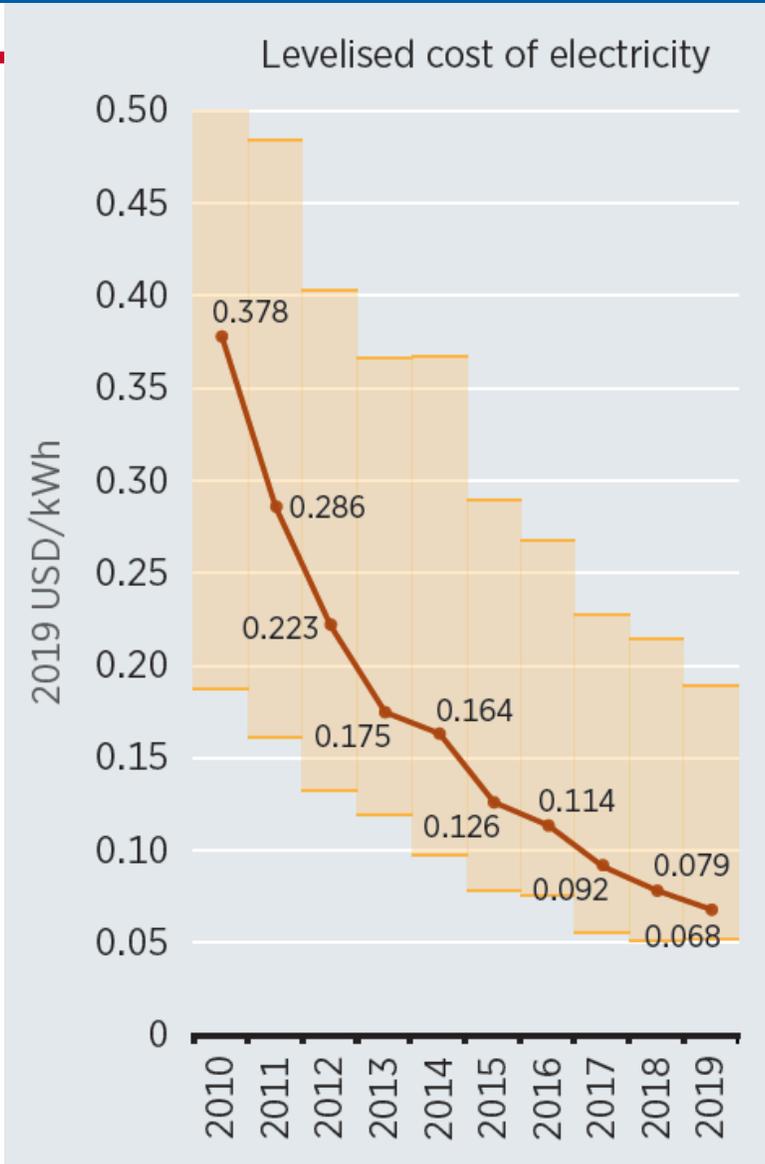
Loi de Swanson : plus on produit, plus les prix baissent → linéaire en échelle logarithmique

Solar PV module prices vs. cumulative capacity

Solar photovoltaic (PV) module prices are measured in 2019 US\$ per Watt. Cumulative installed solar PV capacity is measured in megawatts. This represents the 'learning curve' for solar PV.



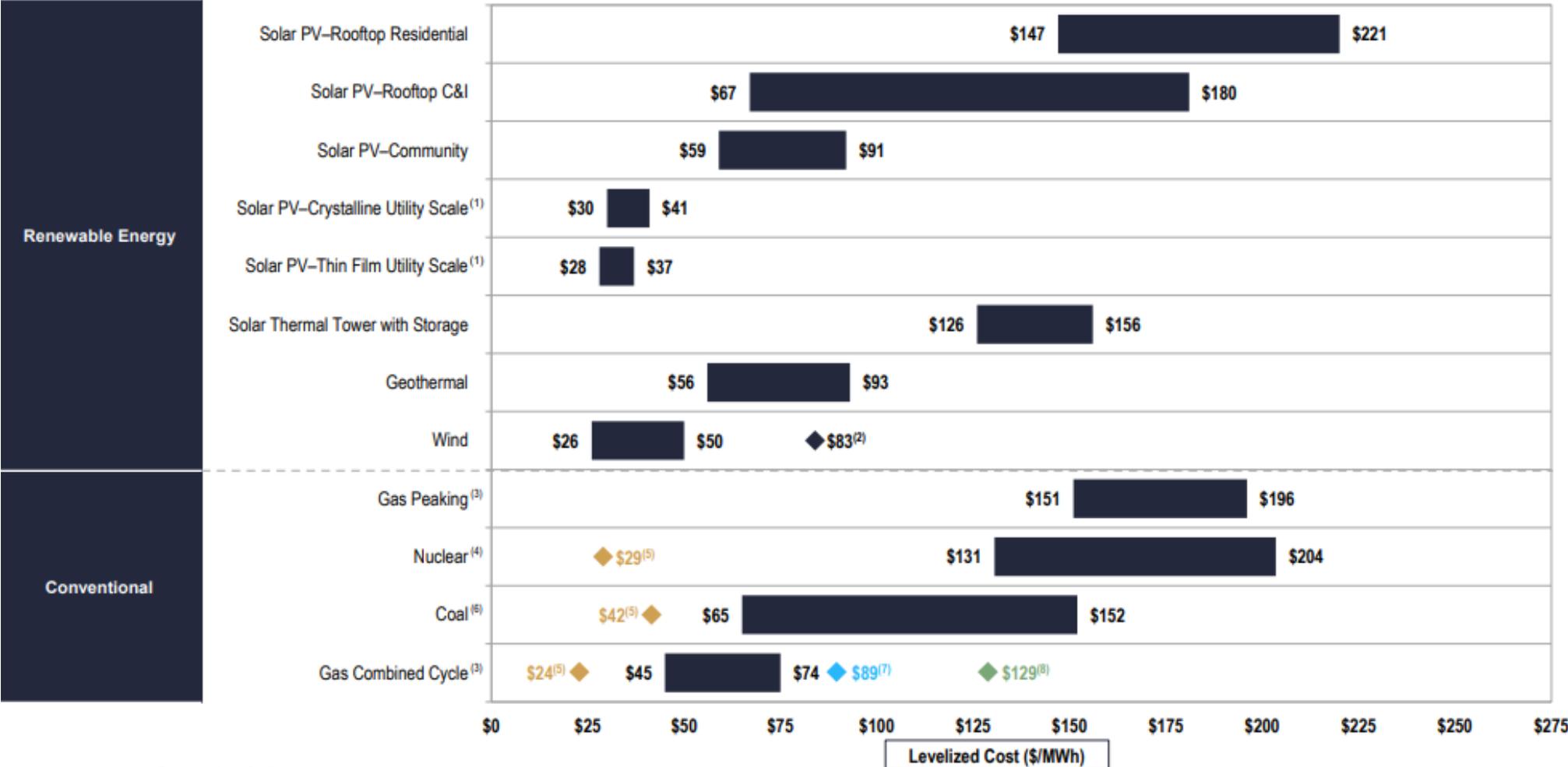
Impact sur le LCOE : diminution logique de 90%



Comparaisons des LCOE : le PV est TRES compétitif !

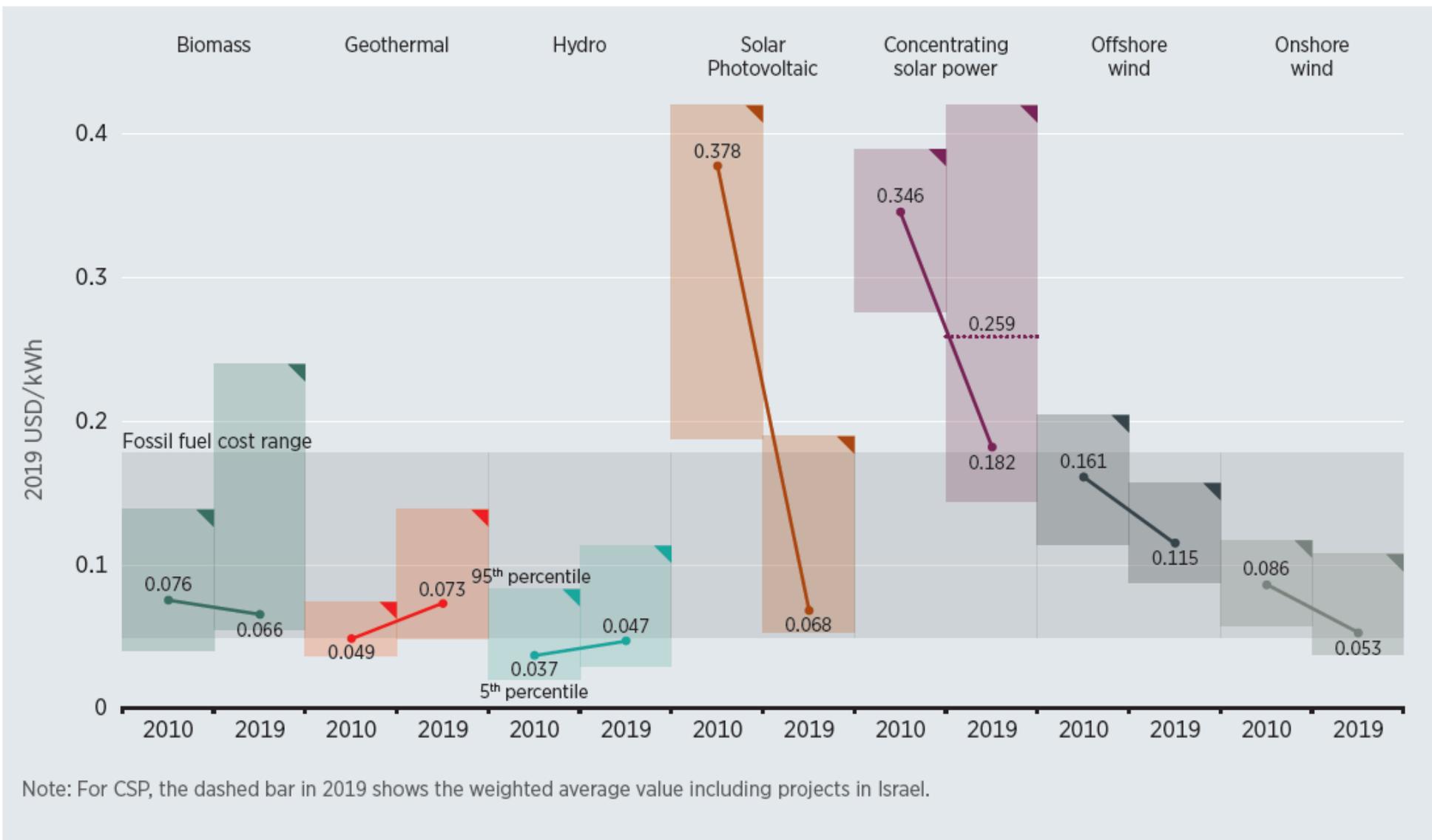
Levelized Cost of Energy Comparison—Unsubsidized Analysis

Selected renewable energy generation technologies are cost-competitive with conventional generation technologies under certain circumstances



Source: Lazard estimates.

Autre comparaison des LCOE : convergence de tendance → le PV est compétitif



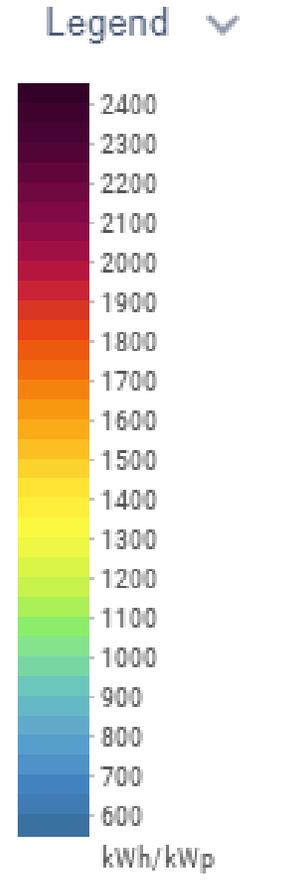
Source IRENA

Productible photovoltaïque : Québec vs France/Allemagne → ~ même potentiel



Montréal	~	1200 kWh/kWp
Québec	~	1130 kWh/kWp
Regina	~	1300 kWh/kWp
San Francisco	~	1650 kWh/kWp
Phoenix	~	1800 kWh/kWp

Paris	~	1050
Marseille	~	1600
Madrid	~	1750
Munich	~	1300
Firenze	~	1350



Source PVGIS, SolarGIS

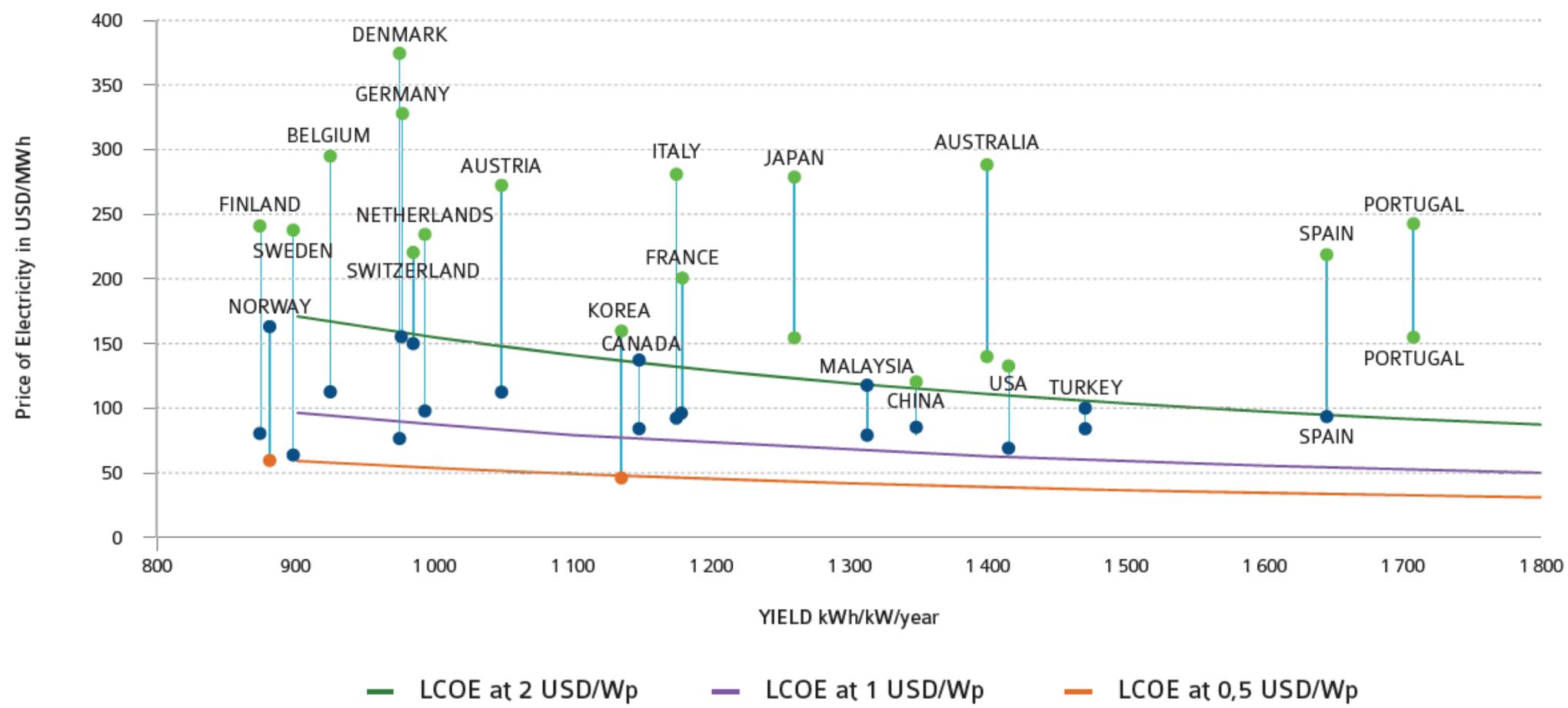
Prix du kWh résidentiel : des prix très disparates dans le monde

	\$CAN	€	USD
Allemagne	0,43	0,317	0,342
Angleterre	0,358	0,263	0,284
Espagne	0,329	0,242	0,261
Japon	0,3	0,221	0,238
Italie	0,291	0,214	0,231
France	0,252	0,185	0,199
Afrique du Sud	0,220	0,162	0,174
Brésil	0,203	0,149	0,161
USA	0,2	0,147	0,159
Côte d'Ivoire	0,151	0,111	0,120
Maroc	0,150	0,110	0,119
Canada	0,148	0,109	0,117
Chine	0,111	0,08	0,088
Algérie	0,047	0,034	0,037

Source : https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/

Parité réseau : atteinte dans plusieurs pays, pas vraiment au Canada

FIGURE 6.7: LCOE OF PV ELECTRICITY AS A FUNCTION OF SOLAR IRRADIANCE & RETAIL PRICES IN KEY MARKETS*

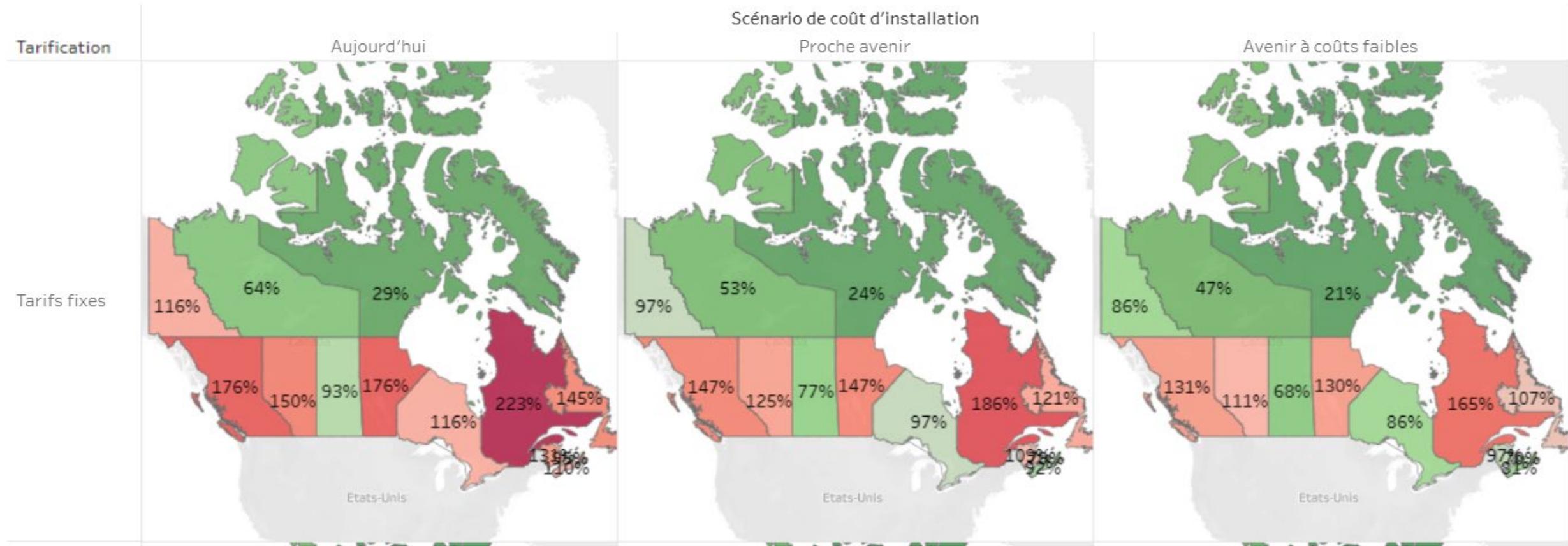


*NOTE THE COUNTRY YIELD (SOLAR IRRADIANCE) HERE SHOWN MUST BE CONSIDERED AN AVERAGE.

SOURCE IEA PVPS & OTHERS.

Parité réseau : encore moins au Québec (étude de la Régie de l'énergie du Canada)

Seuil de rentabilité moyen des réseaux solaires résidentiels par provinces et territoires

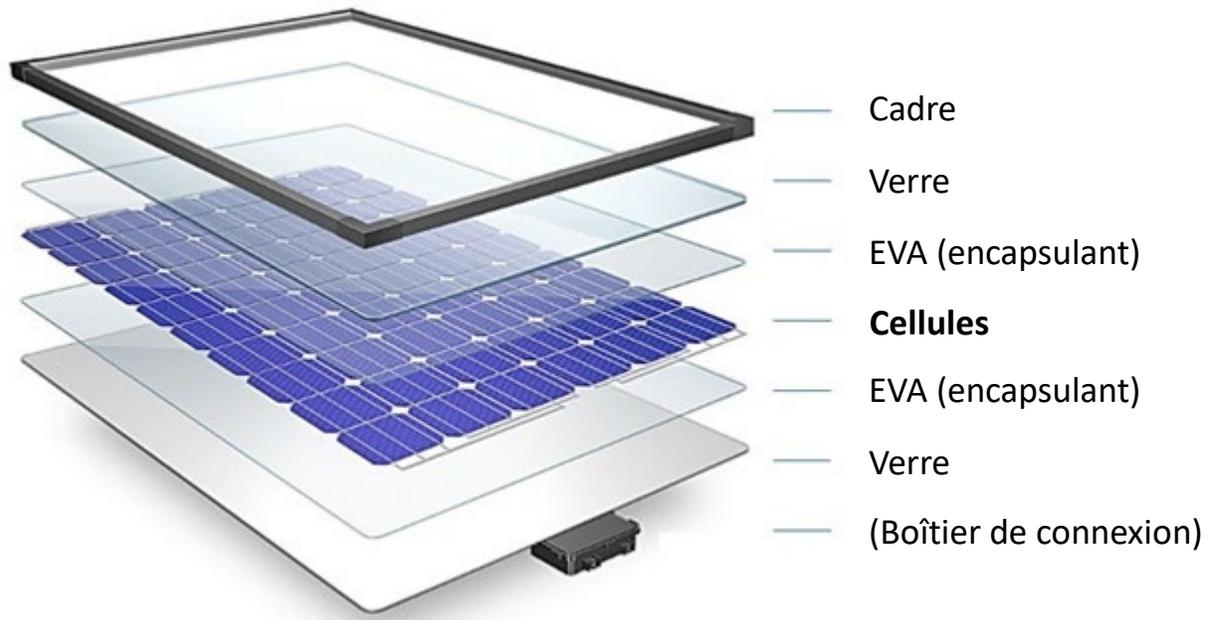


<https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/produits-base-energetiques/electricite/rapport/rentabilite-energie-solaire/index.html>

2. Technologie et Installations PV

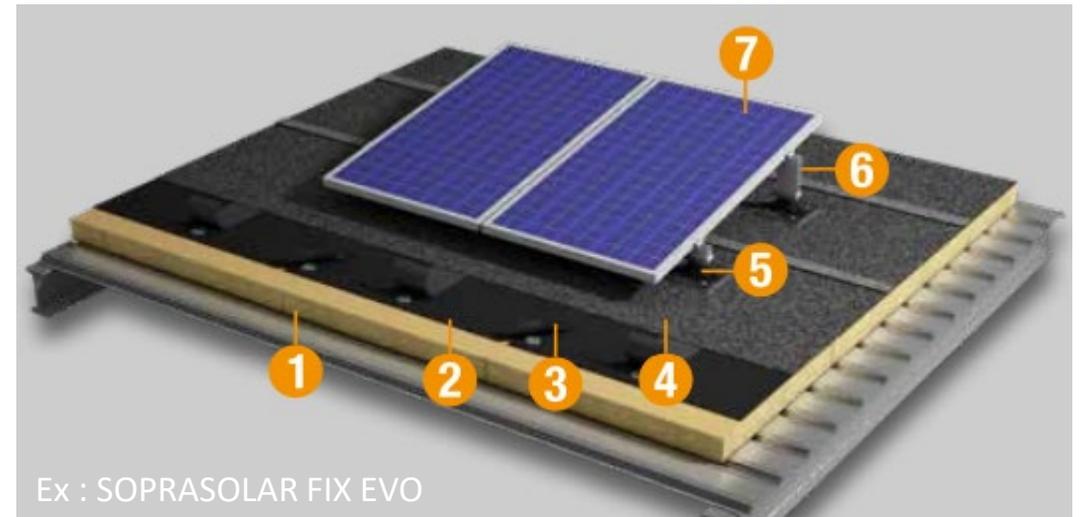
Module PV et procédé photovoltaïque

Un module photovoltaïque :



Module de 60 cellules (6x10) couramment utilisé en toiture de bâtiment

Un procédé photovoltaïque :



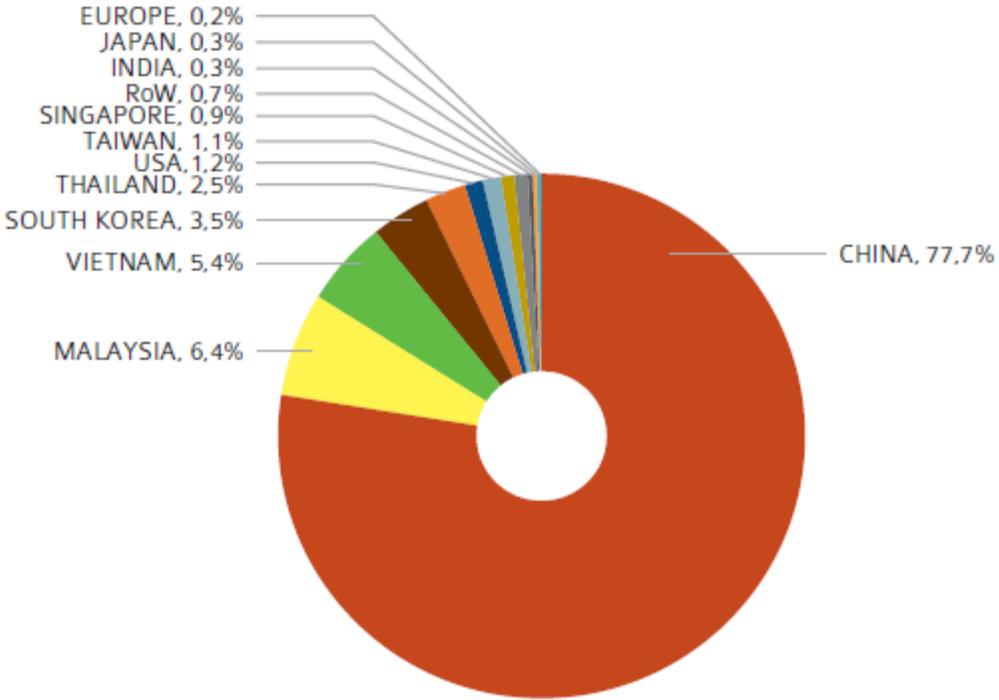
Comprend :

- Une ou plusieurs références de modules,
- Une ou plusieurs références de boîtiers de connexion,
- Câbles et connecteurs,
- Un système de fixation à la toiture, assurant l'étanchéité.

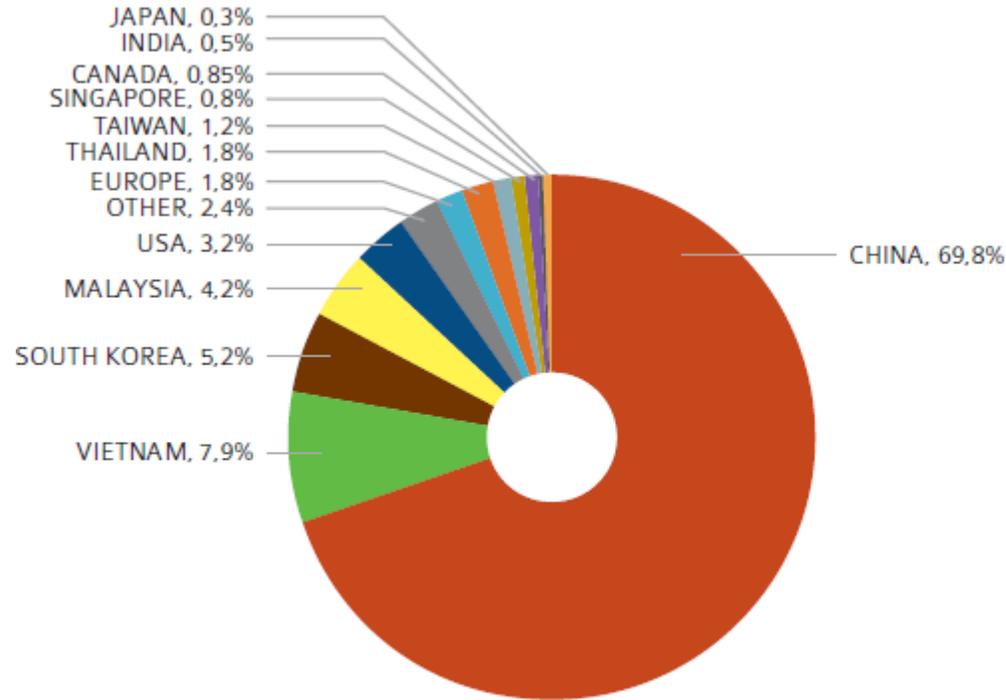
Il est qualifié pour un support défini.

Production de cellules et modules : la Chine, ... et l'émergence du Vietnam pour éviter les sanctions américaines sur les produits importés de Chine

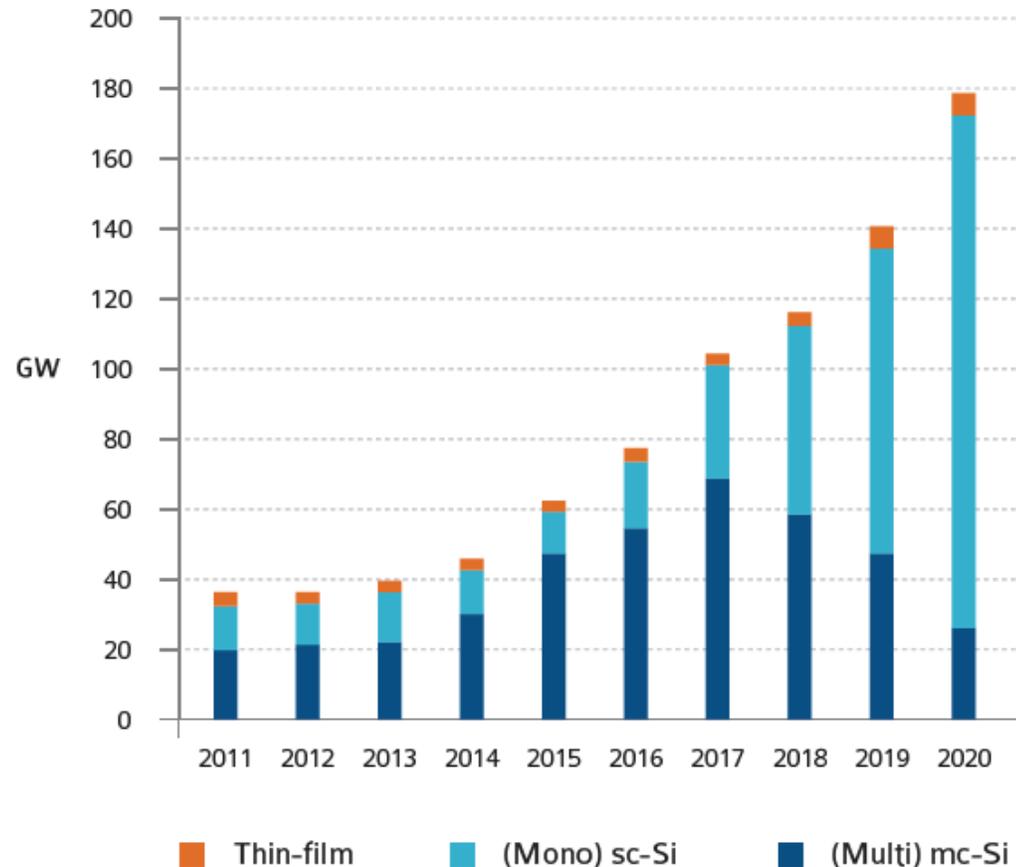
Production de cellules



Production de modules



Types de cellules : le silicium cristallin sinon rien → Mono C depuis 2018 ; les autres technos sont anecdotiques



Les technologies de cellules :

- Silicium cristallin :
 - Mono-cristallin
 - Poly-cristallin
- Films minces : CdTe, CI(G)S
- Silicium amorphe
 - A eu son succès jusqu'en 2010
 - Pas assez compétitif par rapport aux gains réalisés par le Si cristallin
- Organique : pas mûr

SOURCE IEA PVPS, RTS CORPORATION.

ique : analyse de risques

Installation PV : vente de la production d'électricité, autoconsommation ?

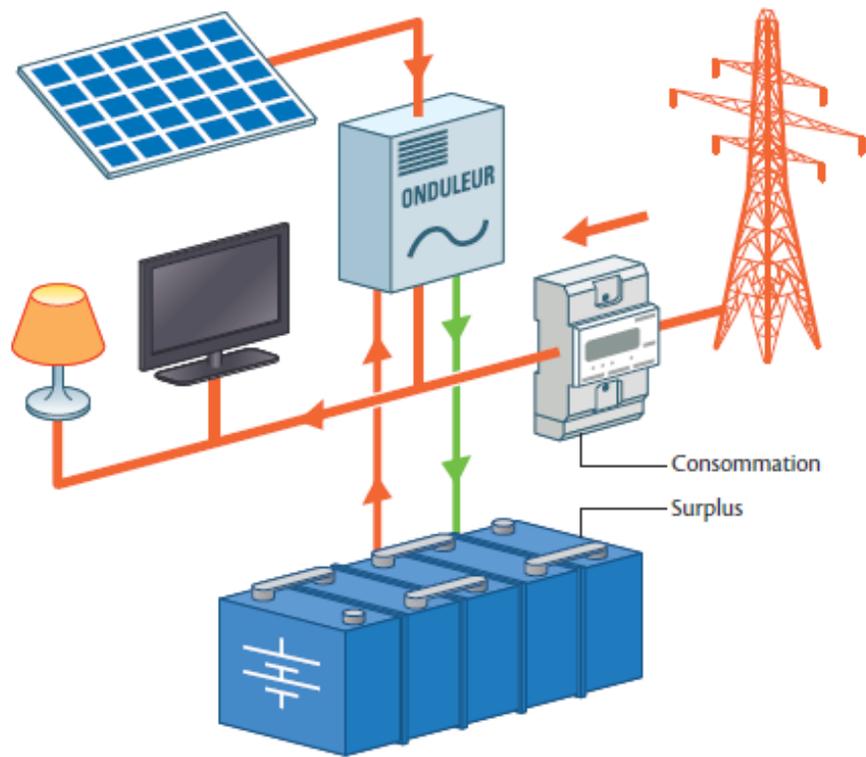
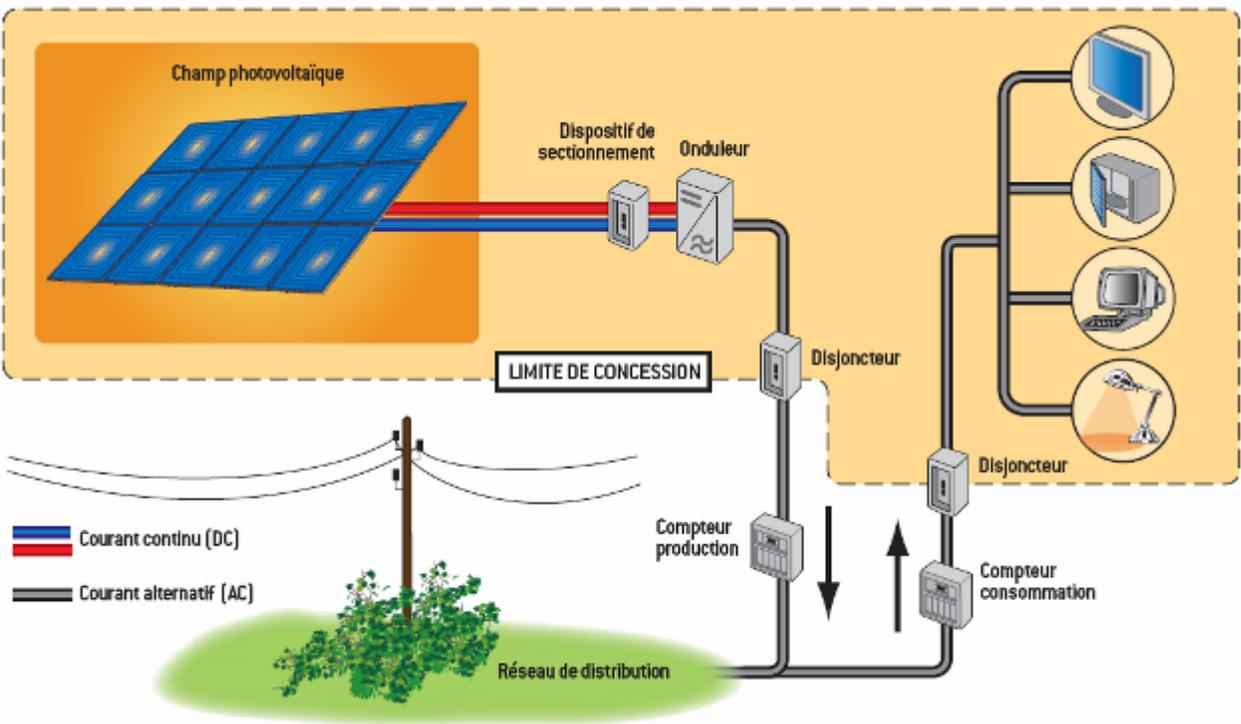


Figure 36 : Schéma électrique d'une installation photovoltaïque avec onduleur et batteries

Typologies d'installations PV

Intégré au bâti (IAB)



Intégré au bâti – tuiles photovoltaïques



Surimposé (toiture tuiles)



Intégré simplifié (ISB)



Surimposé (toiture terrasse)



Typologies d'installations PV

Intégré au bâti en façade



Ombrières de parking



Ferme (centrale) au sol



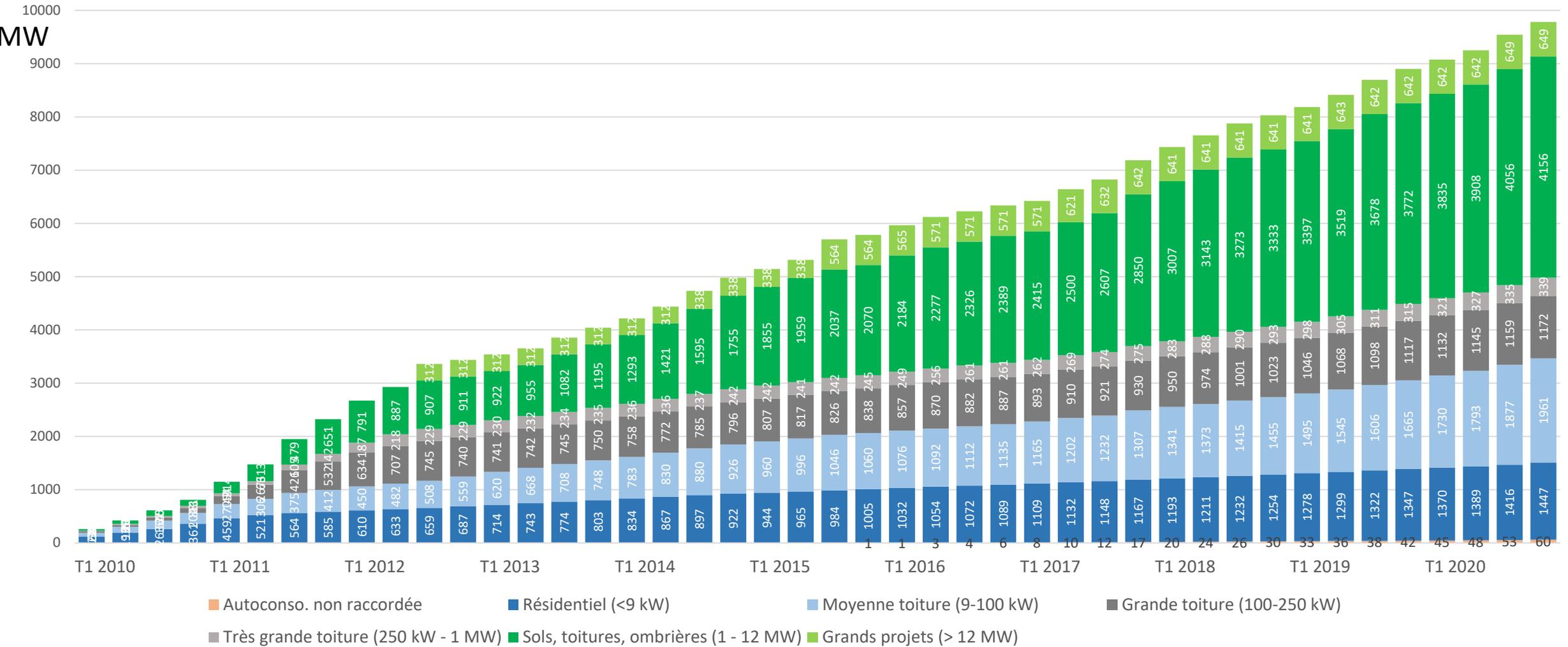
Ferme (centrale) PV flottante



Tracker



Évolution du marché français – puissances installées par type d'installation



Le 05/05/2022

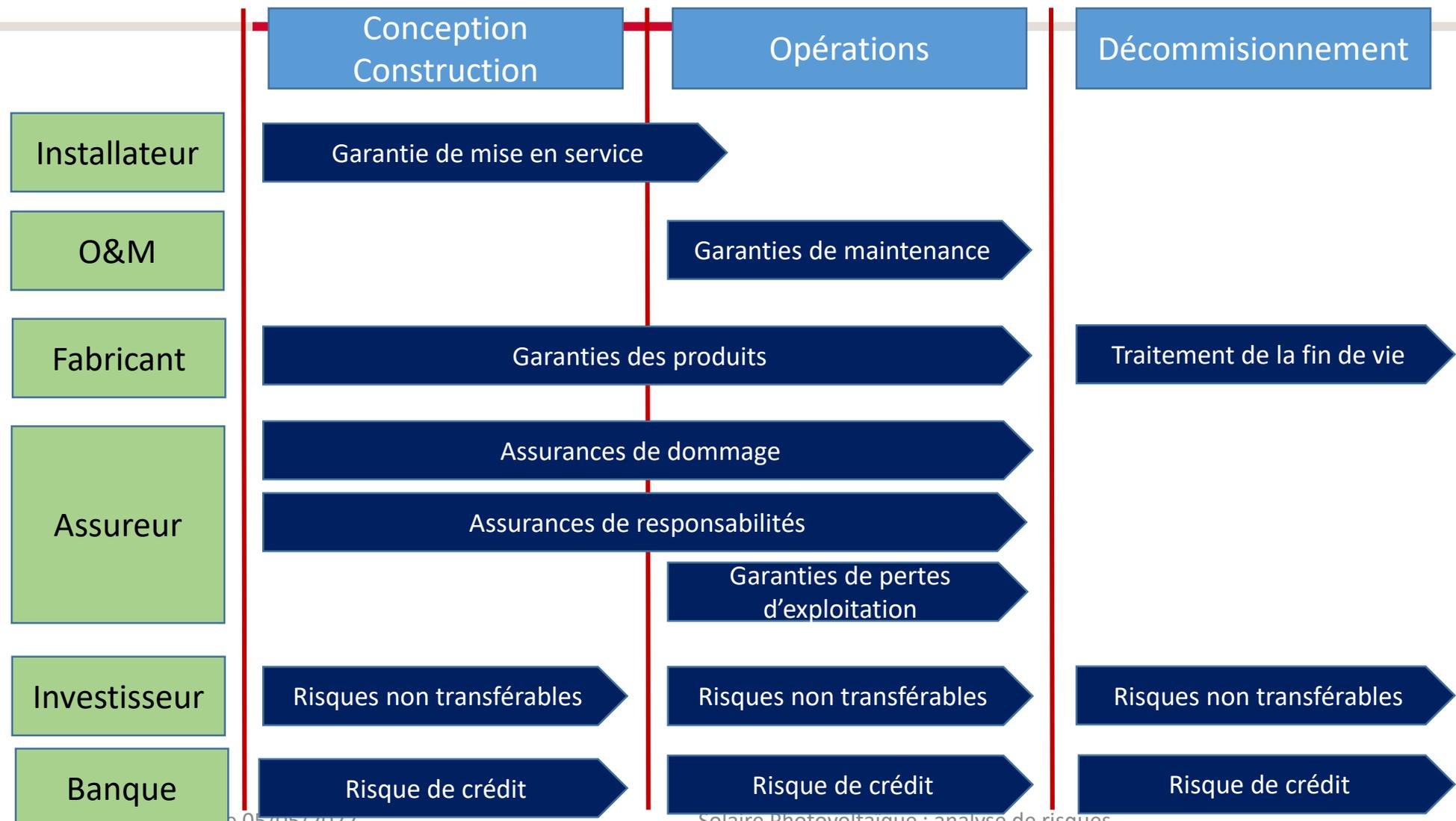
Puissance raccordée – cumul 2010-2020

Solaire Photovoltaïque : analyse de risques

Données ENEDIS – Observatoire de l'énergie solaire

3. Parties prenantes

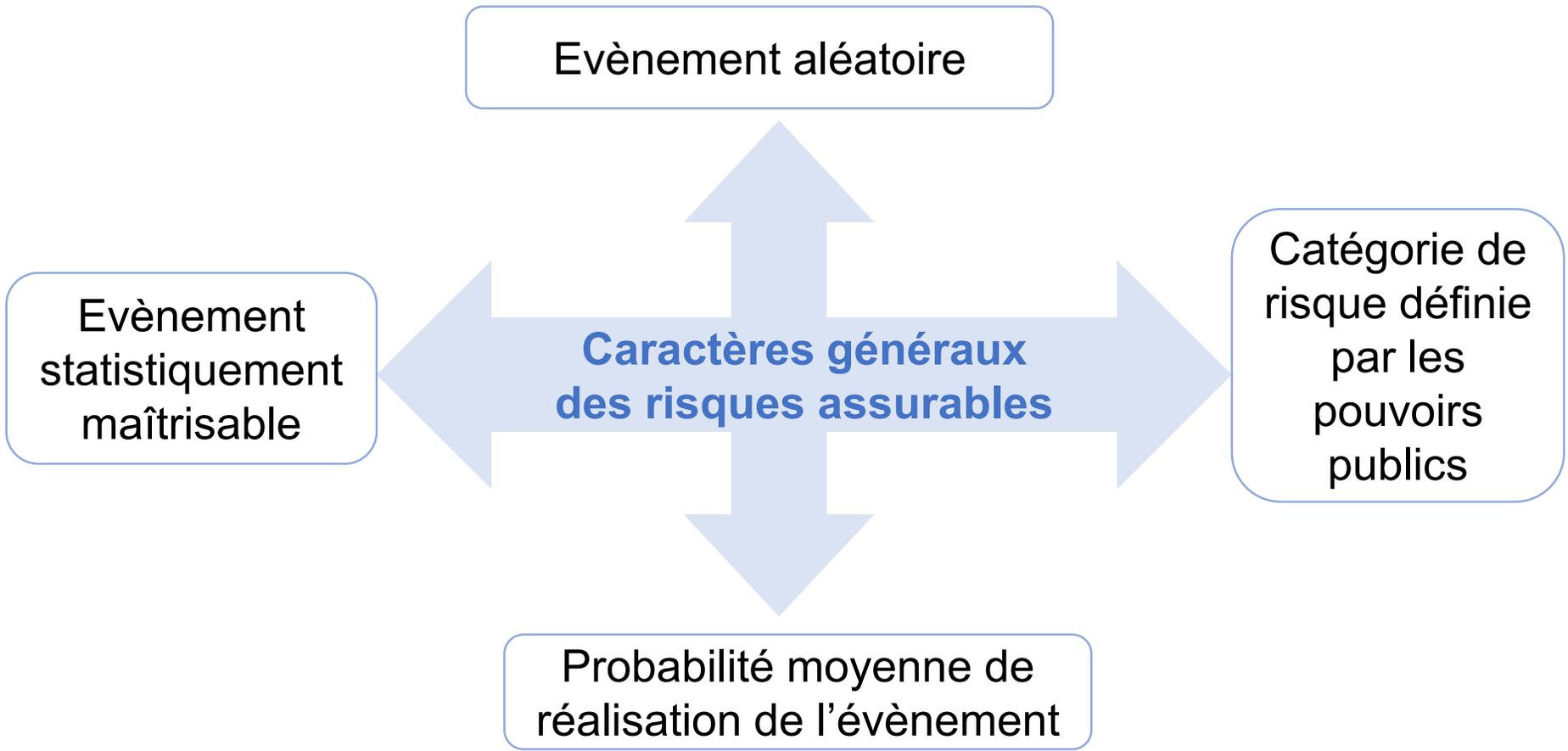
Acteurs autour d'un projet d'installation PV : chaque acteur porte des risques



Principes :

- L'assurance est un contrat (police) entre un assuré et un assureur
- L'assuré paie une prime d'assurance en contrepartie du règlement par l'assureur des risques couverts par la police
- La couverture financière des risques assurés est réalisée par la mutualisation des primes payées par l'ensemble des assurés
- La franchise représente le risque résiduel que l'assuré prend à sa charge si un sinistre survient
- L'assurance couvre des événements aléatoires, qui par définition ne sont pas intentionnels
- Il y a plusieurs type d'assurance : maladie, vie, automobile, assurance de biens et de responsabilités
- Ici, on s'intéresse aux assurances de dommages aux biens :
 - Les assurances de dommage
 - Les assurances de responsabilité

Assureur : focus sur le fonctionnement et ses risques



La Partie RISQUE

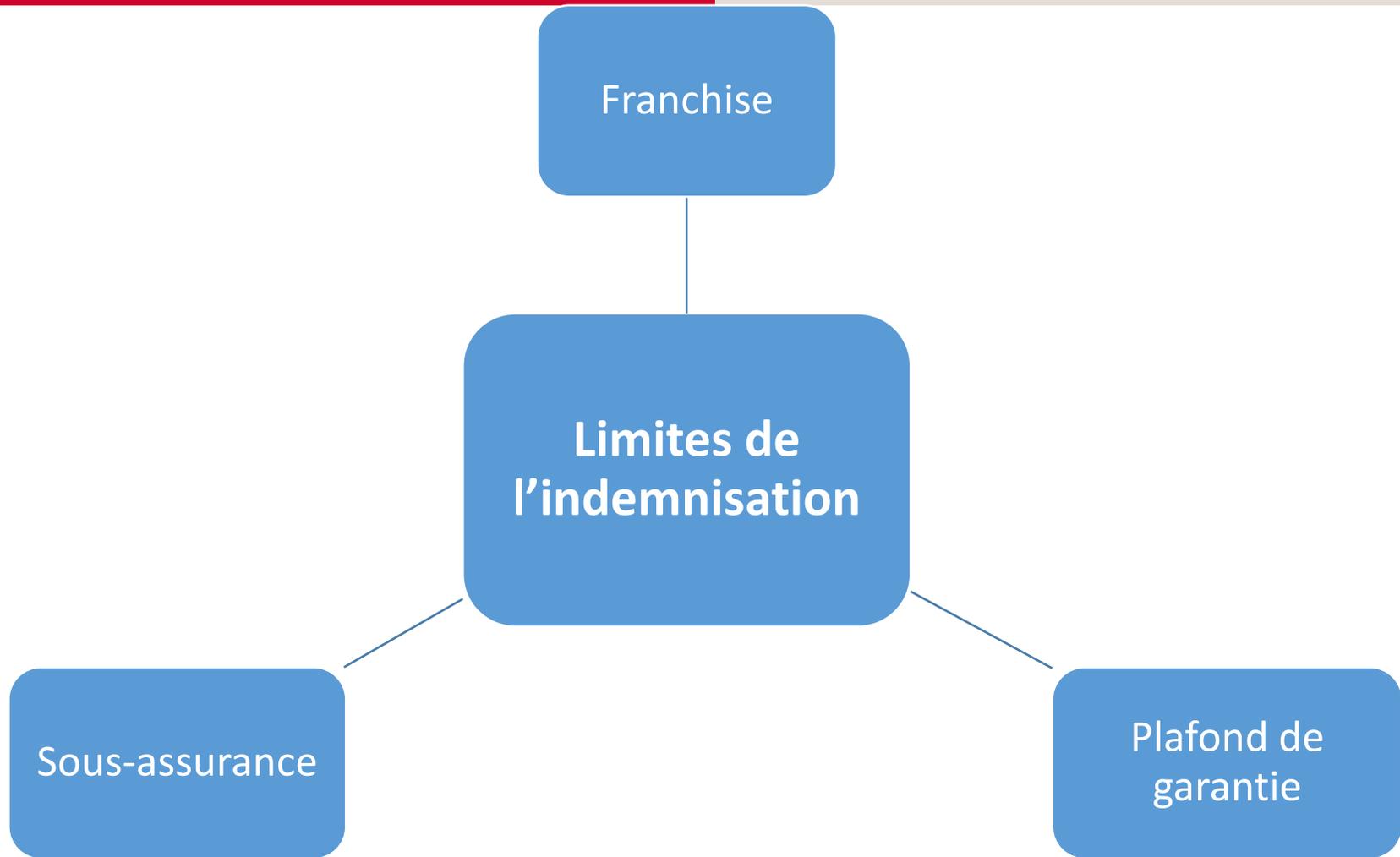
La Cotisation pure:
La statistique

La Partie FRAIS

La Cotisation technique:
cotisation pure + les divers frais et taxes

La Partie COMMERCIALE

La Cotisation Commerciale:
Cotisation technique
+/- politique commerciale



Assureur : focus sur le fonctionnement et ses risques

Assurance de dommages aux biens :

Incendie

**Tempête,
grêle, poids de la neige**

Les dommages électriques

Les attentats

Le vandalisme

Les dégâts des eaux

Le vol

Le bris de glace

Le bris de machine

La responsabilité civile

Les pertes d'exploitation

Les catastrophes naturelles

La responsabilité civile

- Obligation de réparer les dommages que l'on a causés à autrui.
- 3 conditions sont nécessaires pour qu'il y ait responsabilité civile :
 - un dommage subi par la victime
 - un fait dit « générateur de responsabilité » imputé à l'auteur de ce dommage,
 - un lien de causalité entre ce fait et le dommage
- L'assureur se substitue au responsable pour indemniser la victime.
 - A défaut d'assurance, le responsable doit lui-même dédommager la ou les victimes, ce qui peut l'amener à rembourser toute sa vie.
- **Attention** : l'assurance joue en cas d'accident, de maladresse ou de négligence. En cas d'acte intentionnelle, l'assureur ne peut intervenir.

Retour sur la prime pure, modèle simpliste :

Prime Pure = Coût total de sinistres / Nombre de contrats

Prime Pure = (Coût total des sinistres / Nombre de contrats) *
(Nombre de sinistres / Nombre de sinistres)

Prime Pure = (Nombre de sinistres / Nombre de contrats) *
(Coût total des sinistres / Nombre de sinistres)

Prime Pure = Fréquence * Gravité

Assureur : focus sur le fonctionnement et ses risques

Autre ratio important (approche simpliste) : le S / P

Le S / P : représente la proportion des primes allant au paiement des sinistres

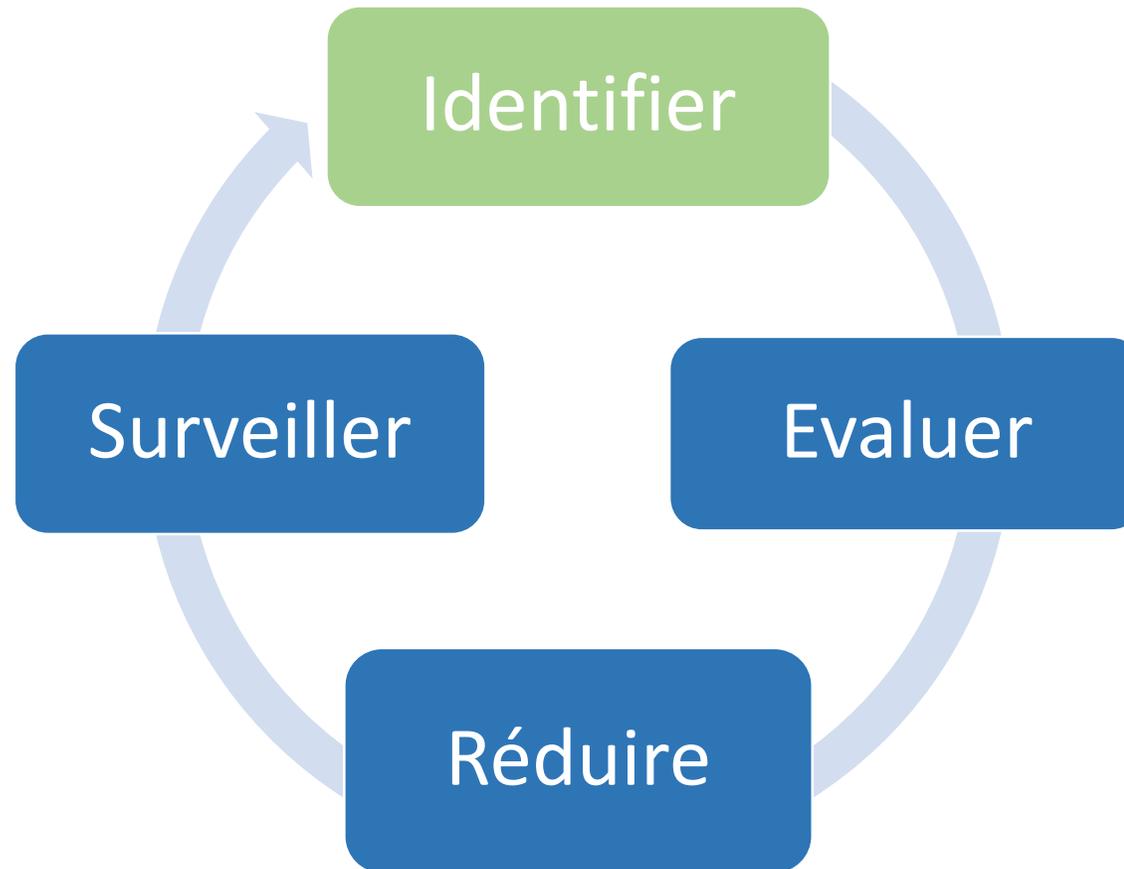
$S / P > 1 \rightarrow$ l'assureur est en perte \rightarrow il n'y a pas assez de revenus pour payer les sinistres

$S / P < 1 \rightarrow$ l'assureur fait un profit

En réalité, il faut faire intervenir dans l'équation les frais liés à l'examen des sinistres et les frais de gestion des primes

A cela s'ajoutent des provisions nécessaires pour répondre aux normes prudentielles \rightarrow Solvency 2

4. Éléments de maîtrise des risques



Identifier les risques : quels risques pour qui ?

Investisseur

Objectifs :

- Optimiser la rentabilité de l'investissement
- Maximiser la performance de l'installation, ... dans le temps

Risques externes d'atteinte à la performance

- Incendie,
- Grêle, tempêtes, neige, foudre, ...
- Vol/Malveillance

Risques internes d'atteinte à la performance

- Défaillance d'un composant
- Vieillesse accélérée des composants

Risques vis-à-vis des tiers

- Electrification/électrocution
- Injection de courant non conforme dans le réseau

Risques financiers

- Mauvais choix de financement
- Erreur d'hypothèses de calcul d'investissement

Identifier les risques : quels risques pour qui ?

Installateur / Mainteneur

Objectifs :

- mise en service de l'installation au meilleur ratio coût/performance
- maintien de la performance dans le temps

Risques pour les préposés

- Chutes
- Electrisation/électrocution

Risques en cours de chantier

- Vol, incendie, casse, ...
- Dommages aux tiers

Risques de conception et mise en œuvre

- Erreur de conception
- Mise en œuvre défectueuse
- Défaut de maintenance

Risques de maintenabilité

- Disponibilité des composants

Identifier les risques : quels risques pour qui ?

Fabricant

Objectifs :

- Vendre les composants au meilleur rapport prix/coûts
- Limiter les défaillances

Risques de fabrication

- Risques opérationnels
- Risques de dommages à l'outil de production

Risque fournisseur

- Qualification des fournisseurs

Risques de durabilité

- Erreur de conception
- Erreur de process de fabrication
- Erreur d'estimation de la durée de vie du produit

Identifier les risques : quels risques pour qui ?

Assureur

Objectif :

- Eviter le déséquilibre des risques (S / P)

Banque

Objectif :

- Limiter le risque de crédit

Erreur dans les hypothèses financières :

- Impact de l'hypothèse du taux d'actualisation dans les calculs de la VAN et du LCOE ?
- Impact de l'hypothèse du nombre d'années de durée de vie ?

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

n la durée de vie du système
 C_t l'ensemble des coûts
 E_t la production nette d'énergie annuelle
 r le taux d'actualisation annuel

$$VAN = \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^M VA_{j,k} - I_{init} + V_r$$

Quelques risques particuliers : risques financiers

Qui est concerné ?

Investisseur

Erreur dans les hypothèses financières :

Prise en compte de l'inflation dans le taux d'actualisation : facile dans un monde en paix et avant le COVID → Avant 2021

Inflation (CPI, GA en %)



Qui est concerné ?

Investisseur

Fabricant

Installateur

Quelques risques particuliers : risques financiers

Impacts politiques : attention à la supply chain

Gouvernement Trump – 2018 : taxes douanières sur les panneaux chinois

Janet Yellen, Présidente de la FED, actuelle secrétaire d'état au Trésor – 13 avril 2022 :

- ➔ souhait de commercer uniquement avec des « amis », voire des « alliés »
- ➔ réaffirmation des notions « friendshoring », d' « allyshoring », et de « nearshoring »

Conséquences

- ➔ les chaînes de valeur vont être désorganisées
- ➔ Quid de la suprématie chinoise dans le PV ?
- ➔ Des entreprises européennes décident de relocaliser une partie de la production voire de re construire des usines = Cf Meyer Burger

Qui est concerné ?

Investisseur

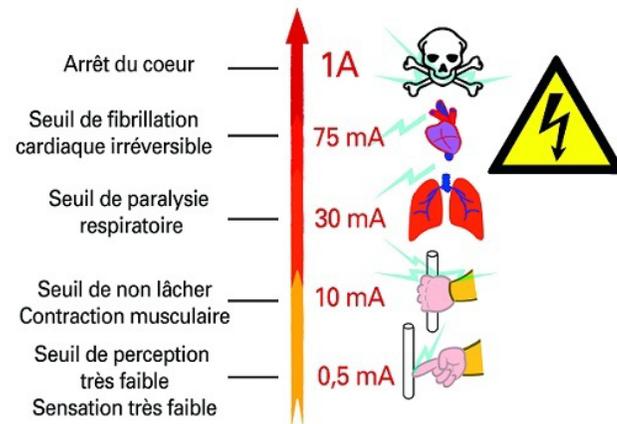
Installateur

Assureur

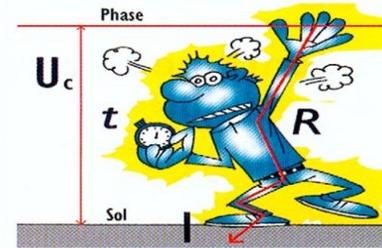
Quelques risques particuliers : risques pour les personnes

Risques d'électrisation / électrocution :

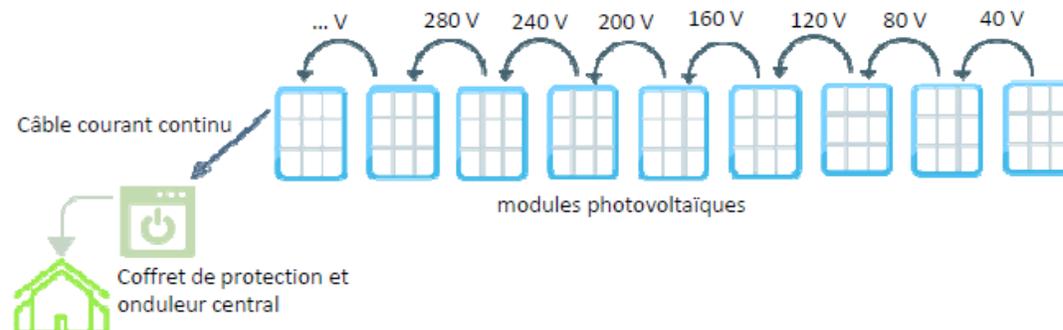
Seuil de dangerosité des intensités



Seuil de dangerosité des tensions



Local	Sec	Humide	Immergé
U_L tension limite de sécurité en alternatif (en V)	50	25	12



Qui est concerné ?

Investisseur

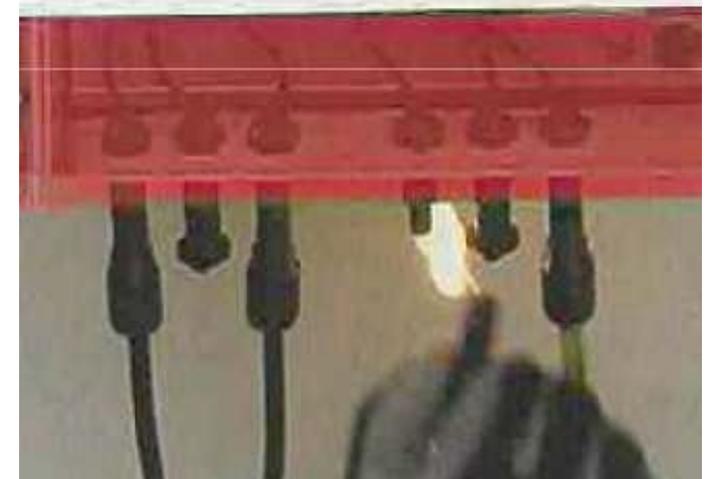
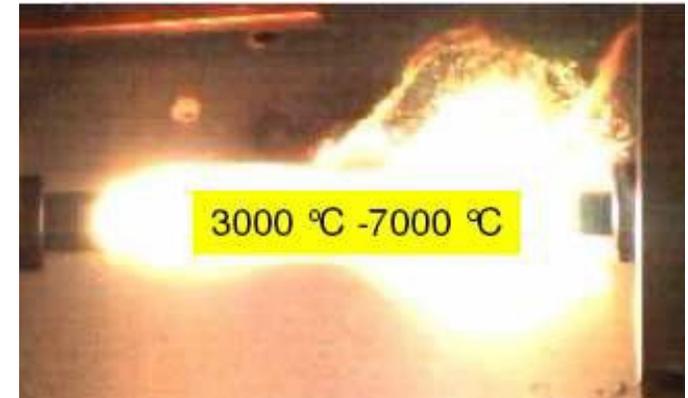
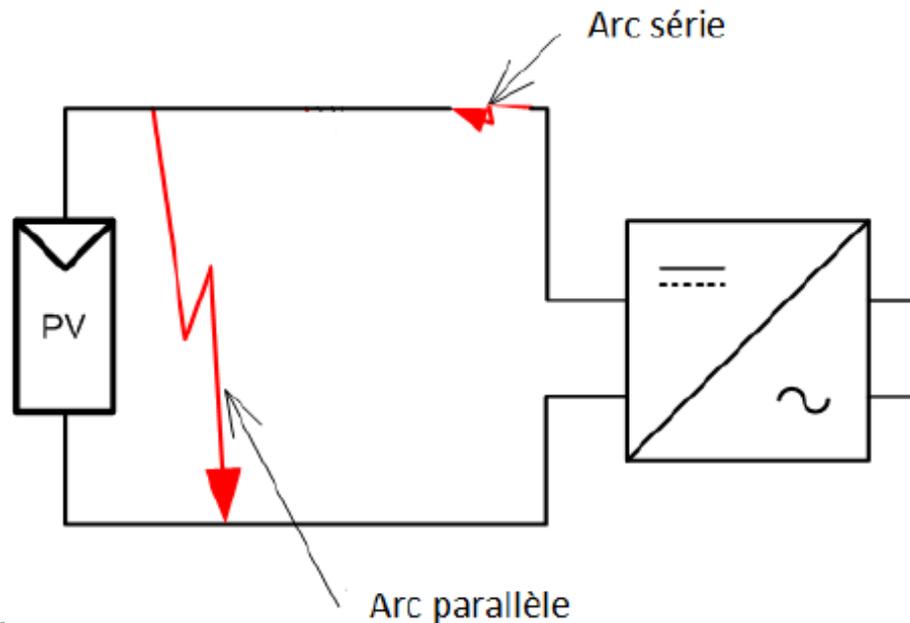
Installateur

Assureur

Quelques risques particuliers : risques pour les personnes

Risques d'arcs électriques :

- **Les arcs électriques** : dangereux en photovoltaïque si ouverture du circuit en charge et maintien d'une faible distance entre conducteurs
- **Risques d'incendie et de brûlures**



Quelques risques particuliers : risques pour les personnes

Qui est concerné ?

Installateur

Assureur

Risques de chute :

- Travaux en hauteur → le personnel doit être formé
- Interventions ultérieures → installations de protection à prévoir



Qui est concerné ?

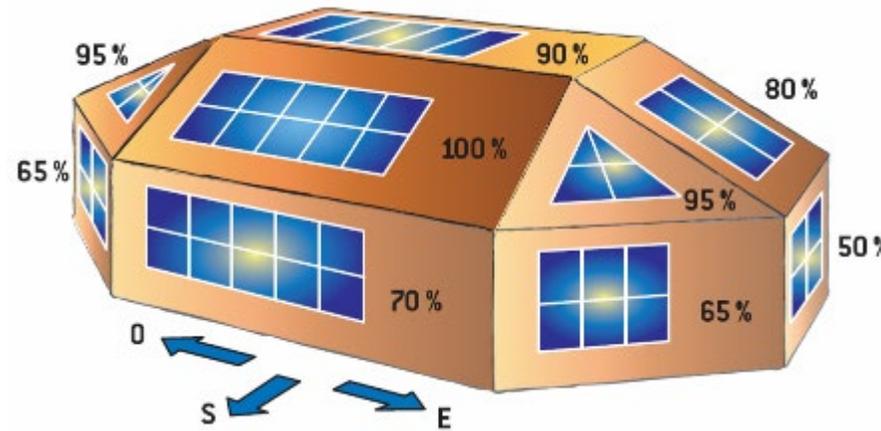
Investisseur

Installateur

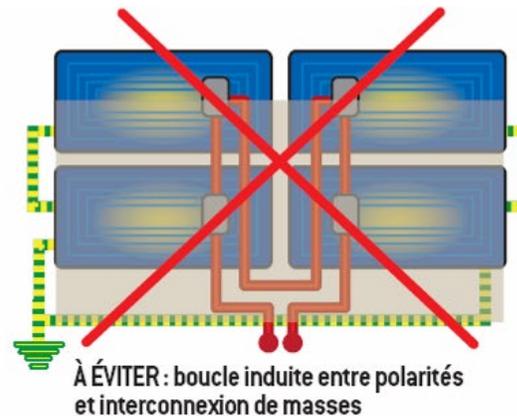
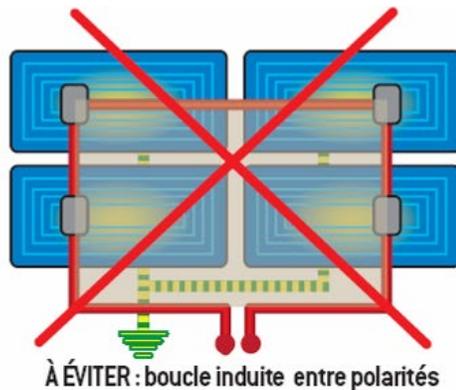
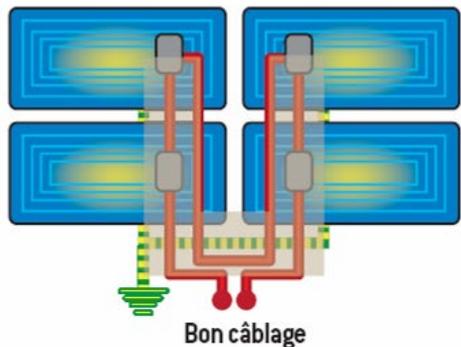
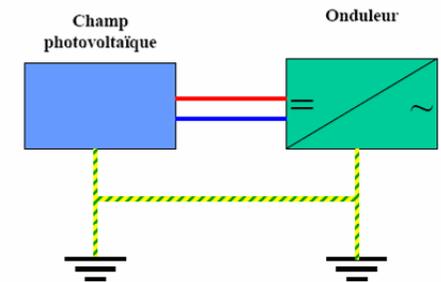
Assureur

Quelques risques particuliers : risques de conception

Risques d'ombrages, d'exposition, de raccordement, de mise à la terre :



Excellent



Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Assureur

Quelques risques particuliers : risques externes de dommages à l'installation

Effets du vent :

- Vent > 100 km/h
- Insuffisance de densité de fixation des panneaux



G. Gautier - Le 05/05/2022



Solaire Photovoltaïque : analyse de risques

Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Fabricant

Assureur

Quelques risques particuliers : risques externes de dommages à l'installation

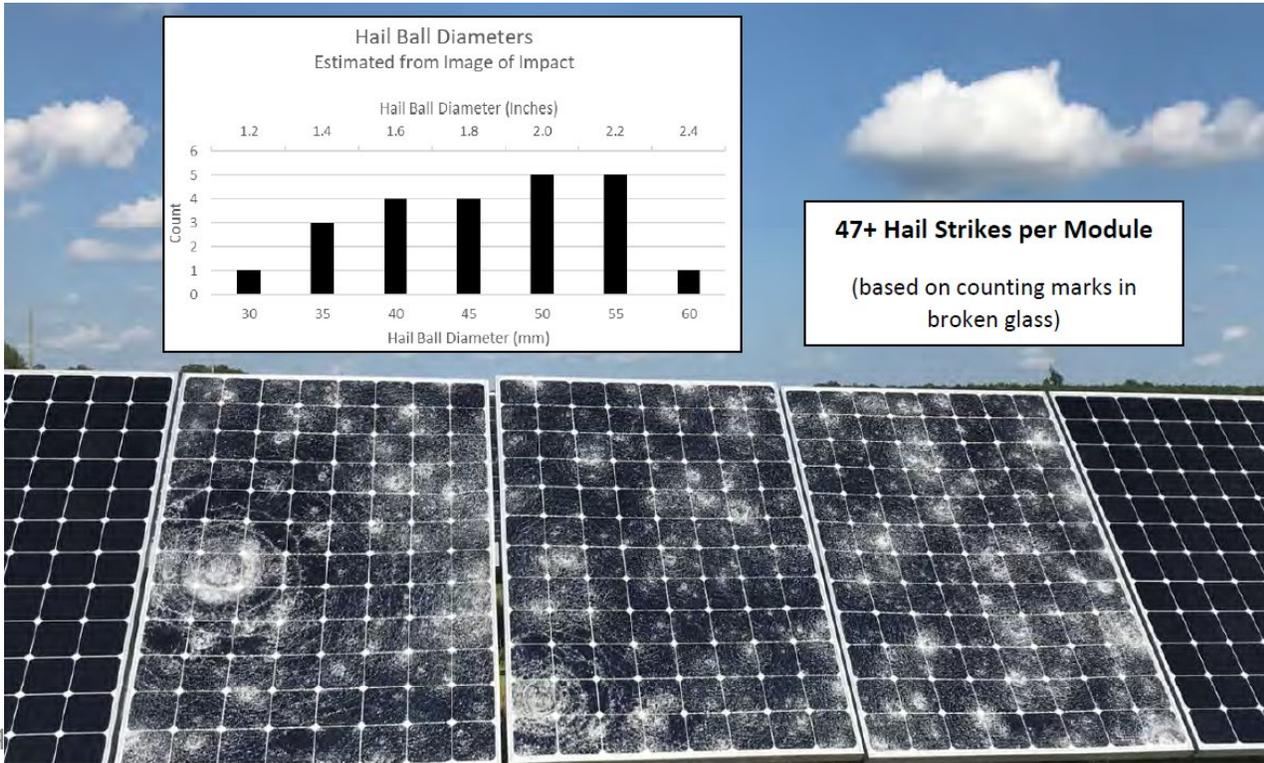
Poids de la neige :



Quelques risques particuliers : risques externes de dommages à l'installation

- Qui est concerné ?
- Investisseur
- Fabricant
- Assureur

Impact de la grêle :



Qui est concerné ?

Investisseur

Assureur

Quelques risques particuliers : risques externes de dommages à l'installation

Vol de composants :



Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Assureur

Quelques risques particuliers : risques externes de dommages à l'installation

Agressions animales :



Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules :

- Les modes de défaillance des modules PV sont très nombreux
- Plusieurs programmes de recherche dans le monde les étudient
- Les défauts des modules ne se voient pas toujours à l'œil nu

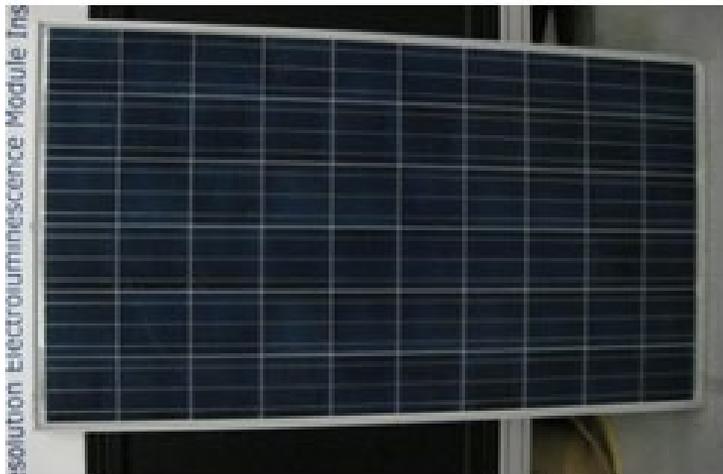
Qui est concerné ?

Investisseur

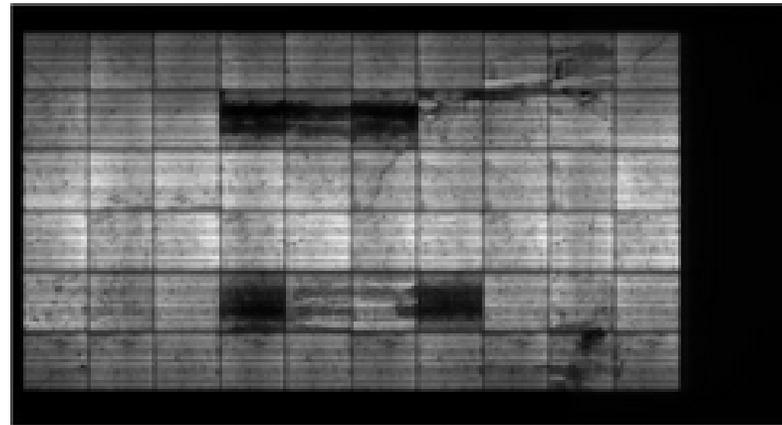
Installateur

Fabricant

Assureur



A module has visually no defects,
hence the need of
electroluminescence test to diagnose
the disease !



Multiple breakages on cells
highlighted by the
electroluminescence test (real
radiograph of the modules)

Qui est concerné ?

Investisseur

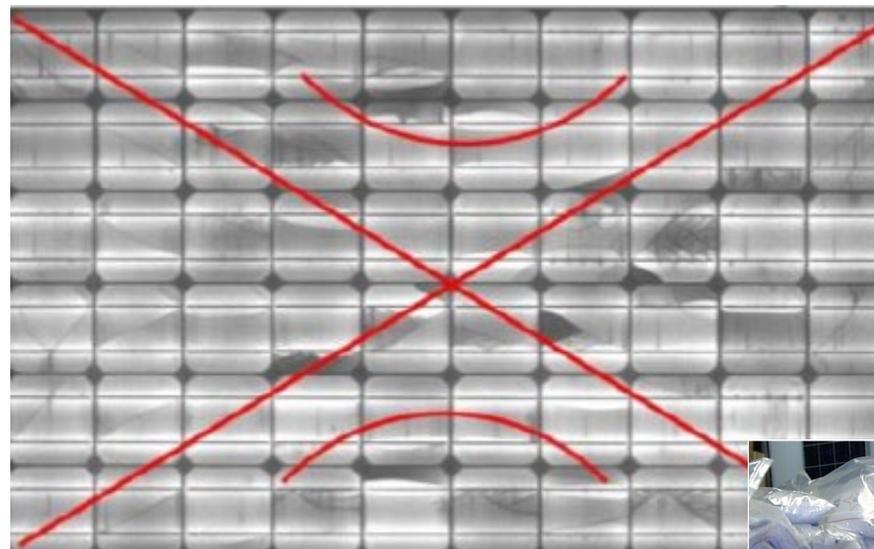
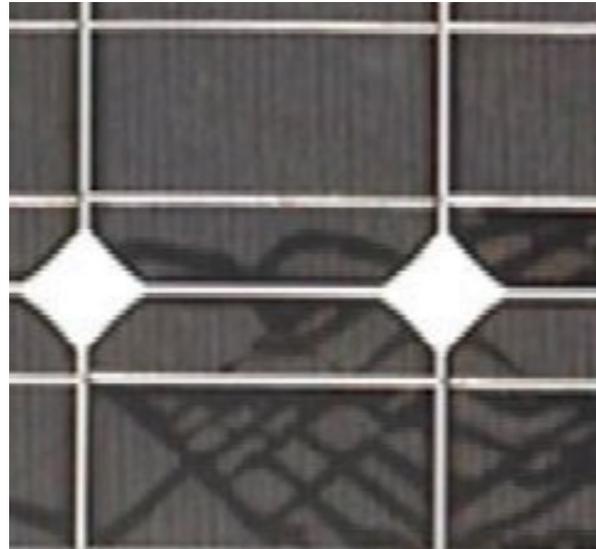
Installateur

Fabricant

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules : cellules endommagées

- Les cellules sont de plus en plus fines (qq μm) → elles sont très fragiles
- Conditions de transport ou d'installation peuvent les endommager
- Fatigue dynamique ou statique due au vent ou à la neige



Qui est concerné ?

Investisseur

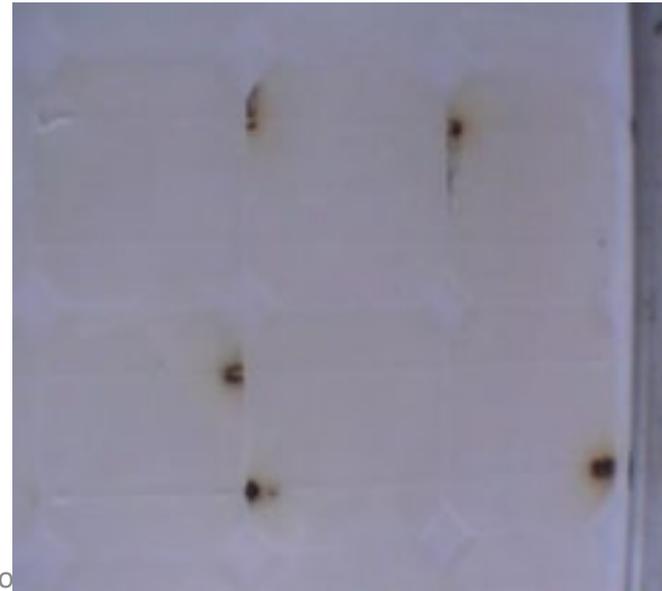
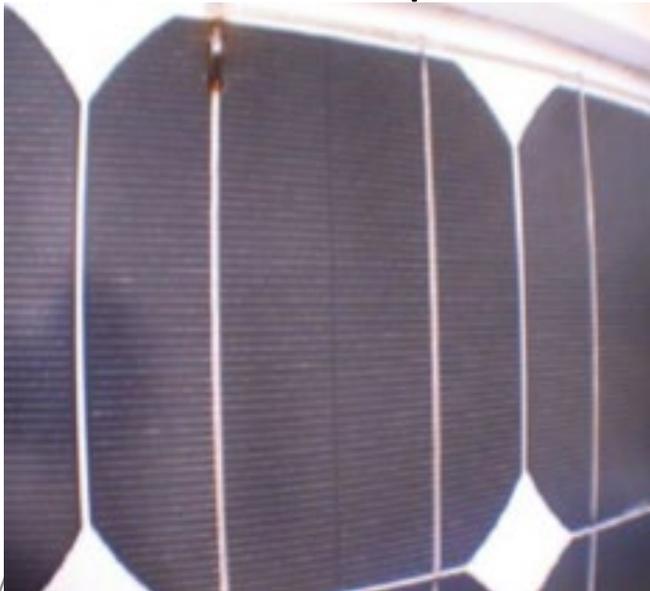
Installateur

Fabricant

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules : hot spot

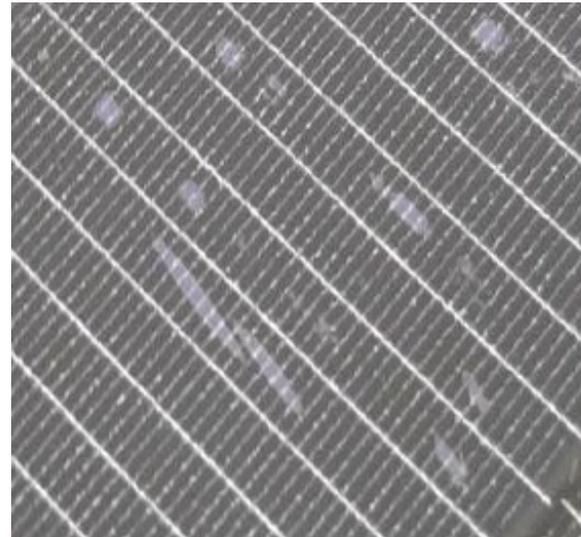
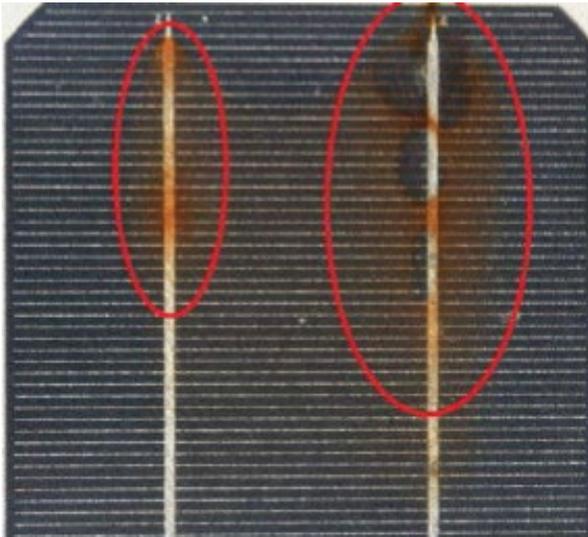
- Souvent dû à des défauts de fabrication
- Peuvent provenir de cellules endommagées
- Peuvent provenir de conditions d'échauffement important, notamment s'il y a des masques solaires non traités ou anticipés
- Peut dégénérer en arc électrique et donc en incendie



Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules : brunissement ou délamination de l'EVA

- Délamination = Pas grave en soi dans un 1^{er} temps : mais peut provoquer des ombrages et donc des hot spot à long terme
- Brunissement = révélateur de conditions d'utilisation « extrêmes »



Qui est concerné ?

Investisseur

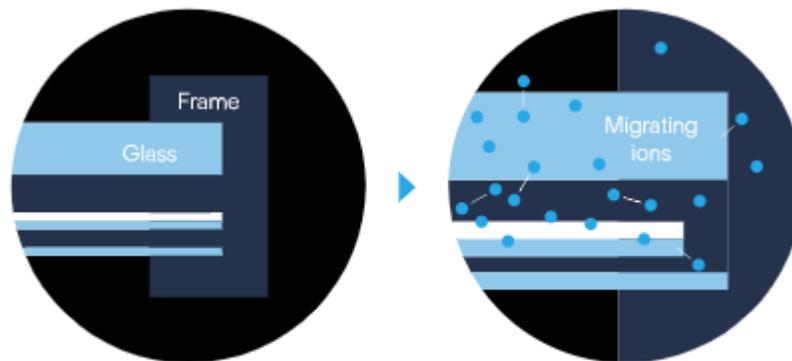
Installateur

Fabricant

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules : effet PID

- Mode de dégradation dû à des courants de fuite
- Ces courants pourraient être provoqués par une mauvaise mise à la terre
- Mais principalement une problématique de conception du module par le fabricant
- Peut impact de l'ordre de 20% le productible



Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Fabricant

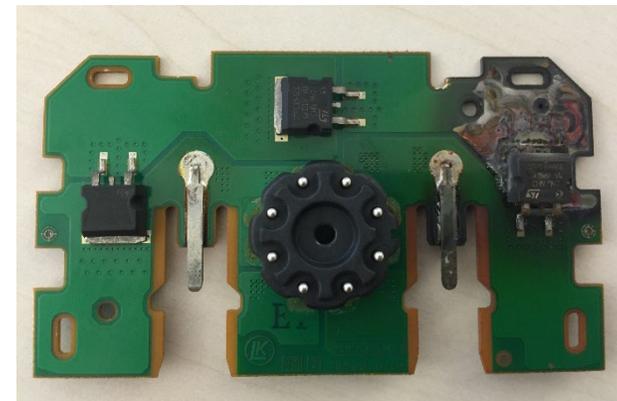
Assureur

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules : boîtiers de jonction



Ce boîtier montre un échauffement significatif qui s'est propagé jusqu'au panneau PV ; la marque thermique sur les cellules en face avant est très nette.



Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation



Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Fabricant

Assureur

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules : boîtiers de jonction



Photographies n°57 et 58 :
Intervention des sapeurs-pompiers du SDIS 03

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules : boîtiers de jonction

L'arc peut atteindre 10 000°C quand le point de fusion de l'acier est de 1400°C



Photographies n°40 et 41 :

Détails du point de fusion par l'arc électrique sur le bac acier

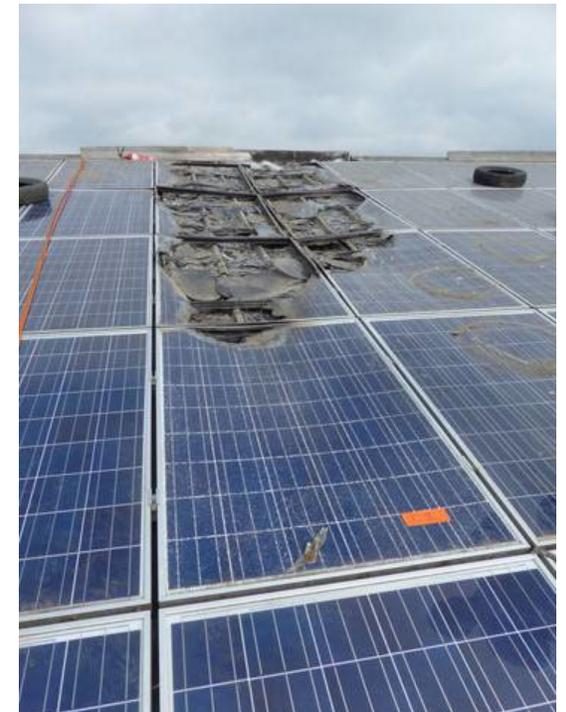
Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Fabricant

Assureur



Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Fabricant

Assureur

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des modules : boîtiers de jonction



En ouvrant la première peau du bac acier, nous avons découvert une zone très marquée de pyrolyse de la mousse isolante, dans l'axe de l'arc électrique ayant percé l'acier et la zone d'effet thermique du feu du boîtier de raccordement.

Il est certain que cet isolant combustible a joué un rôle important dans la propagation de l'incendie à certains panneaux dans l'axe de convection.

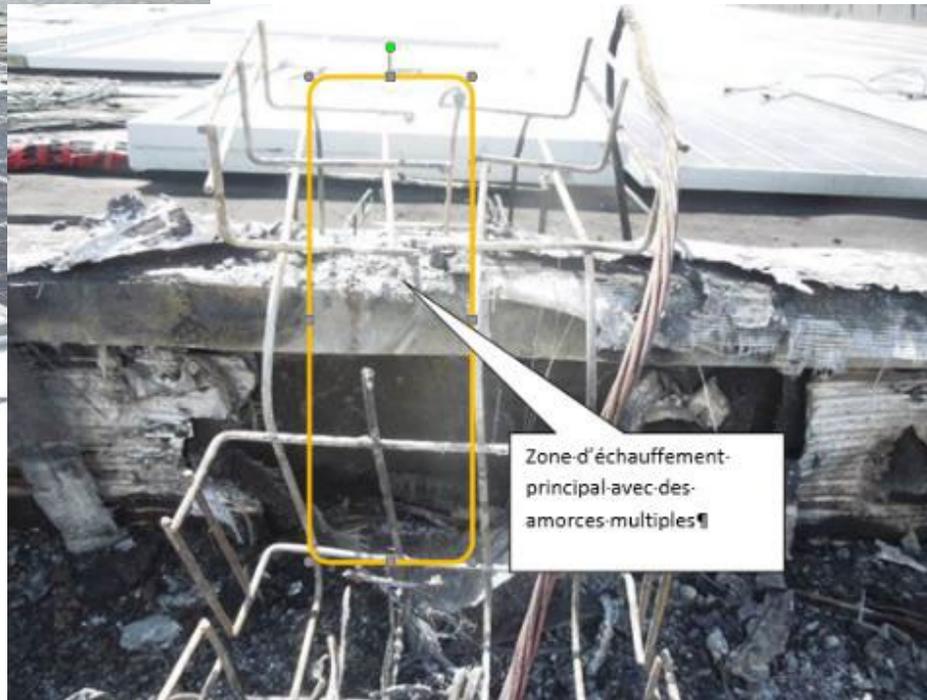


Photographies n°29 et 30 :
Détails des dégradations sous la première peau métallique

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Câblages : risques d'incendie

- Mauvais sertissage, mauvais chemin de câble (pincement)
- Connecteur défaillant



Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Fabricant

Assureur

Quelques risques particuliers : risques internes de dommages à l'installation

Durabilité des onduleurs :

- Les onduleurs sont en général vendus avec un MTBF de 10 ans
 - Des défaillances de hardware, voire de software peuvent survenir
- Mais les conditions d'installation peuvent mettre à mal la durabilité
 - Conditions climatiques
 - Empoussièrement
 - Environnement corrosif (bâtiments d'élevage, bord de mer)

Qui est concerné ?

Investisseur

Installateur

Fabricant

Assureur

Quelques risques particuliers : risques de réparabilité

Défaut des fabricants :

- En 10 ans, plusieurs fabricants de modules ont :
 - Réalisé des rappels de produits pour défaillances et risques d'incendie :
 - BP Solar
 - Aleo Solar,
 - Bosch,
 - SolarWorld,
 - REC
 - ...
 - Fait faillite suite à la défaillance de leurs produits
 - BP Solar
 - Scheuten
 - Bosch
 - Solar Fabrik



Des dizaines de milliers de modules ont été en jeu.
Des milliers d'installations dangereuses.

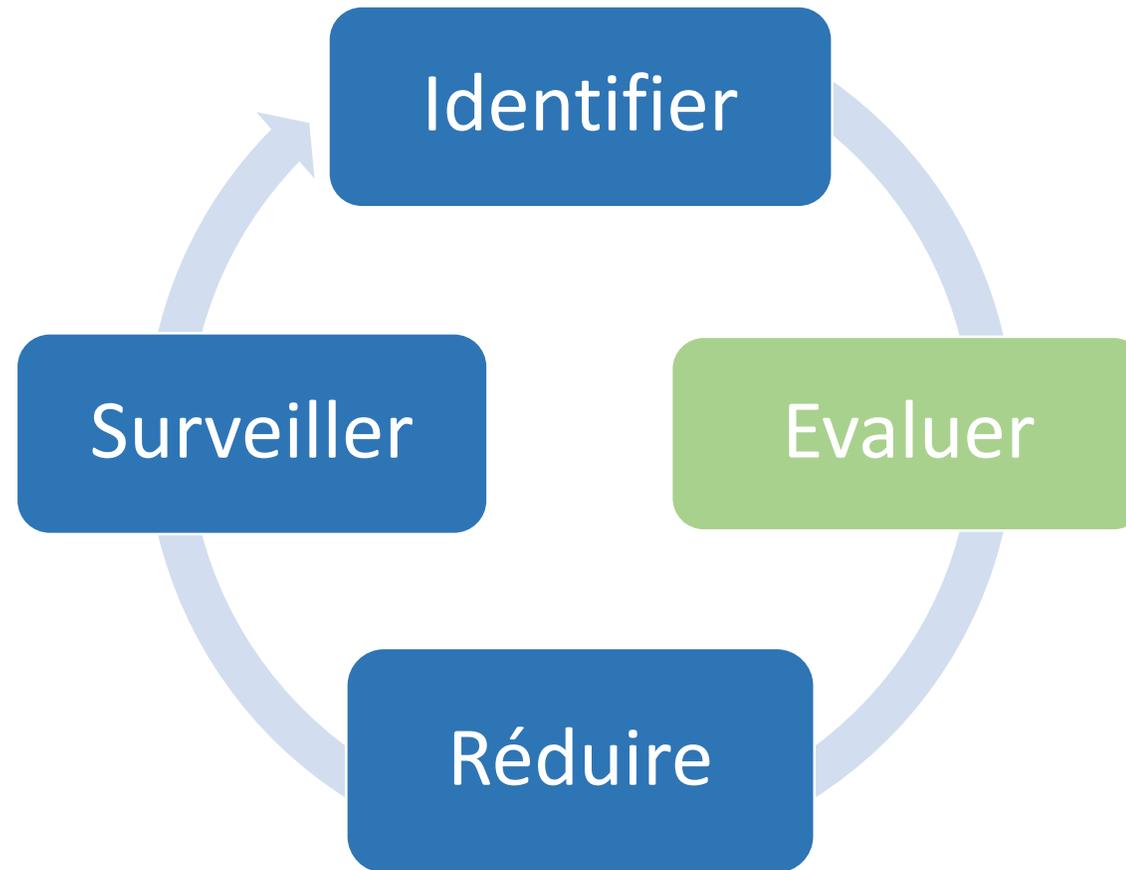
Qui est concerné ?

Investisseur

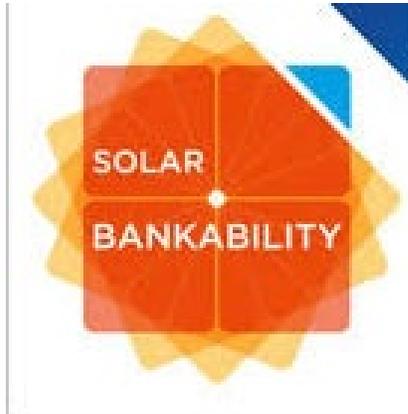
Installateur

Fabricant

Assureur



Evaluer : de nombreuses études internationales travaillent à quantifier les défaillances des installations PV



International Energy Agency
Secure
Sustainable
Together



Sera développé en partie 2

Evaluer : modes de défaillance des installations PV

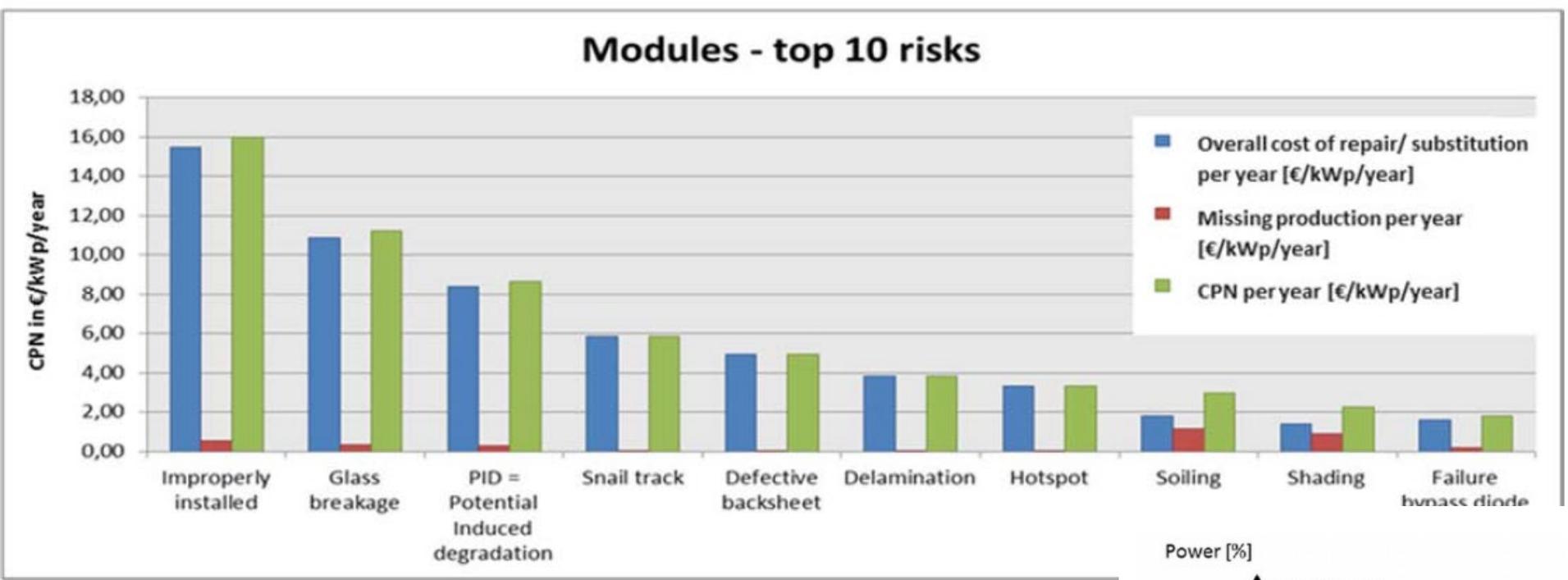
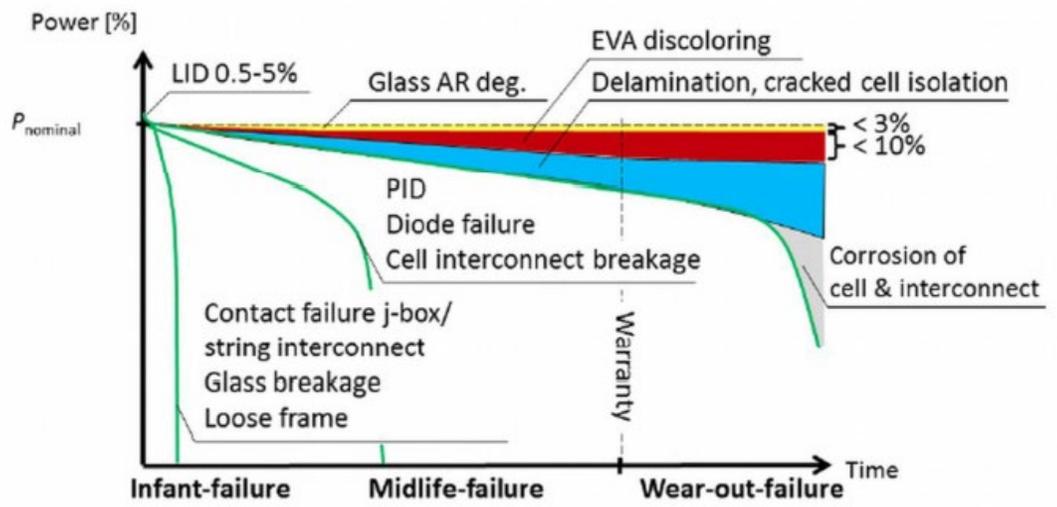


Figure 5: Top 10 CPNs for PV modules based on utility-scale PV projects



Evaluer : modes de défaillance des installations PV

Les chercheurs ont quantifiés les risques :

Risque = Gravité * Fréquence

Des analyses en laboratoire, sur les lieux de production permettent de corréler les évaluations de dégradation

Des analyses statistiques permettent de qualifier les fonction de probabilité par mode de défaillance

exemples :

Module PV : fonction exponentielle

Diode bypass : Weibull

Onduleur : Log-normal

Evaluer : des assureurs communiquent sur quelques statistiques

En Allemagne

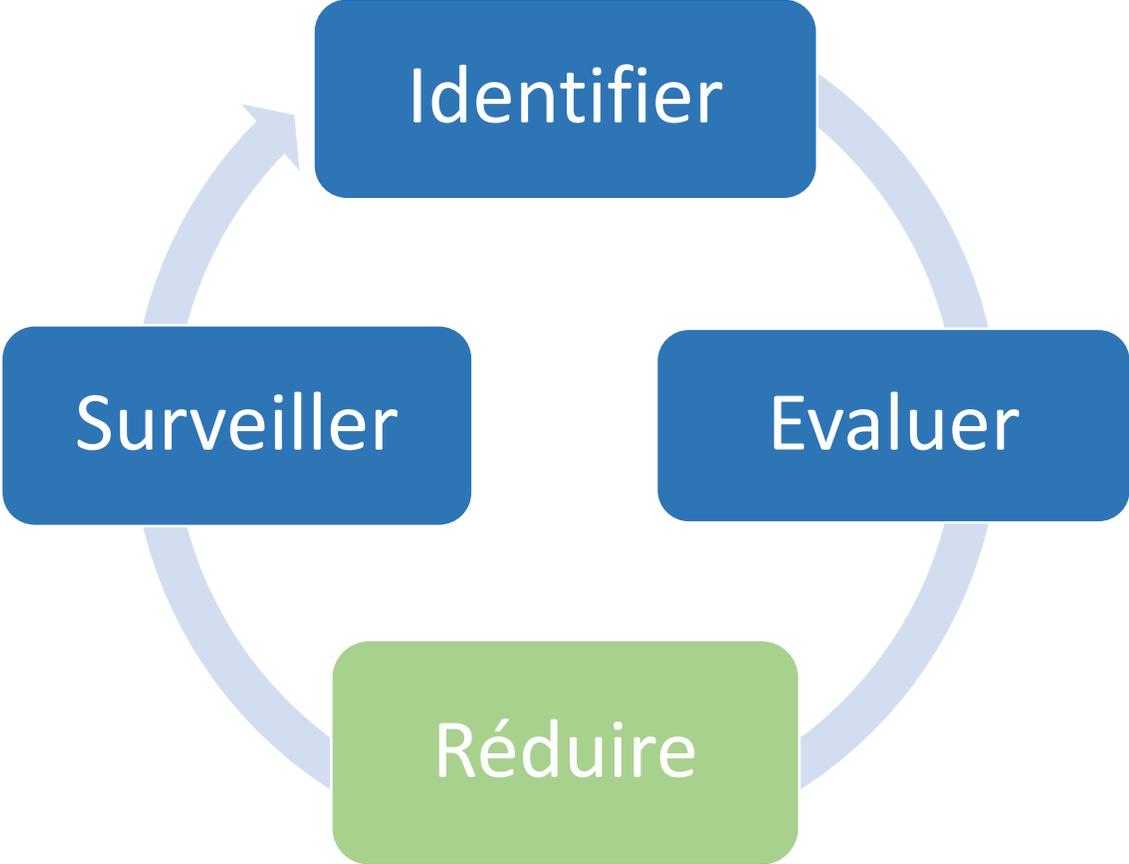
EXEMPLARY STATISTICS PROVIDED BY A GDV MEMBER		
Cause	Claims expenditure	Loss
Snow load	6%	6%
Surges	5%	9%
Storm events	23%	6%
Theft	9%	2%
Hail	4%	3%
Marten bites	3%	8%
Fire	18%	2%
Lightning	17%	21%
Miscellaneous causes	15%	43%
	100%	100%

Evaluer : des assureurs fédèrent autour d'une évaluation de type AMDEC (FMEA)

En France : GT assureurs/fédérations d'installateurs pour le partage en matière de risques PV

Risques photovoltaïque d'installations intégrés ou surimposés en toiture

Risques photovoltaïque		Risque =	Aléa	x enjeu	x vulnérabilité			
			Aléa		Gavité			
Approche : méthode inductive APR (Analyse préliminaire des risques)			Modéré	Moyen	Fort			
Objectif : identifier les dangers et évaluer leur criticité								
4 grandes familles de risques peuvent être identifiées, Tous ces risques interagissent entre eux,								
1) Economique / financier	abordé partiellement	Risques photovoltaïque d'installations intégrés ou surimposés en toiture						
2) Technique	abordé							
3) Juridique / contractuel	non traité							
4) Sociétal (sécurité des personnes...)	non traité	Approche : méthode inductive APR (Analyse préliminaire des risques)						
Risques économiques		Objectif : identifier les dangers et évaluer leur criticité						
		4 grandes familles de risques peuvent être identifiées, Tous ces risques interagissent entre eux,						
		1) Economique / financier						
		2) Technique						
		3) Juridique / contractuel						
		4) Sociétal (sécurité des personnes...)						
Marché	Marché non stabilisé.	Multiplicité de fabricant des défaillances majeur (exemple UNISOLAR).						
		Marché d'opportunité laides acteurs insuffisamm						
		Marché français souten exigences réglementaire						
		Risques techniques	Identification du (des) Risque(s)	Cadre normatif	Niveau de Risque	Réduction du risque		
		Conception générale						
		Influence de l'environnement insuffisamment ou non prise en compte	ombrages charges climatiques (neige, vent, T°) milieux sévère (atmosphères marine, hangar d'élevage...)					
		Solidité du support	Défaut / perte de solidité détérioration des modules					
		Déformation du support	(fissure des cellules, déformation du cadre...); infiltration					



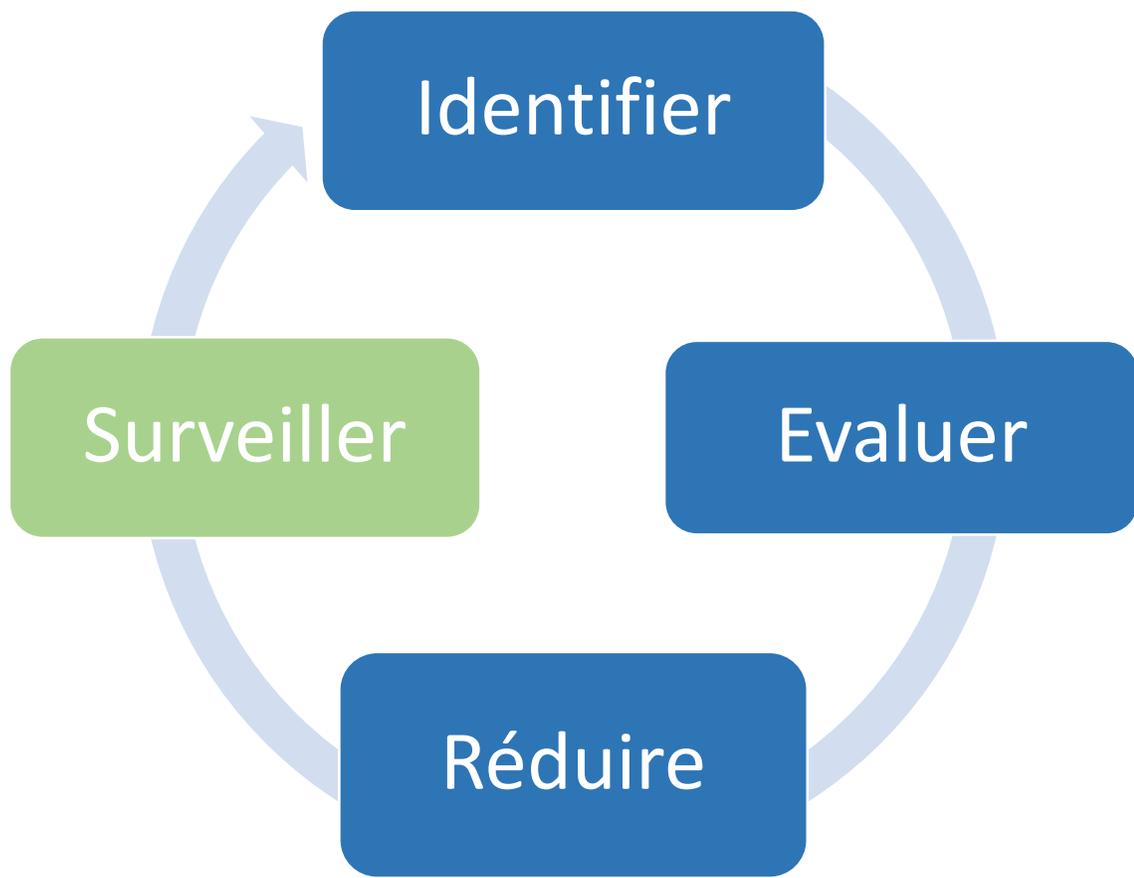
Réduire les risques : quelques idées simples

Pour un investisseur :

- Transférer les risques vers un assureur solide
- Faire faire des calculs de sensibilité aux différents risques identifiés
- Vérifier les garanties des fabricants et leurs plafonds
- Prévoir un stock de modules de rechange

Pour un installateur

- Former, former, former : à la sécurité, au sertissage, à la technologie, ...
- Respecter TOUTES les normes
- Avoir conscience de leurs limites
- Sourcer des fabricants ayant les meilleures références et une GRANDE solidité financière
- Sourcer des produits conçus bien au-delà des limites d'utilisation de l'installation
- Réaliser des tests supplémentaires pour vérifier les caractéristiques des modules



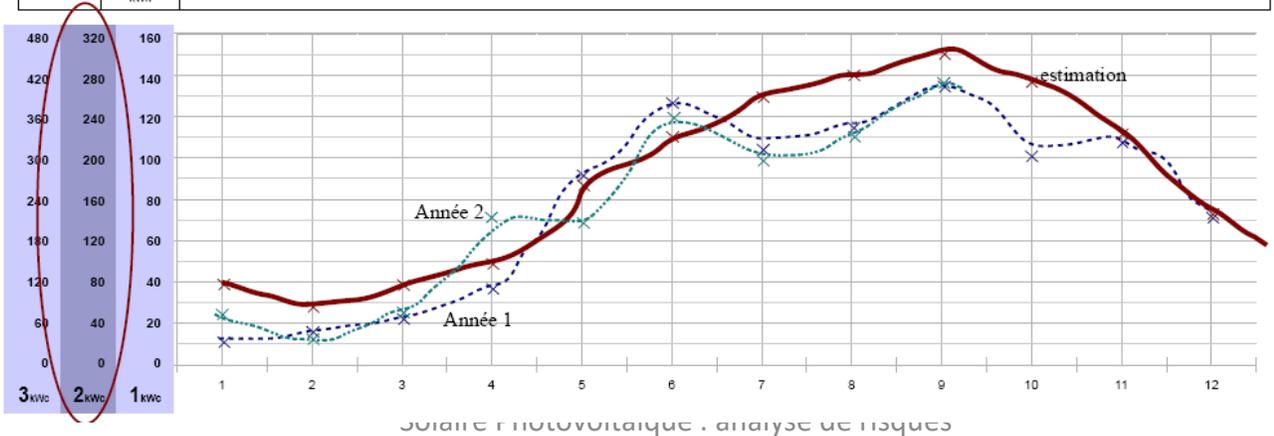
Surveiller les risques : suivi et monitoring

Niveau 1 : suivi de la production sur un tableur

6. Exemple : système de 2 kWc (73) mis en service en nov. 06 (orientation 0°/ inclinaison 45°)

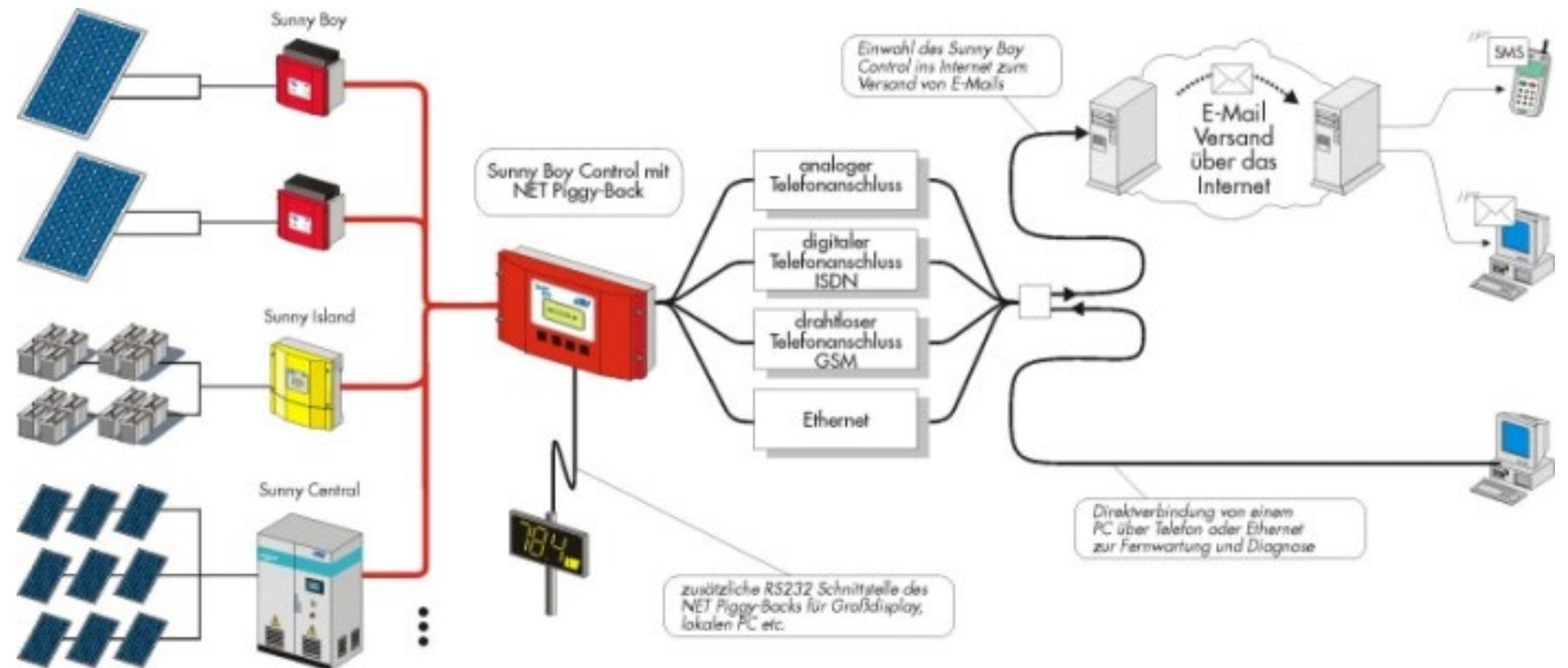
Estimation	Productible kWh	2 x 39=78	2 x 28=56	2 x 34=68	2 x 48=96	2 x 87=174	2x107=214	2x119=238	2x132=264	2x147=294	2x132=264	2x106=212	2x66=132
Mois		nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept	oct
Année 1 2006/7	Compteur kWh	24	60	102	194	373	628	837	1065	1329	1527	1738	1875
	Production kWh	24	60-24=36	102-60=42	194-102=92	179	255	209	228	264	198	211	137
Année 2 2007/8	Compteur kWh	1928	1960	2015	2160	2300	240	2743	2972	3246			
	Production kWh	53	32	55	145	140	240	203	229	274			
Année 3 20__	Compteur kWh												
	Production kWh												
Année 4 20__	Compteur kWh												
	Production kWh												
Année 5 20__	Compteur kWh												
	Production kWh												

Ceci est un exemple: le producteur à d'abord noté son estimatif de production et dessiné cette courbe sur le graphique. Chaque mois, le producteur à relevé l'index de production sur son compteur et calculé la production du mois. Ces valeurs ont été dessinées sur le même graphique, ci dessous. La production mensuelle est relativement proche des estimatifs, et permet de s'assurer du bon fonctionnement du système. Avec près de 2 ans de production, on constate que les deux courbes se suivent en mai et juin ce qui indique une production constante et cohérent.



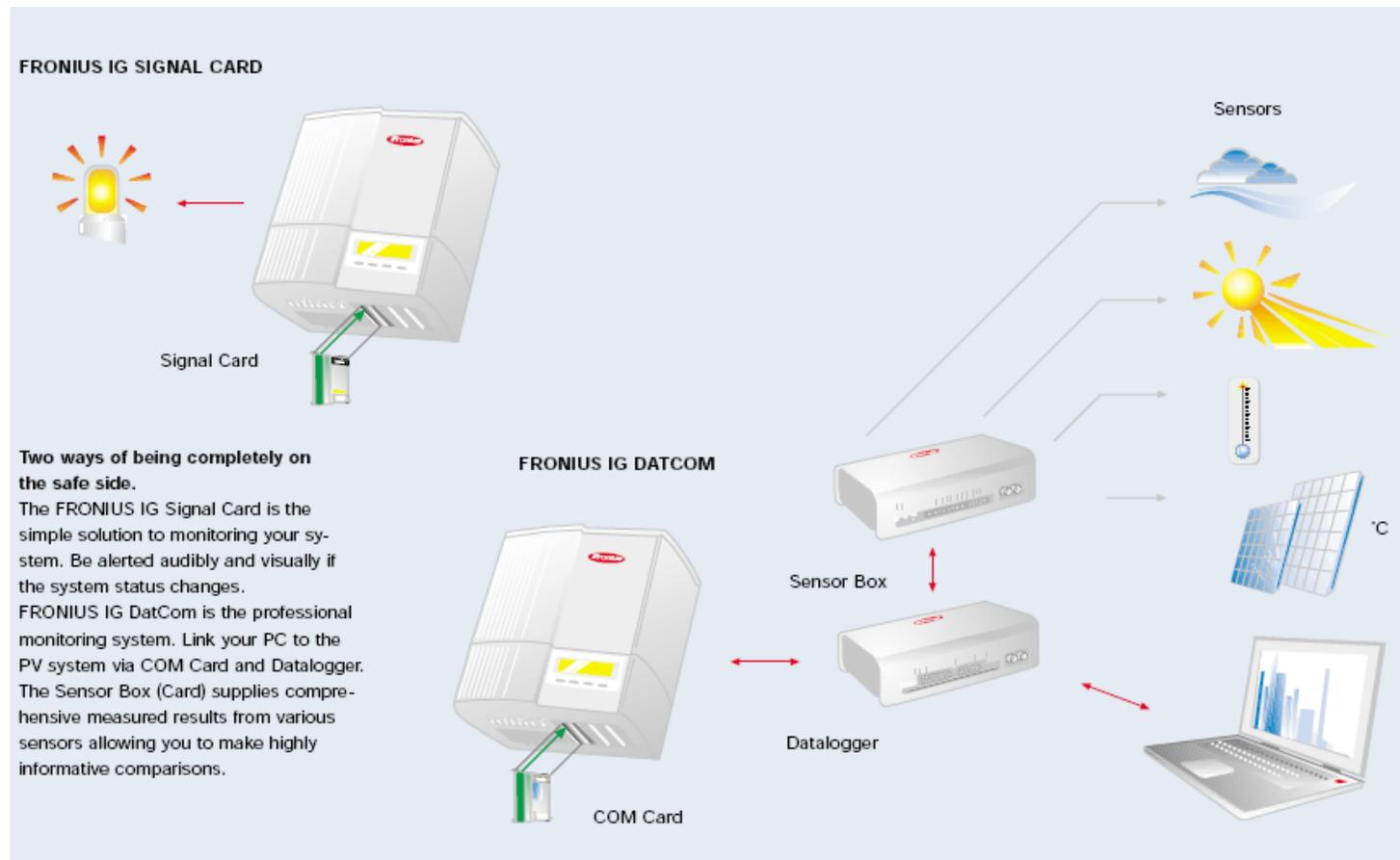
Surveiller les risques : suivi et monitoring

Niveau 2 : suivi automatisé de la production et alerte en cas de dysfonctionnement



Surveiller les risques : suivi et monitoring

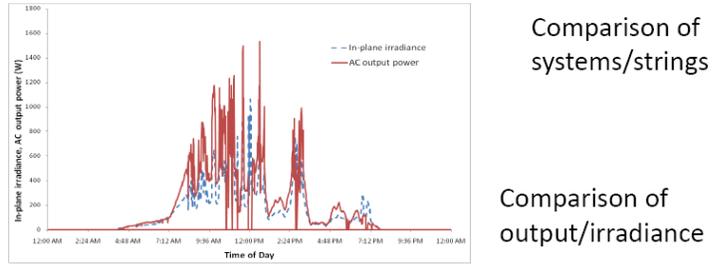
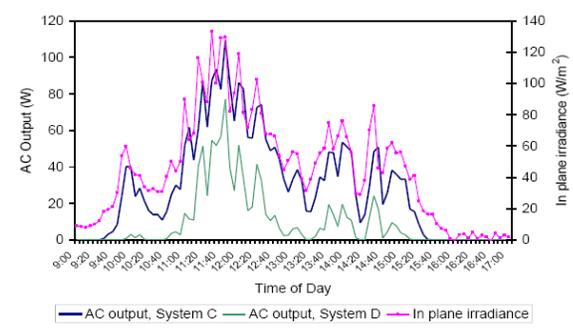
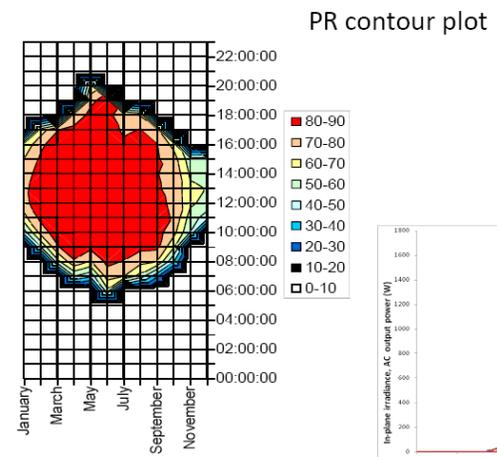
Niveau 3 : idem niveau 2 + ajout de capteurs



Surveiller les risques : suivi et monitoring

Niveau 4 : Des compagnies sont spécialisées dans l'analyse des données de monitoring et sont en capacité de détecter des défauts à partir de ces informations. Par exemple, on peut comparer les informations provenant de différents strings. Si la production n'est pas cohérente, on peut déclencher une action de maintenance anticipée

Analysis Guidance

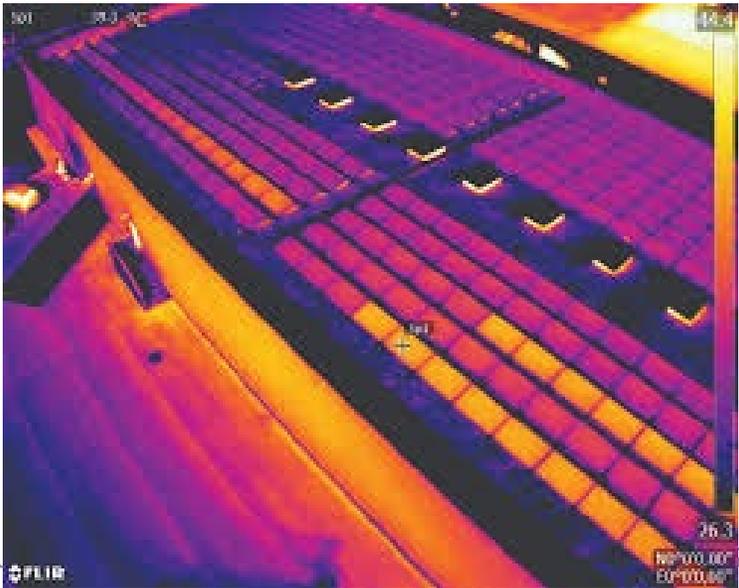
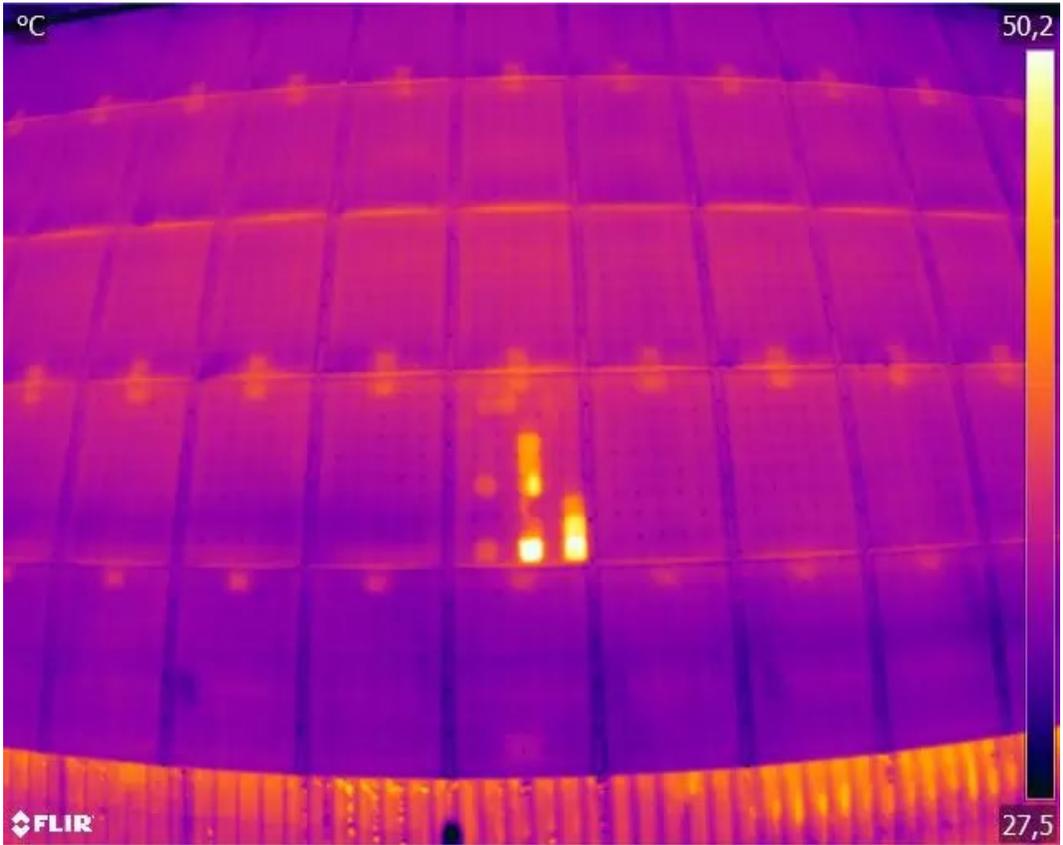
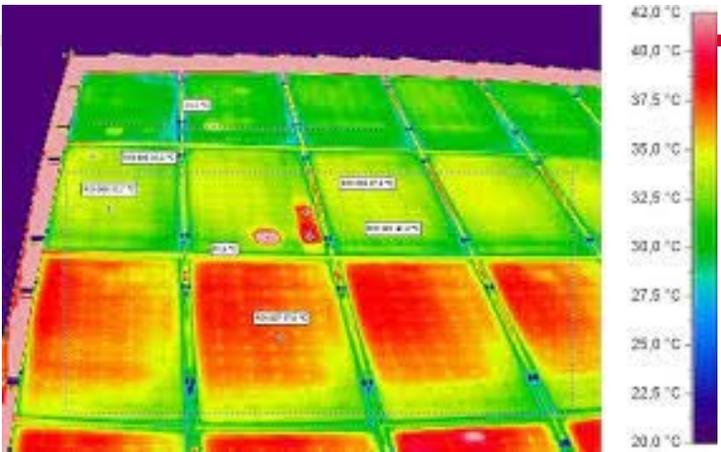


Comparison of systems/strings

Comparison of output/irradiance



Surveiller les risques : dans tous les cas, la thermographie IR est utile

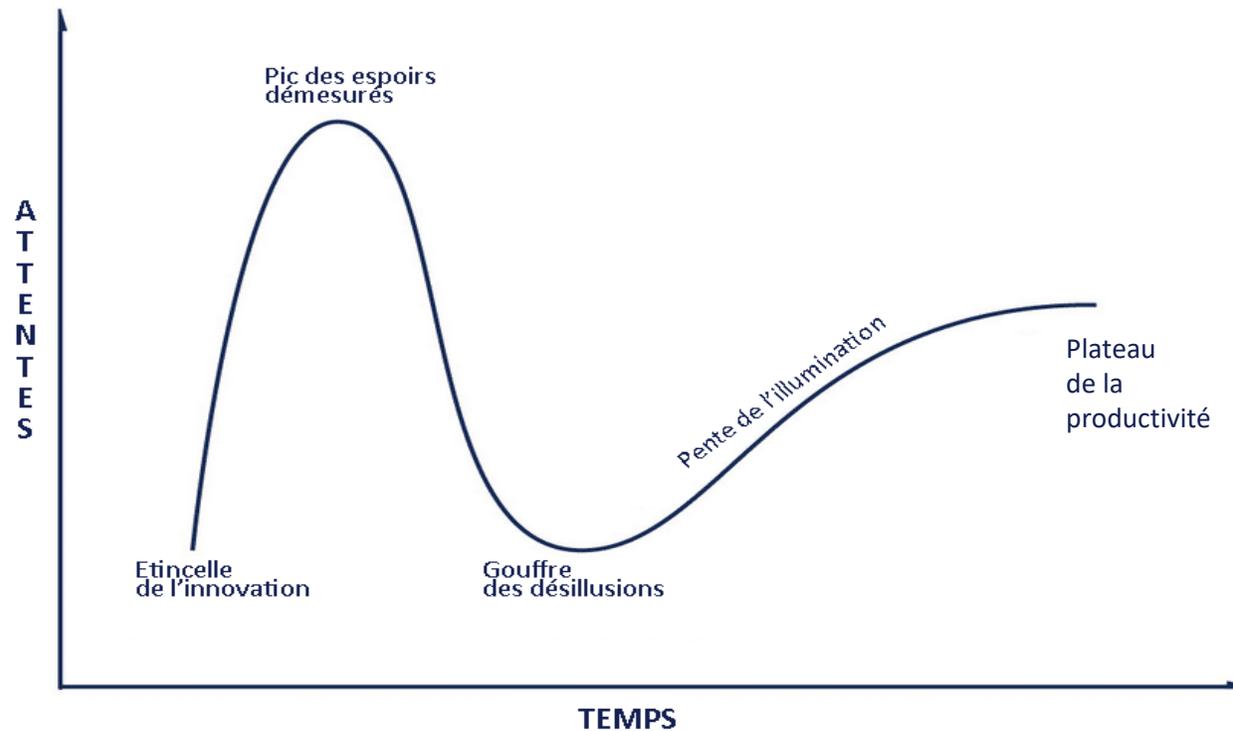




5. Conclusion

Le PV fait les montagnes russes → Cycle de Gartner

Cycle de Gartner : Cycle des tendances technologiques, de l'innovation



La techno PV se développe, n'est pas exempte de risques, mais ...

... c'est une technologie parfois durable



Vous devez
EVALUER
les risques

Vous devez
QUANTIFIER
les risques

Vous devez
REDUIRE
les risques

Vous devez
SURVEILLER
les risques

Références

- Model of Operation-and-Maintenance Costs for Photovoltaic Systems, NREL, 2020
<https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/74840.pdf>
- Photovoltaics and Firefighters' Operations: Best Practices in Selected Countries, IEA PVPS, 2017
<https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/68415.pdf>
- Bosch Solar Services Recalls Solar Panels Due To Fire Hazard, US consumer safety commission, 2017
<https://www.cpsc.gov/Recalls/2017/Bosch-Solar-Services-Recalls-Solar-Panels>
- Snapshot of global PV Markets IEA PVPS, 2020
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA_PVPS_Snapshot_2020.pdf
- Renewable power generation costs in 2019, IRENA, 2019
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf
- Insurance in the Operation of Photovoltaic Plants, NREL, 2020
<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78588.pdf>
- Quantification of Technical Risks in PV Power Systems, NREL, 2021
https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/11/Report-IEA%E2%80%93PVPS-T13-23_2021-Quantification-of-Technical-Risks-in-PV-Power-Systems_final.pdf

Références

- PV Investment Technical Risk Management : Best Practice Guidelines for Risk Identification, Assessment and Mitigation, Solar bankability, 2017
<http://www.solarbankability.org/home.html>
- H1 2021 Solar Industry Update, NREL, 2021
<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/80427.pdf>
- Lazard's levelized cost of energy analysis, 2020
<https://www.lazard.com/media/451419/lazards-levelized-cost-of-energy-version-140.pdf>
- Renewable energies : overall survey of engineering insurers within the German Insurance Association, 2017
<https://www.gdv.de/resource/blob/31610/6a65340ef14aaae8e77d6f78bd7fdef2/download-renewable-energies-data.pdf>