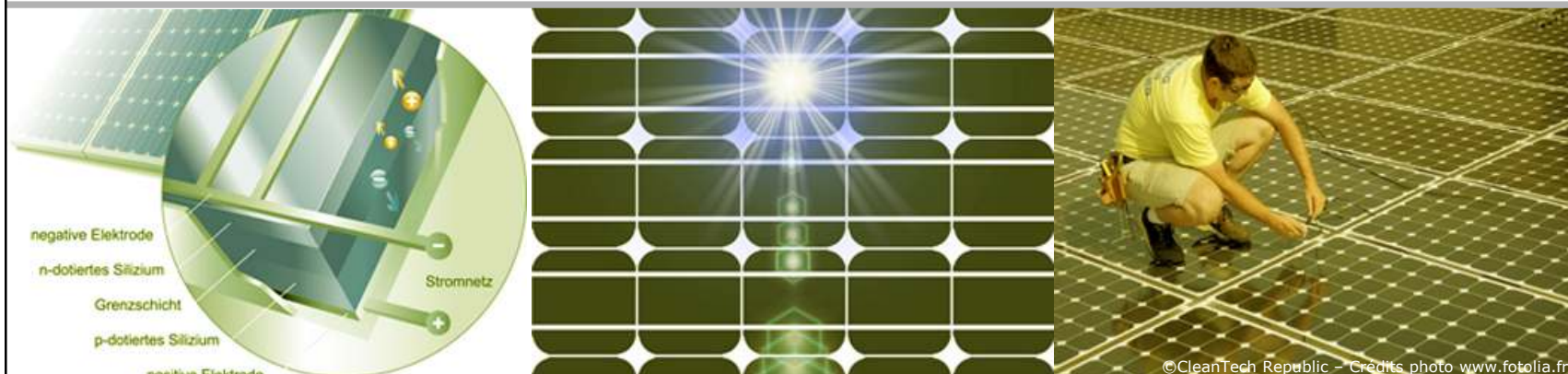


Solaire photovoltaïque en France Etat des lieux et avenir de la filière

Avril 2009

Une étude de marché CleanTech Republic | 

EXTRAIT



Sommaire de l'étude

1. Synthèse des points clés	3
2. Panorama du marché solaire photovoltaïque mondial	6
- Principes et technologies	
- Chaîne de valeur	
- Structure du marché mondial	
- Tendances de fond observées	
3. Le marché du solaire photovoltaïque en France	30
- Contexte réglementaire	
- Incitations	
- Structure et segmentation des marchés finaux	
- Analyse régionale	
4. Le marché de l'intégration et ses acteurs	48
- Typologies des acteurs et business models	
- Structure du marché de l'intégration et revue des acteurs	
- Facteurs clefs de succès	
5. Prospective et évolutions	58
- Principales évolutions attendues	
- Potentiel du marché (Freins et moteurs, comparatif vs. autres énergies non renouvelables)	
6. Méthodologie et sources	67

Synthèse des points clés (1/3)

- **Le soleil est un gisement énergétique immense et largement inexploité**
 - Il apporte quotidiennement sur terre l'équivalent de 10 années d'énergie consommée par l'humanité entière. Pour capter cette énergie, l'homme a mis au point la technologie solaire photovoltaïque, les premières cellules ayant été fabriquées à la fin du 19ème siècle. Aujourd'hui, le développement d'installations photovoltaïques connaît une forte progression à l'échelle internationale : la puissance photovoltaïque installée cumulée a cru d'environ 30% par an entre 2000 et 2007.
- **Dans ce paysage mondial, la France, qui a axé depuis longtemps sa politique énergétique sur le nucléaire, accuse un retard face aux quatre pays pionniers, l'Allemagne, le Japon, les Etats-Unis et l'Espagne qui accaparent 80% du marché**
 - Le parc photovoltaïque français est encore limité, mais en fort développement. En 2008, 105 MW de puissance PV supplémentaire ont été installés au niveau national, pour une puissance cumulée de 175 MW. Une explosion du marché nord-américain est envisageable avec la nouvelle administration en place. De forts gisements de croissance sont identifiés en Inde ou en Chine. Dans tous ces pays, le développement est fortement lié aux politiques publiques incitatives, qui ont fait passer la part des installations connectées au réseau de 60 à 90 % entre 2000 et 2007.
- **Quatre facteurs devraient influencer le marché du solaire photovoltaïque à moyen terme :**
 - Les économies d'échelle et les évolutions technologiques devraient permettre de réduire les coûts de production (devant être divisés par 3 entre 2005 et 2020),
 - Les mesures incitatives des états devraient continuer à se développer pour voir l'émergence de nouveaux marchés (Inde, Chine, Asie du sud-est),
 - Une surcapacité en production de silicium et de modules est attendue dès 2009, impliquant une inversion du rapport de forces de l'amont vers l'aval de la chaîne de valeur.
 - L'impact de la crise économique sur le marché du solaire PV devrait être modéré, bien qu'impactant diversement les différents segments de marché (impact faible à modéré sur les segments des particuliers et des bâtiments industriels et agricoles, fort sur le segment des centrales).
- **La solarisation des bâtiments, un bon moyen d'atteindre les objectifs du Grenelle**
 - Alors que l'énergie solaire ne représente que 0,03% de la production d'énergie du pays, la France dispose d'un gisement solaire favorable à l'expansion du marché. Elle est de longue date engagée dans une politique de maîtrise énergétique. Les mesures du Grenelle de l'environnement viennent renforcer cet engagement. A ce titre, les objectifs de réduction de la consommation énergétique fixés par le Grenelle nécessitent une action massive sur les bâtiments existants. La solarisation des bâtiments étant un bon moyen d'atteindre les objectifs visés, le parc installé devrait être multiplié par 30 pour atteindre 5,4 GW à l'horizon 2020.

Synthèse des points clés (2/3)

- La puissance photovoltaïque installée ou en cours de raccordement est en croissance exponentielle, avec une croissance annualisée supérieure à 60% par an depuis 2003.
- Fortement encadré et subventionné, le marché est soutenu par quatre principaux dispositifs :
 - la subvention du tarif de rachat (0,57c/KWh),
 - les crédits d'impôts,
 - les aides locales,
 - et la simplification des procédures.
- Comme il l'a été auparavant dans d'autres pays, le tarif de rachat est le principal moteur du développement du solaire PV en France. Et cela, depuis 2006, l'année charnière, qui a vu la part de la subvention passer à 45% du tarif de rachat.
- Le marché français (comme pour la plupart des pays) se partage en trois principaux segments de marchés finaux :
 - Les particuliers, qui représentent le plus grand nombre d'unités installées de faibles capacités (< 3 kWc), et dont la part en pourcentage des mégawatts crête devrait augmenter dans les années à venir
 - Les bâtiments industriels et agricoles de tailles très variables (3 à 100 kWc)
 - Les grandes centrales d'une capacité supérieure à 100 kWc en toiture et supérieure à 1MWc au sol, présentes dans très peu de régions (fort ensoleillement nécessaire)
- Intégrateurs « clés en main », un marché de 650 M€
 - Sur le marché solaire photovoltaïque aval, plusieurs modèles économiques coexistent (développeurs, grossistes, intégrateurs...).
 - Le modèle des intégrateurs « clés en main » paraît le plus pérenne, de par la complétude d'une offre adaptée à chaque segment.
 - Le marché de l'intégration, estimé à environ 650 M€, reste relativement fragmenté en France. Les cinq principaux acteurs détenant environ 30% de parts de marché fin 2008, avec une tendance forte à la concentration dans les années à venir.
- De l'avis des principaux intégrateurs, la performance du réseau commercial et l'effet d'expérience ressortent comme les facteurs clefs de succès prépondérants. Les « first movers » détiendraient donc un avantage concurrentiel certain acquis lors des premières années de décollage du marché (2006, 2007).
- Les collectivités et les entreprises sont sensibles à la fiabilité technique et à l'expérience de l'intégrateur. Quant aux particuliers, ils accordent davantage d'importance à la marque, confirmant que ce business est un métier d'enseigne.

Synthèse des points clés (3/3)

- La parité réseau (coût de production du solaire photovoltaïque équivalent à celui du réseau) devrait être atteinte en France courant 2013. Le tarif de rachat devrait en conséquence diminuer, pour s'adapter à la baisse des coûts de production.
- L'engouement du grand public et les soutiens de l'Etat et des collectivités locales comptent parmi les principaux moteurs du développement du solaire photovoltaïque en France.
- Mais des freins subsistent :
 - La prime à l'intégration au bâti risque de limiter le développement du segment des bâtiments industriels (risques de dommages post-pose en toiture non couverts) ;
 - Les processus administratifs restent lourds et fastidieux ;
 - Le décollage du marché pourrait être ralenti par la baisse de la fluidité dans les financements.
- Si la France est moins mature que l'Allemagne ou l'Espagne dans le développement du solaire PV, elle dispose toutefois d'une fenêtre d'opportunité pour redevenir un acteur important, en pariant notamment sur le développement des couches minces.

Agenda

- **Panorama du marché solaire photovoltaïque mondial**
 - Principes et technologies
 - Chaîne de valeur
 - Structure du marché mondial
 - Tendances de fond observées

- **Le marché du solaire photovoltaïque en France**
 - Contexte réglementaire
 - Incitations
 - Structure et segmentation des marchés finaux
 - Analyse régionale

- **Le marché de l'intégration et ses acteurs**
 - Typologies des acteurs et business models
 - Structure du marché de l'intégration et revue des acteurs
 - Facteurs clefs de succès

- **Prospective et évolutions**
 - Principales évolutions attendues
 - Potentiel du marché (Freins et moteurs, comparatif vs. autres énergies non renouvelables)

Le soleil est un immense gisement énergétique inexploité

Principes
et technologie

- Le soleil apporte **quotidiennement** sur terre l'équivalent de **10 années** de consommation d'énergie de **l'humanité toute entière** (100000.10⁶ tonnes équivalent pétrole)
- Pourtant, cette inépuisable source ne contribue qu'à hauteur de **0,04 % de la consommation** primaire mondiale, bien que les **technologies** de conversion photovoltaïque existent, et qu'elles soient **matures** (elles atteignent un **rendement de 20%**)
- En moyenne, **en France** entre **100 et 200 W/m² solaires** sont disponibles chaque jour : **6 parcs photovoltaïques** d'une surface **de 5 km²** chacun forment ainsi l'équivalent de la **centrale nucléaire de Gravelines** (900 MW)



Source : www.econologies.com & *L'université de tous les savoirs*

Solaire photovoltaïque en France – Avril 2009 | © CleanTech Republic - Une étude réalisée en exclusivité par Selim Loukil – Reproduction interdite

Les deux grandes techniques de conversion d'énergie solaire

Principes
et technologie

Le Solaire Photovoltaïque

- **Principe de conversion d'énergie :**
 - Conversion photovoltaïque reposant sur le principe de la photodiode et l'utilisation de matériaux semi-conducteurs tels que le Silicium
- **Avantages :**
 - Technologies matures
 - Technologies modulaire
- **Inconvénients :**
 - Faible rendement des cellules : max 25%
 - Coûts tributaires des fluctuations du marché du semi-conducteur
- **Localisation des productions :**
 - Allemagne/Espagne
 - Californie
 - Japon
- **Régions à fort potentiel :**
 - Italie /France
 - Inde/Chine
 - Afrique du Nord

Le Solaire à Concentration

- **Principe de conversion d'énergie :**
 - Concentration directe des radiations solaires par des dispositifs de miroirs mobiles (paraboliques par ex.) pour chauffer un fluide caloporteur
- **Avantages :**
 - Forte densité de puissance
 - Bon rendement : max 37 %
- **Inconvénients :**
 - Technologie expérimentale
 - Coûts élevés des dispositifs
 - Faible maturité industrielle des systèmes de stockage de chaleur
- **Localisation des productions :**
 - Espagne
 - Afrique du Nord

 Périmètre de l'étude

Source : CNRS / Bruno Rivoire

Quelques dates clés de l'histoire du photovoltaïque

Principes
et technologie

- **1839** : A.E. Becquerel **découvre** l'effet photovoltaïque
- **1875** : Werner von Siemens **énonce les principes physiques** du photovoltaïque à l'Académie des Sciences de Berlin
- **1883** : Fritts fabrique les **premières cellules**, d'un rendement de 1%
- **1954** : Chapin, Fuller et Pearson aux Laboratoires Bell réalisent les **premières cellules sur base Silicium** (rendement 5%)
- **1960** : Les premières **applications militaires** satellites voient le jour et atteignent un rendement de 14%
- **1982** : Le **premier parc** d'une puissance de 1 MW est installé en 1982 aux Etats-Unis
- **1985** : Apparition des **premières cellules silicium d'un rendement supérieur à 20%**
- **1990** : Développement des premières cellules polymère (organiques)
- **1999** : Le seuil des 1000 MW photovoltaïques installés est dépassé

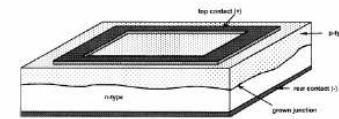
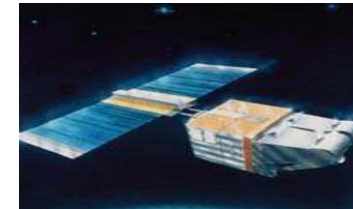


Fig. 4. Silicon solar cell reported in 1941, exhibiting "green-in" junctions formed by impurity segregation in recrystallized silicon melt.

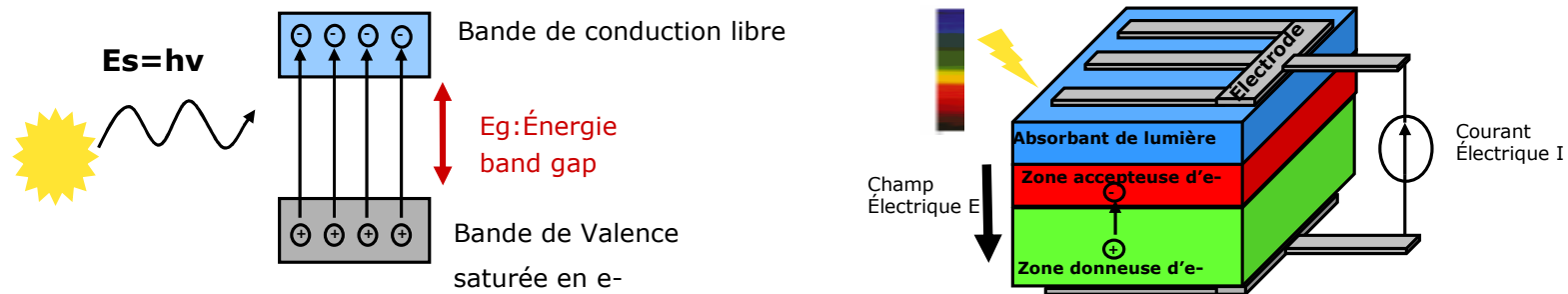


Source : IRDEP / CNES

Passer de la lumière au courant électrique

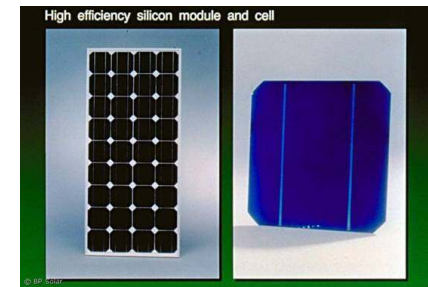
Principes
et technologie

- La conversion photovoltaïque fait intervenir **3 principes de physique** :
 1. **L'absorption énergétique** de photons par la matière,
 2. **La conversion de cette énergie** en mouvement de charges électriques,
 3. **La collecte de ces dernières** par un circuit électrique extérieur.



- Les **photons solaires excitent les atomes de la structure** d'une cellule photovoltaïque en apportant une énergie $E_s = h\nu$
- Lorsque l'énergie photonique est suffisante, des **électrons au sein du matériau passent** de la bande de valence à la bande de conduction
- Il en résulte un **gradient de charge** et donc une **circulation d'électrons entre la zone donneuse et la zone accepteuse** d'électrons
- Un **dispositif de collecte par électrode** entretient alors la **circulation des charges** entre 2 électrodes sous condition de maintien d'un champ électrique
- Un **courant électrique** est ainsi créé

- Une cellule photovoltaïque doit posséder les qualités suivantes :
 - Disposer d'une surface à **fort pouvoir absorbant** sur le plus large spectre possible
 - Posséder une structure atomique autorisant les **transitions énergétiques** d'électrons à E_g minimale pour faciliter la circulation des charges électriques
 - Être munie d'une structure de collecte des électrons **la moins résistive possible** afin de minimiser les pertes Joule
- Les critères fonctionnels à optimiser:
 - Maximiser le **rendement de conversion: %/cellule**
 - Maximiser la **puissance surfacique : W/m^2**
 - Maximiser **la flexibilité** pour faciliter l'intégration en modules dans les infrastructures
- Il existe **trois grandes catégories de technologies** :
 1. **Silicium cristallin**
 2. **Couches minces**
 3. **Emergentes**

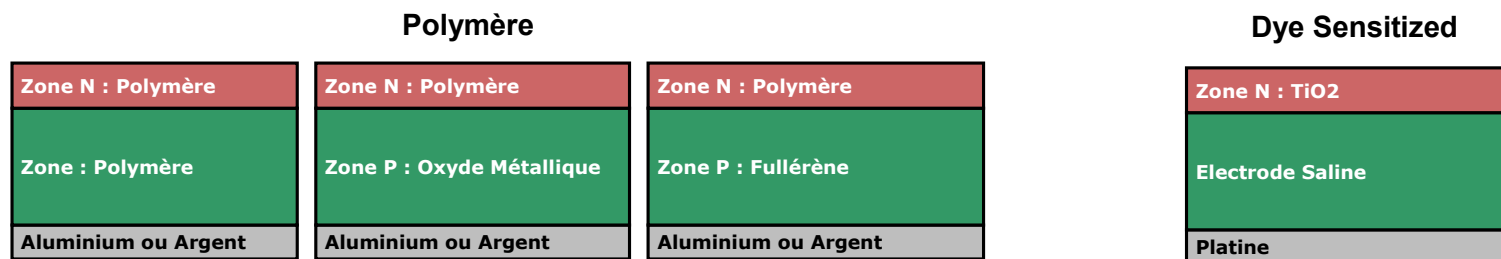


Source : EPIA / BP Solar

Emergence de nouvelles technologies sur substrat non-silicone

Principes
et technologie

- Des technologies de cellules sur base organique se développent :



- Ces développements sont tirés par :
 - Un fort potentiel de réduction des coûts liés à la maturité des procédés de production de polymères
 - La flexibilité intrinsèque des matériaux
 - La possibilité d'obtenir des cellules semi-transparentes
- La quête de l'amélioration du rendement guide les activités autour des cellules de Graetzel (ou dye sensitized)

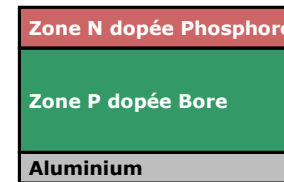
Source : Thèse Insa Lyon

Les principales technologies sont le silicium et les couches minces

- Les technologies de cellules se distinguent principalement dans la manière de réaliser la jonction entre couches donneuses et acceptuses d'électrons

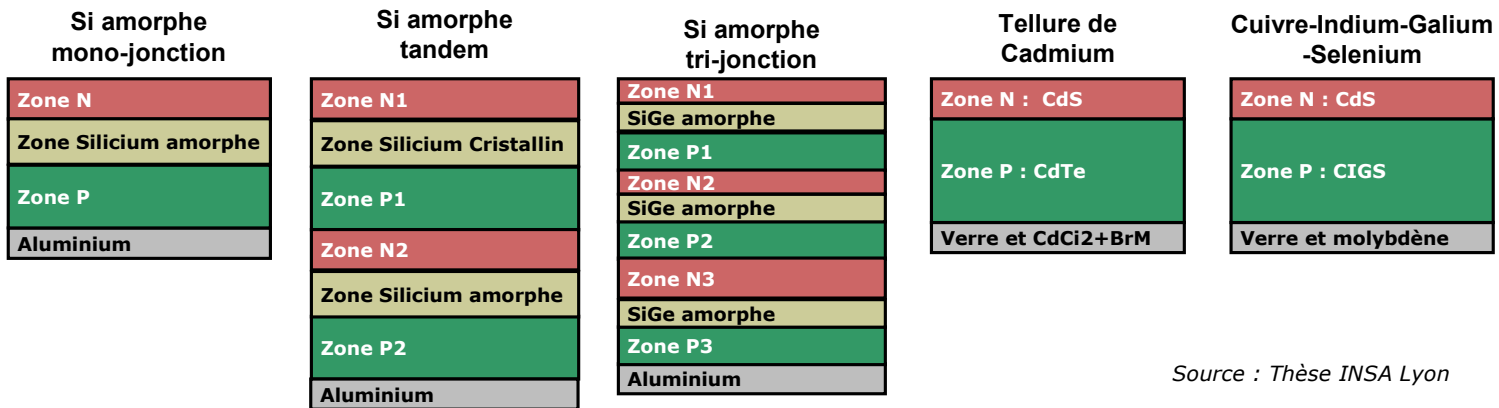
SILICIU
M

- Le silicium présente naturellement le meilleur potentiel pour créer cette zone semi-conductrice et constitue la technologie mature :
 - Si Poly cristallin
 - Si Mono cristallin
 - Si en Rubans



COUCHES
MINCES

- D'autres technologies dites à couches minces (5 principales technologies) sont en fort développement



Source : Thèse INSA Lyon

Benchmark des technologies photovoltaïques

Principes
et technologie

	Silicium	Couches Minces			Émergentes	
	Si Cristallin	Amorphe mono, Tandem et Tri jonction	CdTe	CIS/CIGS	Polymère	Dye sensitized
Description	<ul style="list-style-type: none"> Couche N dopée phosphore Couche P dopée bore Layer aluminium 	<ul style="list-style-type: none"> Mono : jonctions PN de Si amorphes Jonctions Si amorphes - Si cristallin Triple jonction Si amorphe 	<ul style="list-style-type: none"> Zone P sur base de Tellure de cadmium Zone N en Sulfate de Cadmium. Couche de verre + CdCl₂ + BrM 	<ul style="list-style-type: none"> Zone P sur base de Cuivre Indium Galium Selenium Zone N sur base Sulfate de Cadmium Une couche de verre et une couche de molybdène 	<ul style="list-style-type: none"> Polymère – Polymère Polymère – Oxydes métalliques Polymère – Fullerène 	Reproduction de la zones semi conductrice np like : <ul style="list-style-type: none"> Dioxyde de Titanium (TiO₂) en nanoparticule Electrolyte saline
Rendements 2008	<ul style="list-style-type: none"> Poly cristallin : 16 % Mono cristallin : 13 % Rubans : 12 % 	6,5%-8%	8,5%	10,5%	3%	12 %
Rendements objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Poly cristallin : 24% Mono cristallin : 20 % Rubans : 13,5 	9,5%-12%	16,5%	19,5%	NA	NA
Coûts module 2007 (€/Wpic)	~ 2.10	Mono : ~ 1,10 Tandem : ~ 1,30 Tri : ~ 1,50	~ 0.95	~ 1.50 (glass), ~ 1.90 (flex)	NA	NA
Taille marché 2008	<ul style="list-style-type: none"> 56 % Poly cristallin 30 % Mono cristallin 	10%	4%		R&D	

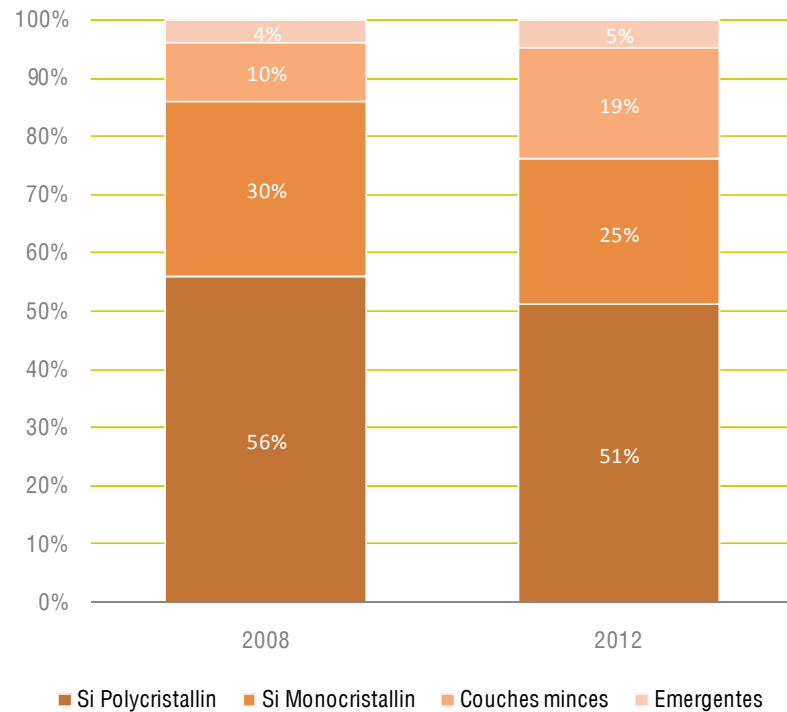
Sources : IMS Bordeaux/Insa Lyon/SOGE

Solaire photovoltaïque en France – Avril 2009 | © CleanTech Republic - Une étude réalisée en exclusivité par Selim Loukil – Reproduction interdite

La part des couches minces devrait doubler d'ici 2012

Principes
et technologie

Répartition & projection
du marché des technologies PV

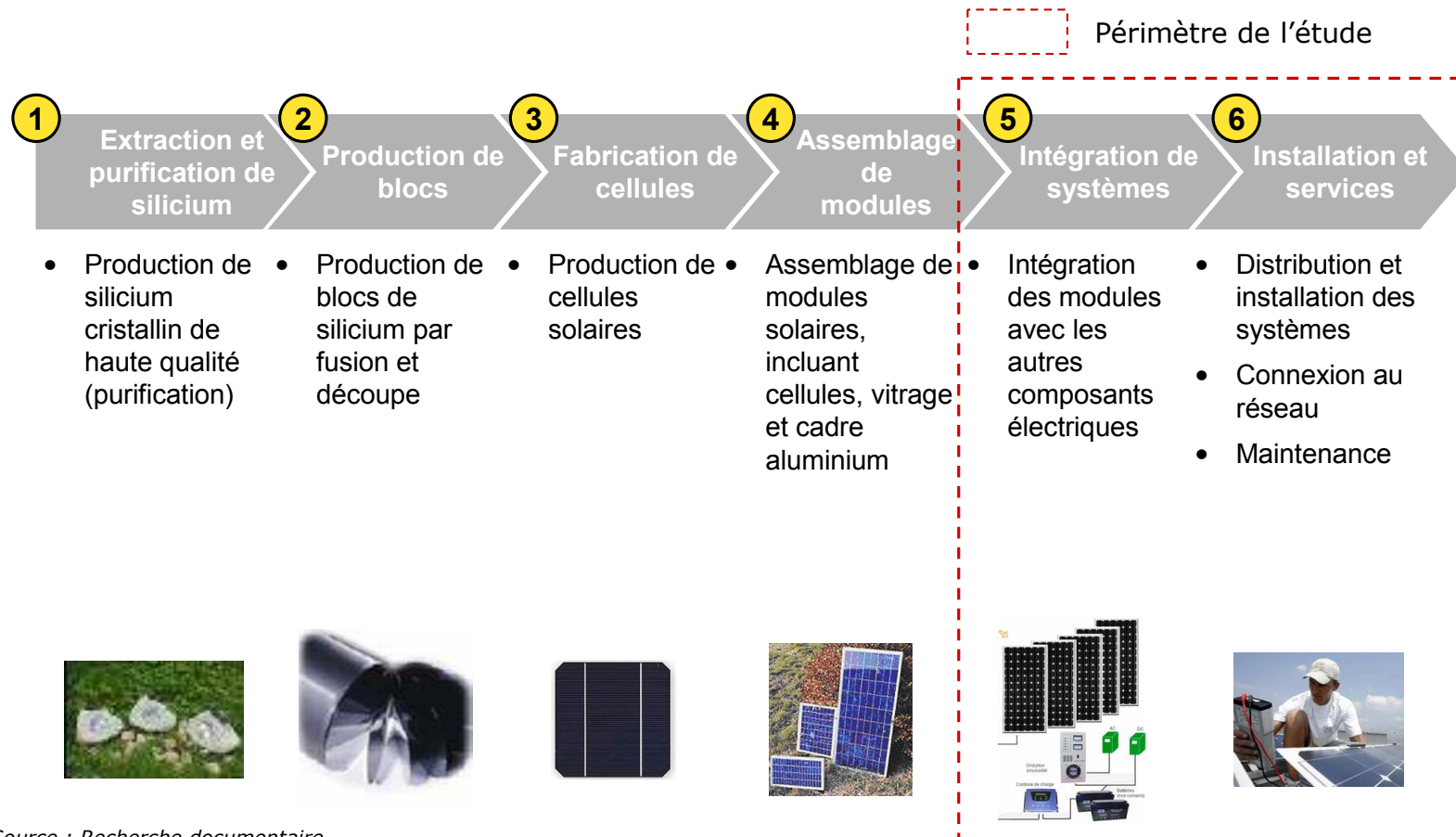


- La part de marché des **couches minces** devrait **passer de 10 à 20%** d'ici 2012
- Les raisons de cette évolution sont doubles :
 - Des **coûts de production inférieurs**, à terme, à ceux des technologies silicium cristallines
 - Une **meilleure flexibilité** des matériaux amorphes facilitant leur assemblage

Source : EPIA / Soge

La chaîne de valeur du solaire photovoltaïque est constituée de 6 étapes majeures

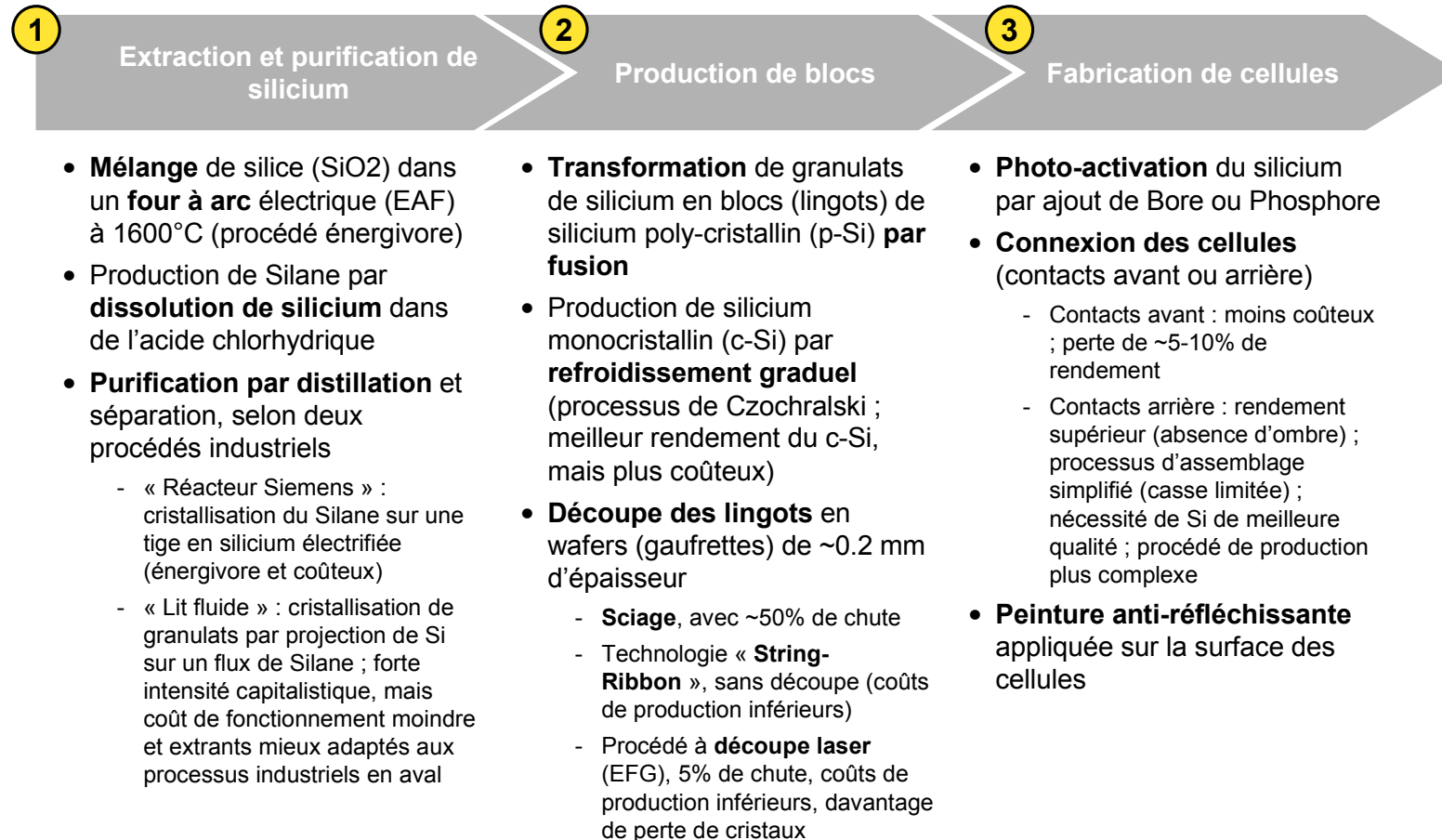
Chaîne de valeur



Source : Recherche documentaire

De la production de silicium aux cellules PV : des procédés complexes et énergivores

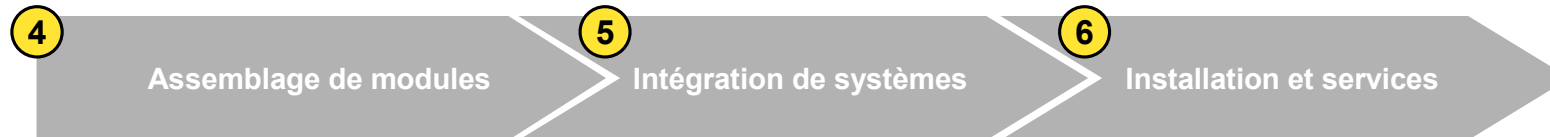
Chaîne
de valeur



Source : Recherche documentaire

De l'assemblage à l'installation : des étapes essentiellement manuelles

Chaîne de valeur



- Trois étapes principales dans l'agrégation de cellules en modules :
 - **Soudure** des cellules en connexion série-parallèle
 - **Stratification** sous haute pression-température
 - **Installation** du cadre et de la boîte de jonction
- Modules résistants aux intempéries et nécessitant une faible maintenance
- Deux grandes **typologies de modules**
 - Modules **standards**, montés par ex. sur une toiture
 - Modules **intégrés (BIPV – Building integrated photovoltaics)** par ex. dans les toitures ou les vitrages

- **Intégration** de plusieurs modules en une unité de production d'énergie
- **Montage** des différents éléments constituant l'unité :
 - Onduleurs
 - Contrôleurs de charge
 - Câbles
 - Systèmes de pose

- **Deux grands types d'installation** coexistent :
 - **Connectée au réseau** : intégration au réseau du flux d'énergie généré
 - **Non-connectée au réseau** : unités autonomes pour utilisation sur site, essentiellement en zones isolées (ex : montagnes) ou en pays en voie de développement (marché potentiel significatif, mais coûts trop élevés)
- **Constitution de dossiers** administratifs et de financement
- **Maintenance** des installations

Source : Recherche documentaire

La structure et les dynamiques de marché diffèrent selon l'étape de la chaîne de valeur

Structure du marché mondial

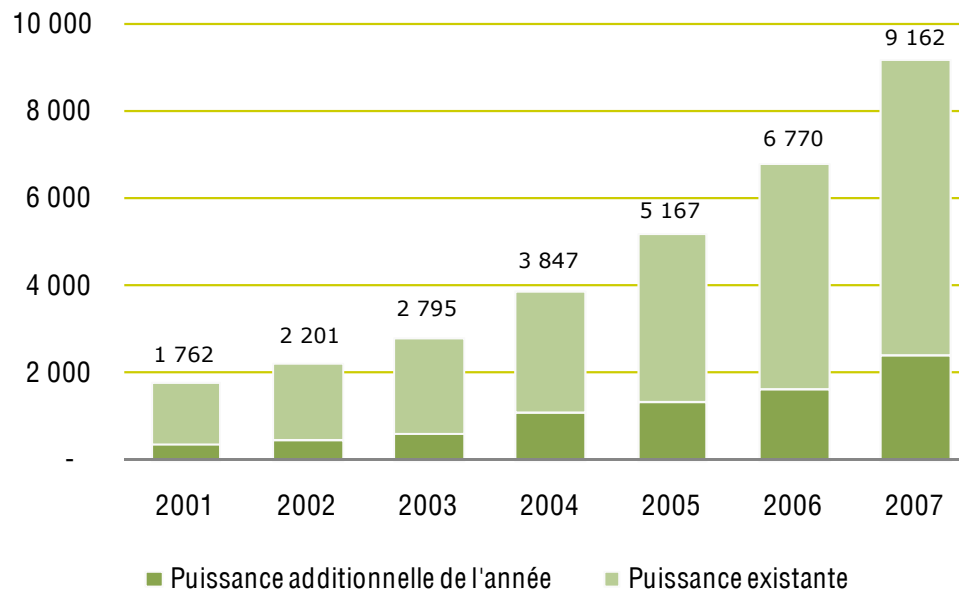
	1	2	3	4	5 6
	Extraction et purification de silicium	Production de blocs	Fabrication de cellules	Assemblage de modules	Intégration de systèmes – Installation et services
Taille du marché	~ 1 Md\$	~ 2 Md\$	~ 5 Md\$	~ 6 Md\$	~ 6 Md\$
Nombre d'acteurs	~ 15	~ 15 à 20	~ 25 à 50	> 100	> 10 000
Principaux acteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Hemlock • Tokuyama • Wacker • MEMC • REC 	<ul style="list-style-type: none"> • BP Solar • Kyocera • RWE Schott • PV • SUMCO 	<ul style="list-style-type: none"> • Sharp • Q-cells • Kyocera • Sanyo • RWE 	<ul style="list-style-type: none"> • Sharp • Kyocera • Sanyo • Suntech • Solon 	<ul style="list-style-type: none"> • Conergy • Phoenix Sonnenstrom • IBC Solar • Solon
Marge opérationnelle moyenne (EBIT en % des ventes)	~ 40 à 45%	~ 20 à 25%	~ 15 à 20%	~ 10%	~ 8 à 10%

Source : Rapports d'analystes

Une croissance annuelle d'environ 30% de la puissance installée cumulée entre 2000 et 2007

Structure
du marché
mondial

Puissance cumulée des installations PV dans le monde (MWc)



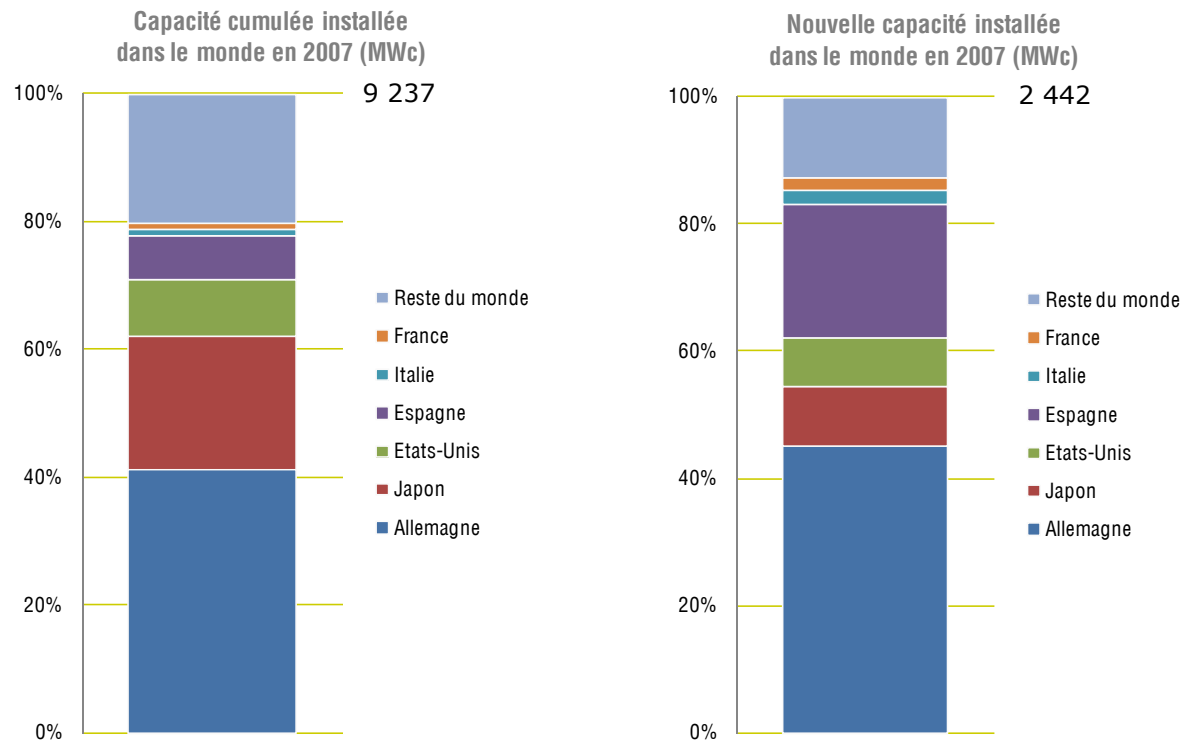
30% de croissance cumulée de 2000 à 2007

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
% additionnel vs cumulé	23%	25%	27%	38%	34%	31%	35%

Source : European Photovoltaic Industry Association (EPIA)

~80% du marché se concentrent sur quatre pays :
Allemagne, Japon, Etats-Unis et Espagne

Structure
du marché
mondial

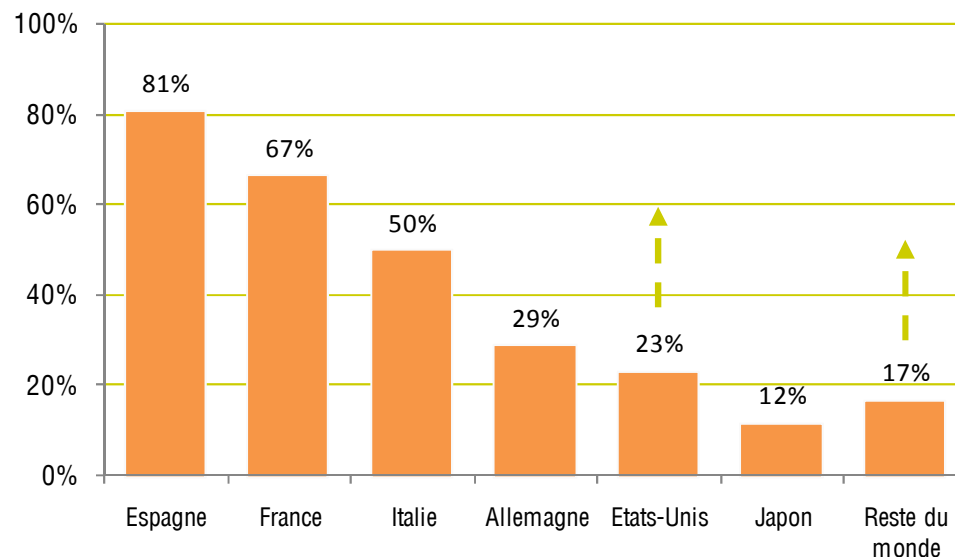


Source : EPIA

Le dynamisme et la maturité de ces principaux marchés est variable

Structure
du marché
mondial

Ratio puissance additionnelle vs cumulée
des installations PV dans le monde en 2007 (%)



Marchés en
développement



Marchés matures



Marchés à fort
potentiel



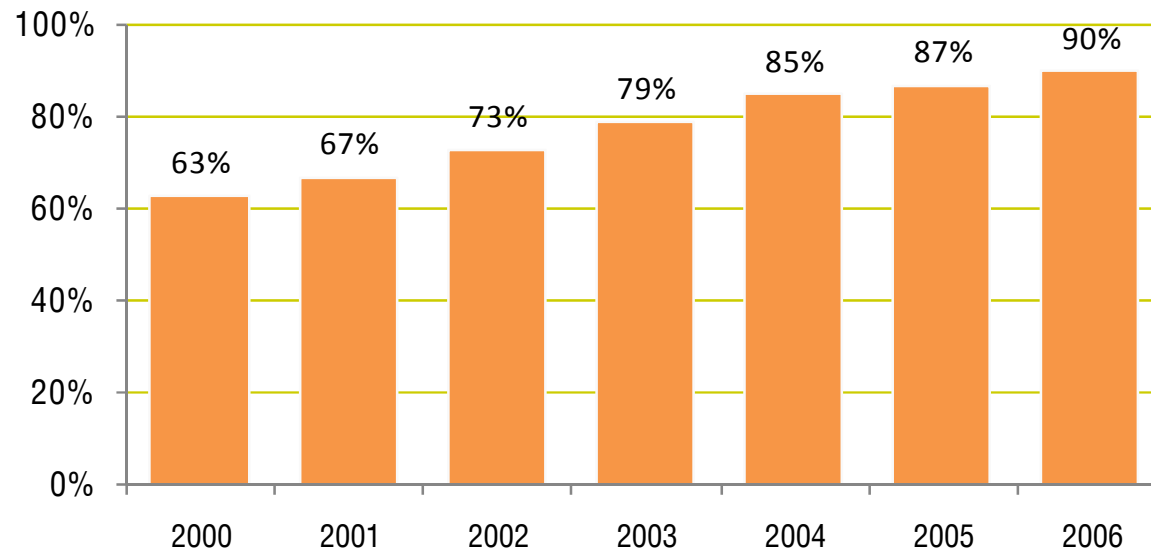
- Le Japon et l'Allemagne font figure de précurseurs dans le domaine
- La France a fait depuis longtemps le pari du nucléaire et dispose d'un parc photovoltaïque limité, mais en fort développement
- Une explosion du marché nord-américain est envisageable avec la nouvelle administration en place
- De forts gisements de croissance sont identifiés en Inde ou en Chine

Source : EPIA

La part des installations connectées au réseau est passée de 60 à 90% entre 2000 et 2007

Structure
du marché
mondial

Part des installations connectées au réseau vs installations non connectées (%)



Source : International Energy Agency

Solaire photovoltaïque en France – Avril 2009 | © CleanTech Republic - Une étude réalisée en exclusivité par Selim Loukil – Reproduction interdite

Sources utilisées

- International Energy Agency
- European Photovoltaic Industry Association
- Notes de brokers 2008 : CIBC, SG, Dexia, JPMorgan, Morgan Stanley
- www.econologies.com
- L'Université de tous les Savoirs
- www.outilssolaires.com
- EPIA
- www.hespul.org
- CNRS / Bruno Rivoire
- IRDEP / CNES
- BP Solar
- INSA Lyon
- IMS Bordeaux
- ADEME

Pour vous procurer l'étude complète

Etude solaire photovoltaïque en France | Avril 2009 | 70 pages

- Notre offre préférentielle est prolongée jusqu'au 31 août 2009
 - Version PDF : 690 € HT (au lieu de 1 450 € HT)
 - Version papier : 480 € HT (au lieu de 950 € HT)
- Pour commander, rendez-vous sur :
<http://www.cleantechrepublic.com/etude-solaire-photovoltaique-en-france-etat-des-lieux-et-avenir-de-la-filiere/>

Mention légale protection des droits d'auteur : cette étude ne peut être transmise ni reproduite partiellement ou intégralement sans l'autorisation écrite de ses auteurs. Elle peut être citée à partir du moment où il est clairement indiqué que : « les informations extraites sont issues d'une étude de marché CleanTech Republic (www.cleantechrepublic.com) ».



81 rue de Verdun
92150 Suresnes
France
Email : contact@cleantechrepublic.com

CleanTech Republic est le premier media communautaire professionnel dédié aux éco-innovations. Notre vocation : vous informer sur les innovations « vertes » et vous aider à décrypter leur pertinence, leurs usages et leurs impacts économiques.