

# **Conférence « Le solaire: Technologies, Economie, Politique»**

Université Paris-Dauphine - Salle 709  
Paris, 5 mars 2012





Association des Economistes de l'Energie  
Membre de l'International Association for Energy Economics (IAEE)

# **Le solaire : Technologies, Economie, Politique**

**Lundi 5 mars 2012 de 18h15 à 20h00**

**Université Paris-Dauphine  
Salle 709 – Nouvelle Aile**

**Place du Maréchal de Lattre de Tassigny  
75775 PARIS Cedex 16**

[www.fae.fr](http://www.fae.fr)



# Le solaire : Technologies, Economie, Politique

## Programme

- ▶ **Accueil et Perceptions du Solaire dans les Collectivités Locales**
  - ◆ Président-Animateur : Jean-Loup Martin, Comité Directeur AEE
- ▶ **L'énergie solaire**
  - ◆ Louis Boisgibault, Président VALMERE,
  - ◆ Auteur de « L'Energie Solaire après Fukushima »
- ▶ **Le solaire photovoltaïque**
  - ◆ Thierry Lepercq, Président, et Frédéric Delord, Directeur de l'activité parcs solaires, SolaireDirect
- ▶ **Le solaire à concentration**
  - ◆ Corinne Frasson, Directrice Stratégie, Business et Développement, AREVA Renouvelables
- ▶ **Questions réponses avec la salle**
- ▶ **Conclusions**
  - ◆ Christophe Bonnery, Président de l'AEE

# Le solaire : Technologies, Economie, Politique

## Programme

- ▶ **Accueil et Perceptions du Solaire dans les Collectivités Locales**
  - ◆ Président-Animateur : Jean-Loup Martin, Comité Directeur AEE
- ▶ **L'énergie solaire**
  - ◆ Louis Boisgibault, Président VALMERE,
  - ◆ Auteur de « L'Energie Solaire après Fukushima »
- ▶ **Le solaire photovoltaïque**
  - ◆ Thierry Lepercq, Président, et Frédéric Delord, Directeur de l'activité parcs solaires, SolaireDirect
- ▶ **Le solaire à concentration**
  - ◆ Corinne Frasson, Directrice Stratégie, Business et Développement, AREVA Renouvelables
- ▶ **Questions réponses avec la salle**
- ▶ **Conclusions**
  - ◆ Christophe Bonnery, Président de l'AEE

# Le solaire : technologies, économie, politique

5 Mars 2012

Association des Economistes de l'Energie

**Présentation de l'ouvrage « L'énergie solaire  
après Fukushima, la nouvelle donne »**

**Préface du Professeur Patrice Geoffron**

**[www.medicilline.com](http://www.medicilline.com)**

**154 pages, parution le 27 octobre 2011**

#### **4 thèmes d'analyse :**

- La France, qui était en avance sur ces technologies à la fin des années 70, peut elle innover avec succès dans les nouvelles générations de cellules cristallines et couches minces?
- L'Union Européenne peut elle encore rivaliser avec la puissance montante chinoise, qui est devenue le leader mondial dans la production de cellules cristallines?
- La parité réseau est elle atteignable dans la décennie, de manière à ce que l'énergie solaire soit une composante à part entière dans production d'électricité mondiale?
- L'Afrique représente t'elle une nouvelle opportunité, notamment pour les centrales solaires à concentration dans le désert ?

**La France, qui était en avance sur ces technologies à la fin des années 70, peut elle innover avec succès dans les nouvelles générations de cellules cristallines et couches minces ?**

- ⌘ Les fours solaires de Mont Louis, d'Odeillo et la centrale solaire de Themis dans les Pyrénées.
- ⌘ Le commissariat à l'énergie solaire
- ⌘ Le cas Photowatt : procédé de fusion POLIX pour les cellules multi cristallines



**L'Union Européenne peut elle encore rivaliser avec la puissance montante chinoise, qui est devenue le leader mondial dans la production de cellules cristallines ?**

Un enjeu technologique majeur :

- Cristallin / couches minces / nouvelles générations
- Photovoltaïque / Solaire à concentration (CSP)
- 4 des 5 premiers producteurs de cellules cristallines sont chinois.

**La parité réseau est elle atteignable dans la décennie, de manière à ce que l'énergie solaire soit une composante à part entière dans production d'électricité mondiale ?**

*....de toute la difficulté de mettre en place et de piloter des tarifs de rachat adaptés...*

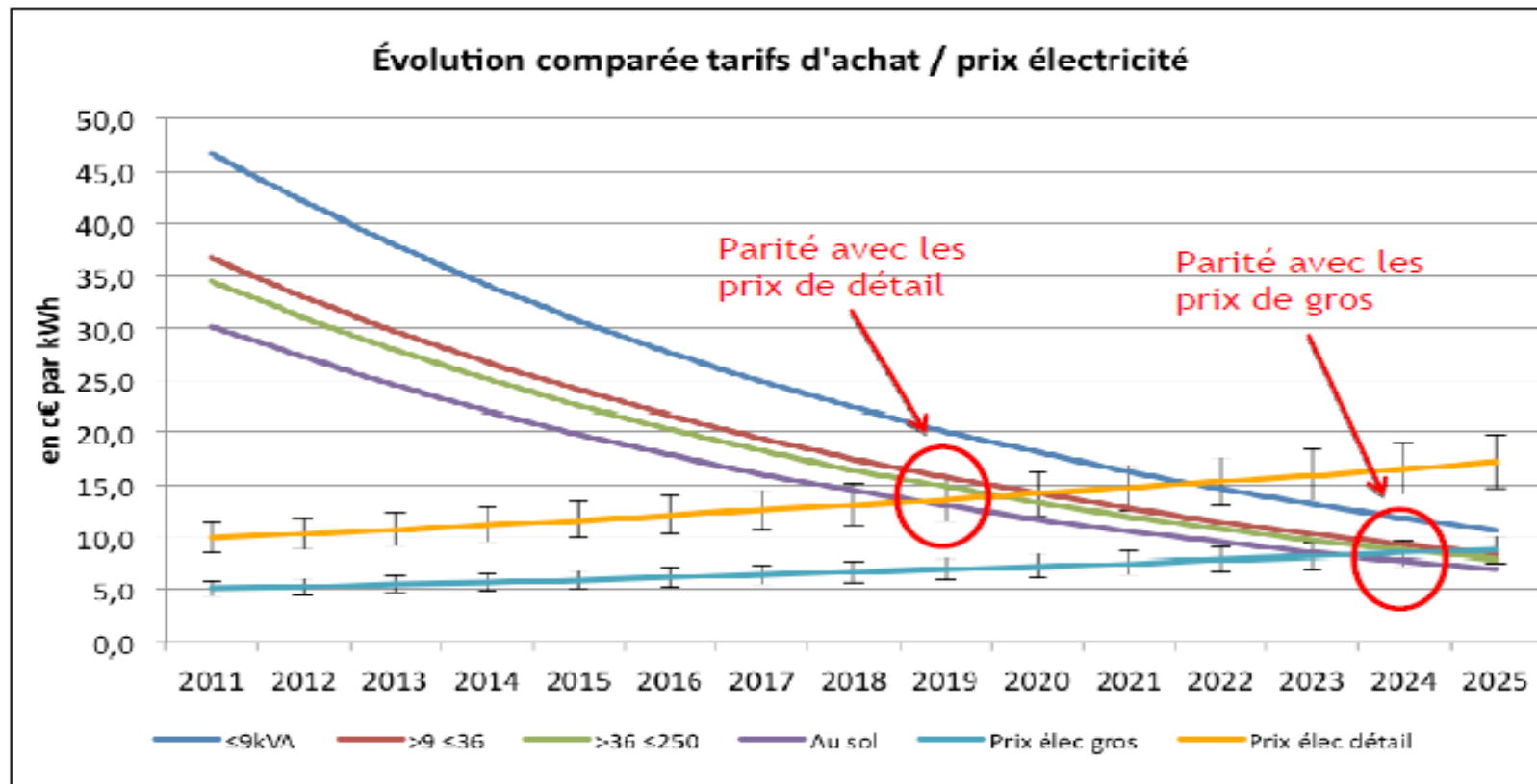


## 2.3 - Annexe 2

### Photovoltaïque et parité réseau

Comment caler un tarif d'achat sur un coût de production évoluant à la baisse ?

Perspective d'évolution du prix du kWh photovoltaïque



## **L'Afrique représente t'elle une nouvelle opportunité, notamment pour les centrales solaires à concentration dans le désert ?**

Le Plan Solaire Méditerranéen

Le cas pratique de la centrale à concentration (CSP) de Ouarzazate au Maroc (500 MW)

# Le solaire : Technologies, Economie, Politique

## Programme

- ▶ **Accueil et Perceptions du Solaire dans les Collectivités Locales**
  - ◆ Président-Animateur : Jean-Loup Martin, Comité Directeur AEE
- ▶ **L'énergie solaire**
  - ◆ Louis Boisgibault, Président VALMERE,
  - ◆ Auteur de « L'Energie Solaire après Fukushima »
- ▶ **Le solaire photovoltaïque**
  - ◆ Thierry Lepercq, Président, et Frédéric Delord, Directeur de l'activité parcs solaires, SolaireDirect
- ▶ **Le solaire à concentration**
  - ◆ Corinne Frasson, Directrice Stratégie, Business et Développement, AREVA Renouvelables
- ▶ **Questions réponses avec la salle**
- ▶ **Conclusions**
  - ◆ Christophe Bonnery, Président de l'AEE

Confidentiel



**Projet ESTER – Electricité Solaire des Territoires**

Et si votre territoire devenait producteur d'électricité?

# Sommaire

---

1. Qui est Solairedirect ?
2. Quel est le contexte du solaire PV aujourd'hui en France et quelles sont les nouvelles conditions de faisabilité des projets ?
3. Quels sont les bénéfices attendus par l'acheteur d'énergie (sécurisation du débouché)?
4. Quels sont les bénéfices d'ESTER pour les territoires?
5. Concrètement, quelle peut être la mise en œuvre sur votre territoire?

# Sommaire

---

1. **Qui est Solairedirect ?**
2. Quel est le contexte du solaire PV aujourd'hui en France et quelles sont les nouvelles conditions de faisabilité des projets ?
3. Quels sont les bénéfices attendus par l'acheteur d'énergie (sécurisation du débouché)?
4. Quels sont les bénéfices d'ESTER pour les territoires?
5. Concrètement, quelle peut être la mise en œuvre sur votre territoire?



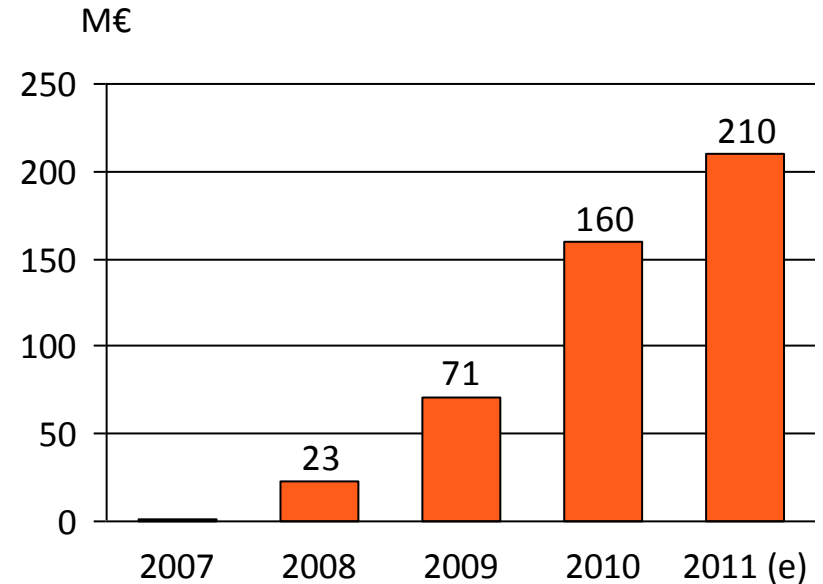
# 1/ Qui est Solairedirect ?

---

## Le premier opérateur d'électricité solaire indépendant en France

- **Société créée en 2006**
- **300 collaborateurs dont plus de 200 en France**
- **CA 2010 : 160 M€** (prévisions 210 M€ en 2011)
- **500 M€** de fonds levés depuis 2006
- **120 MWc de capacité installée** à fin 2011
  - 14 parcs développés construits et exploités
  - 2400 installations résidentielles exploitées et surveillées

Evolution du chiffre d'affaires de Solairedirect



# 1/ Qui est Solairedirect ?

---

...disposant d'une vision et d'une présence internationale



# 1/ Qui est Solairedirect ?

---

## Des actionnaires de premier plan, apportant un soutien stratégique et financiers

- Un **actionariat diversifié** avec des **profils d'investissement variés** : fonds de capital-risque, mutuelles d'assurances et de retraite, groupes industriels



- **Accès privilégié à des partenaires financiers** : investisseurs publics, fonds d'investissement, fonds de pension, grandes banques mutuelles



# Un modèle innovant pour rendre compétitif le kWh solaire

- **Solairedirect : la maîtrise industrielle** pour optimiser toute la chaîne des coûts
- **et... une présence unique** sur l'ensemble des métiers



- **Les enjeux technologiques** : produire un kWh solaire fiable, performant et intelligent qui réponde aux besoins du réseau (smart grid)

# Sommaire

---

1. Qui est Solairedirect ?
2. **Quel est le contexte du solaire PV aujourd'hui en France et quelles sont les nouvelles conditions de faisabilité des projets ?**
3. Quels sont les bénéfices attendus par l'acheteur d'énergie (sécurisation du débouché)?
4. Quels sont les bénéfices d'ESTER pour les territoires?
5. Concrètement, comment permettre à votre territoire de devenir producteur d'électricité?

## 2/ Quel est le contexte du solaire PV aujourd'hui en France ?

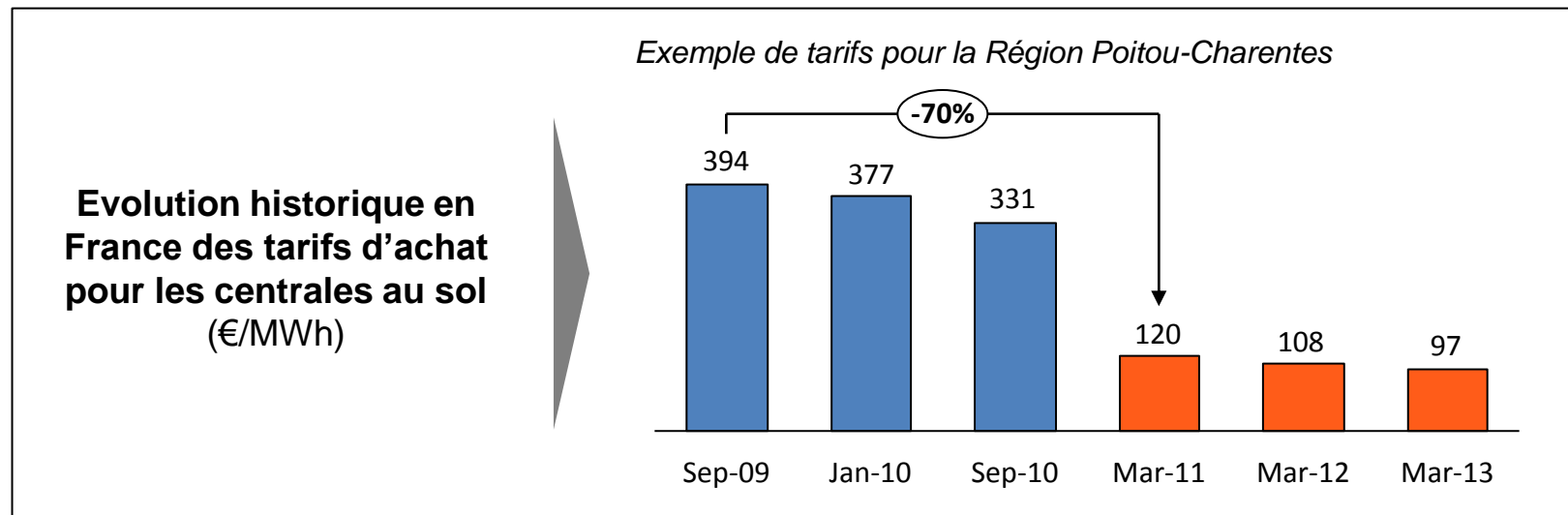
Un nouveau système d'incitations qui ne permet plus le développement du solaire selon les modèles utilisés précédemment.

### Contexte pré-commission Charpin

- Une obligation d'achat sur 20 ans
- Avec un tarif de rachat particulièrement attractif pour l'ensemble de la filière

### Nouvelle réglementation depuis mars 2011

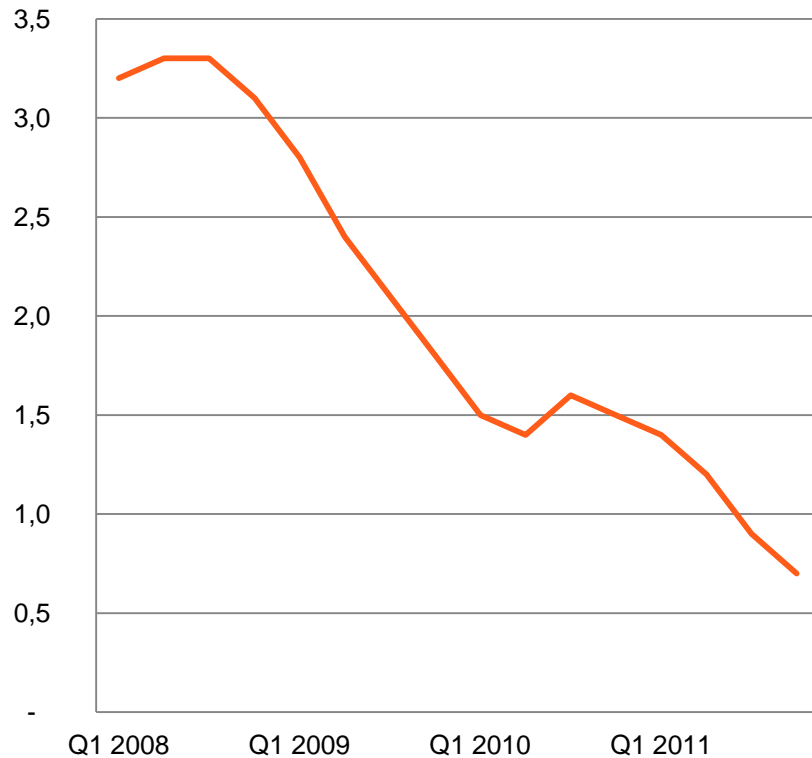
- Mise en place d'un système d'appel d'offres limités en volumes
- Forte baisse des tarifs de l'obligation d'achat, désormais à 12 centimes € / kWh, avec une dégressivité dans le temps (-2,6% par trimestre)



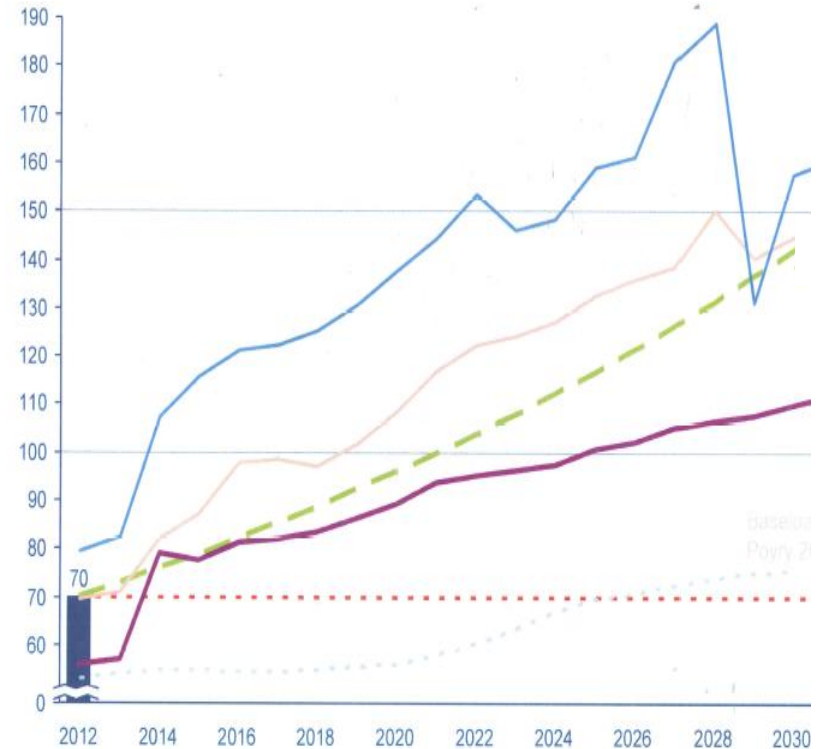
## 2/ Quel est le contexte du solaire PV aujourd'hui en France ?

**Les prix des modules et systèmes en chute libre... ...alors que les prix de l'énergie grimpent.**

**Evolution du prix moyen de modules photovoltaïques en Europe, en €/W**



**Scénarios à 20 ans sur les prix de gros de l'électricité en Europe établis par de grands énergéticiens**



## 2/ Dans ce contexte, Solairedirect a développé le modèle ESTER

L'objectif principal d' **ESTER** est de **permettre aux territoires de produire de l'électricité décentralisée** sans support financier public avec une filière solaire durable.

1

**Développer des capacités de production d'électricité sur les territoires**

- Programmes pluriannuels de construction de centrales
- Vente de la production via des contrats d'achat long terme (ex. sur 30 ans)

2

**S'affranchir de l'aide publique pour produire de l'électricité à prix de marché**

- Développement de centrales compétitives à court / moyen terme sans appui sur un tarif de rachat préférentiel, grâce à :
  - Un atout industriel : compétitivité des EPC (dernières technologies et chaîne intégrée)
  - Un atout financier : création d'une plateforme financière permettant de diminuer le coût de capital

3

**A terme, développer une filière industrielle en France**

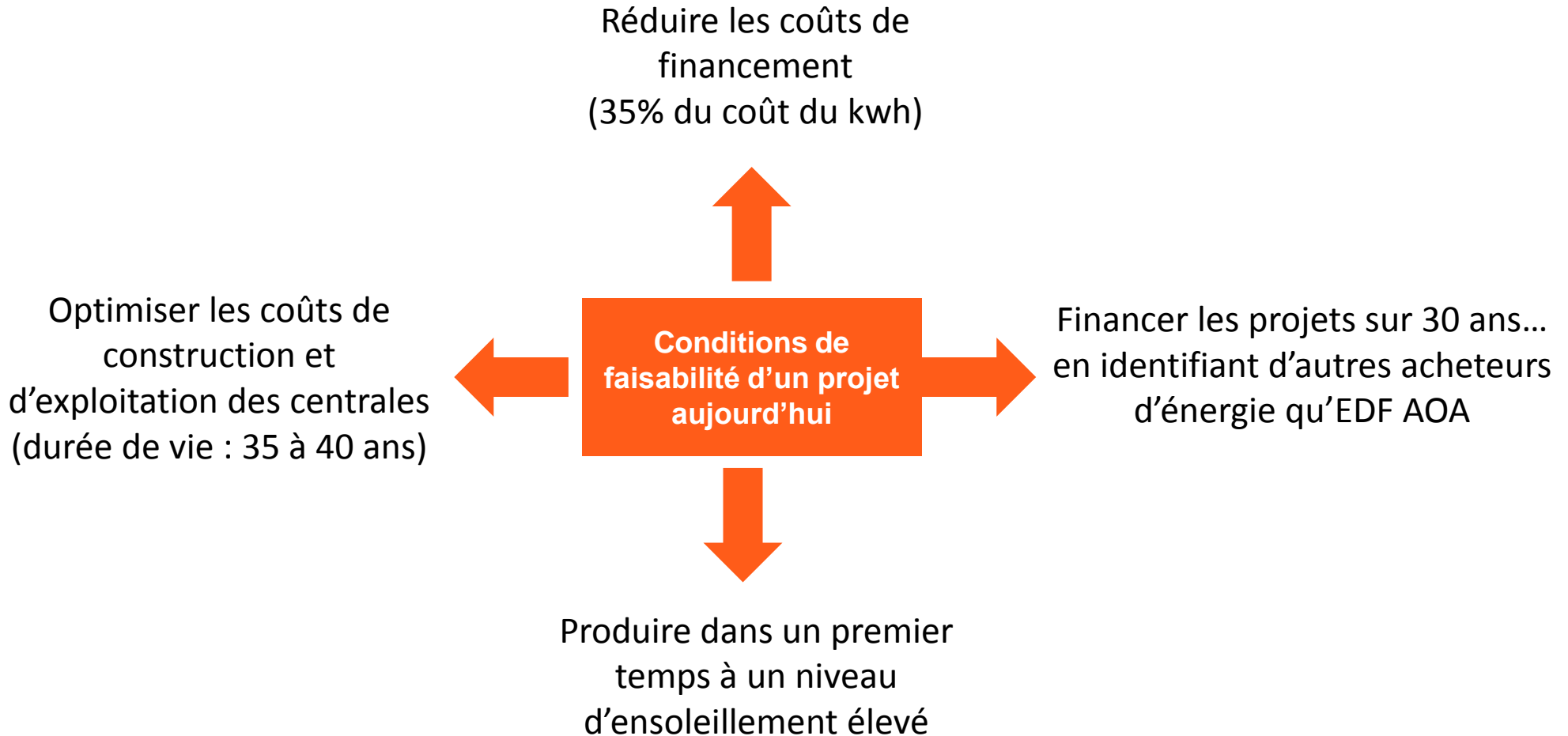
- Objectif de constitution de capacités de production industrielles locales
- Suivant les volumes engagés, possibilité de constituer une filière PV intégrée sur l'amont d'environ 125 MW / an\*\*

\*Selon la suffisance des volumes de projets à développer ; \*\*échelle minimum pour disposer d'une capacité de production compétitive



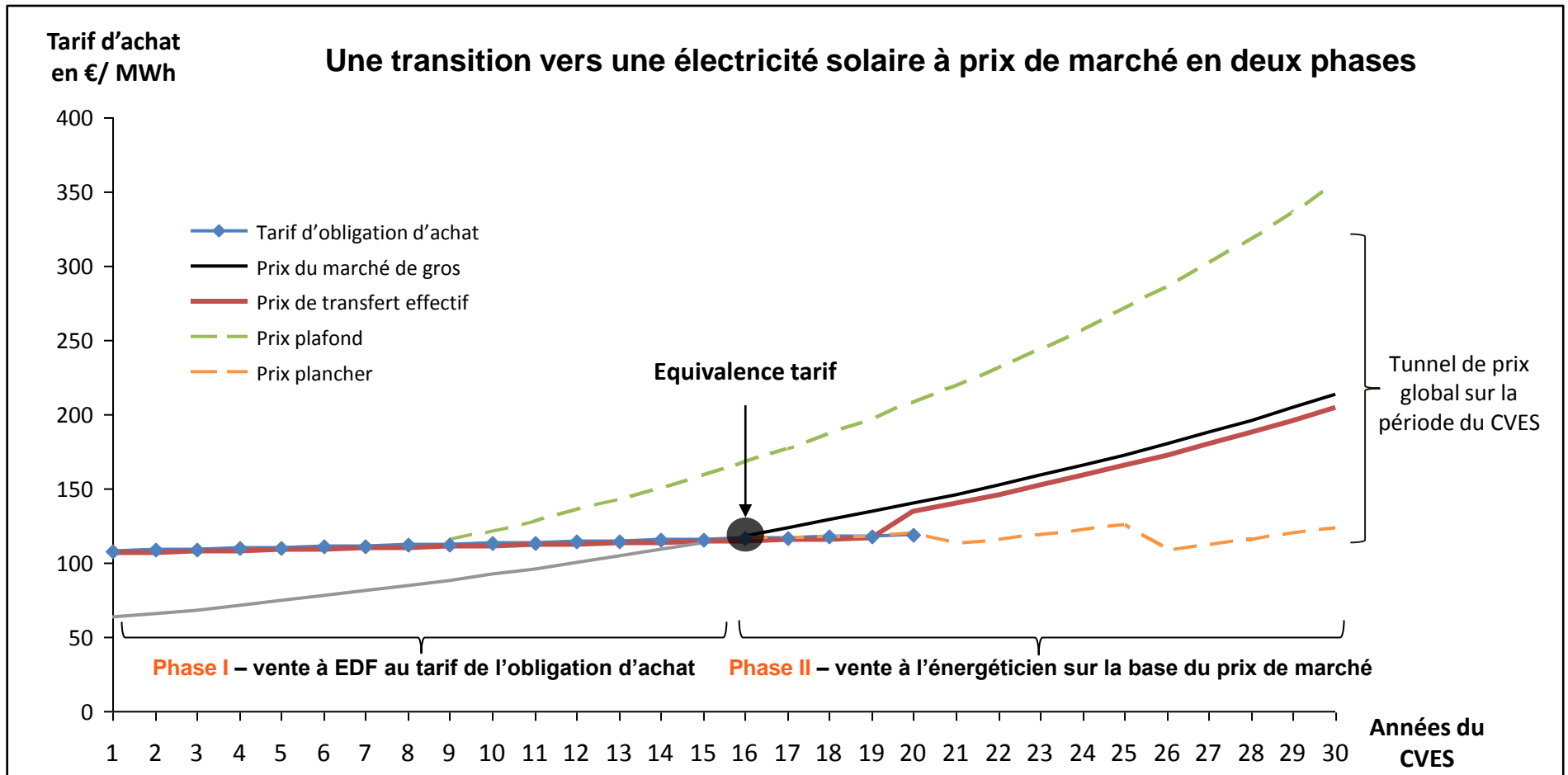
## 2/ Solairedirect : réunir (à nouveau) les conditions de faisabilité de vos projets

---



## 2/ Présentation du modèle de valorisation de l'électricité solaire

Le contrat de vente d'électricité solaire (CVES) proposé par Solairedirect garantit le territoire de vendre l'électricité produite sur 30 ans minimum à un acheteur d'énergie (opérateur)



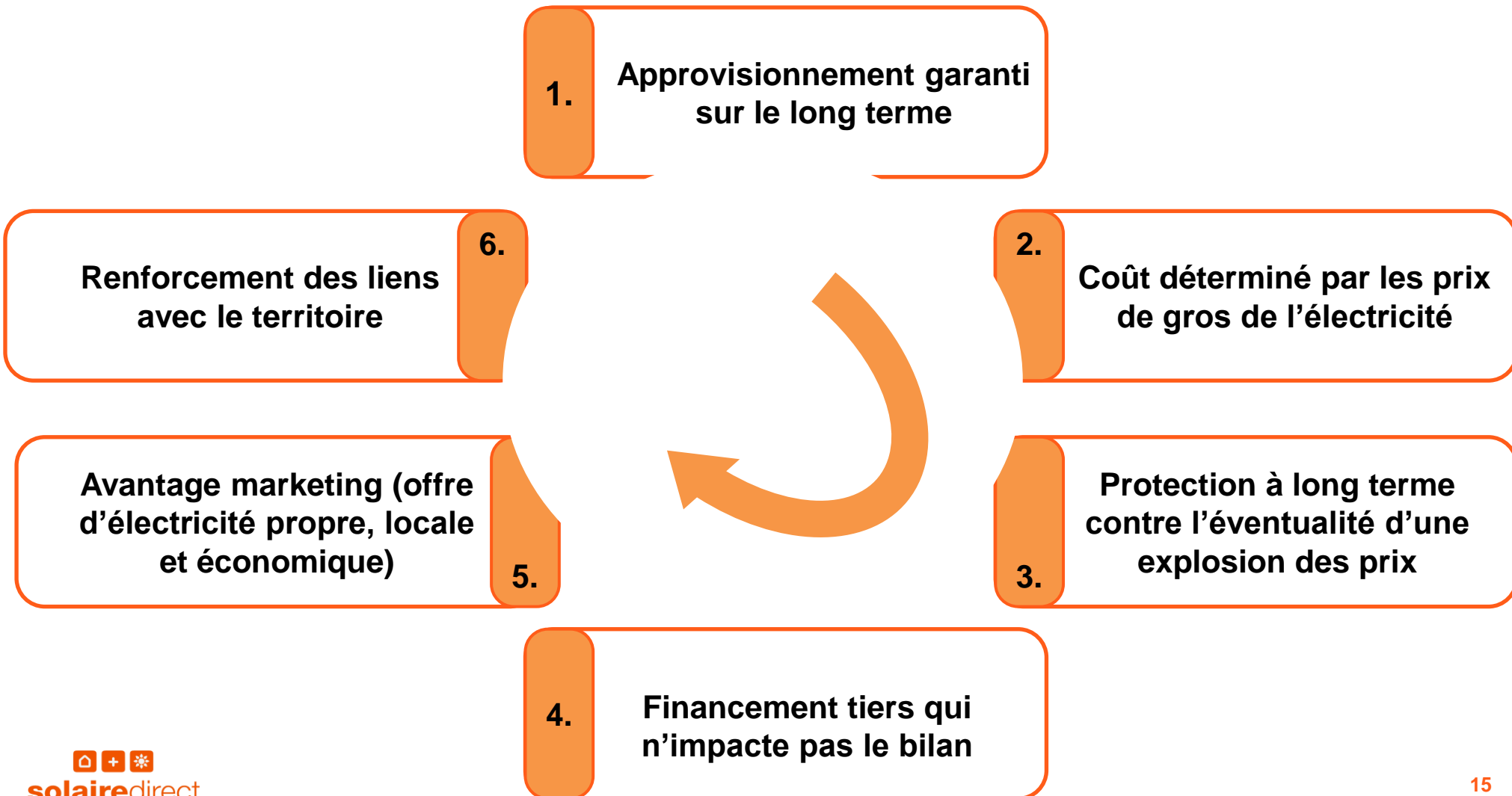
# Sommaire

---

1. Qui est Solairedirect ?
2. Quel est le contexte du solaire PV aujourd'hui en France et quelles sont les nouvelles conditions de faisabilité des projets ?
3. **Quels sont les bénéfices attendus par l'acheteur d'énergie (sécurisation du débouché)?**
4. Quels sont les bénéfices d'ESTER pour le territoire?
5. Concrètement, comment permettre à votre territoire de devenir producteur d'électricité?

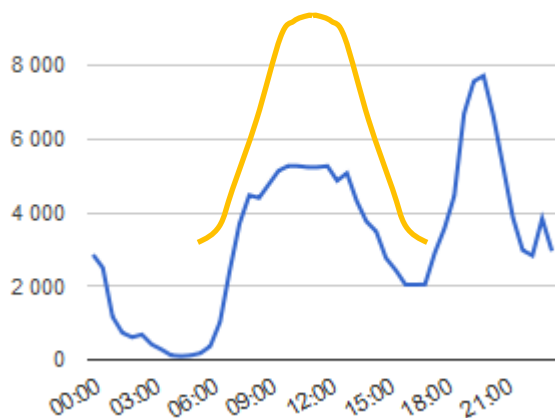
### 3/Quels sont les bénéfices pour l'énergéticien ?

Un approvisionnement d'énergie propre, locale, moins chère à terme...



### 3/ Un profil de production complémentaire avec l'hydraulique qui permet de servir une politique énergétique globale du territoire

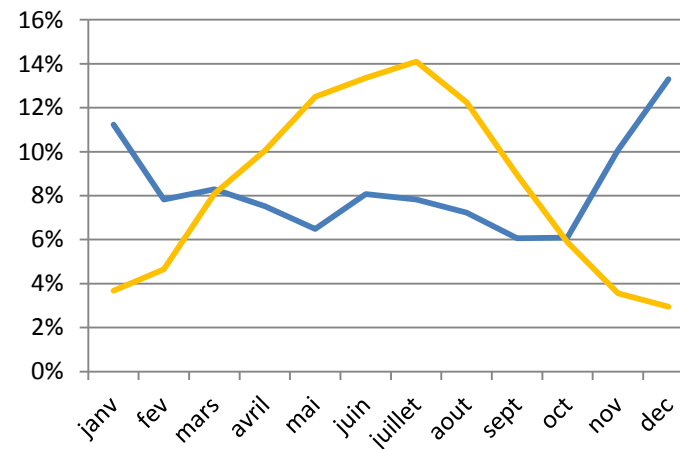
Production Moyenne Hydraulique (France)



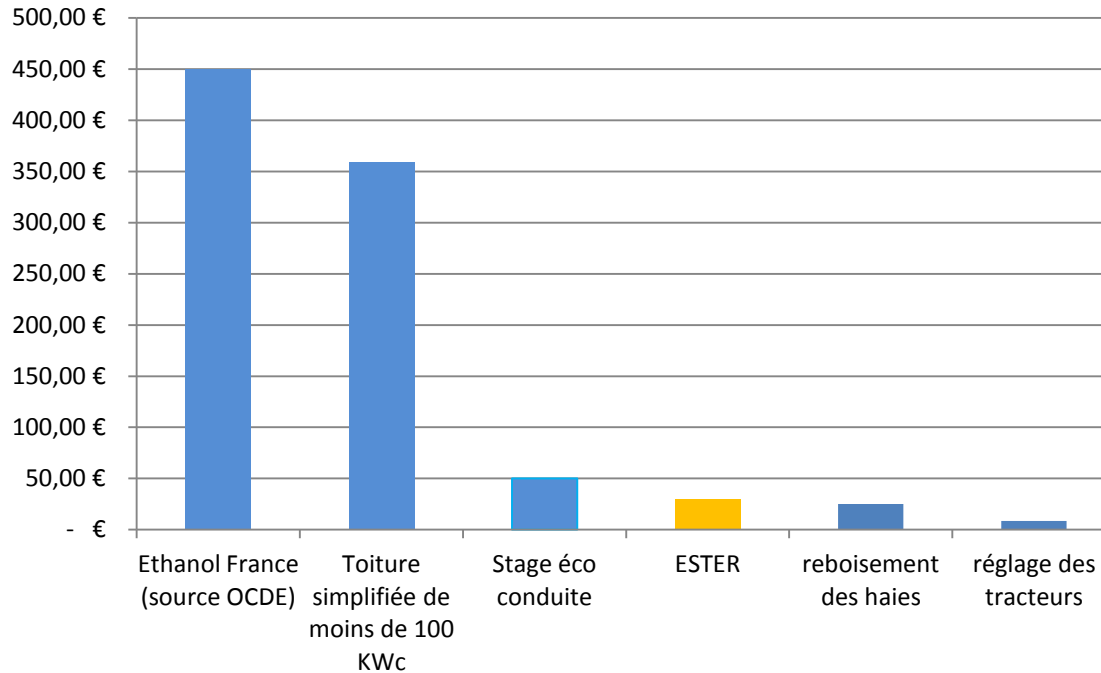
**Complémentarité de phase avec l'hydraulique pendant l'année**

**Optimisation de l'usage des barrages pendant la journée**

Production Mensuelle Moyenne

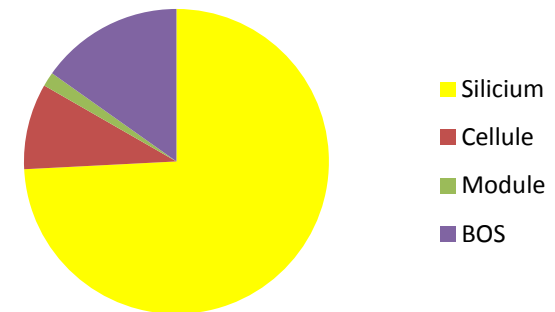


## 4/ Une offre parmi les plus compétitive en matière de coût de la TCO2 évitée



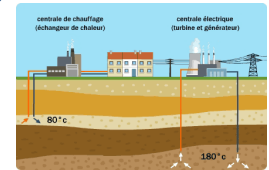
**Un coût TCO2 évitée  
Parmi les plus compétitif**

**Quelle que soit l'origine des panneaux**

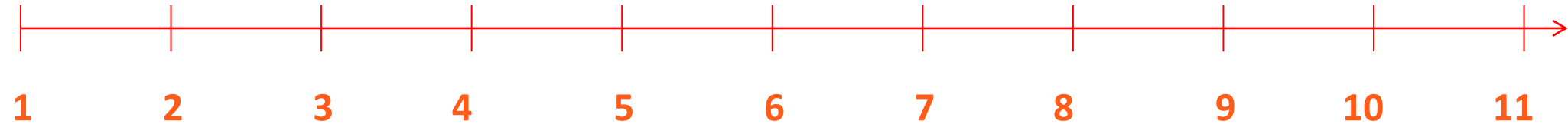


Contenu carbone du projet PV

## 5/ Des délais de mise en œuvre sans concurrence



**La technologie la plus rapide vers un mixte énergétique équilibré**



# Sommaire

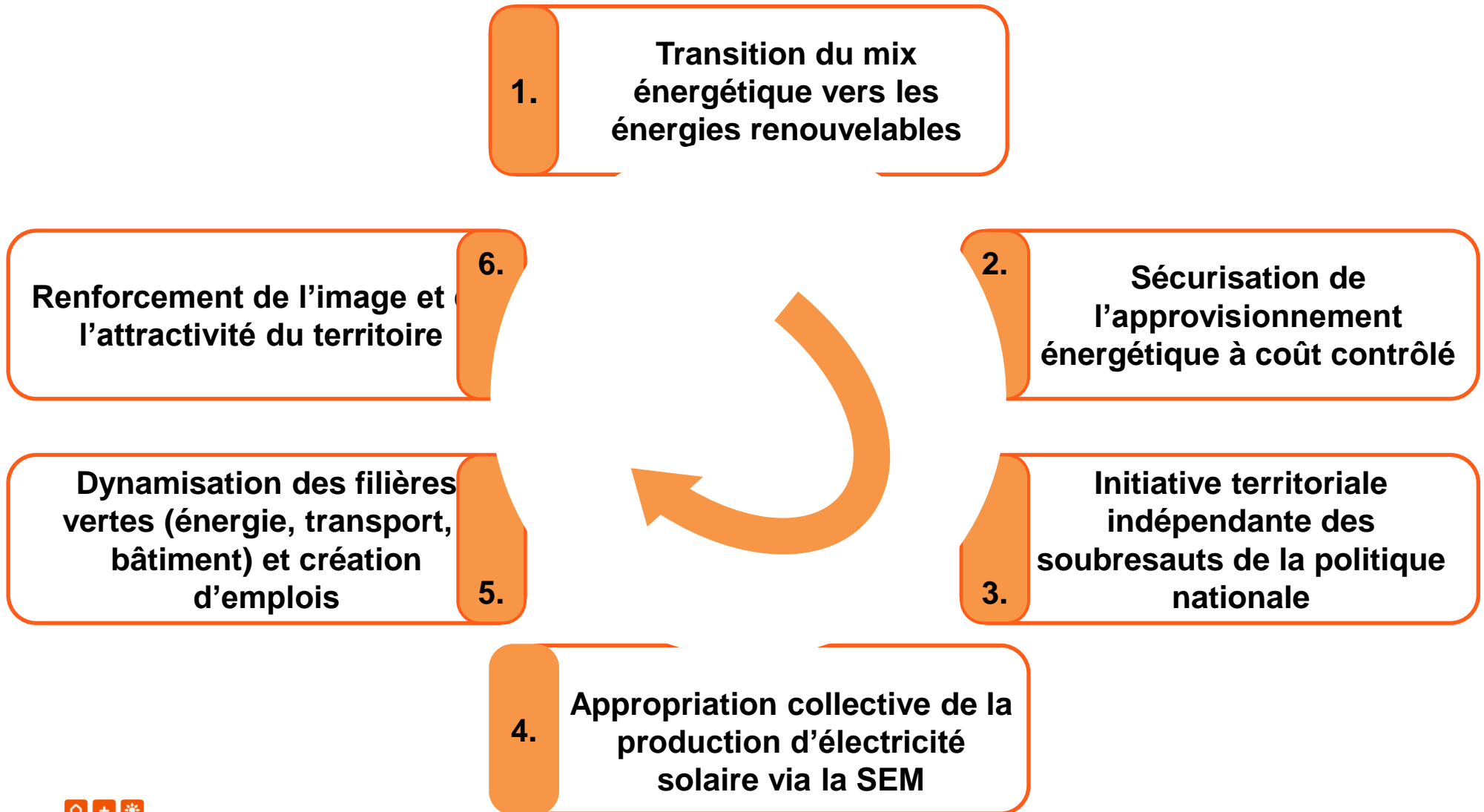
---

1. Qui est Solairedirect ?
2. Quel est le contexte du solaire PV aujourd'hui en France et quelles sont les nouvelles conditions de faisabilité des projets ?
3. Quels sont les bénéfices attendus par l'acheteur d'énergie (sécurisation du débouché)?
4. **Quels sont les bénéfices d'ESTER pour les territoires?**
5. Concrètement, comment permettre à votre territoire de devenir producteur d'électricité?



## 4/ Quels sont les bénéfices pour les territoires ?

### Se réappropriier la production d'énergie...



## 4/ Quels sont les bénéfices pour le Territoire ?

---

Permettre aux territoires de « reprendre en main » sur la politique énergétique...

Mettre en place un programme régional de développement d'un nouveau modèle économique

### Des bénéfices à court terme et ... un développement à long terme

- **Valoriser du foncier non exploité** (anciennes carrières, friches industrielles ou militaires...)
- **Générer de nouvelles recettes**, garanties et pérennes, en bénéficiant d'un loyer assis sur le coût du foncier
- **Bénéficier d'une vitrine environnementale**
- **Améliorer le bilan carbone du territoire**
- **Créer des emplois locaux durables** grâce à la réalisation de parcs solaires sur le territoire (*si niveau d'ensoleillement suffisant*)
- **Réaliser des économies sur le coût du kWh**
  - Au terme du contrat, capitalisation sur des unités de production d'énergie locales et amorties
  - Economies de l'ordre de 20 à 40% par rapport aux projections du réseau EDF
- **Offrir un produit de placement pour les populations locales**

# Sommaire

---

1. Qui est Solairedirect ?
2. Quel est le contexte du solaire PV aujourd'hui en France et quelles sont les nouvelles conditions de faisabilité des projets ?
3. Quelles opportunités pour les territoires ?
4. Quels sont les bénéfices d'ESTER ?
5. **Concrètement, comment permettre à votre territoire de devenir producteur d'électricité?**

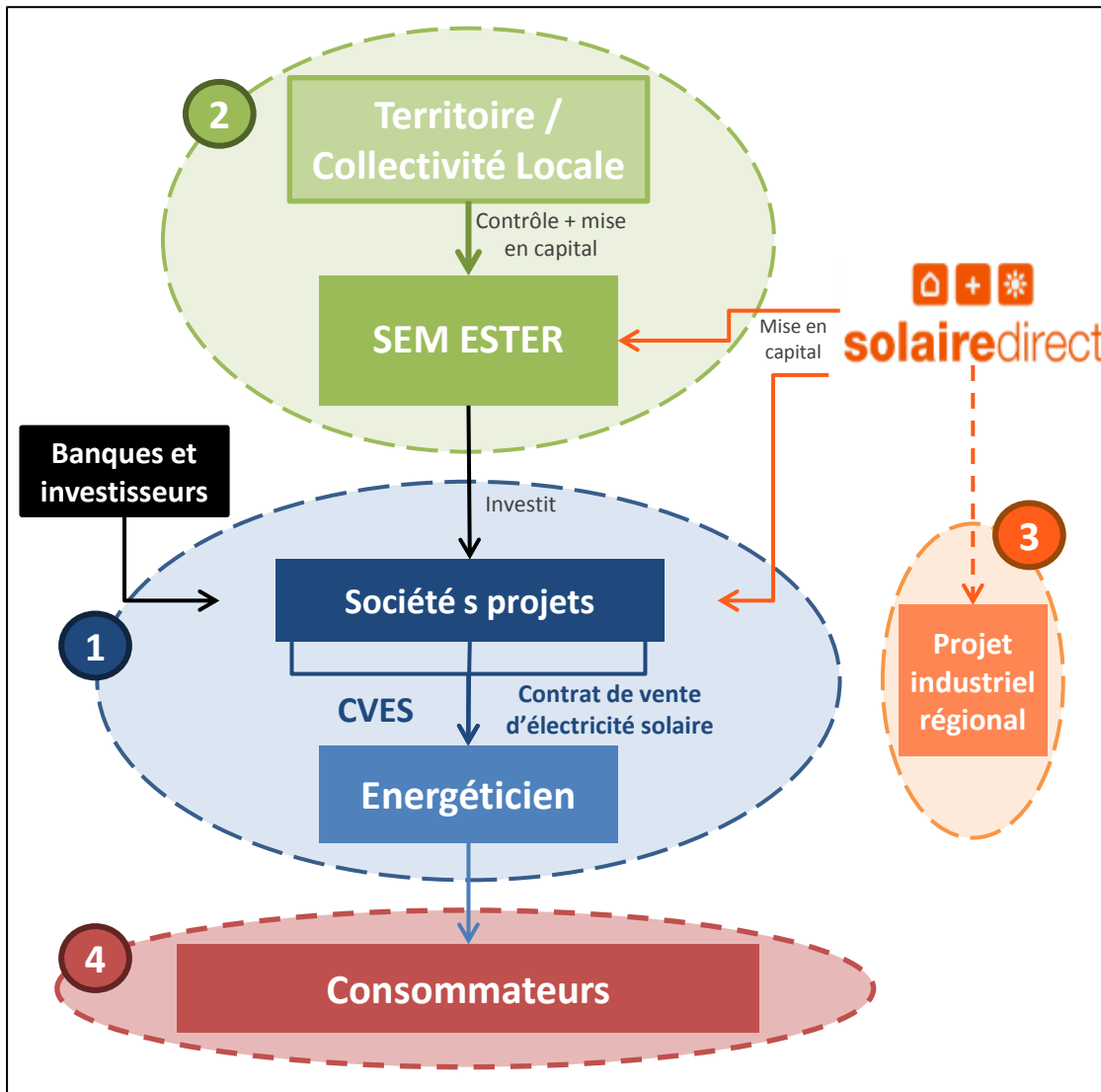
## 5/ Quelle mise en œuvre concrète sur votre territoire ?

---

### Le territoire peut devenir acteur et catalyseur des projets de production d'énergie développés dans le cadre d'ESTER

- **Mise en place d'un outil régional (SEM,...) pour :**
  - Créer un «catalyseur territorial » pour la construction de centrales,
  - Donner une impulsion et un message local,
  - Investir (le cas échéant) dans les centrales électriques pour le compte de la collectivité (et des citoyens),
  
- **Identification de sites propices** à la production d'électricité solaire PV, au sol ou sur toiture
  
- **Identification d'acteurs énergéticiens locaux**, susceptibles d'être intéressés par le modèle ESTER, pour la signature de partenariats tripartites (Territoire / Energéticien / Solairedirect)
  - Soit des acteurs de type SEM, qui achètent directement de l'électricité
  - Soit des acteurs de type ELD, à forte dimension locale

## 5/ La mise en œuvre d'ESTER sur votre territoire



- 1** **Sécurisation des volumes d'électricité dans le temps** à travers des **contrats de vente d'électricité solaire (CVES)** signés entre les SPV portant les projets, et un énergéticien / fournisseur d'électricité local  
Possibilité pour la SEM d'investir dans les SPV, mais le financement des SPV est en grande partie assuré par de la dette long terme contractée auprès des partenaires financiers de SD.
- 2** Négociation avec des personnes publiques locales (Région, Département, etc) pour la **création d'une SEM**, chargée d'assurer la promotion d'électricité verte via du financement direct et indirect de projets solaires.
- 3** **Constitution d'une filière industrielle solaire** – en cas de volumes suffisants – avec l'établissement de capacités de production industrielles PV locales  
Possibilité de constituer des **capacités intégrées sur l'ensemble des composants** (des wafers aux panneaux solaires), en cas de volumes suffisants
- 4** **Commercialisation d'électricité compétitive à composante solaire locale** par les énergéticiens auprès des consommateurs régionaux (particuliers, entreprises, collectivités)

# L' exemple de la SEM ESTER Poitou Charente : genèse d'un projet de territoire

Mai 2009

- Premiers contacts entre Solairedirect et la Région Poitou-Charentes



Octobre 2009

- Signature d'un accord cadre entre la Région et Solairedirect stipulant un potentiel de 3,8 GW de capacité d'électricité solaire en région à horizon 2030 et la construction d'une usine de modules

Janvier 2011

- Lancement du projet ESTER à la suite du moratoire sur les tarifs photovoltaïques, autour de la Région et des ELD\* Sorégies et Séolis



Juillet 2011

- Vote du Conseil régional de Poitou-Charentes et création de la SEML Ester (6 juillet)



Automne 2011

- Partenariats entre Solairedirect et Sorégies / Séolis pour la réalisation de 120 MWc (dont la moitié au moins située sur le territoire), et négociation des premiers CVES\*\*



Confidentiel



**solairedirect**

# Projet ESTER



Et si vous deveniez producteur d'électricité?

Contact Solairedirect : [fdelord@solairedirect.fr](mailto:fdelord@solairedirect.fr) – 06 60 42 68 43

# Le solaire : Technologies, Economie, Politique

## Programme

- ▶ **Accueil et Perceptions du Solaire dans les Collectivités Locales**
  - ◆ Président-Animateur : Jean-Loup Martin, Comité Directeur AEE
- ▶ **L'énergie solaire**
  - ◆ Louis Boisgibault, Président VALMERE,
  - ◆ Auteur de « L'Energie Solaire après Fukushima »
- ▶ **Le solaire photovoltaïque**
  - ◆ Thierry Lepercq, Président, et Frédéric Delord, Directeur de l'activité parcs solaires, SolaireDirect
- ▶ **Le solaire à concentration**
  - ◆ Corinne Frasson, Directrice Stratégie, Business et Développement, AREVA Renouvelables
- ▶ **Questions réponses avec la salle**
- ▶ **Conclusions**
  - ◆ Christophe Bonnery, Président de l'AEE



# **Le solaire thermique à concentration**

Corinne Frasson – Stratégie, AREVA Renouvelables  
5 mars 2012



# AREVA s'est positionné en 2010 sur la technologie du solaire thermodynamique à concentration (CSP)



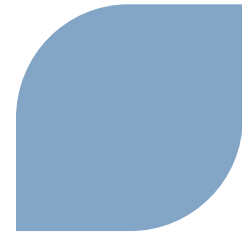
- ▶ Industrie qui s'apparente à celle des semi-conducteurs (technologie et production de masse)
- ▶ Capacité installée à la fin de 2010
  - ◆ 40 GW installés dans le monde
  - ◆ 850 MW installés en France

*Positionnement d'AREVA en mars 2010*



- ▶ Industrie qui s'apparente à celle des centrales thermique / à vapeur (gestion de la vapeur ; projets de construction)
- ▶ Capacité installée à la fin de 2010
  - ◆ < 2 GW installés dans le monde
  - ◆ 0 MW installé en France

# Technologie solaire d'AREVA: une concentration de plus de "50 Soleils"

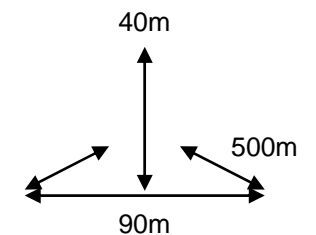


Des tubes dans lesquels circule l'eau pour une production de vapeur directe

2

Une concentration des rayons du soleil transformant l'eau en vapeur surchauffée à haute pression

3







1

Une série de miroirs concentrent la chaleur du soleil sur des récepteurs surélevés



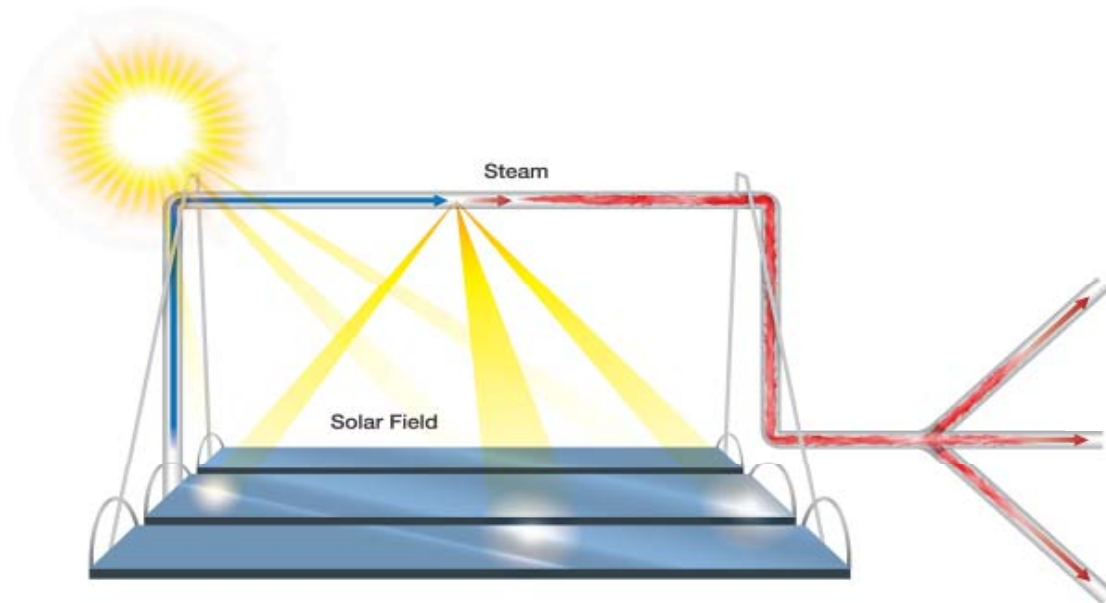
## 4 variantes principales de technologie CSP selon la focalisation de la concentration



	Concentration linéaire		Concentration point focal	
	Fresnel linéaire	Cylindro-parabolique	Tour	Dish
				
<b>CAPEX</b>	Faible (composants standards)	Moyen (miroirs incurvés, tubes à vide)	Élevé (héliostats, contrôle)	X
<b>Emprunte au sol</b>	+++ (la plus petite)	++	+ (la plus grande)	X
<b>Température</b>	++ AREVA : 450C Novatec : 280C	+ < 400C	+++ 550-800C	X
<b>Modularité / « scalability »</b>	+++ AREVA : unité de 7 MW	++	-- Tour de > 100 m (Ivanpah : 150m)	X



# 3 applications : centrales électriques autonomes ou hybrides et procédés industriels



Construction d'une centrale de 125 MW



Technologie retenue pour une centrale autonome de 250 MW



Construction d'un booster de 44 MW couplé à une centrale à charbon de 750 MW (« Kogan Creek »)



« TEP » : 5 MW, premier d'une série



De nombreux projets en considération



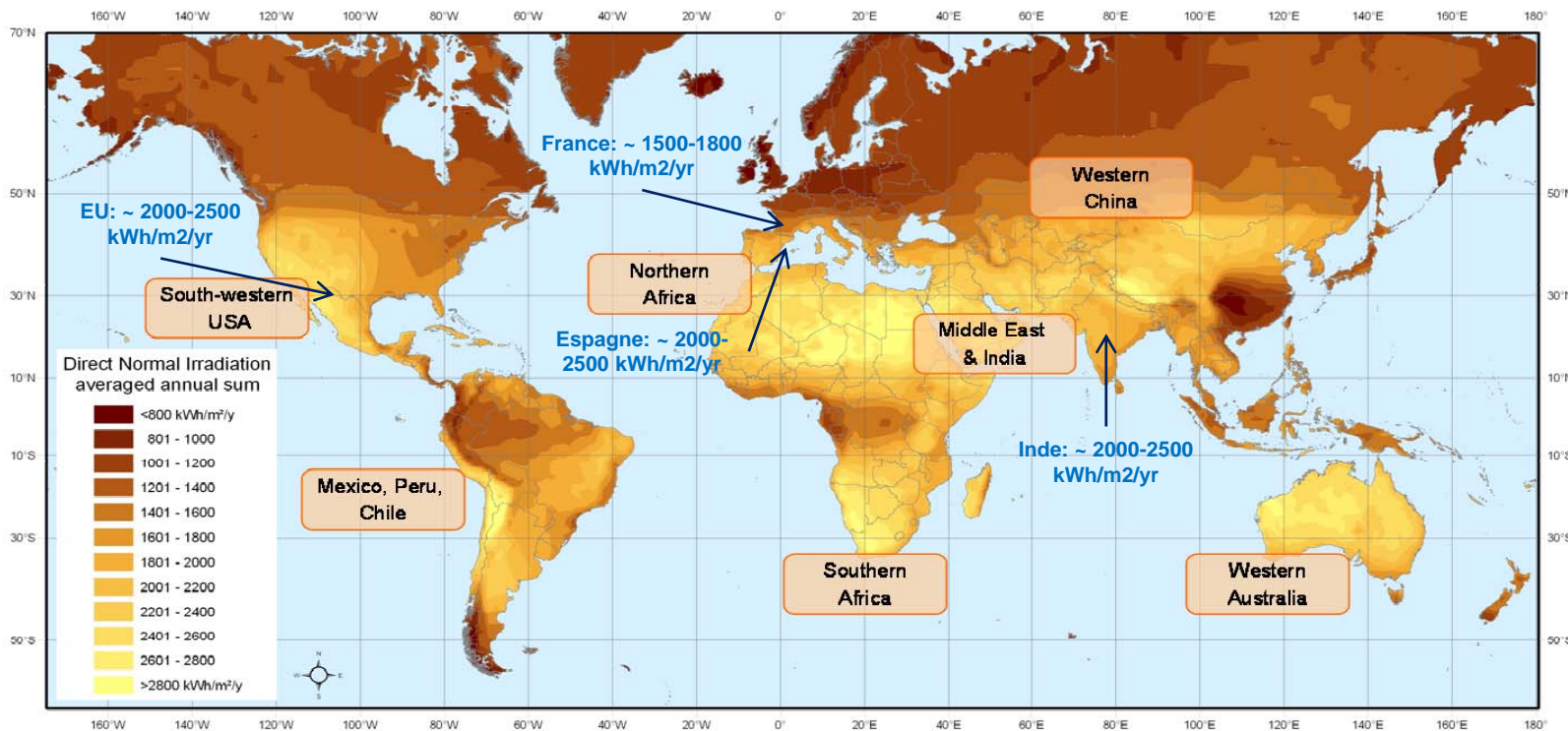
Un générateur de vapeur solaire polyvalent



AREVA

# Une compatibilité d'une région pour du solaire thermique fonction du DNI (Direct Normal Irradiance)

## Incidence Normale Directe (DNI) mondiale



Source: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

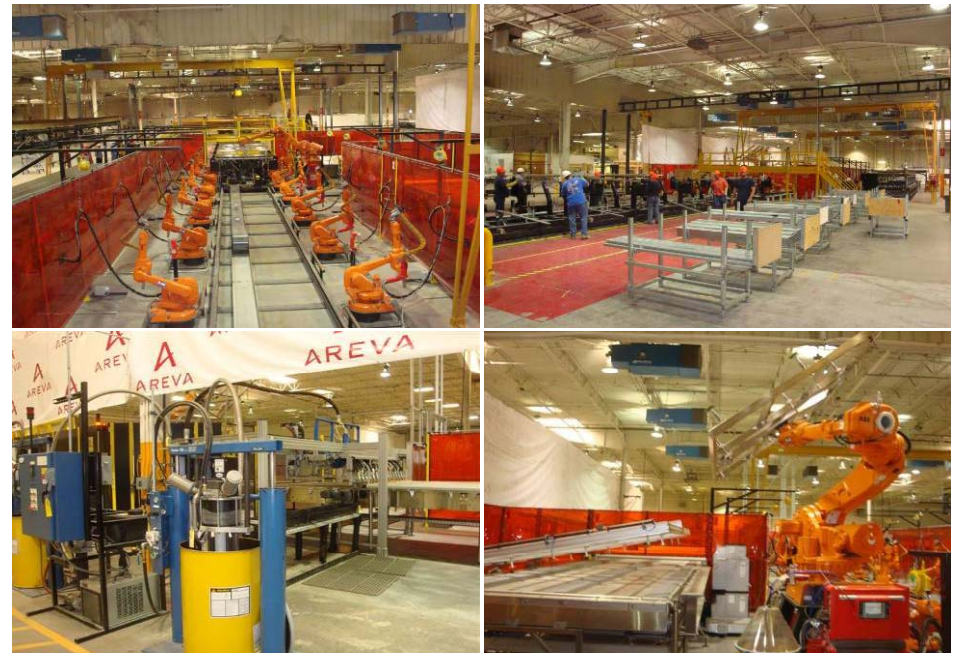
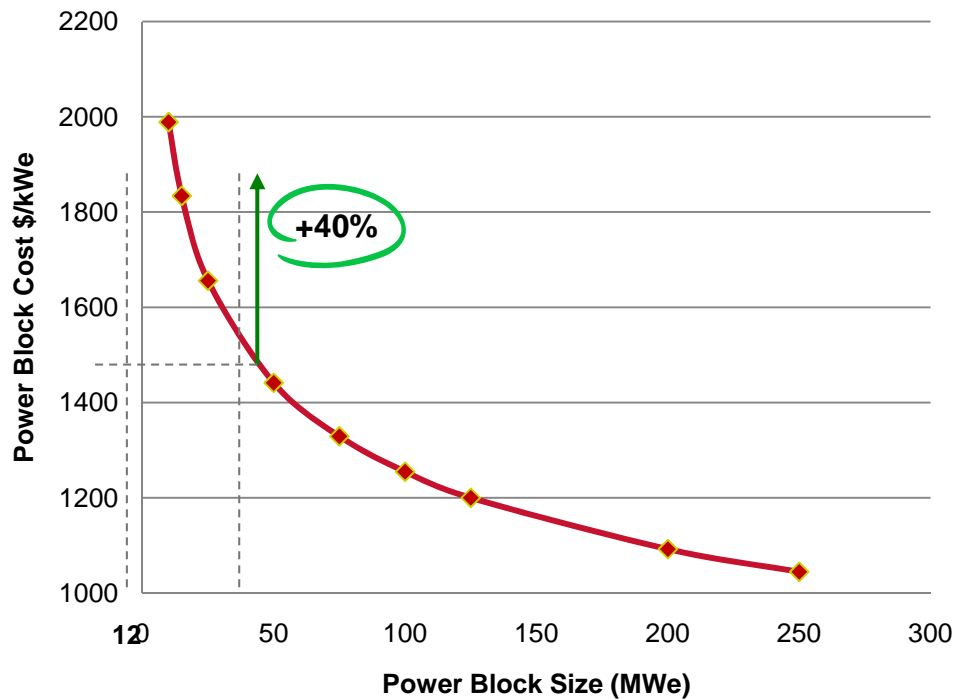
- ▶ Deux facteurs sont déterminants pour la production de vapeur (et donc d'électricité) d'une centrale thermique : DNI
  - ◆ Ensoleillement
  - ◆ Latitude
- ▶ Le coût de la production électrique pour une région donnée sera fonction de ces facteurs
- ▶ Les tarifs en support de cette énergie sont à ajuster en conséquent

# Une structure de coût non-linéaire par rapport à la taille de la centrale

Une économie d'échelle importante provenant de la partie turbine...

... et coût de l'infrastructure à mettre en place pour la construction du champs solaire

### Power Block Cost (US \$) VS. Power Block Size



# Le solaire : Technologies, Economie, Politique

## Programme

- ▶ **Accueil et Perceptions du Solaire dans les Collectivités Locales**
  - ◆ Président-Animateur : Jean-Loup Martin, Comité Directeur AEE
- ▶ **L'énergie solaire**
  - ◆ Louis Boisgibault, Président VALMERE,
  - ◆ Auteur de « L'Energie Solaire après Fukushima »
- ▶ **Le solaire photovoltaïque**
  - ◆ Thierry Lepercq, Président, et Frédéric Delord, Directeur de l'activité parcs solaires, SolaireDirect
- ▶ **Le solaire à concentration**
  - ◆ Corinne Frasson, Directrice Stratégie, Business et Développement, AREVA Renouvelables
- ▶ **Questions réponses avec la salle**
- ▶ **Conclusions**
  - ◆ Christophe Bonnery, Président de l'AEE



# Le solaire : Technologies, Economie, Politique

## Programme

- ▶ **Accueil et Perceptions du Solaire dans les Collectivités Locales**
  - ◆ Président-Animateur : Jean-Loup Martin, Comité Directeur AEE
- ▶ **L'énergie solaire**
  - ◆ Louis Boisgibault, Président VALMERE,
  - ◆ Auteur de « L'Energie Solaire après Fukushima »
- ▶ **Le solaire photovoltaïque**
  - ◆ Thierry Lepercq, Président, et Frédéric Delord, Directeur de l'activité parcs solaires, SolaireDirect
- ▶ **Le solaire à concentration**
  - ◆ Corinne Frasson, Directrice Stratégie, Business et Développement, AREVA Renouvelables
- ▶ **Questions réponses avec la salle**
- ▶ **Conclusions**
  - ◆ Christophe Bonnery, Président de l'AEE

**Merci**

# Conférences AEE à venir

- ▶ **14 mars 2012 : « Une approche économique de la sûreté nucléaire »**
  - ◆ Ecole des Mines de Paris
- ▶ **19 mars 2012 : « L'Europe de l'Electricité et du Gaz »**
  - ◆ Dauphine, salle Raymond Aron
- ▶ **22 mars 2012: Colloque « La précarité énergétique : Comprendre pour agir »**
  - ◆ Assemblée Nationale
- ▶ **9 mai : Séminaire de Printemps de l'AEE « Les marchés de capacité en France et en Europe »**

**Détail et inscriptions sur [www.faae.fr](http://www.faae.fr)**

(France – Association des Economistes de l'Energie)