

# Le photovoltaïque mondial : quatre interrogations et un plan d'action

Chaire économie du climat

Friday Lunch Meeting, 4 juillet 2014

Denis.Bonnelle@normalesup.org

# Quatre interrogations

- Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes pour pallier la variabilité du photovoltaïque ?
- Sa principale qualité est-elle son infinie divisibilité ?
- Le projet Desertec est-il définitivement mort ?
- Les fabricants chinois sont-ils coupables de dumping ?

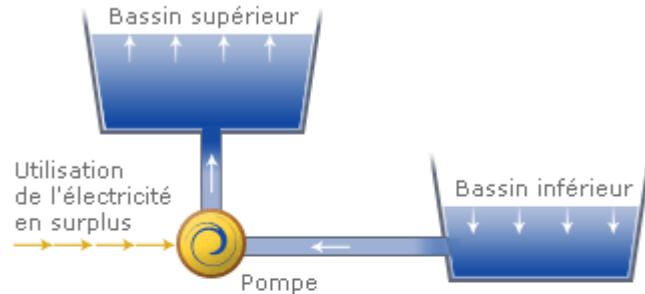
# Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes ?

- Les step, « *c'est de loin la technologie la plus mature et efficace, avec des rendements de 80 %. Et c'est la seule qui soit compétitive. Mais en France, la plupart des sites adéquats sont déjà occupés* ».

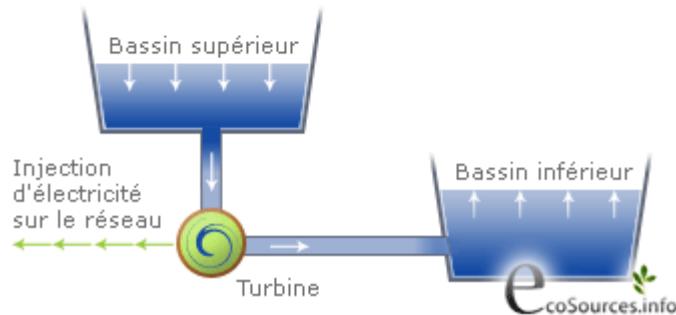
Libération, Ecofutur, 2 décembre 2013

# Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes ?

## Phase de pompage - Stockage de l'énergie



## Phase de turbinage - Restitution de l'énergie



# Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes ?

- Capacité annuelle = énergie pouvant être déstockée en un cycle x nombre de cycles dans l'année.  
→ La comparaison avec l'hydroélectricité est-elle fondée ?

# Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes ?

- Hydroélectricité classique :
- Peu chère au kWh
- Tous les bons sites naturels sont déjà équipés
- Équivaut à du stockage intersaisonnier

# Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes ?

- Parallèle Hydroélectricité / Steps :
- Par analogie, les Steps seront également peu chères au kWh, notamment pour le coût des conduites forcées, turbines, alternateurs, etc.
- Stockage quotidien  $\Leftrightarrow$  capacité x 365

# Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes ?

- La question était :

*Les step, « c'est de loin la technologie la plus mature et efficace, avec des rendements de 80 %. Et c'est la seule qui soit compétitive. Mais en France, la plupart des sites adéquats sont déjà occupés ».*

# Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes ?

## Couples possibles

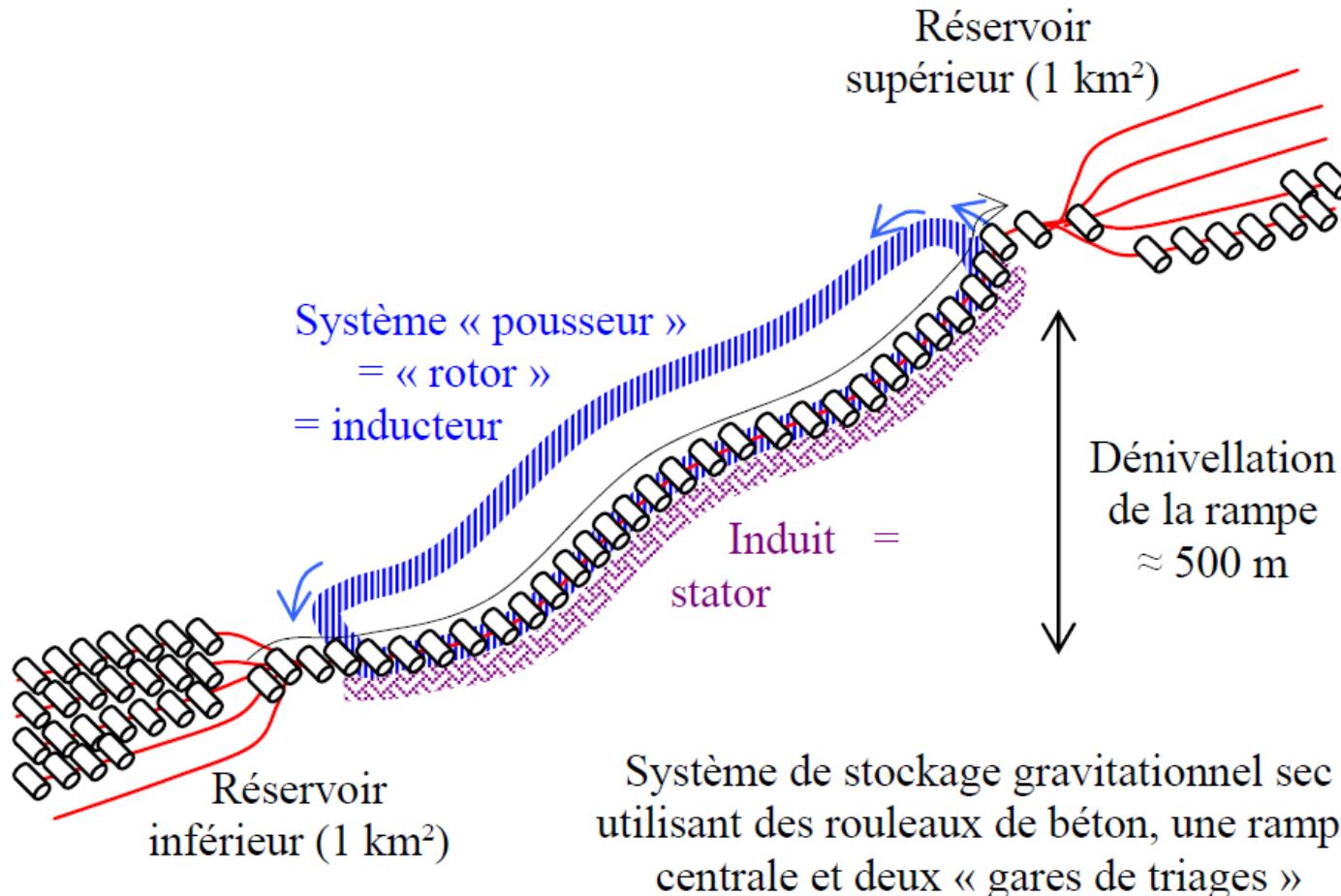
- Léman / Hongrin : > 100 GWh
- Norvège centrale : beaucoup plus
- Erie / Ontario : infiniment plus !

# Existe-t-il des capacités de stockage suffisantes ?

Traduction en termes économiques

- Quand il y a beaucoup de soleil et de vent, il y aura toujours un acheteur : plus de prix spots nuls ou négatifs
- Quand il y a trop de demande et pas assez de renouvelables, l'offre sera renforcée : prix de pointe moins élevés

# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?



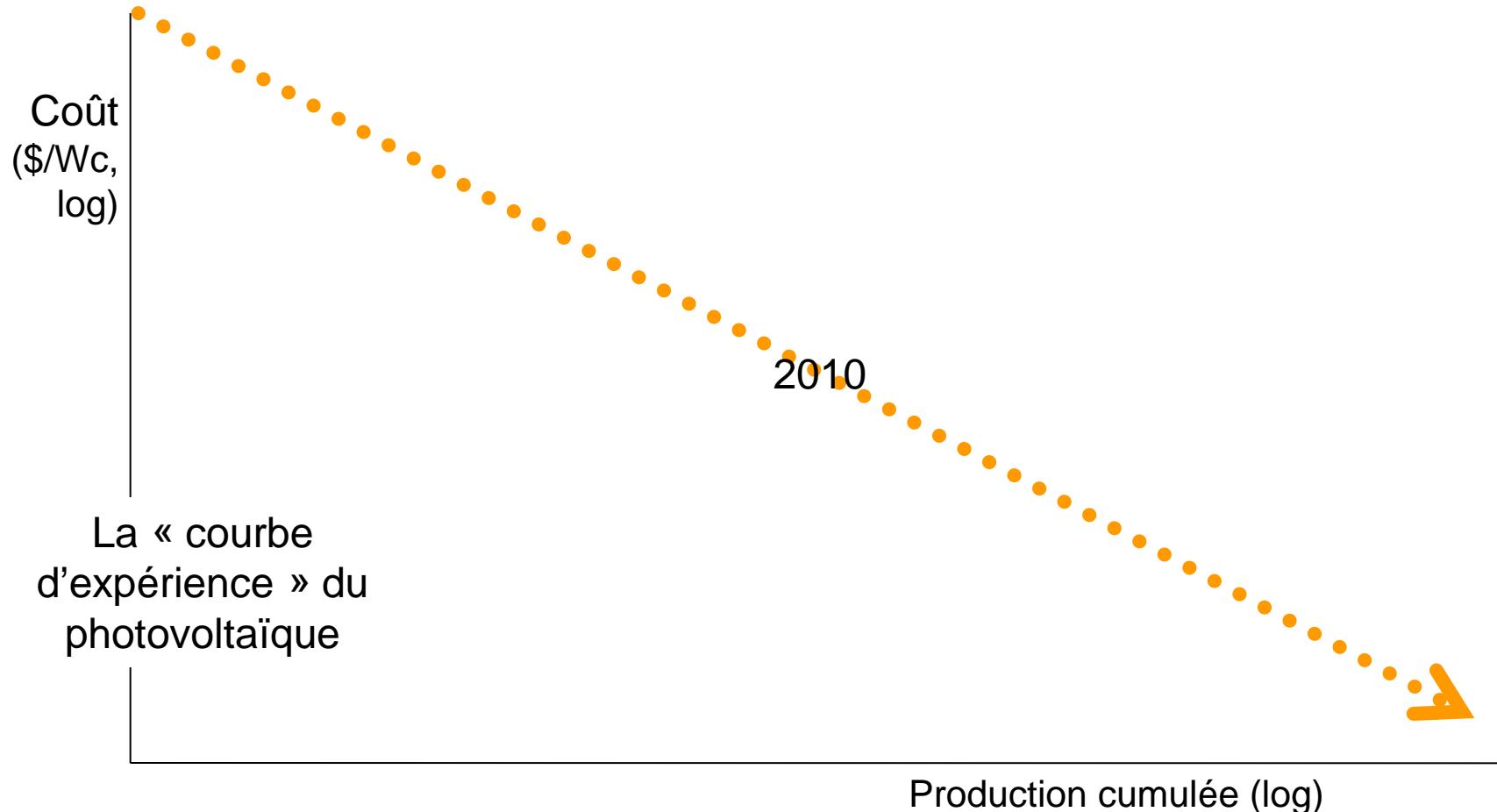
# Sa principale qualité est-elle son infinie divisibilité ?

Pour ce système de stockage gravitationnel sec :

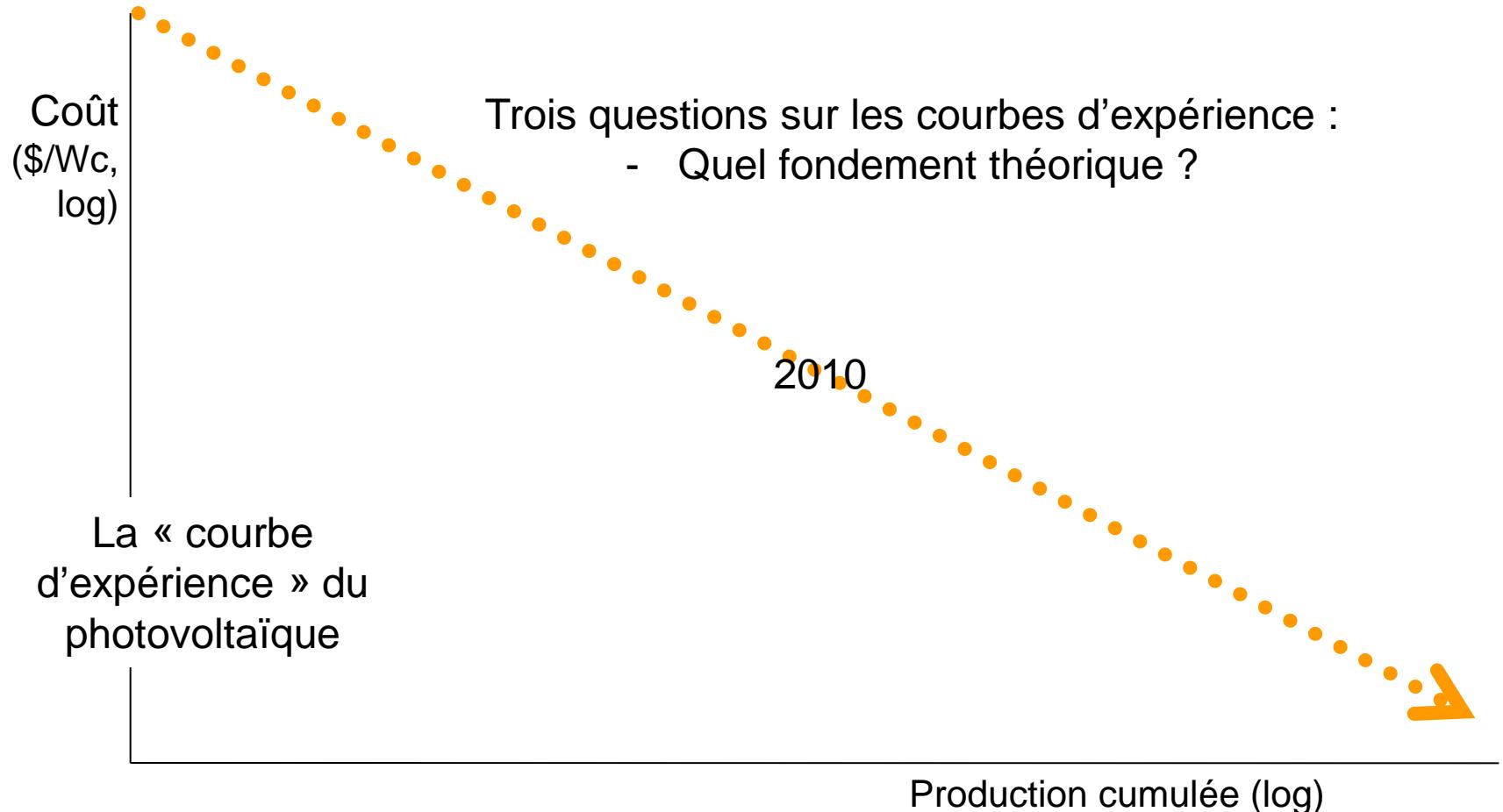
- Output  $\propto$  masse de béton  $\times$  dénivellée
- Coût  $\propto$  (a  $\times$  masse de béton  $+ b \times$  dénivellée)

Donc ce n'est rentable que si les deux dimensions sont suffisamment grandes

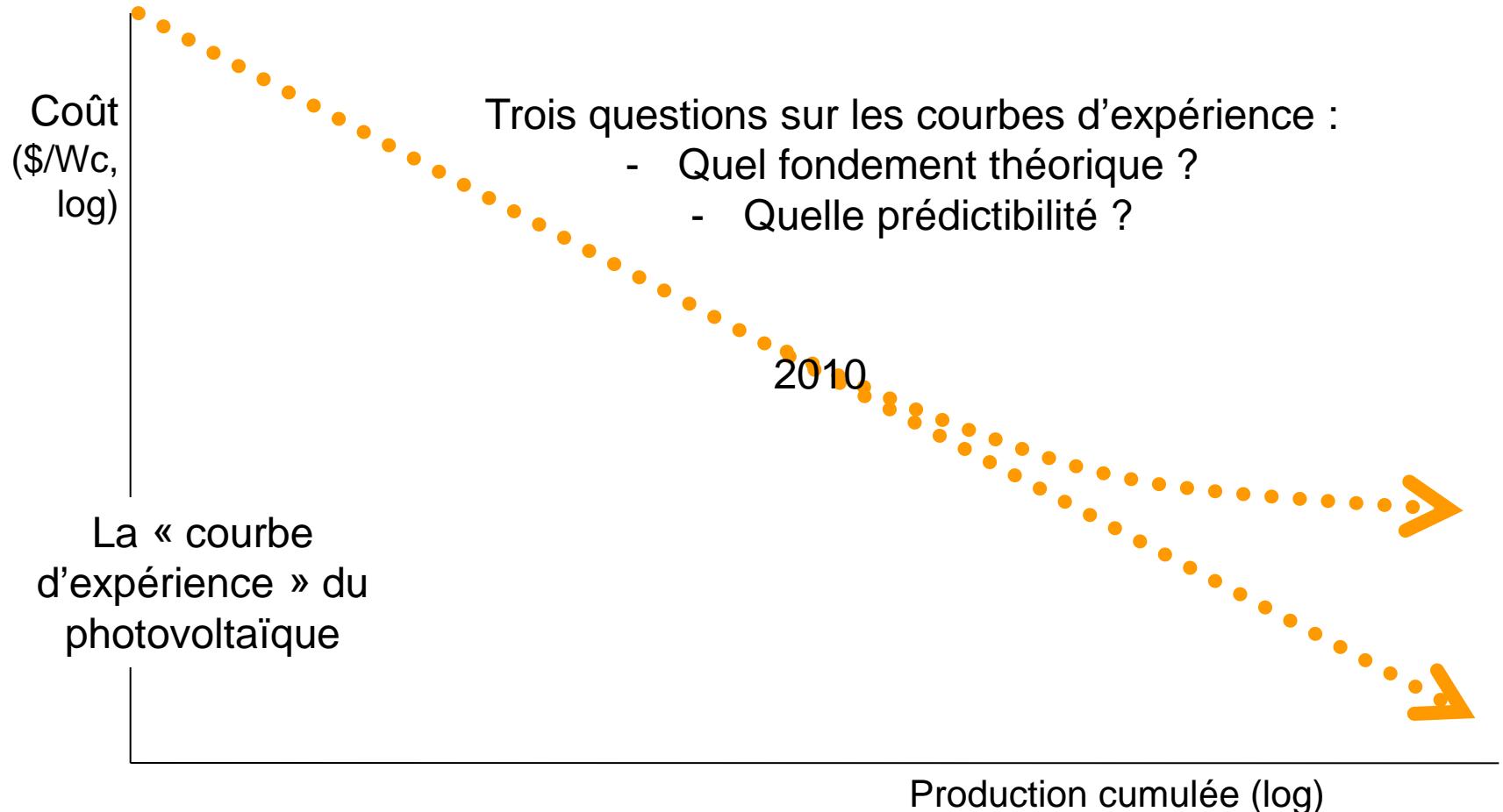
# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?



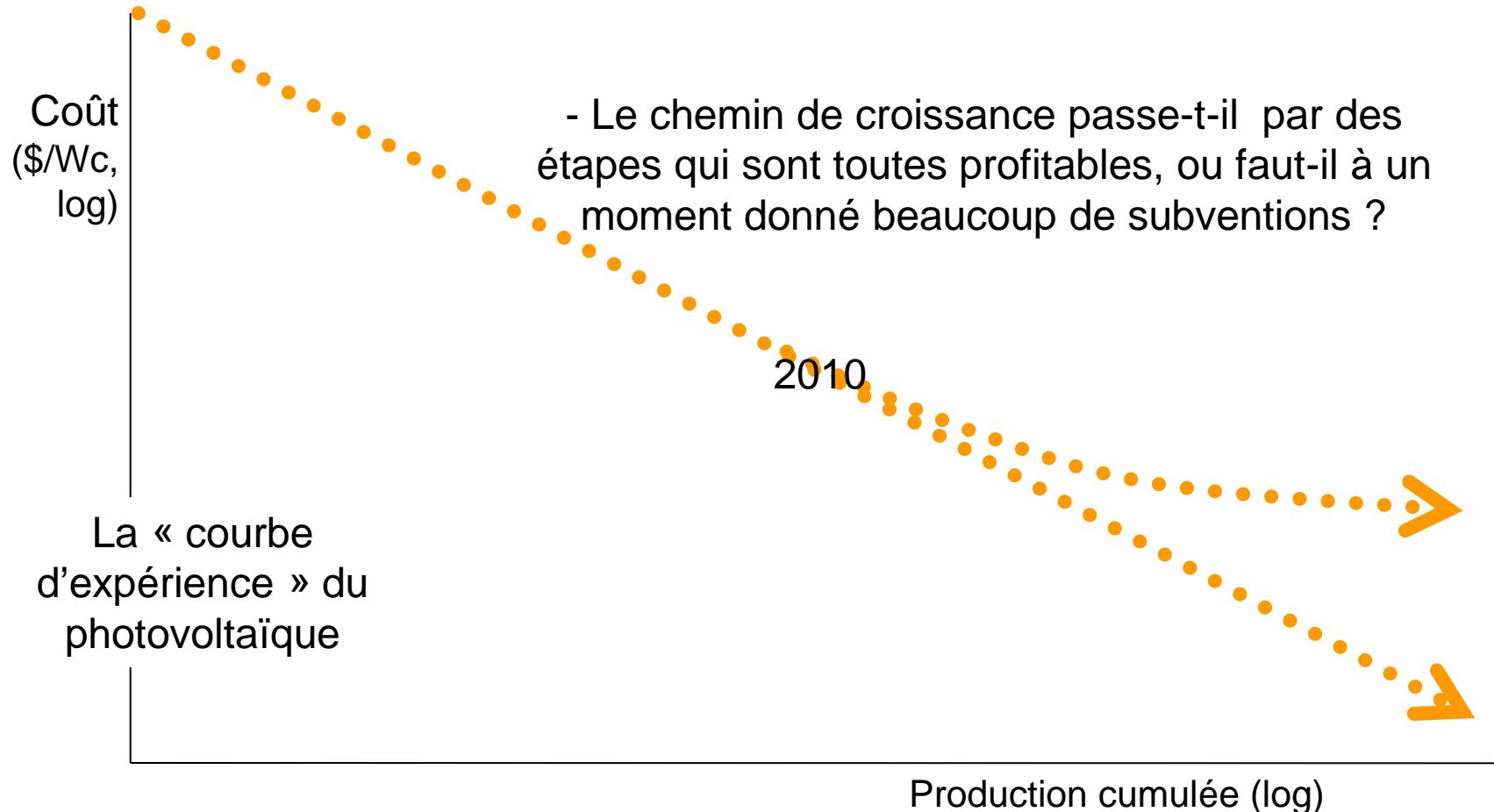
# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?



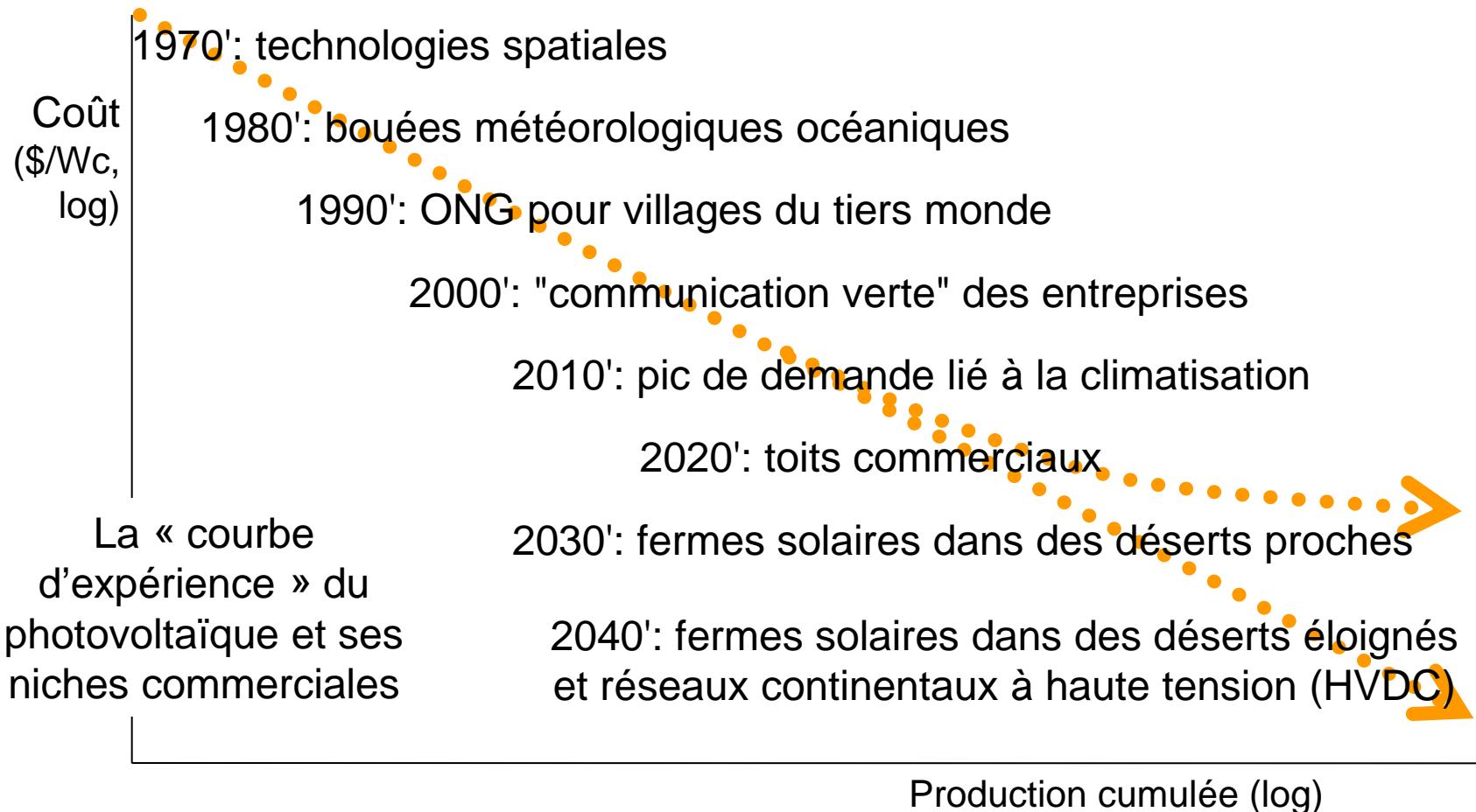
# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?



# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?

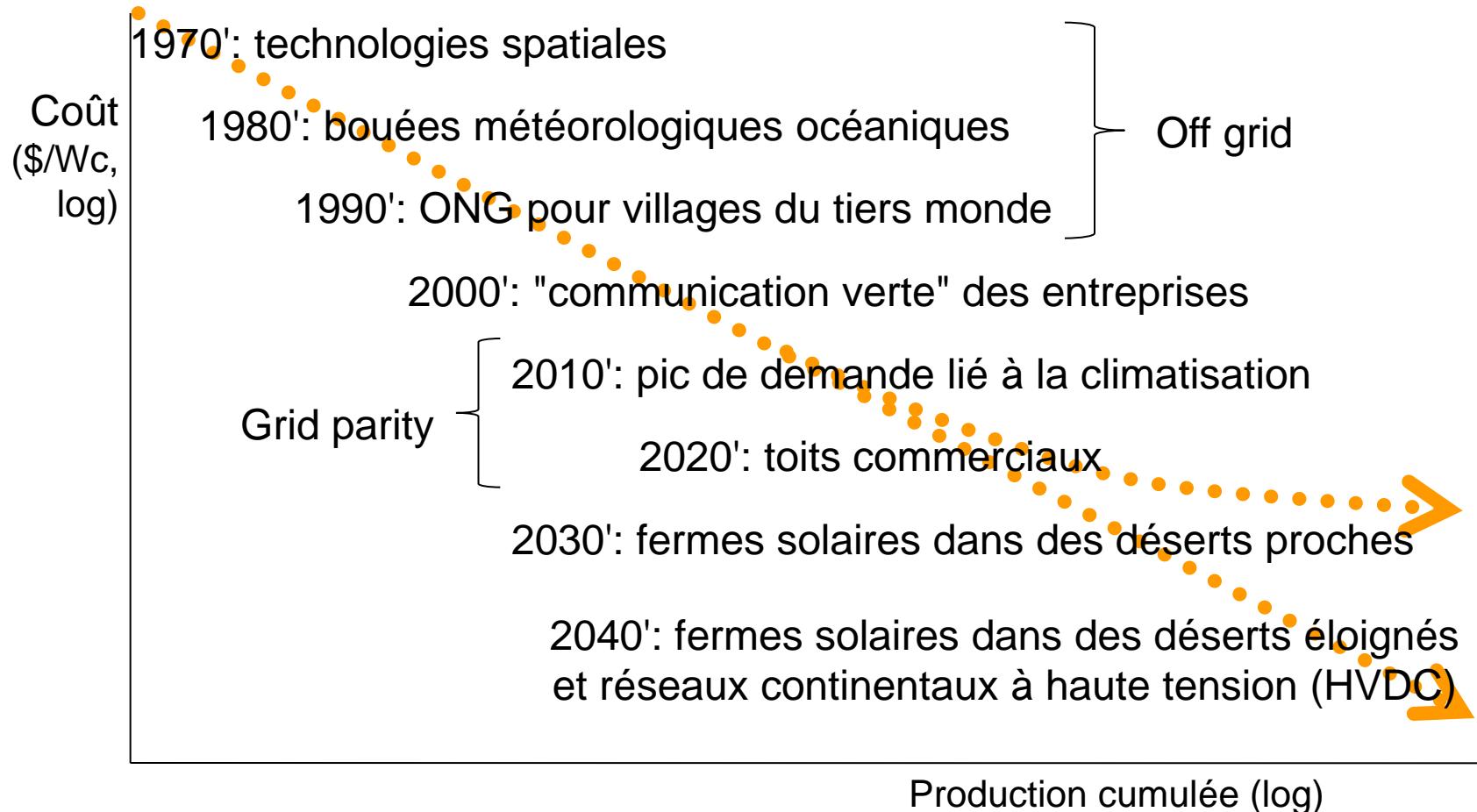


# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?

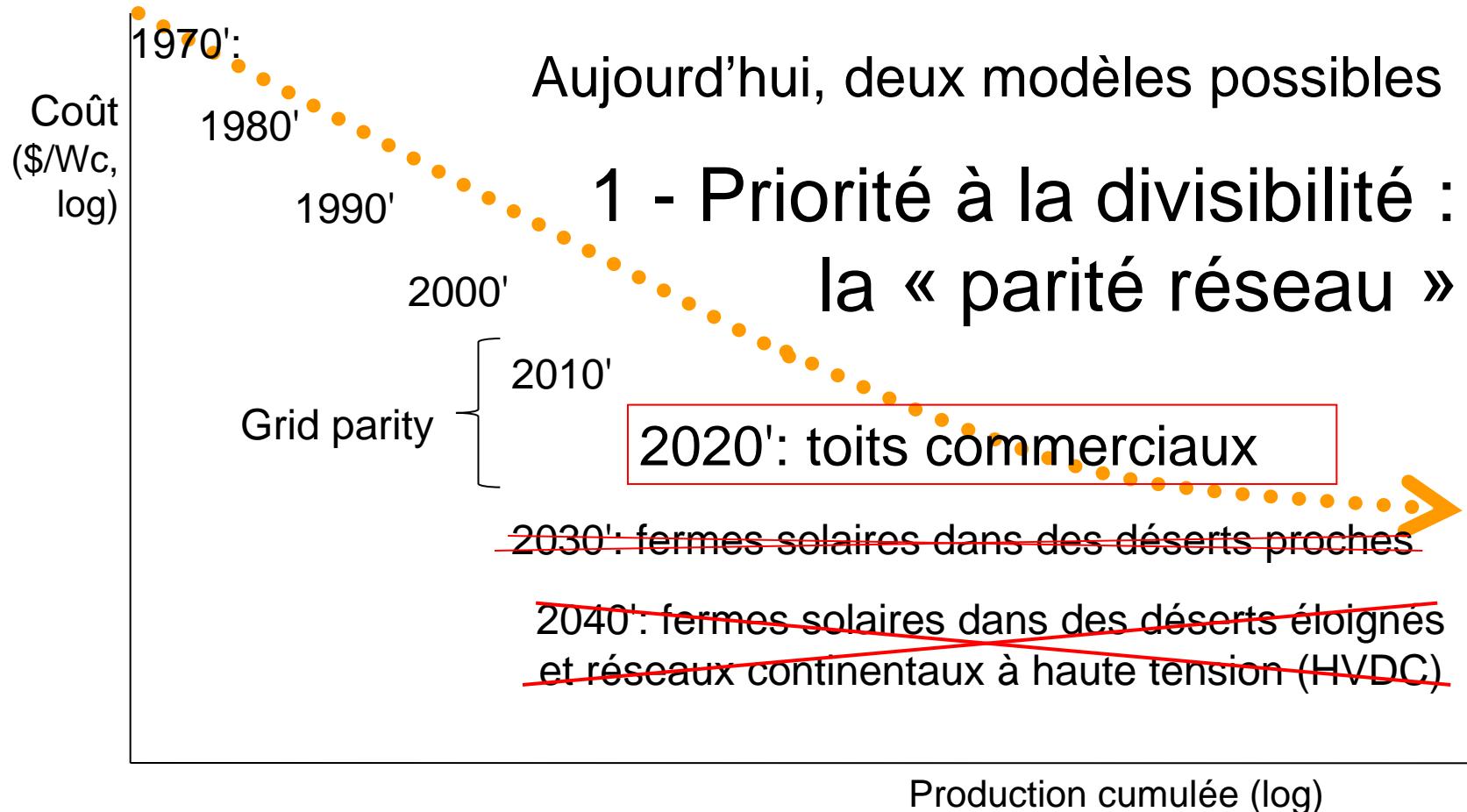


Source : 21 EnR insolites pour le 21<sup>ème</sup> siècle, D. Bonnelle et R. de Richter, Ellipses, 2010

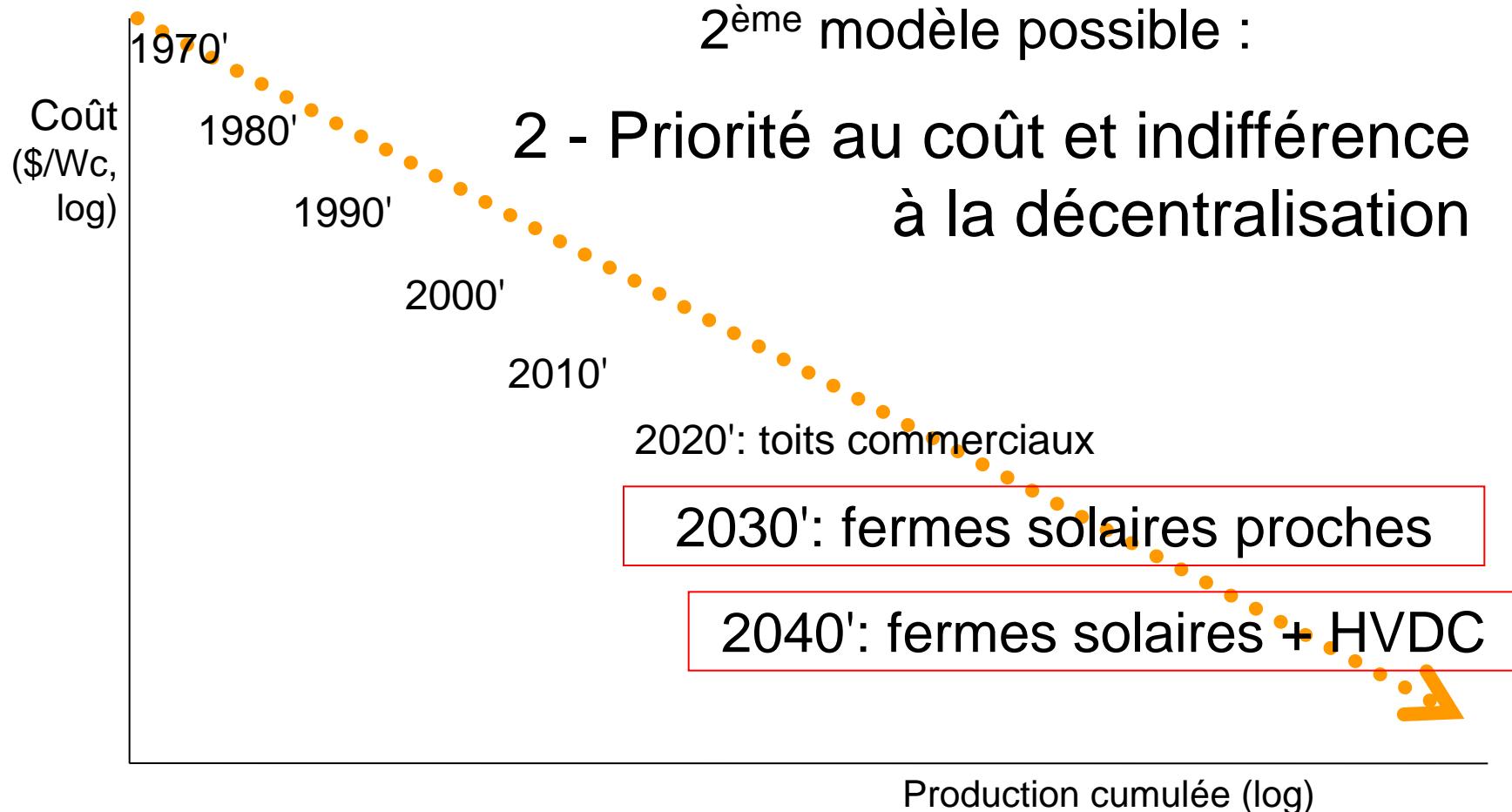
# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?



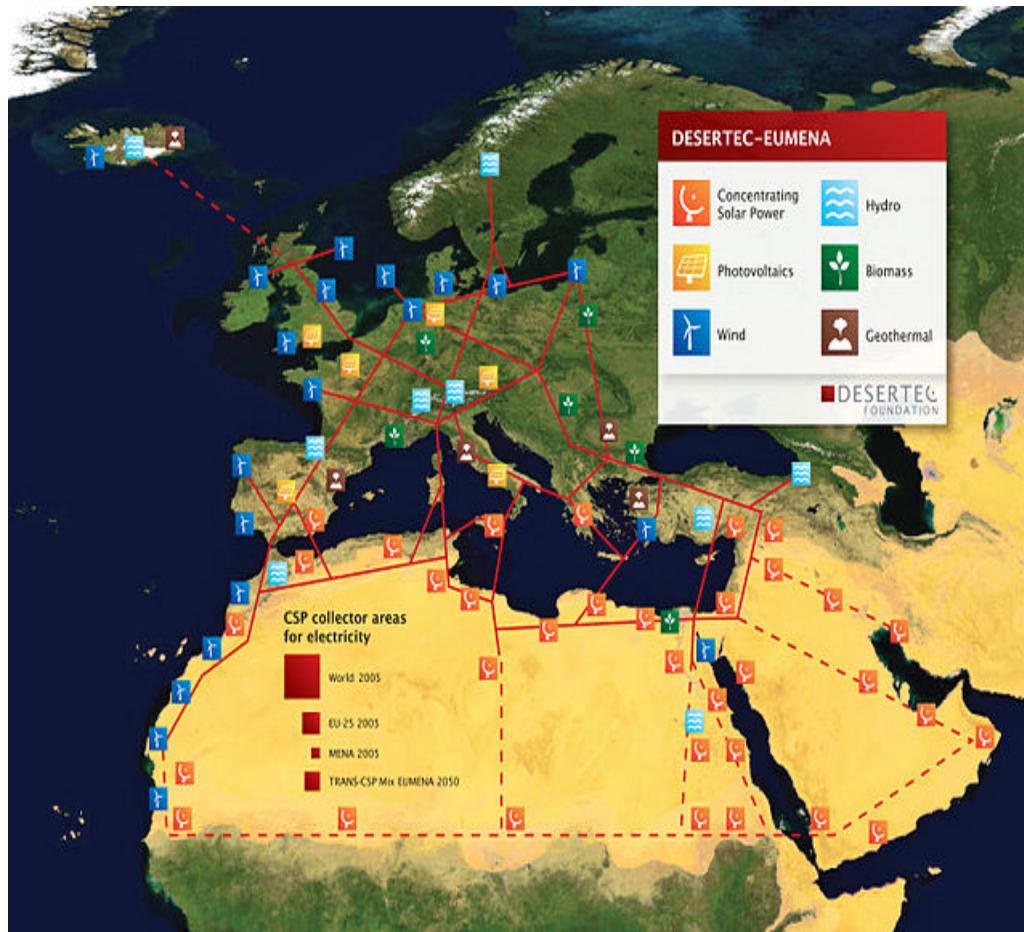
# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?



# La principale qualité du PV est-elle son infinie divisibilité ?



# Desertec est-il mort ?



# Desertec est-il mort ?

Afrique du Nord et soleil : deux caractéristiques qualitatives principales

- Peu de diffusion : excellent pour le CSP
- Les jours ne sont pas trop courts en hiver

# Desertec est-il mort ?

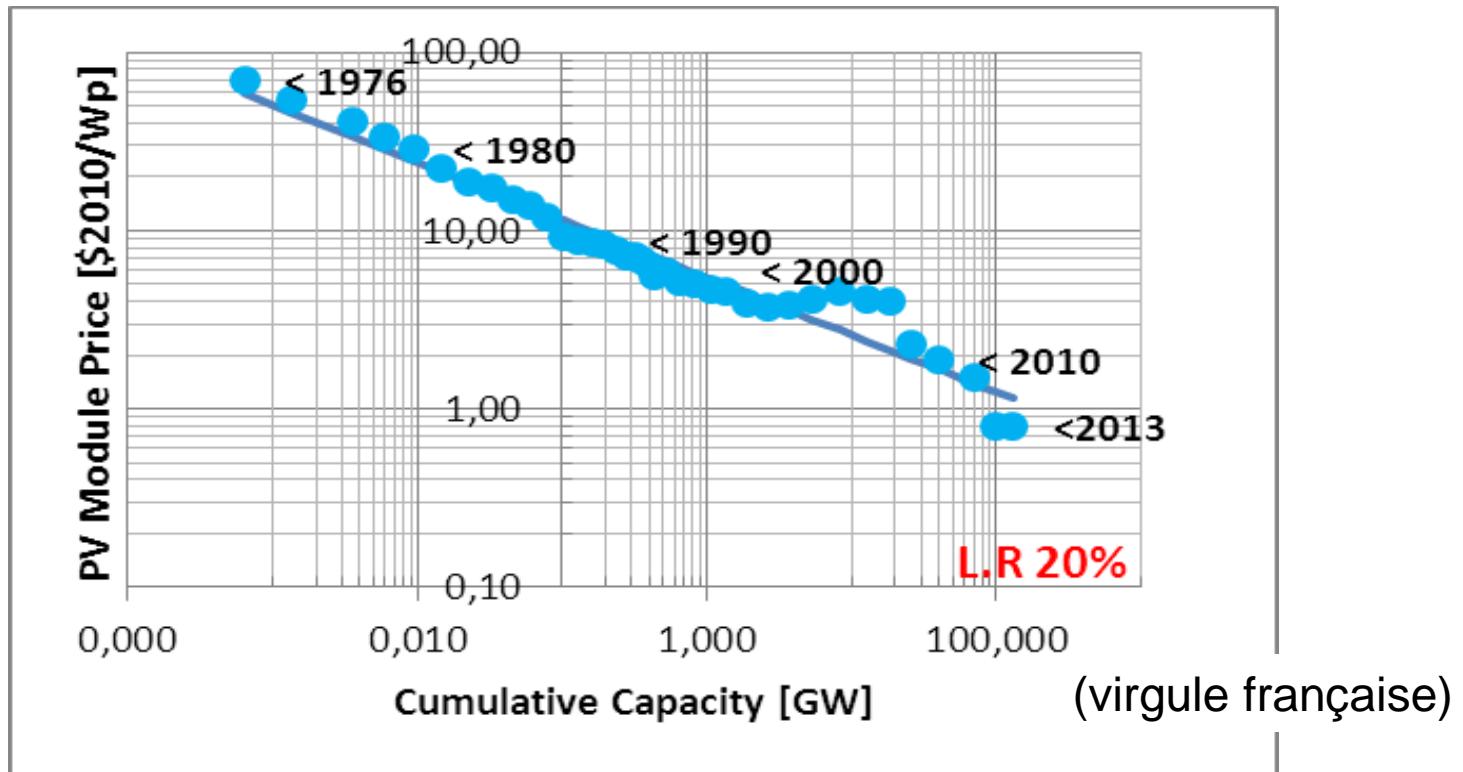
- Le CSP est brutalement dépassé par le PV dans la course aux coûts, mais il reste intéressant pour son stockage intrinsèque :  
→ Il est normal que les industriels membres de Désertec et plus ou moins impliqués dans le CSP prennent le temps de la réflexion.

# Desertec est-il mort ?

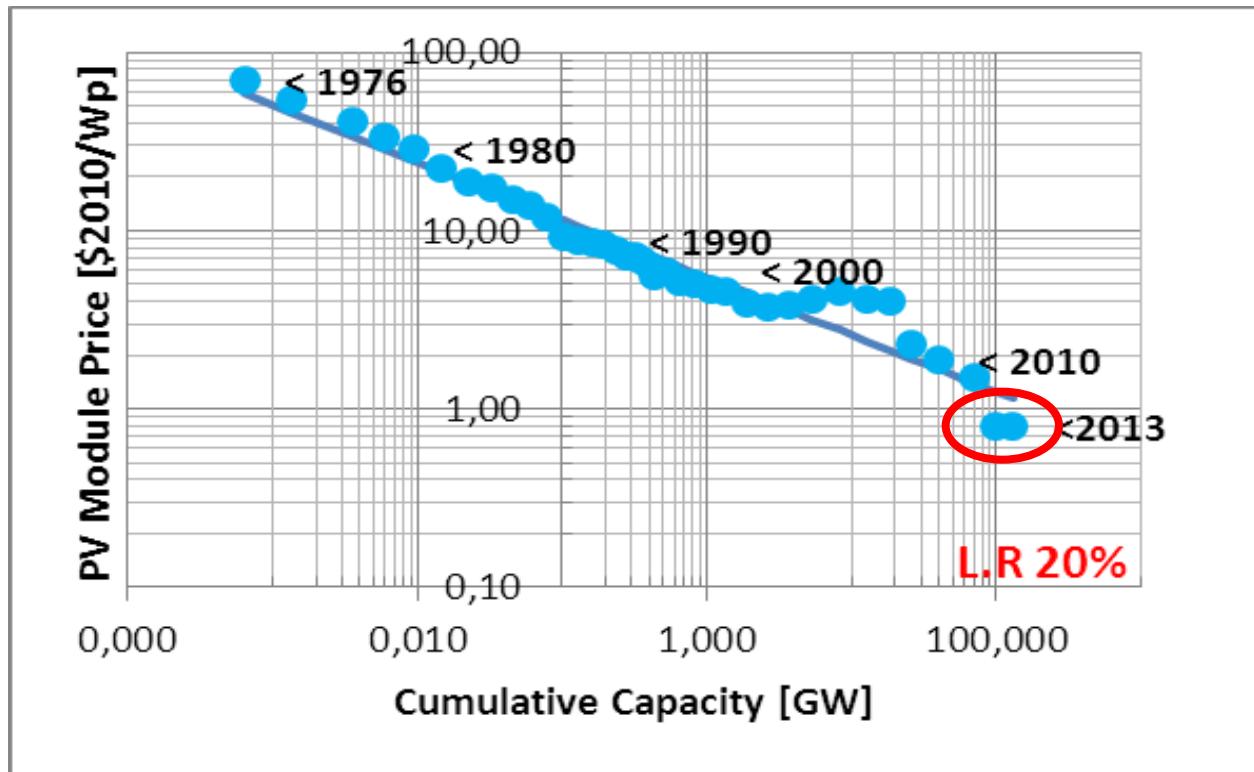
- Le solaire doit-il ambitionner d'être aussi une énergie renouvelable d'hiver ?

→ Ça dépend des limites du gisement éolien (d'abord, on verra des baisses de rentabilité pour des éoliennes « en série »)

# Les fabricants chinois sont-ils coupables de dumping ?



# Les fabricants chinois sont-ils coupables de dumping ?



# Chine et dumping

- Récemment, un contrat au Texas avec un prix d'achat de 50 \$/MWh
  - Même avec une subvention à l'investissement de 1/3, le coût des panneaux laisse vraiment entrevoir une parité de prix de gros du MWh PV avec l'électricité fossile
- Entre-t-on dans une logique vraiment différente ?

# Chine et dumping

- Le PV, une industrie de plus en plus capitaliste :
  - Les coûts variables deviennent minoritaires (surtout hors énergie : l'EROI mérite un débat séparé)
  - Que signifie « dumping » pour des coûts d'amortissement du capital? (amortissement avec ses trois sens : physique, comptable, bancaire)

# Chine et dumping

- Au pire, ils ne payent que leurs coûts variables ; pour l'amortissement mais aussi pour les augmentations de capacité, « le temps s'est arrêté ».
- Complètement contradictoire avec la soumission à l'obsolescence commerciale qui nous caractérisait il y a encore 3 ans.

# Chine et dumping

- Obsolescence commerciale (mais pas physique) : crainte des concurrents (croissance exponentielle), crainte des régulateurs.
- Ralentir le temps et gagner sur les amortissements, soit, mais quel modèle d'affaires pour les fabricants de robots ?

# Quel modèle d'affaires pour les fabricants de robots ?

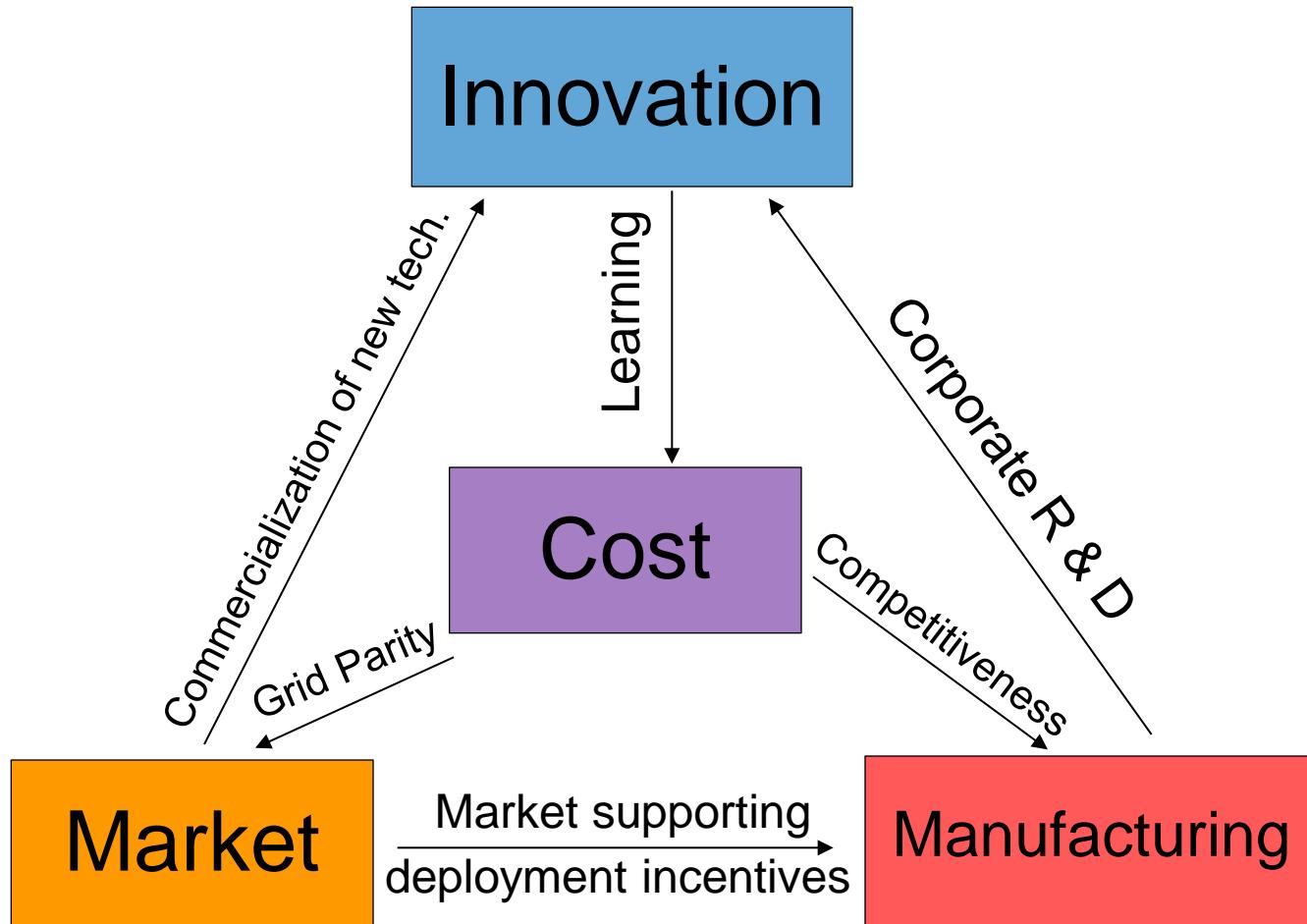
- En poussant le raisonnement à l'extrême, on abandonne la croissance exponentielle et on adopte le modèle des « usines d'usines »
- Quelques usines centrales qui, chaque jour, produiraient chacune l'équipement complet d'une nouvelle usine capable de produire 100 000 panneaux de 1 m<sup>2</sup> par an (soit un toutes les cinq minutes)

# Un plan d'action

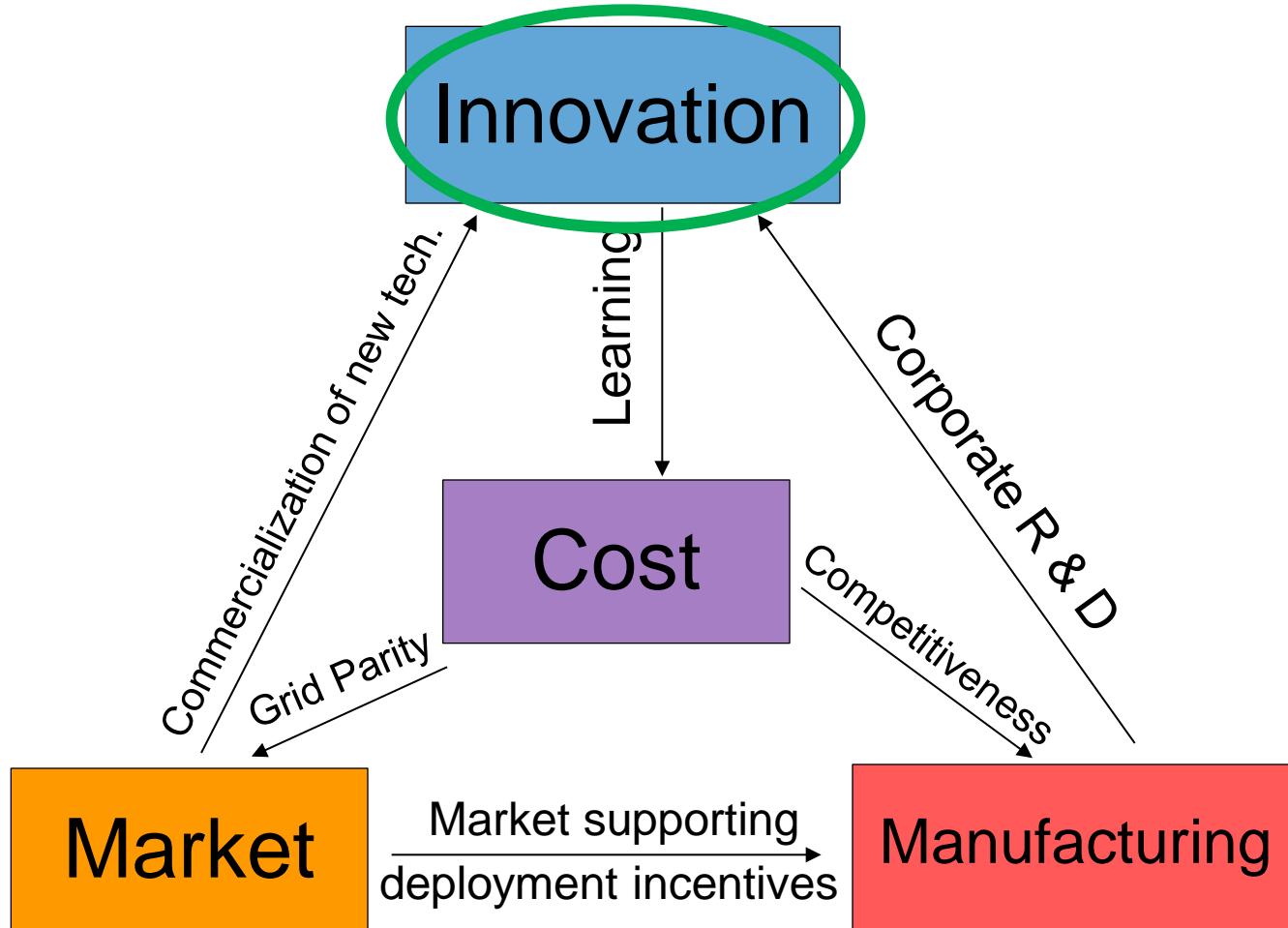
# Un plan d'action : juste un schéma à inverser

- Modèle classique de développement du PV : suivre la courbe d'expérience (learning curve), en insistant sur « learning », donc en conservant le même taux de R & D

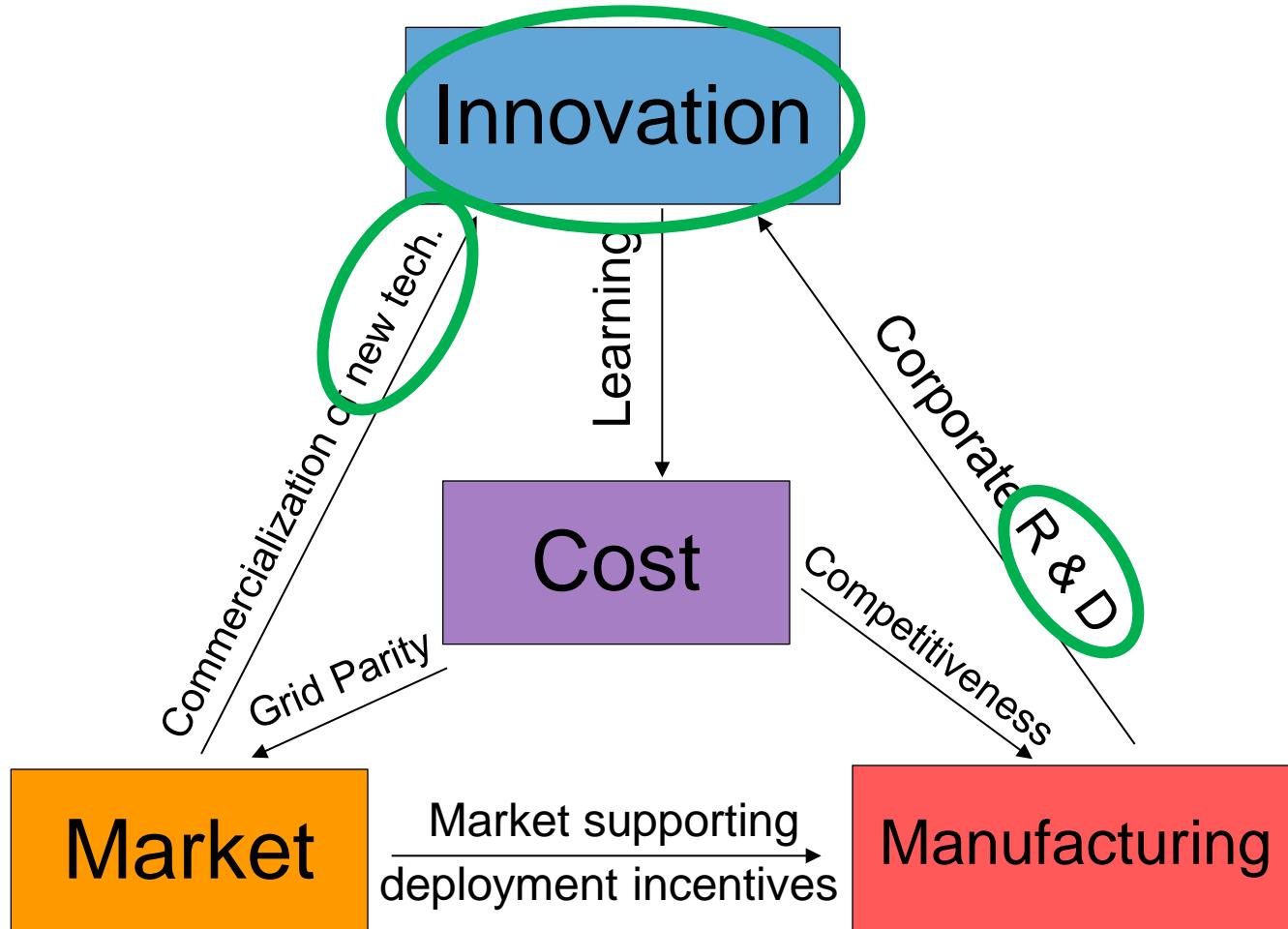
# La R & D, unique planche de salut ?



# La R & D, unique planche de salut ?



# La R & D, unique planche de salut ?



# La R & D, unique planche de salut ?



# La R & D, unique planche de salut ?

À la Une

48

## ÉNERGIE SOLAIRE

*Exit le coûteux silicium du photovoltaïque: aujourd'hui, une véritable révolution technologique est en marche. Super capteurs, centrales thermiques produisant en continu, cellules en plastique à bas prix, les innovations sont légion, qui devraient, à terme, sortir le solaire de la marginalité.*

Et le progrès technologique n'est pas le seul facteur de compétitivité: la maîtrise grandissante de l'industrie assure un abaissement régulier des coûts. Depuis trente ans, chaque doublement de la surface de panneaux solaires produite dans le monde (en gros tous les trois ans) a engendré une chute de prix de 20 %.

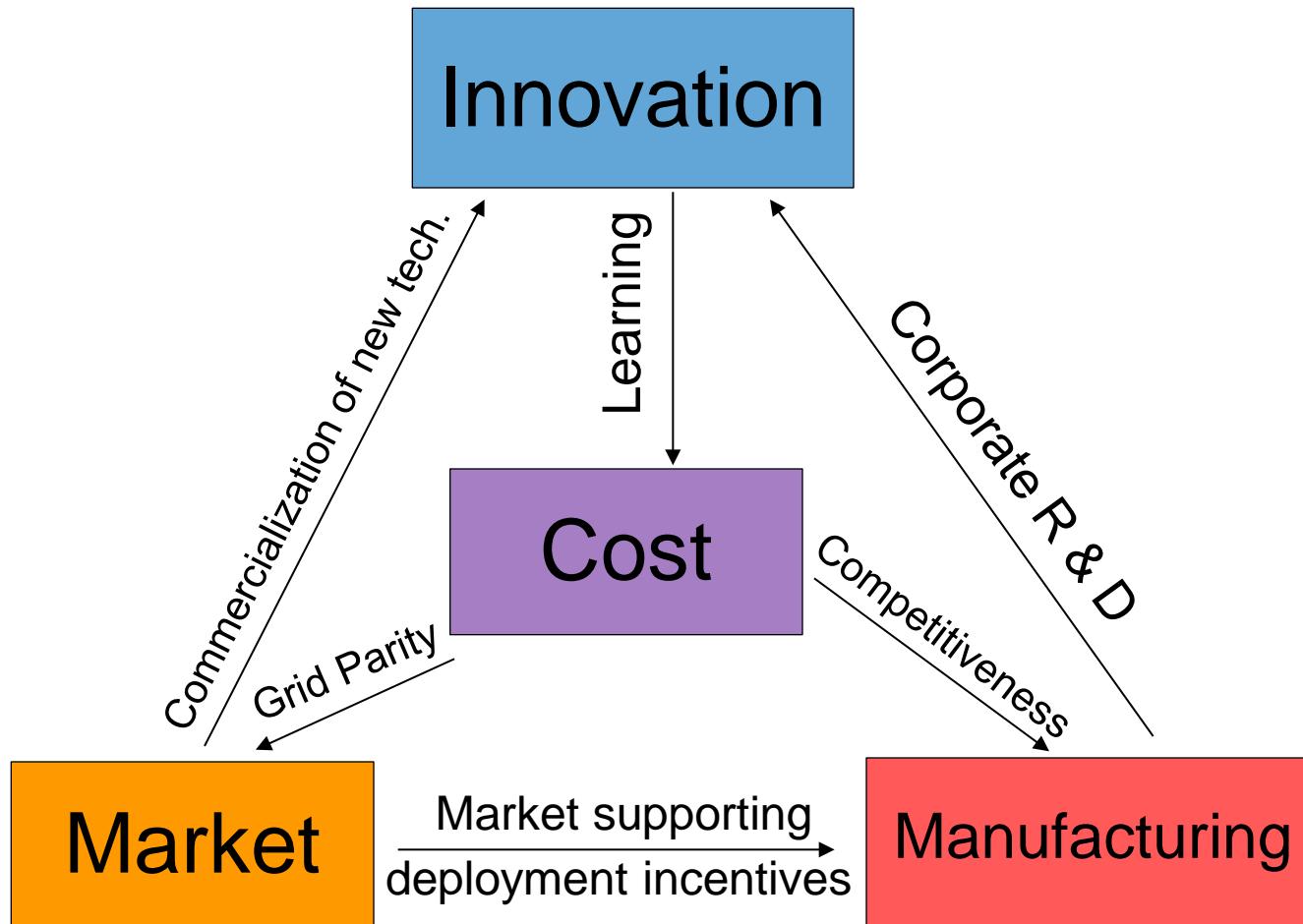
# La R & D, unique planche de salut ?

- Conclusion :

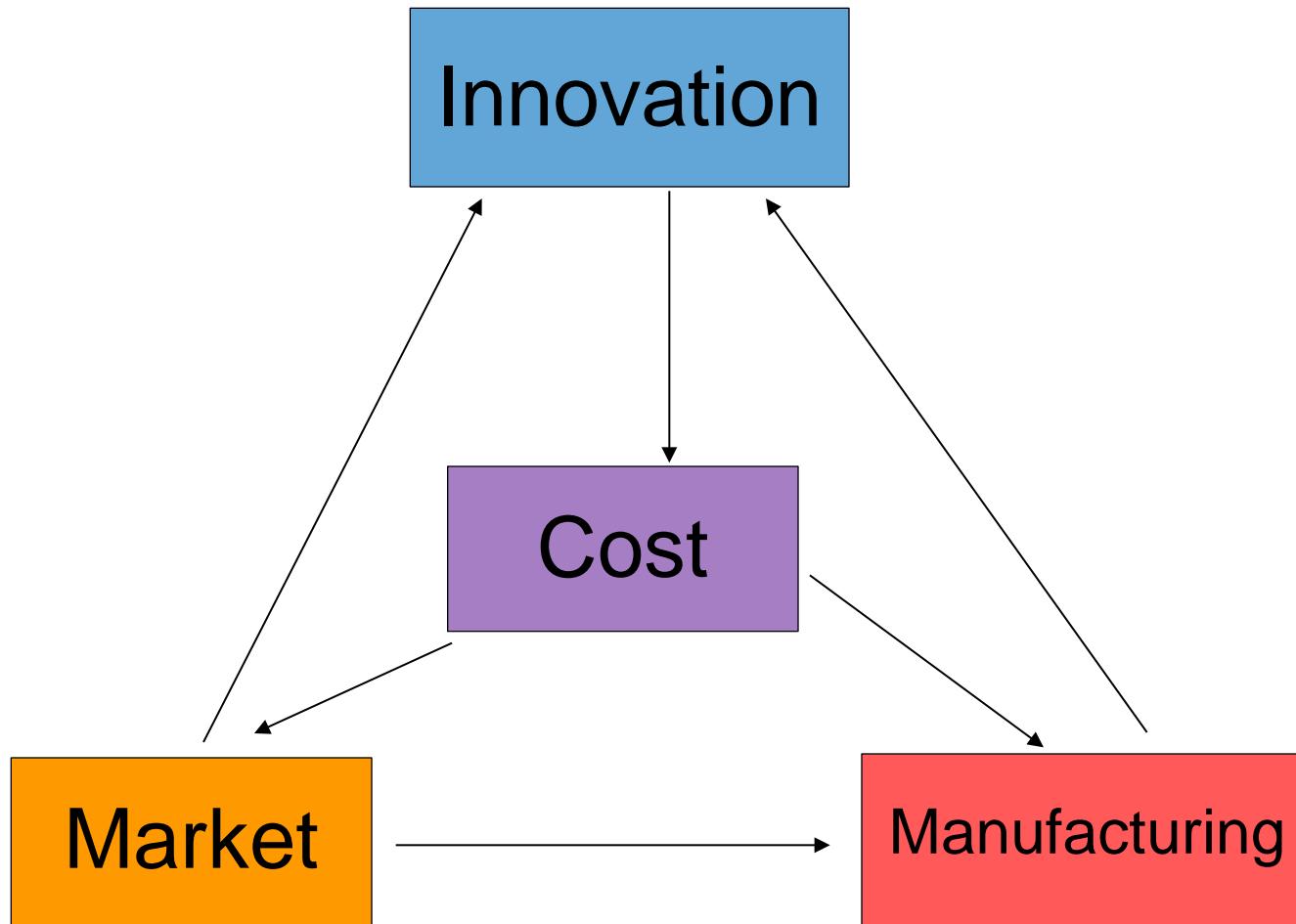
Peut-il exister des innovations de rupture ailleurs que dans le champ technologique ?

En particulier, un mode particulier d'organisation d'une filière peut-il avoir un effet macroéconomique ?

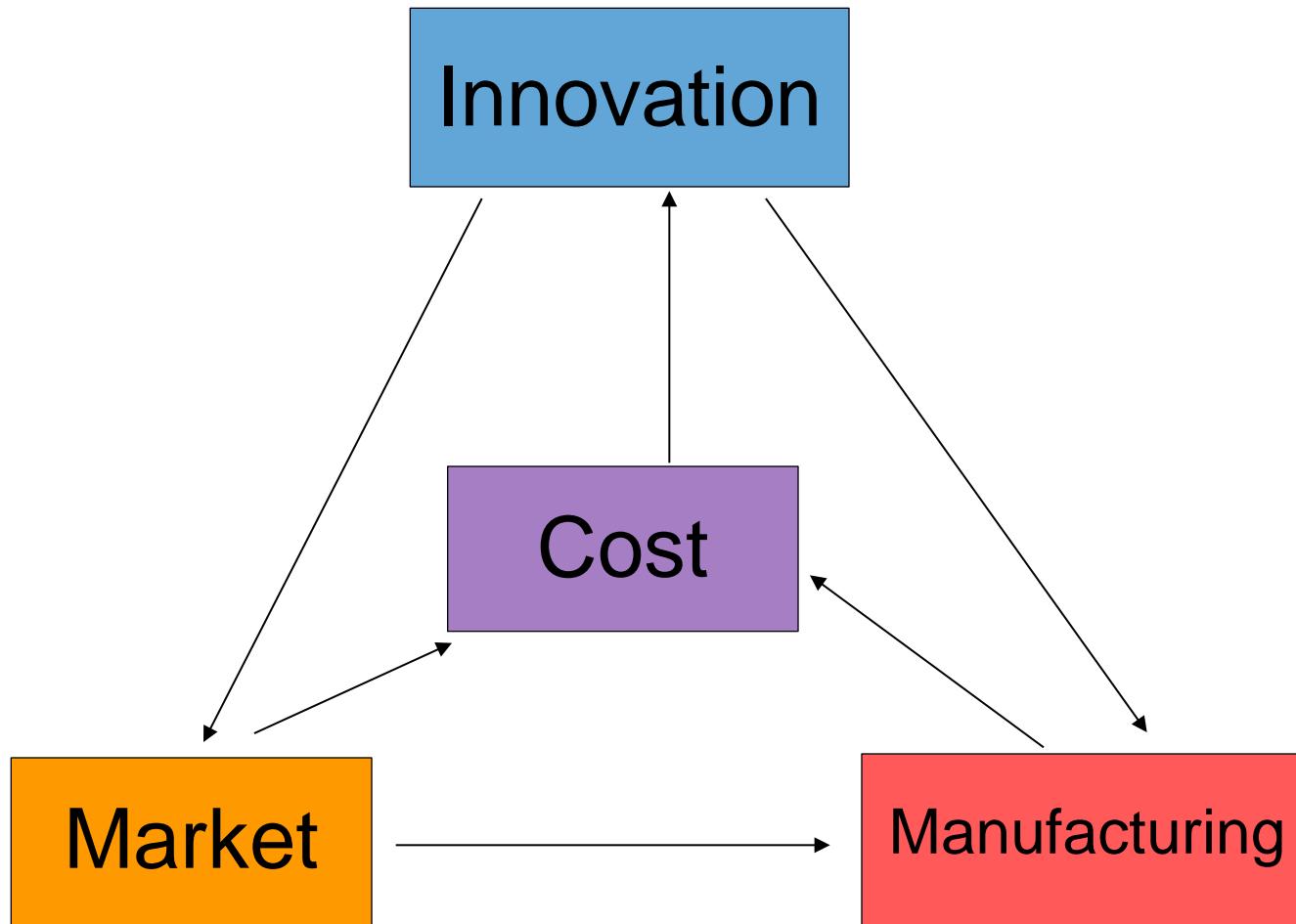
# Un schéma à inverser



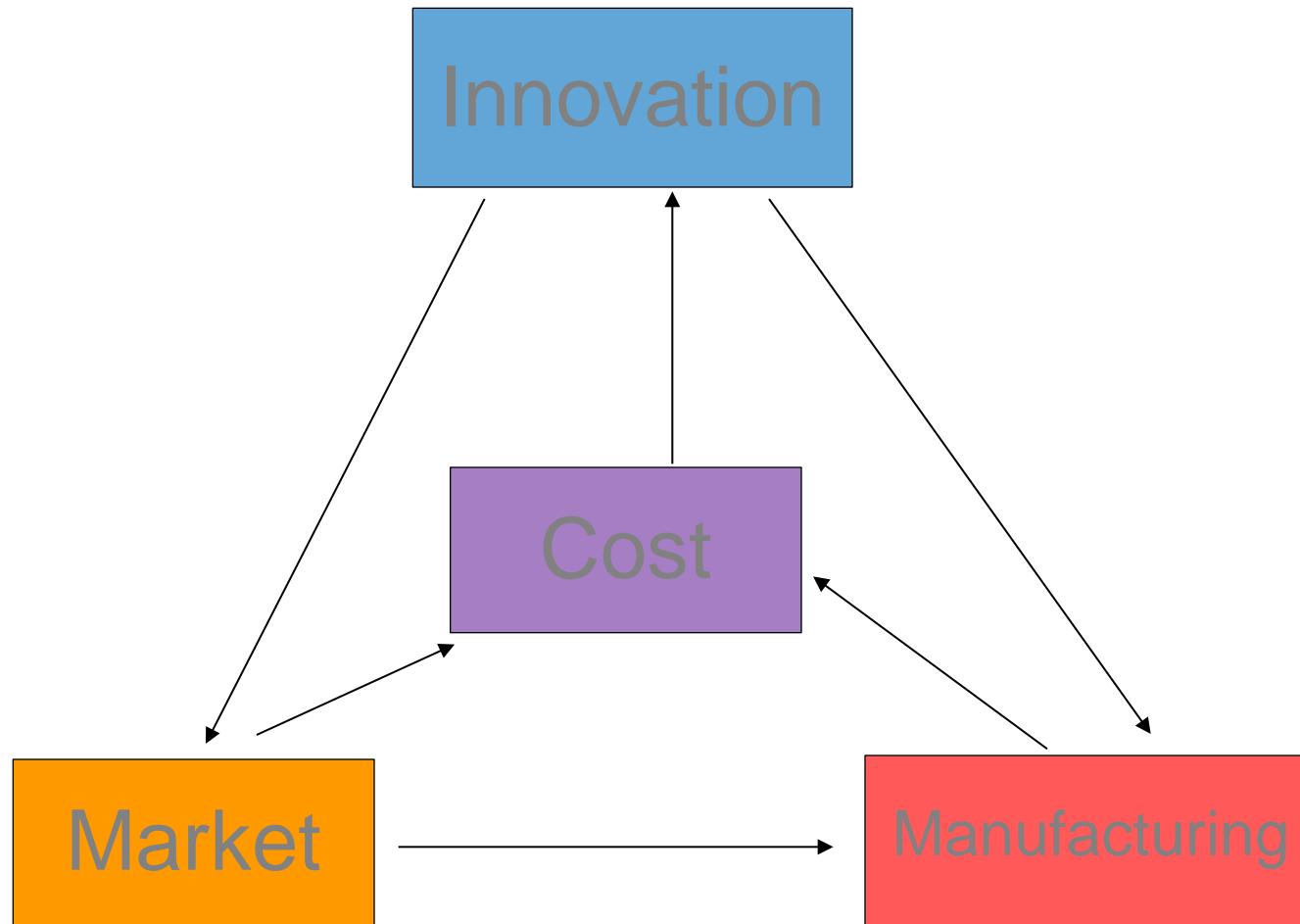
# Un schéma à inverser



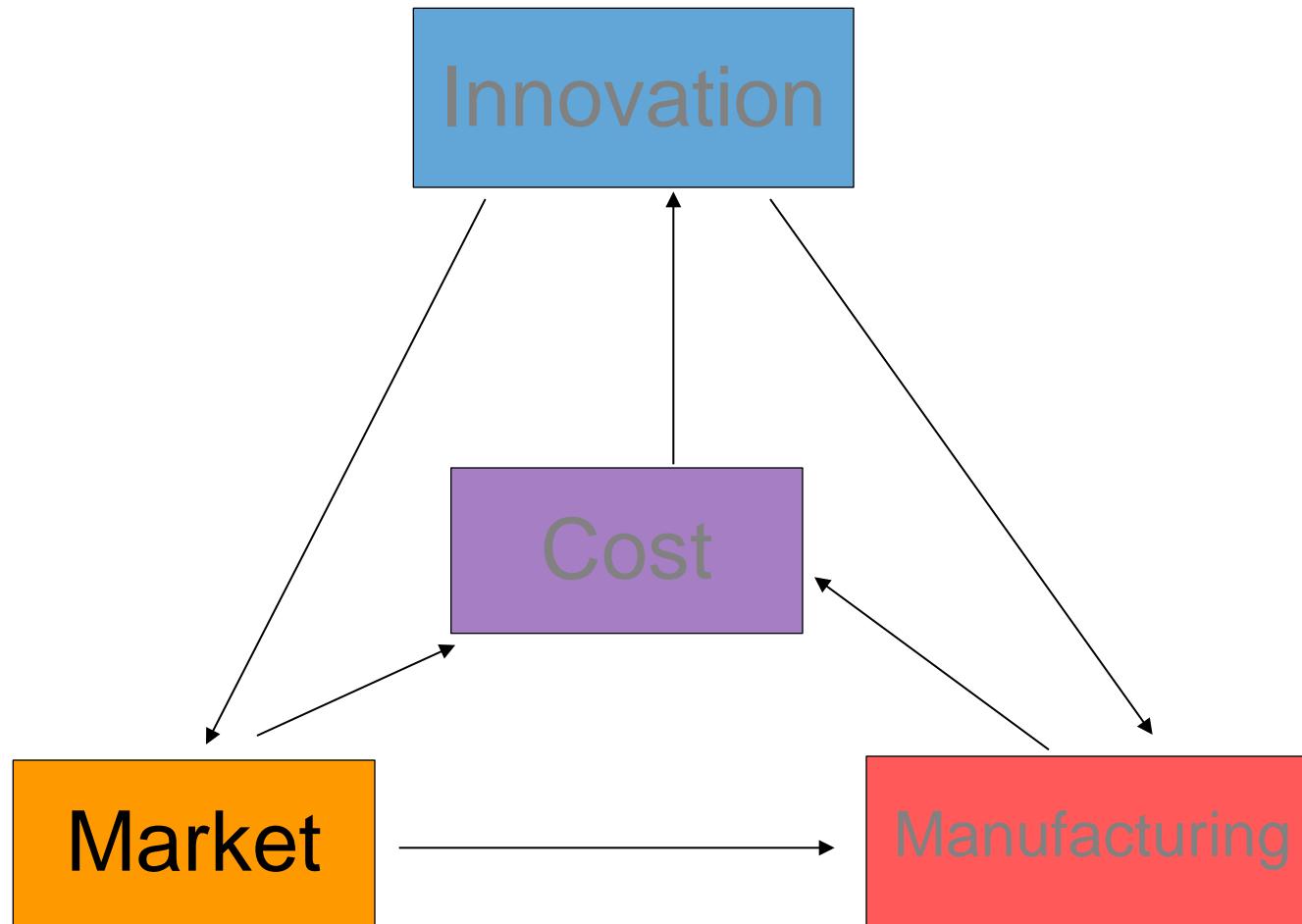
# Un schéma à inverser



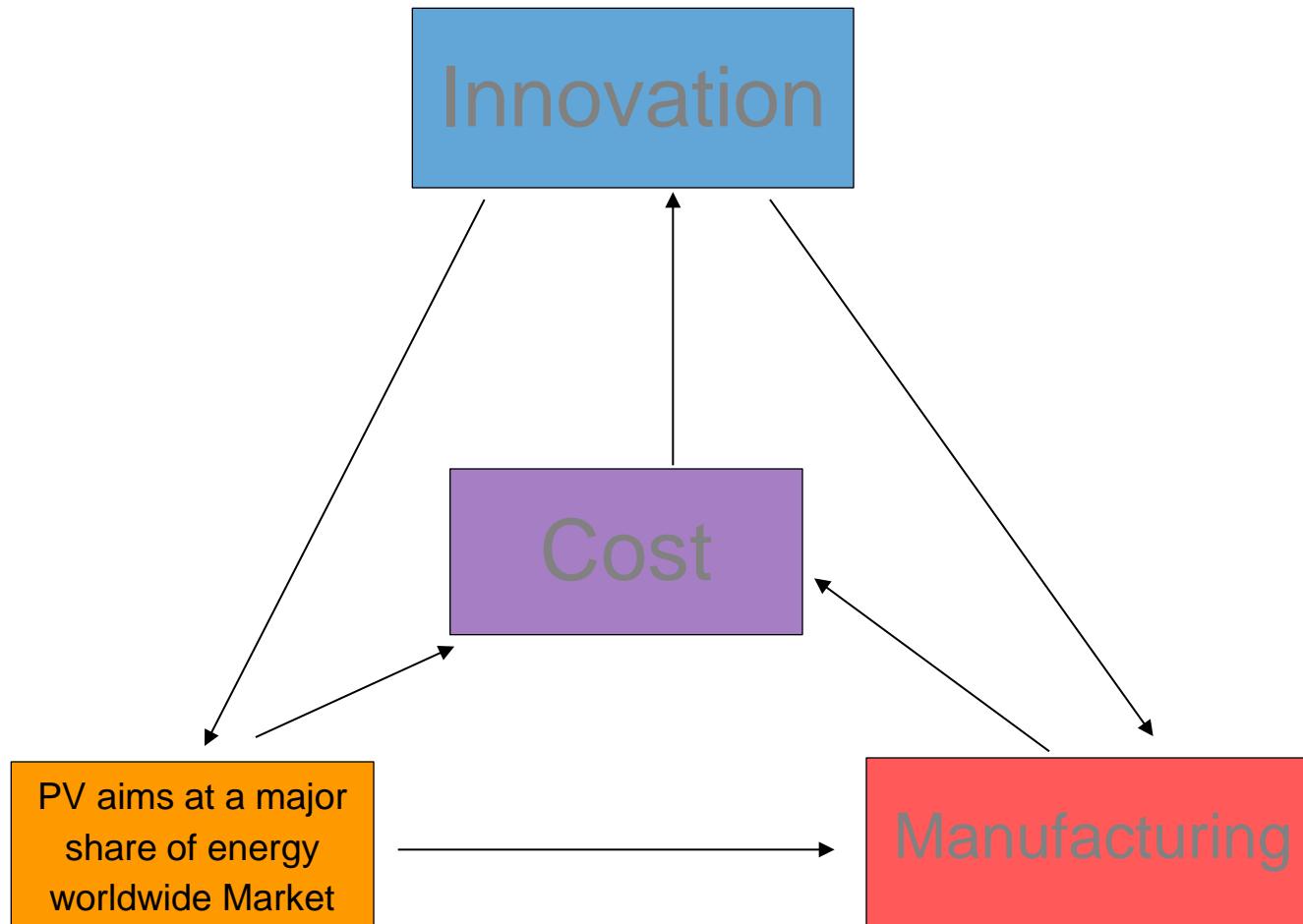
# Un schéma à inverser



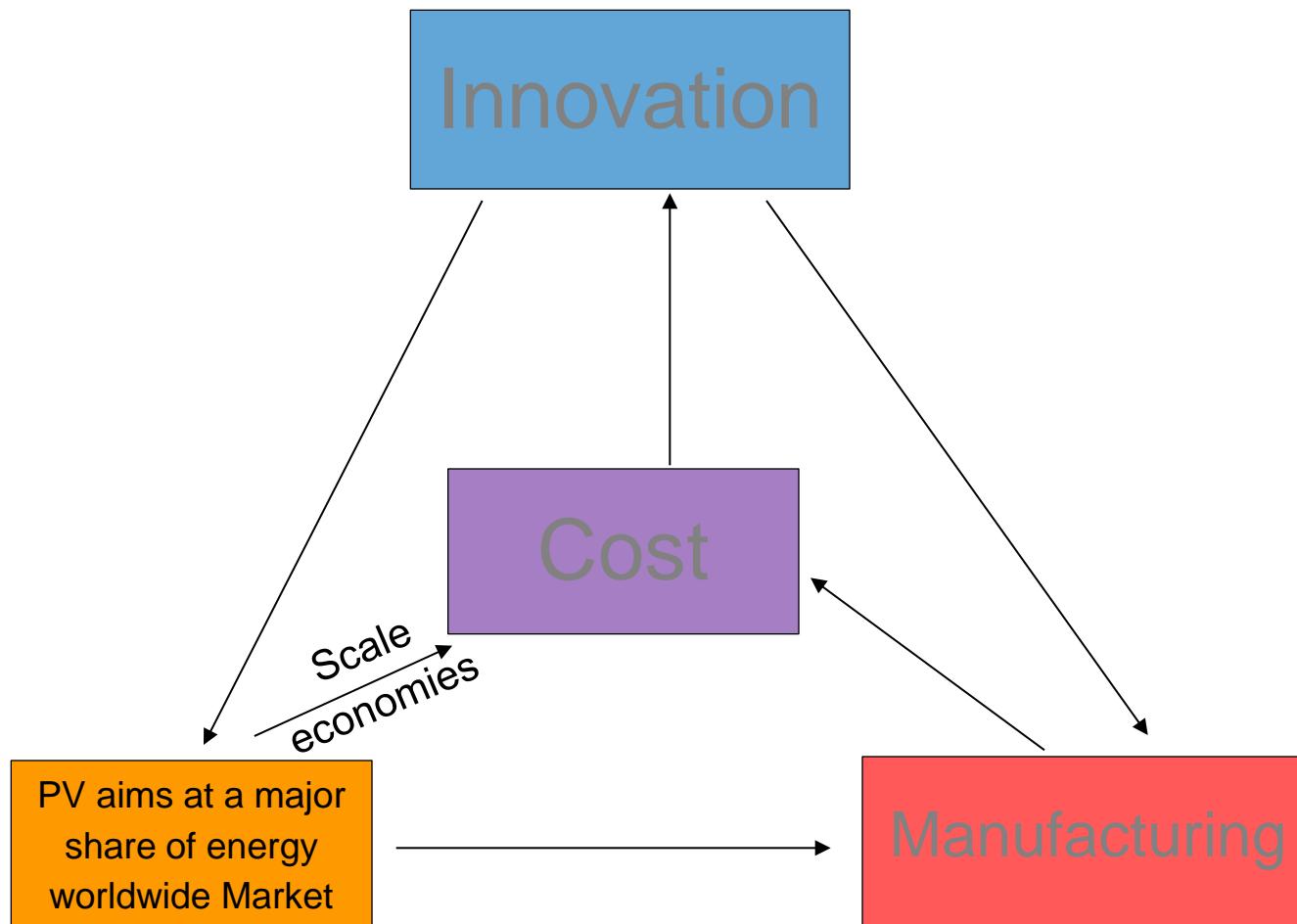
# Un schéma à inverser



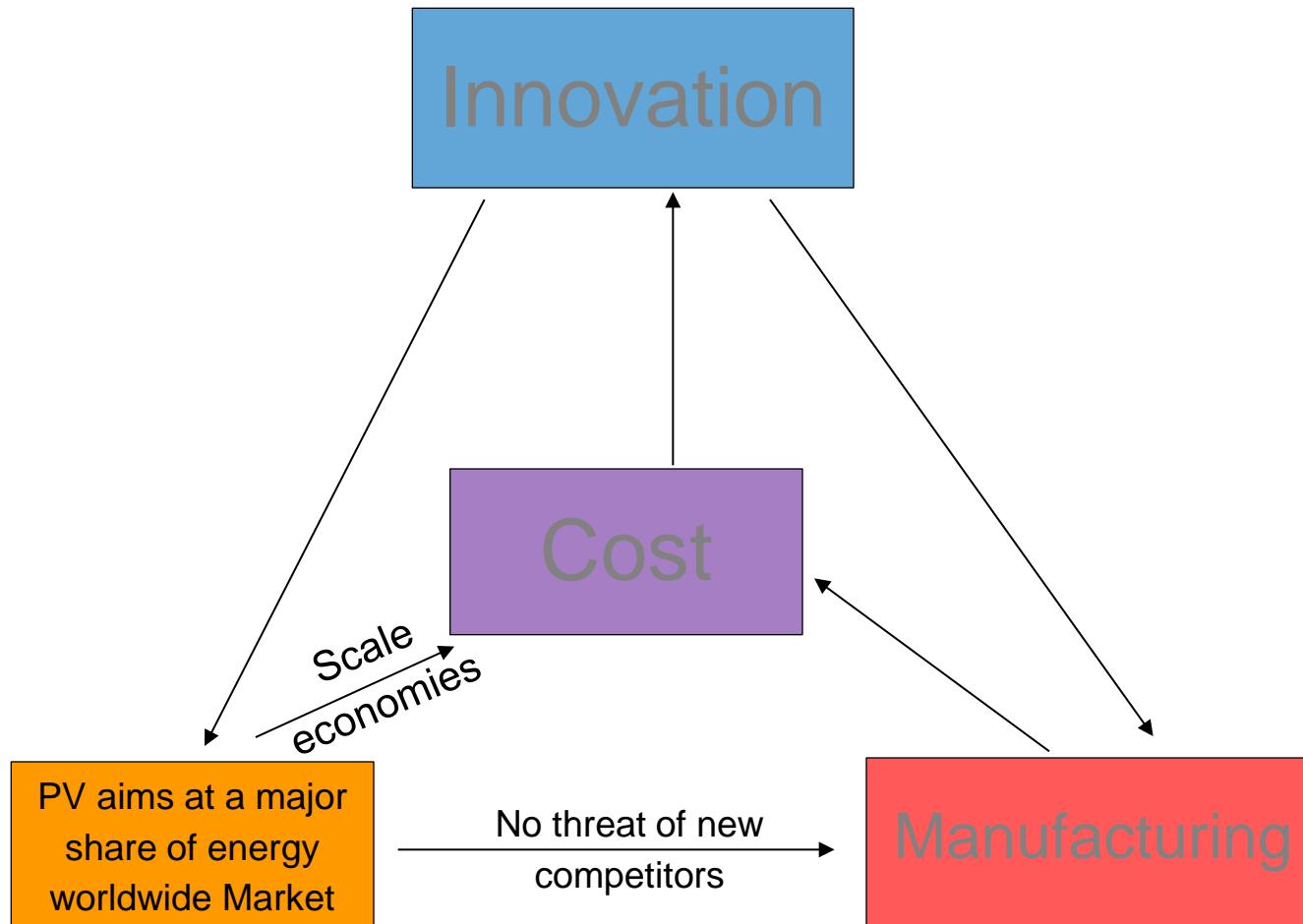
# Un schéma à inverser



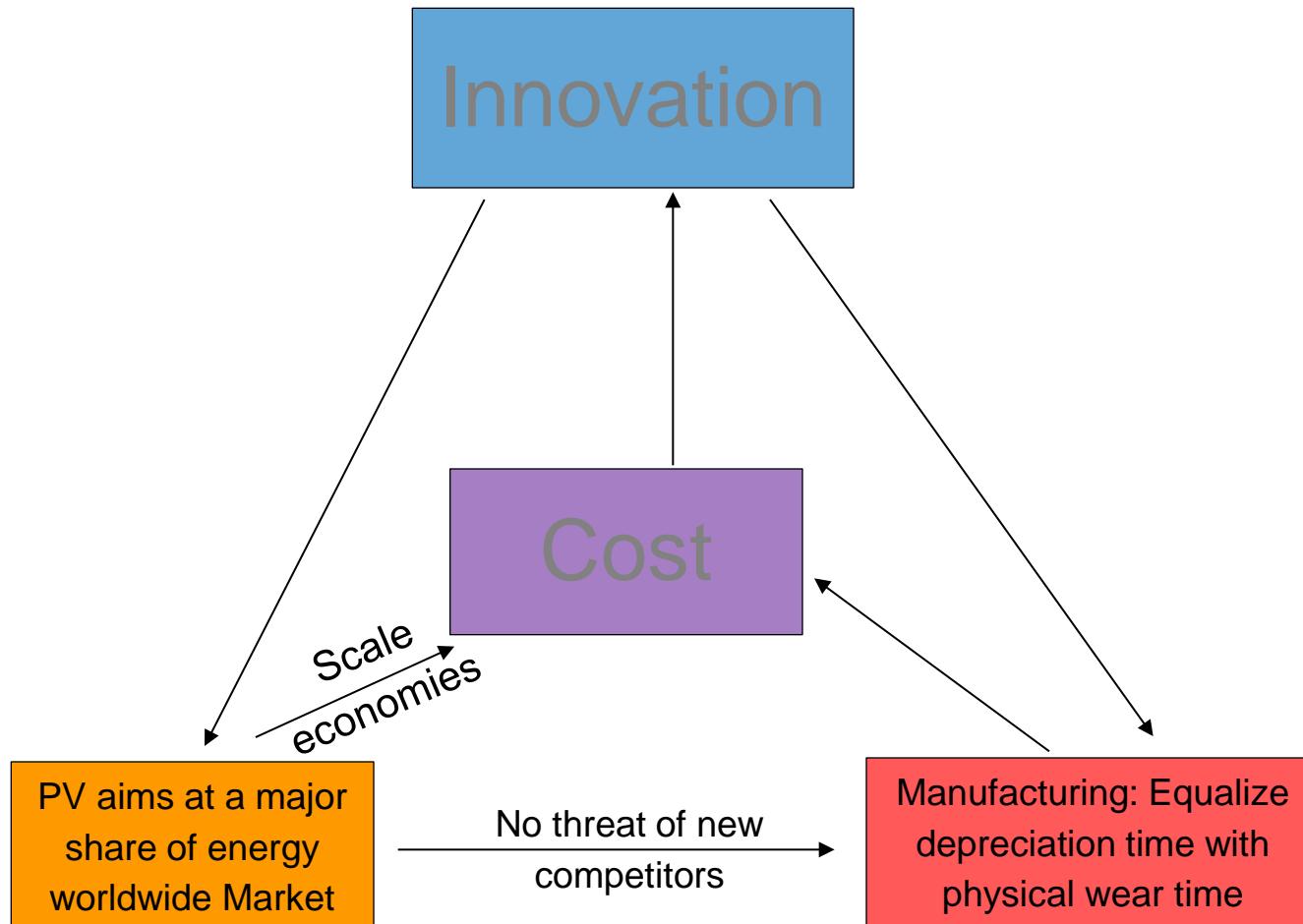
# Un schéma à inverser



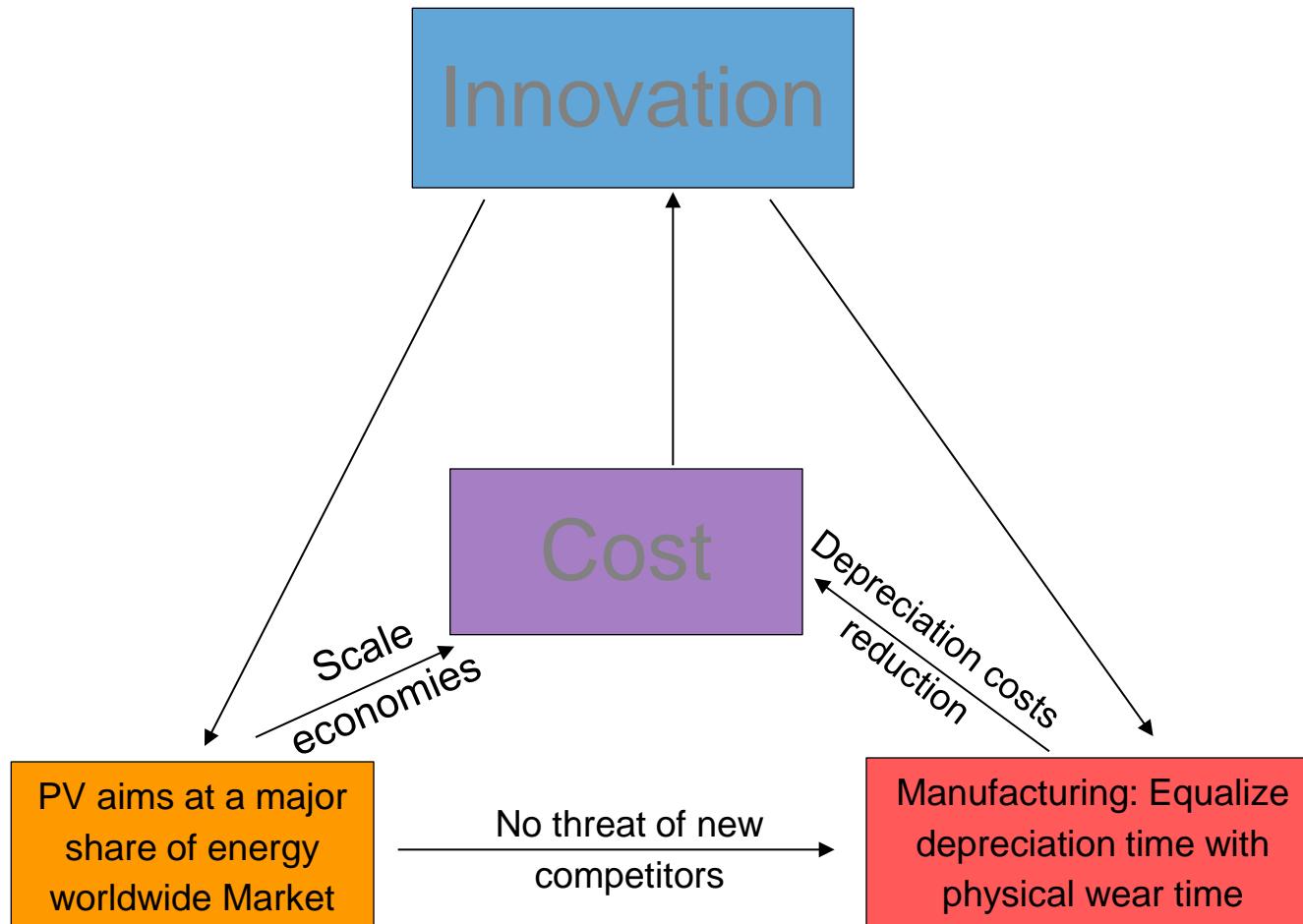
# Un schéma à inverser



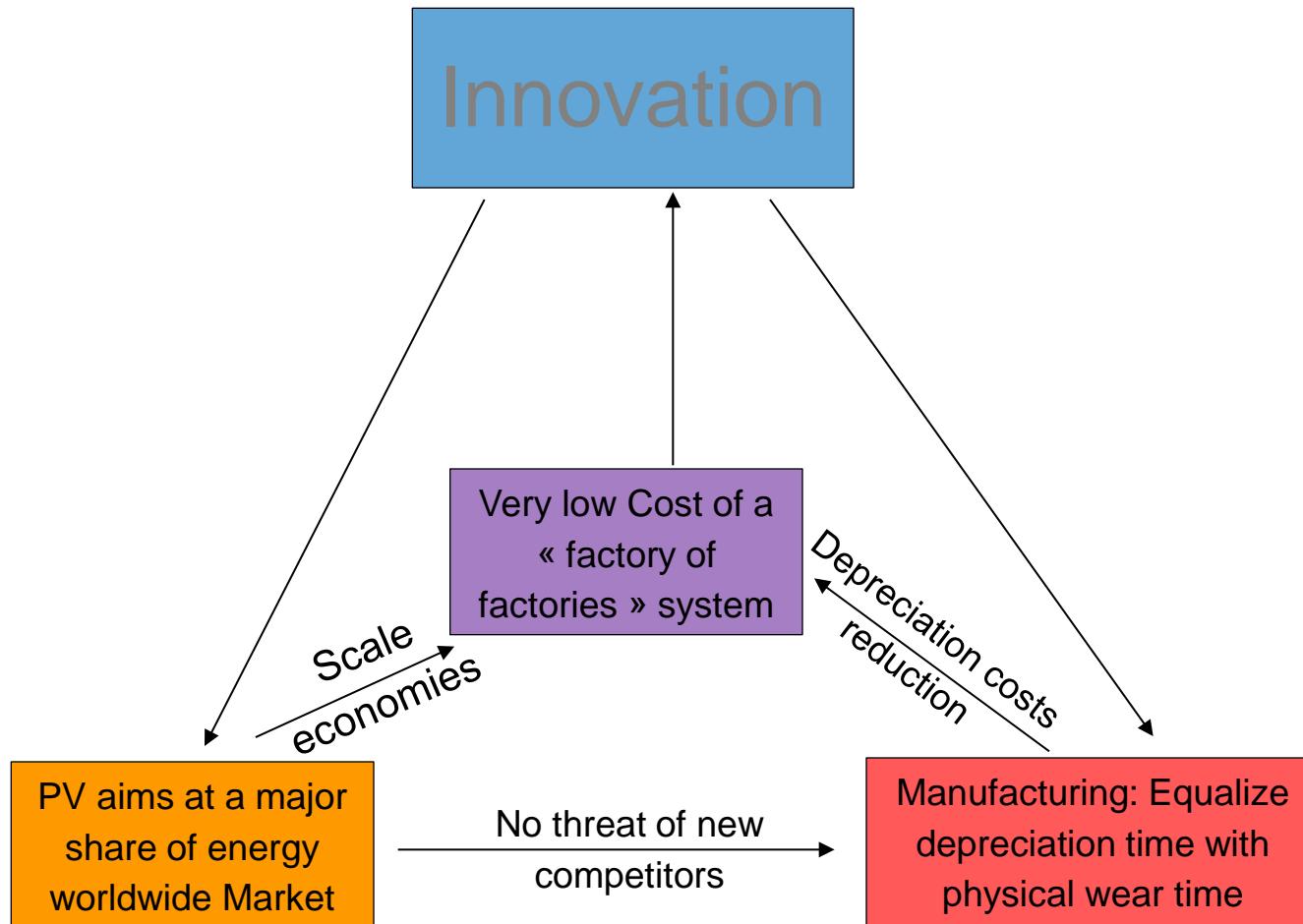
# Un schéma à inverser



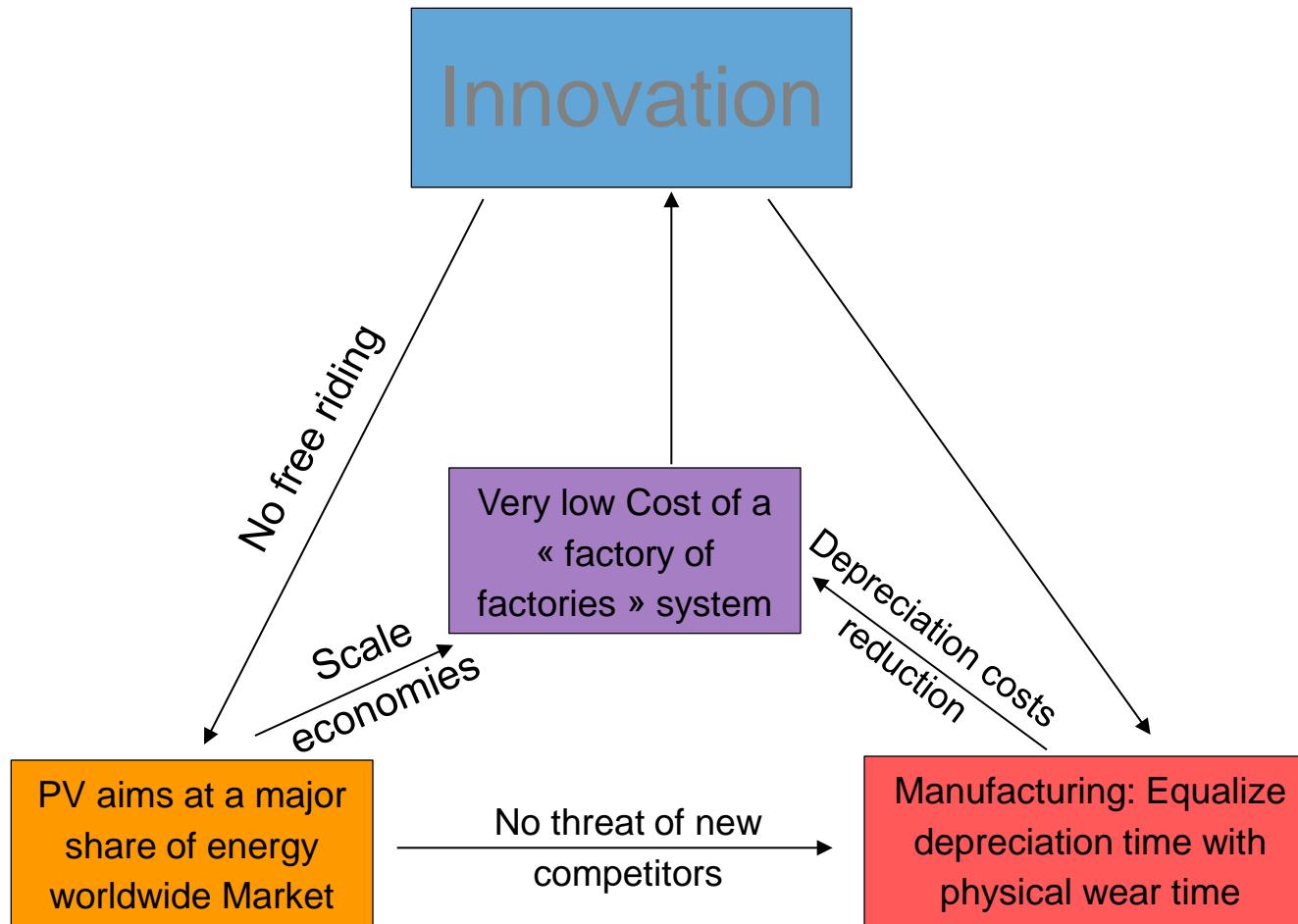
# Un schéma à inverser



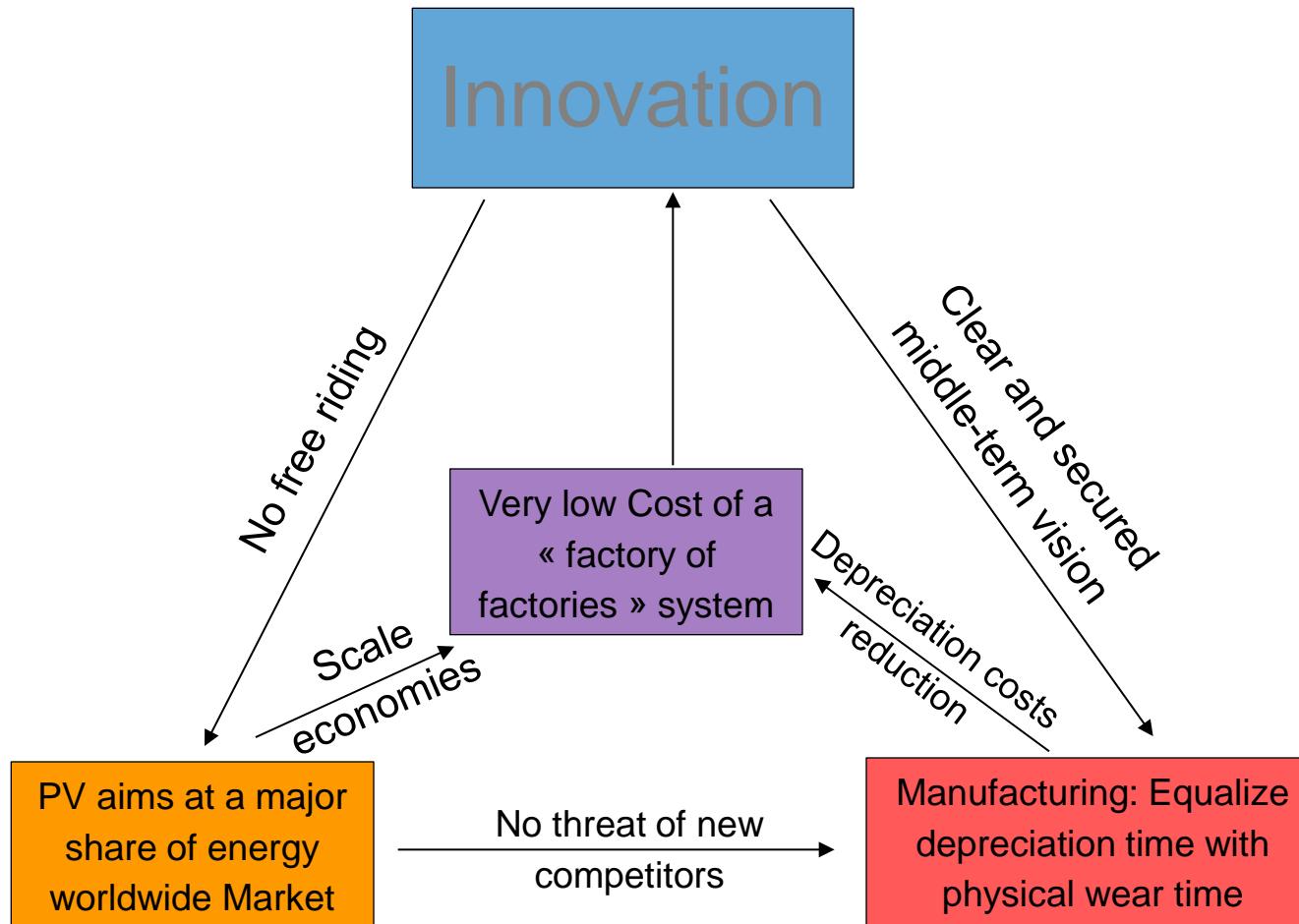
# Un schéma à inverser



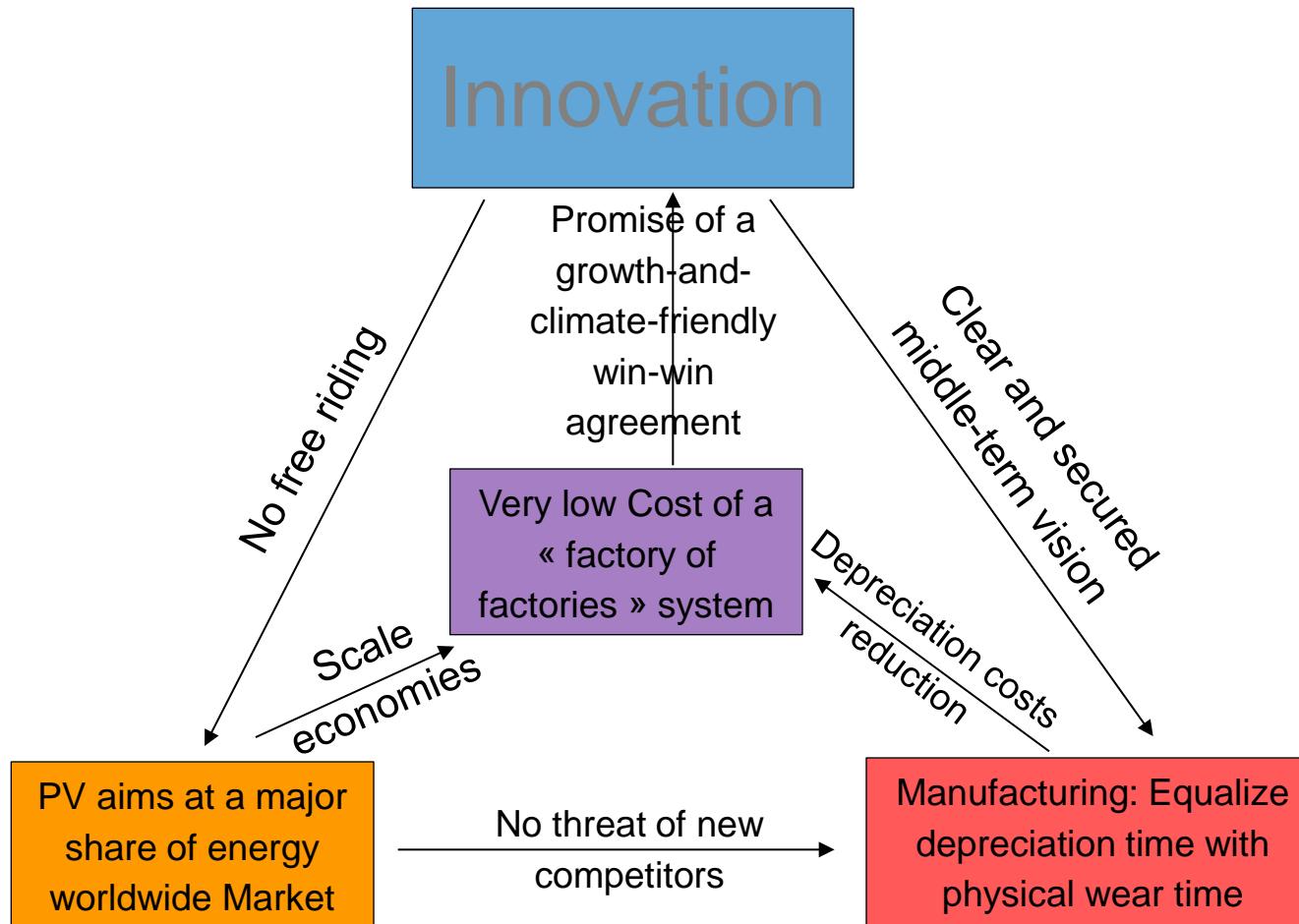
# Un schéma à inverser



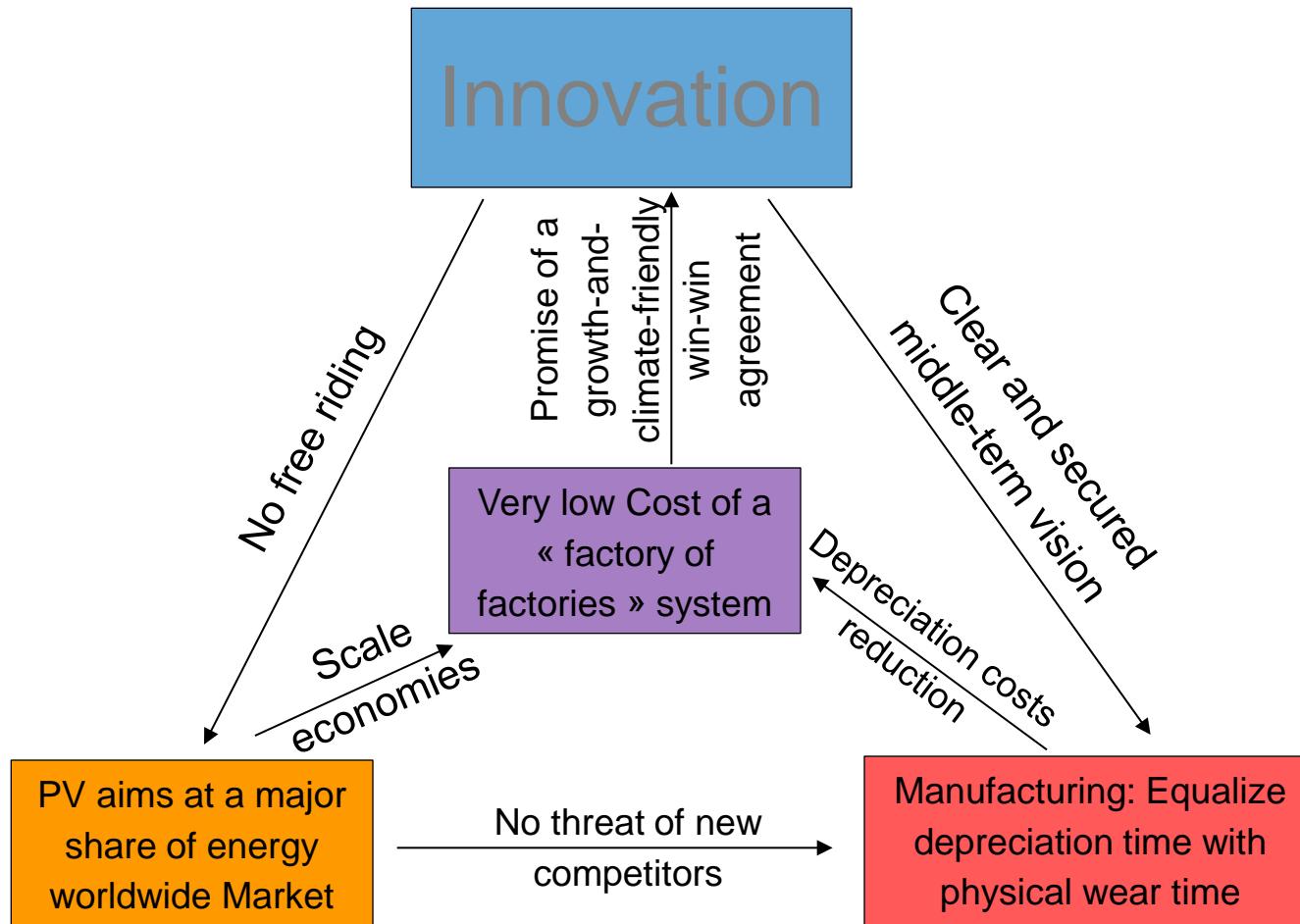
# Un schéma à inverser



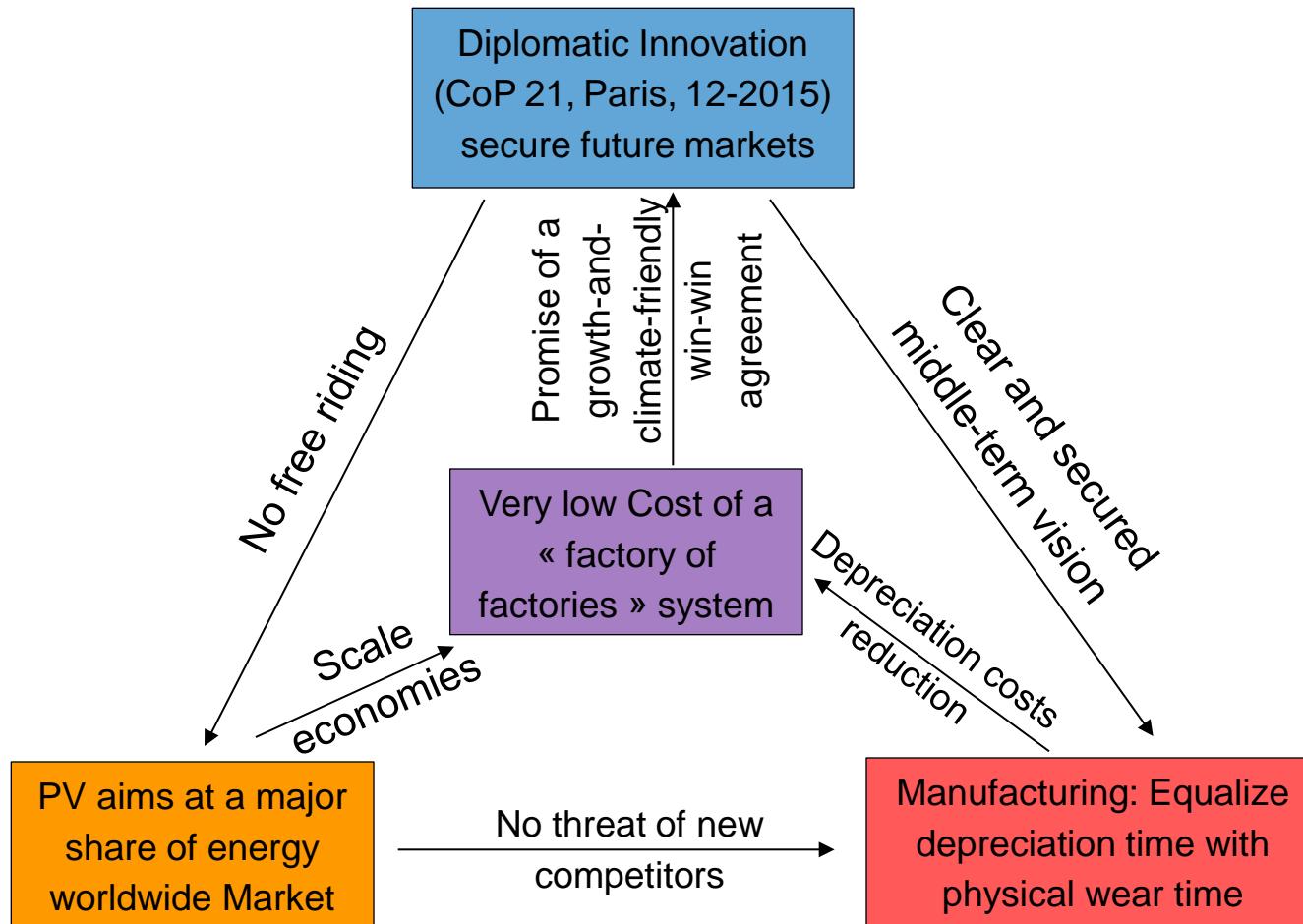
# Un schéma à inverser



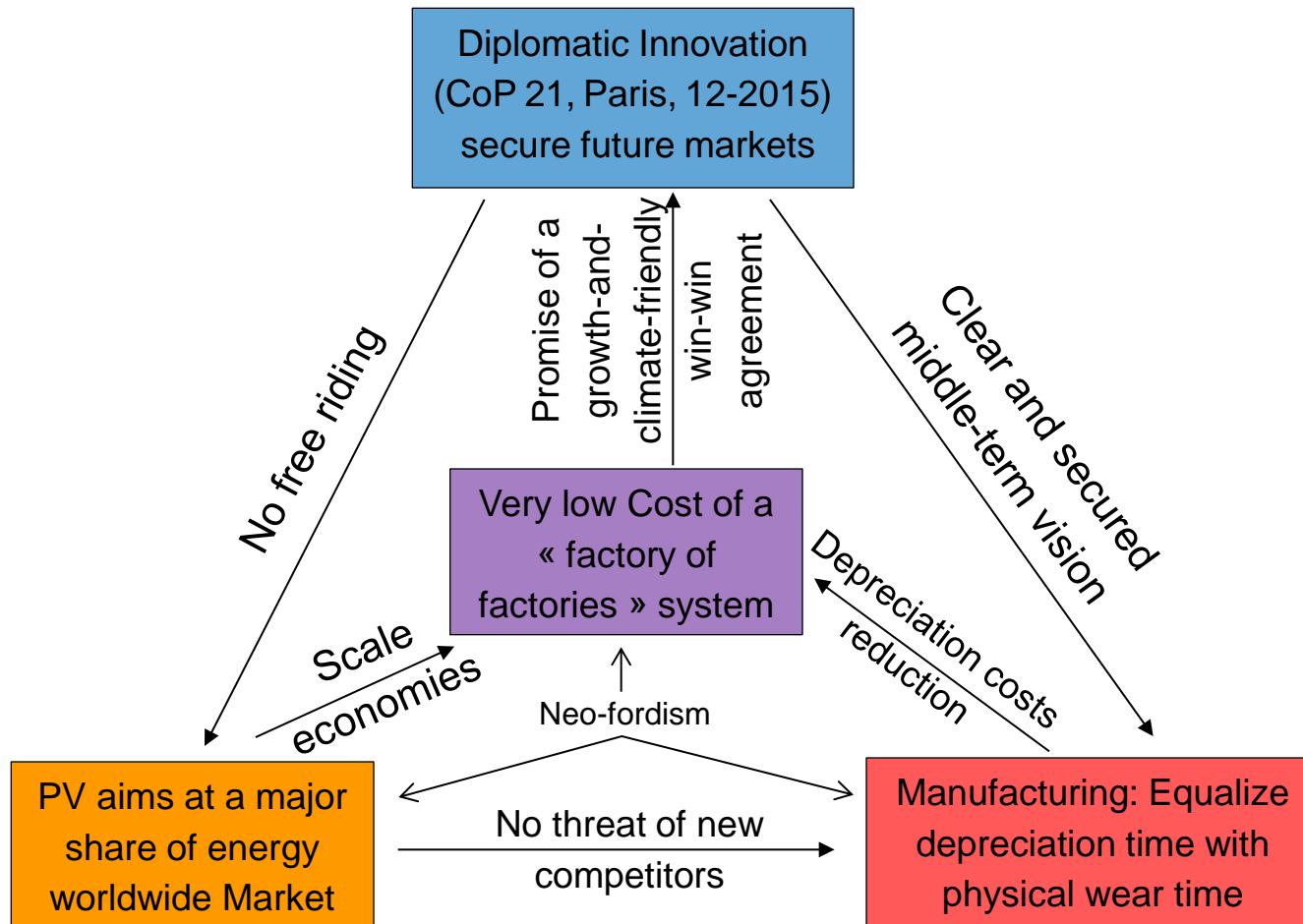
# Un schéma à inverser



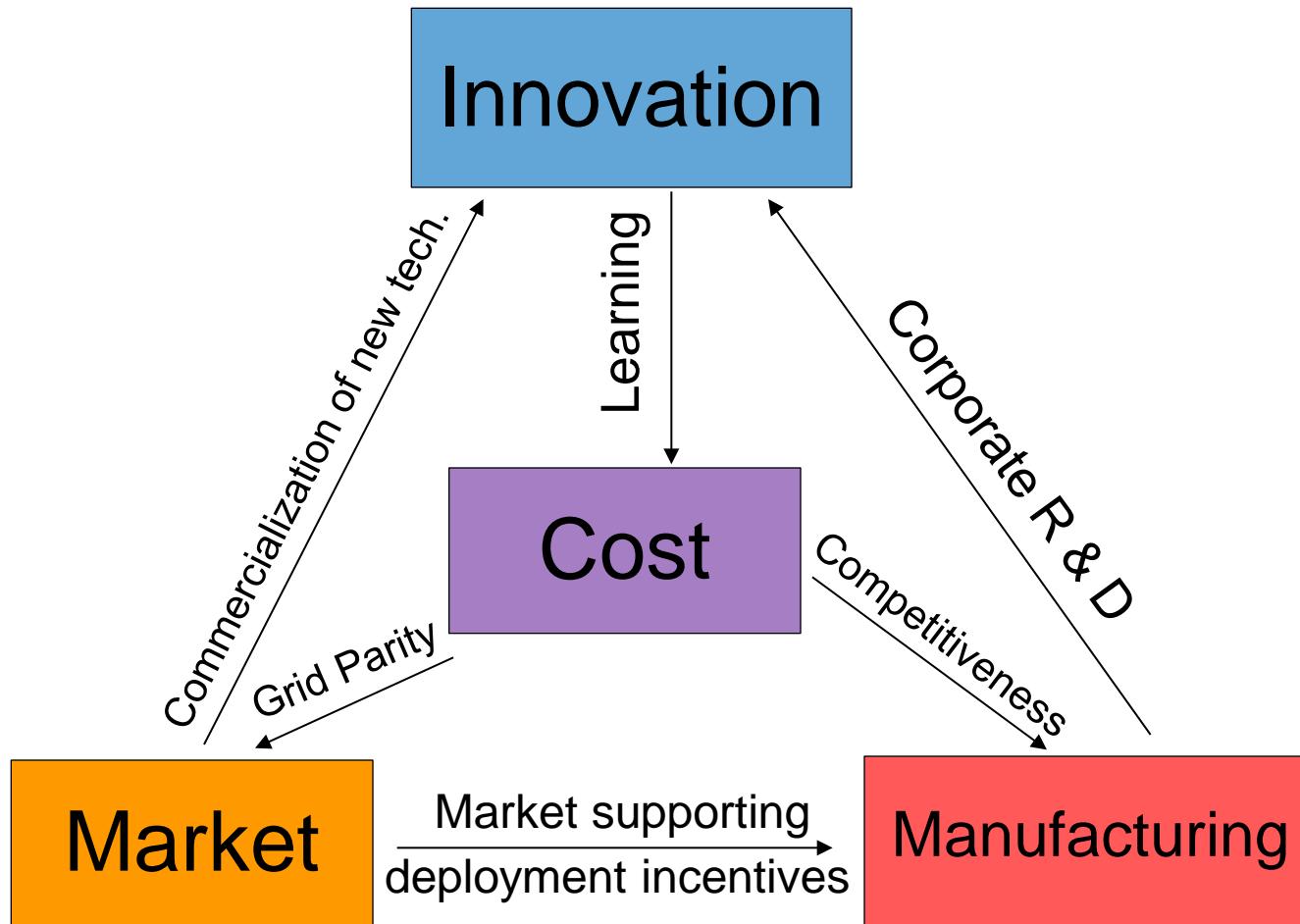
# Un schéma à inverser



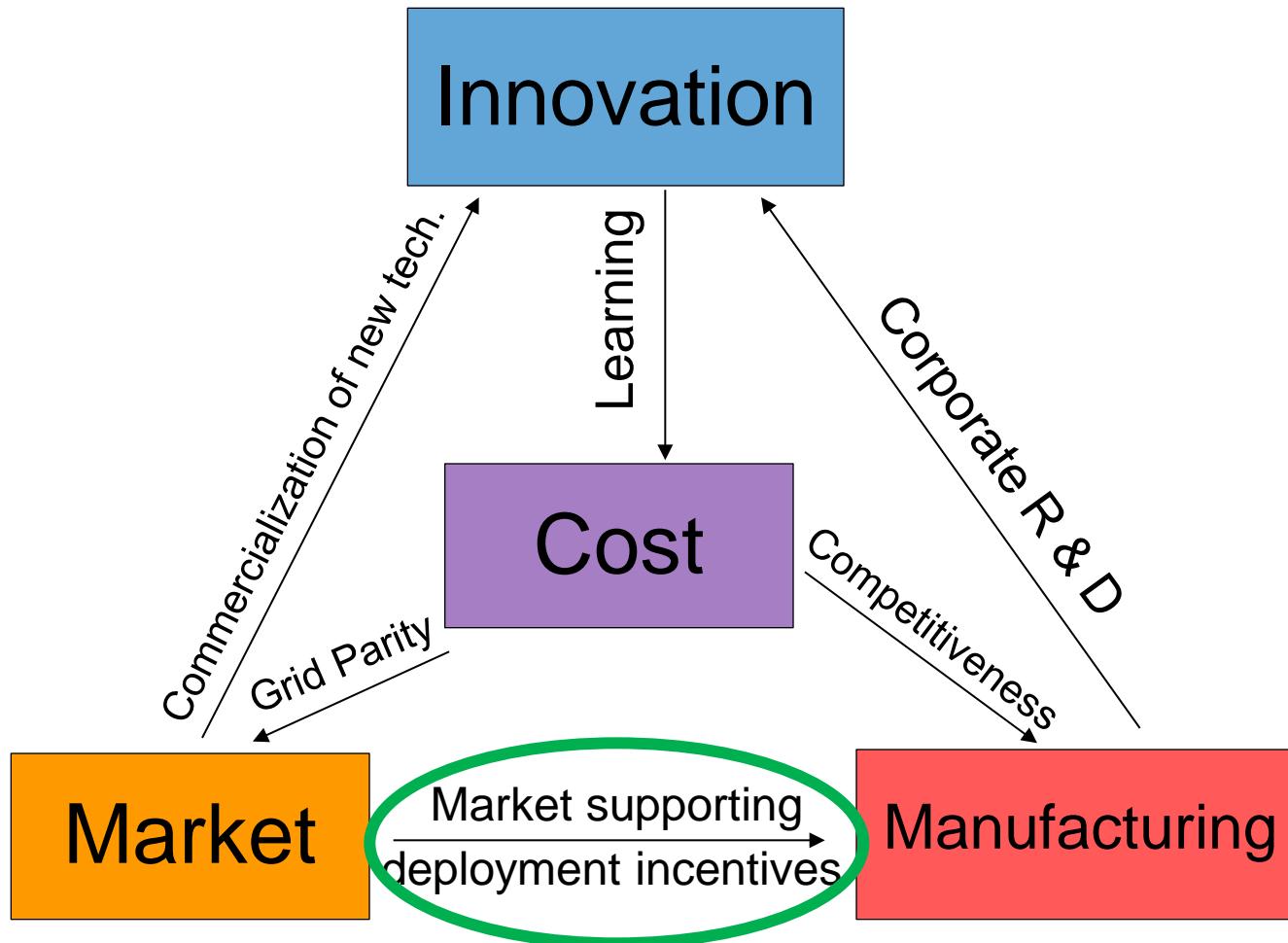
# Un schéma à inverser



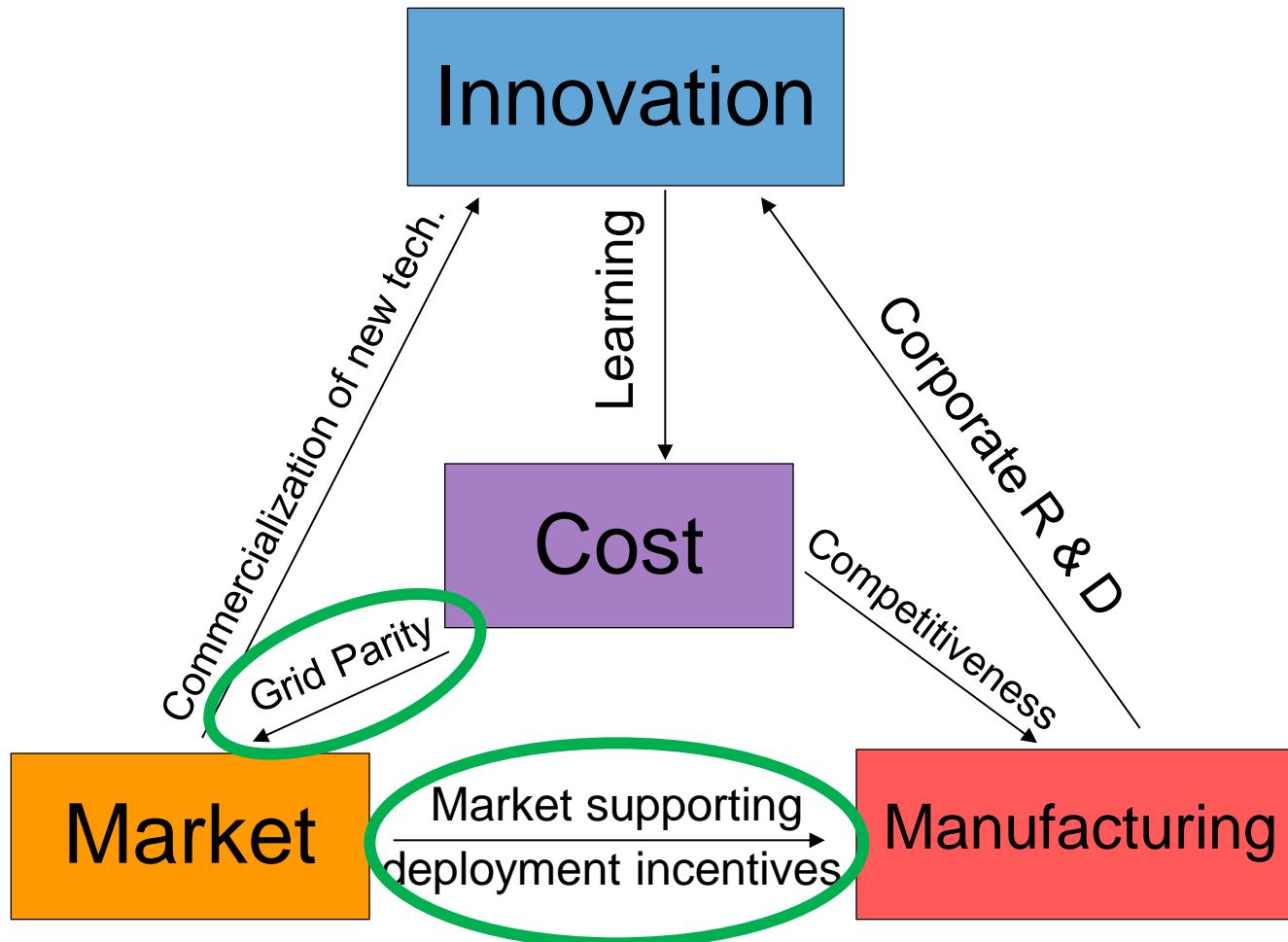
# Un plan d'actions pour la CoP 21



# Un plan d'actions pour la CoP 21



# Un plan d'actions pour la CoP 21



# Un plan d'actions pour la CoP 21

- La parité réseau et les menaces qui en résultent pour les utilities :
  - Rien à cirer, chacun sa merde ?
  - Une perte globale de richesse, à éviter ?
  - Un levier d'action, à valoriser au mieux ?

# Un plan d'actions pour la CoP 21

- La parité réseau et les menaces qui en résultent pour les utilities :
  - On a proposé suffisamment de gagnant-gagnant, on peut aussi se permettre un peu de donnant-donnant
  - Le passage à une facturation client basé sur un prix de marché en temps réel, en échange d'une feed-in premium, y.c. en sortie Step.

# Un plan d'actions pour la CoP 21

- Il reste les questions classiques en économie
  - Comment éviter les effets d'aubaine ?
  - Dispose-t-on d'une modélisation suffisante pour commencer à travailler ?
  - Êtes-vous assez motivés pour construire un outil d'aide à la décision prêt pour la préparation de la CoP 21 ?

# Conclusion ?

- Energies renouvelables : le plus dur est derrière nous ?
  - Pétrole bon marché : c'est fini
  - Théorie des catastrophes : le bon côté est en vue
  - Peu denses et intermittentes : il y a des solutions
- Sobriété énergétique : le plus facile est derrière nous ?
- Capture et séquestration du CO<sub>2</sub> : pourquoi en parle-t-on si peu depuis Fukushima ?

Merci  
de votre attention



[www.hipporoller.org](http://www.hipporoller.org)