

Transition fossiles → renouvelables
– Les ruptures possibles

Alexandre ROJÉY



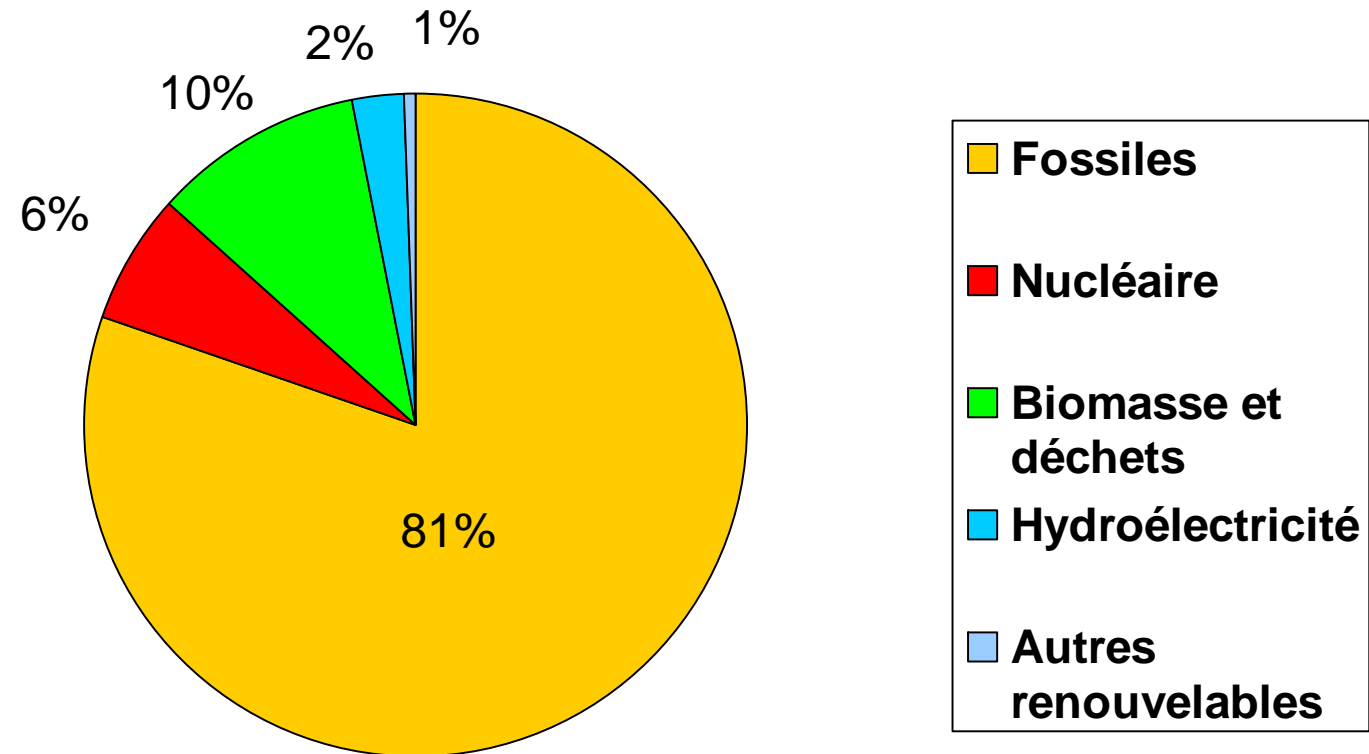
Transition fossiles → renouvelables

- Les ruptures possibles

- **La situation actuelle**
- **Les ruptures possibles:**
 - **Biomasse**
 - **Eolien**
 - **Solaire**
- **Transmission et stockage d'énergie associés**



La situation actuelle: une part des énergies renouvelables encore très faible



Source: AIE

Mais une progression très rapide

En 2009, financements dans le secteur des "cleantechs": 162 G \$

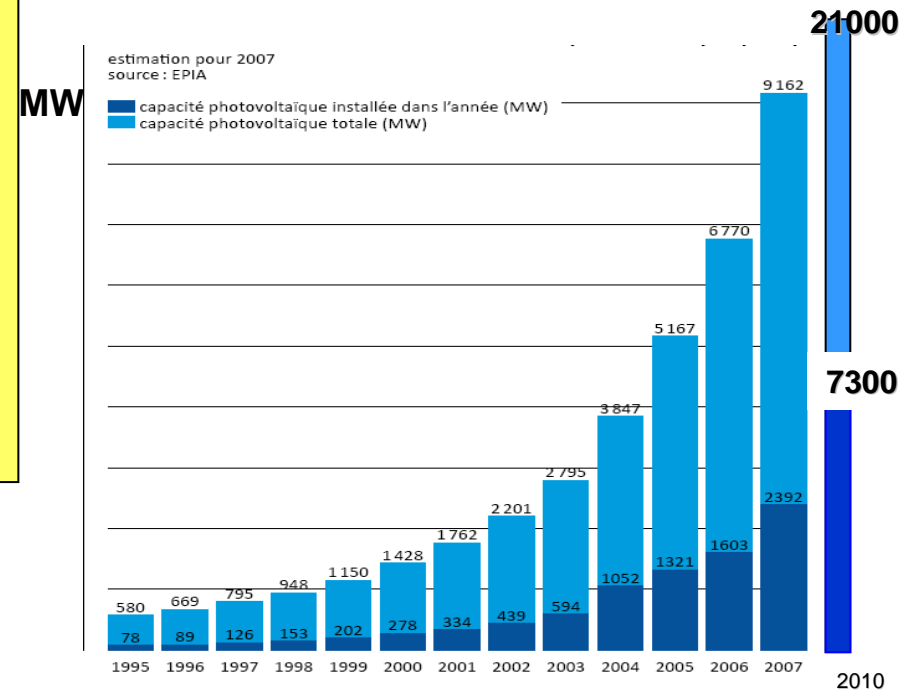
Génération d'énergie renouvelable: 119 G \$

Développements R&D: 43 G \$

Energie éolienne: 67 G \$

Energie solaire: 24 G \$

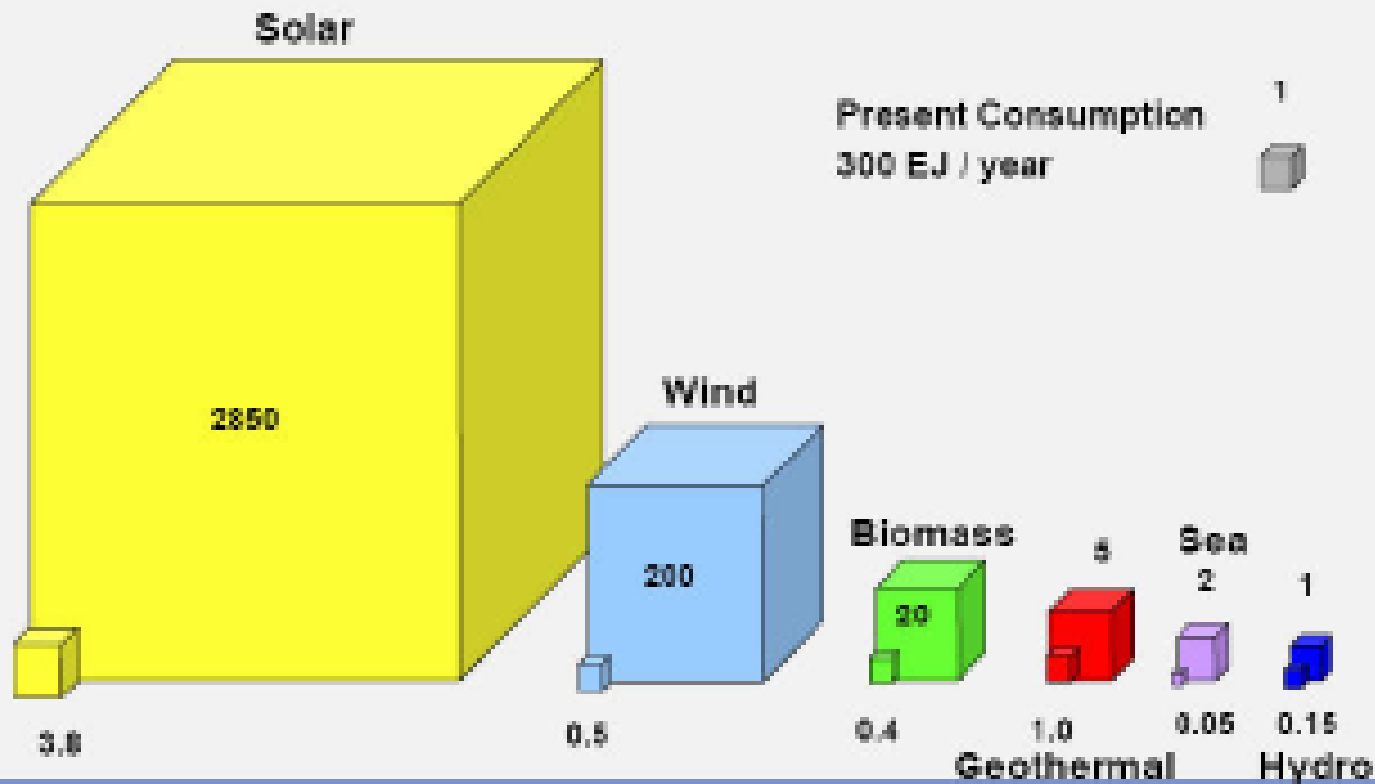
Investissements en Europe (44 G \$, en baisse), et aux Etats-Unis, mais de plus en plus dans les pays émergents (3G \$ en Chine)



Eolien: 203 GWc (2010)
Solaire thermique: 171 GWc (2008)
Solaire photovoltaïque: 21 GWc (2010)

Contribution potentielle des énergies renouvelables

Natural global energy flows and technical potentials of renewable energies



University of Stuttgart
 Institute for Thermodynamics and Thermal Engineering (ITW)
 Research and Testing Centre for Solar Systems (TZS)



Institute of Technical Thermodynamics
 German Aerospace Centre



Solaire, éolien, biomasse: principal potentiel de développement

- **Solaire**

- **Eolien**

- **Biomasse**



- **Géothermie**

- **Energie des mers (courants, vagues, thermique)**

- **5 Hydraulique**

La biomasse au centre de l'économie de demain?

La biomasse est relativement facile à transporter et à stocker →
c'est le substitut le plus direct aux combustibles fossiles

Une nouvelle économie à
construire,
de linéaire à circulaire..

Biomasse ⇒ Énergie
⇒ Matière
Renouvelable
Diminue Effet de
serre

Textile



Fibres végétales

BTP



Biomatériaux

Chimie



Bioplastiques

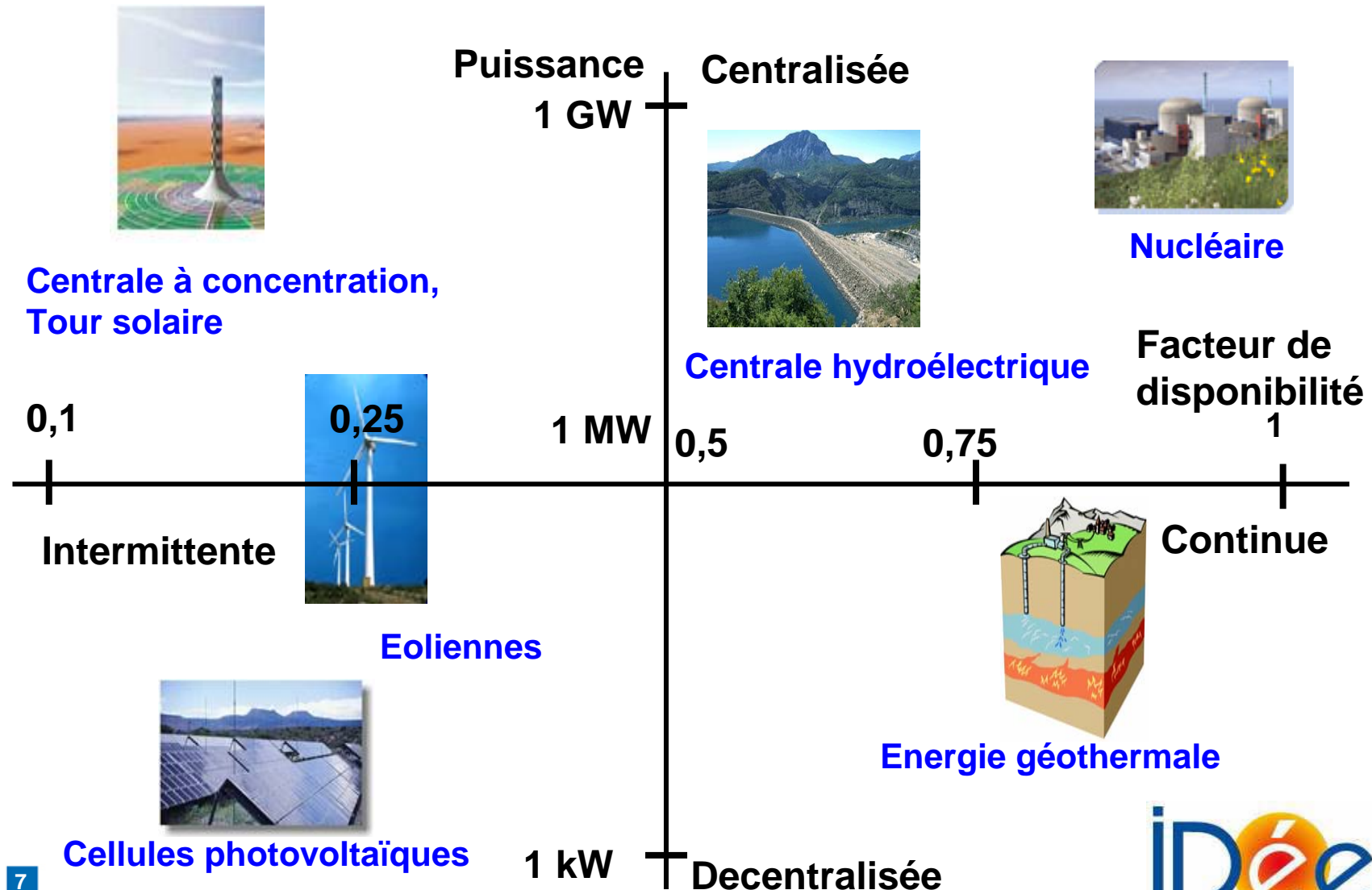
Transports



Biocarburants

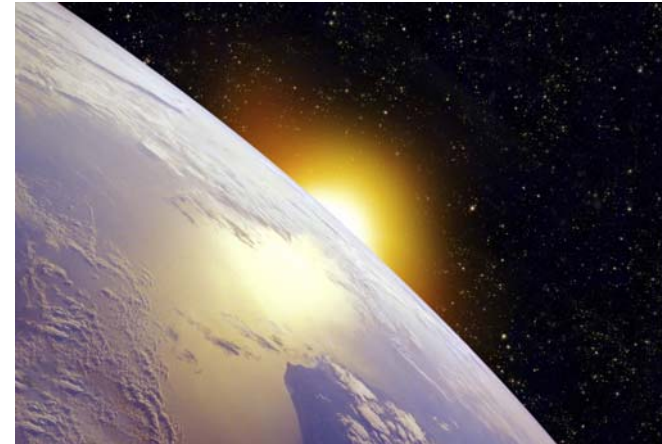


Solaire et éolien: énergies diffuses et intermittentes



Les ruptures à venir

- **Par définition, impossibles à prédire, mais potentialités et critères d'évolution**



- **Biomasse: minimiser l'empreinte en surface de sols cultivables ou espaces naturels**
- **Eolien et solaire:**
 - **Minimiser la quantité de matière nécessaire par kW produit**
 - **Développer des moyens de stockage d'énergie fiables et économiques**

Biomasse - évolution actuelle: exploiter déchets et biomasse lignocellulosique

- **Biomasse énergie: chaleur et électricité**
- **Carburants de première génération**
Esters d'huiles végétales –
éthanol ex plantes sucrières
- **Carburants de deuxième génération**
Éthanol et hydrocarbures de synthèse
ex biomasse lignocellulosique



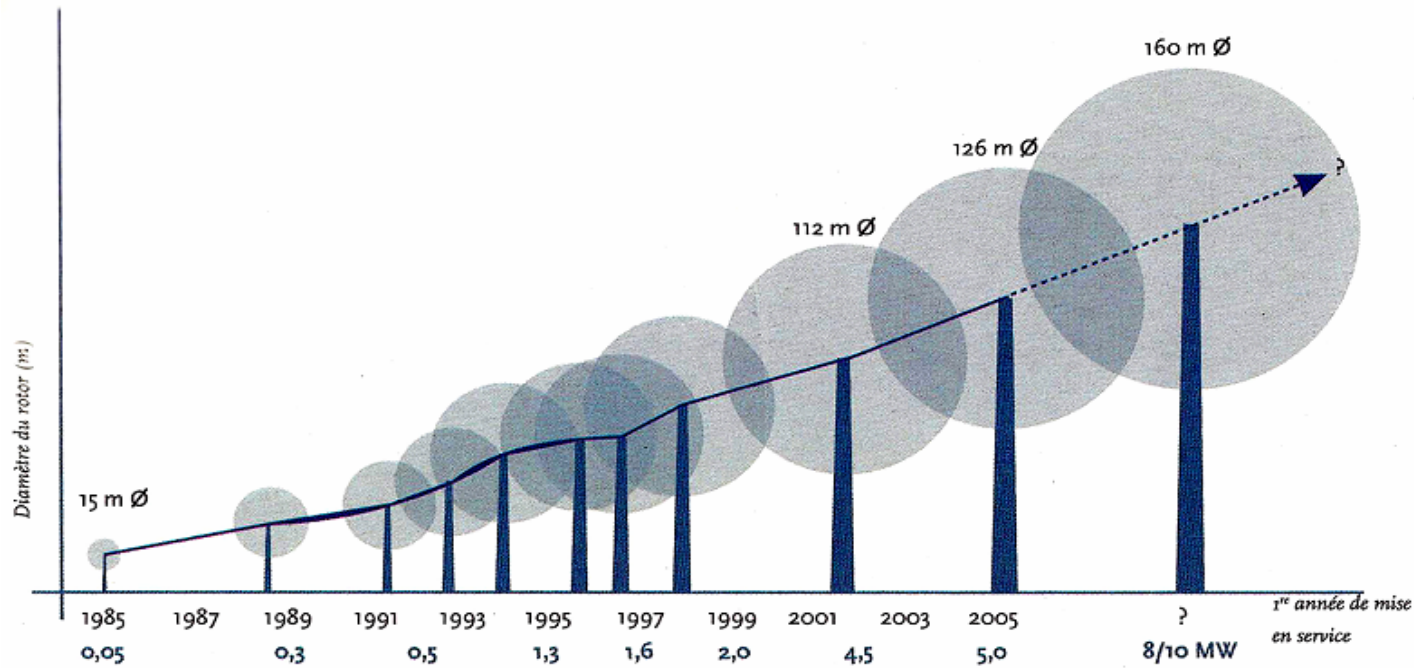
Ruptures possibles: photobioréacteurs

- **Photosynthèse chlorophyllienne (microalgues):**
 - recyclage CO₂
- **Biohydrogène**
- **Autres réactions de photosynthèse (biochimiques ou non) (photosynthèse artificielle)**
- **Association possible avec systèmes à concentration (dont lentilles de Fresnel)**



Eoliennes: une taille limite?

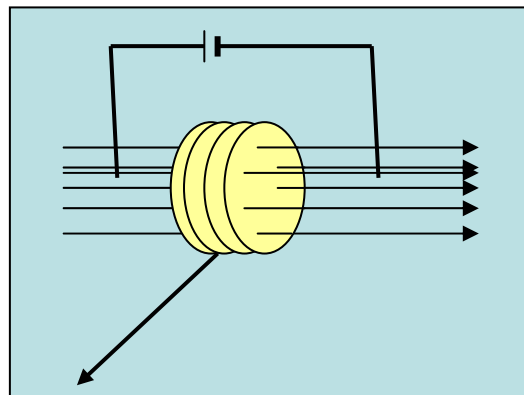
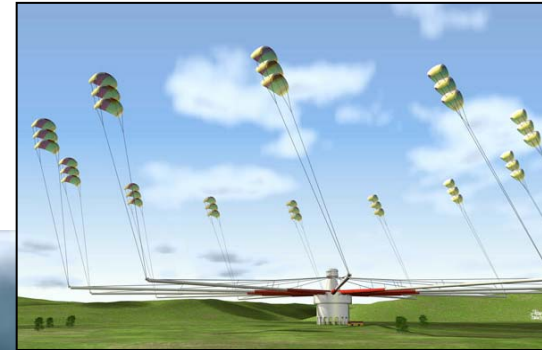
Des pales de plus en plus fines pour des surfaces balayées de plus en plus grandes



SOURCE : JOS BEUSKENS, ECN

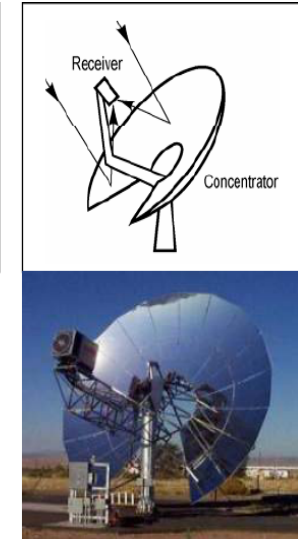
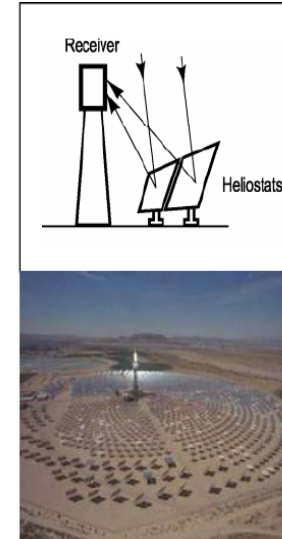
Eoliennes: ruptures possibles

- Nouveaux concepts d'éoliennes flottantes
- Eoliennes cerfs-volants: projet KiteGen
- Eoliennes aérostatiques: projet MARS
- Eolienne MHD?

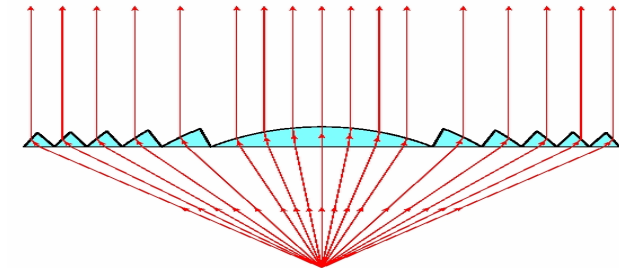


Solaire thermique et à concentration

- **Capteur thermique plan**
→ revêtements sélectifs
- **Centrales cylindro-paraboliques-
réflecteurs de Fresnel**



- **Centrales à miroirs orientés**
- **Réductions de coût par effet d'apprentissage.**

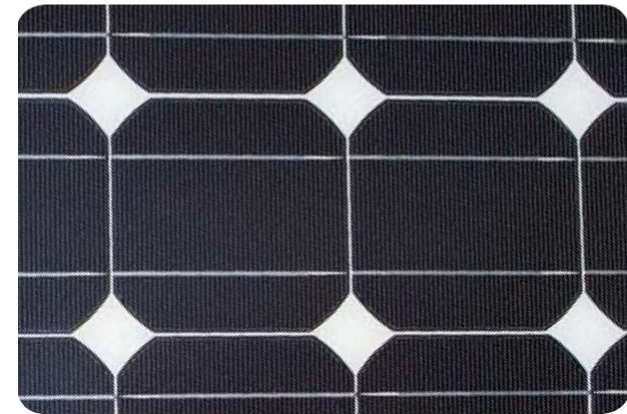


Lentille de Fresnel

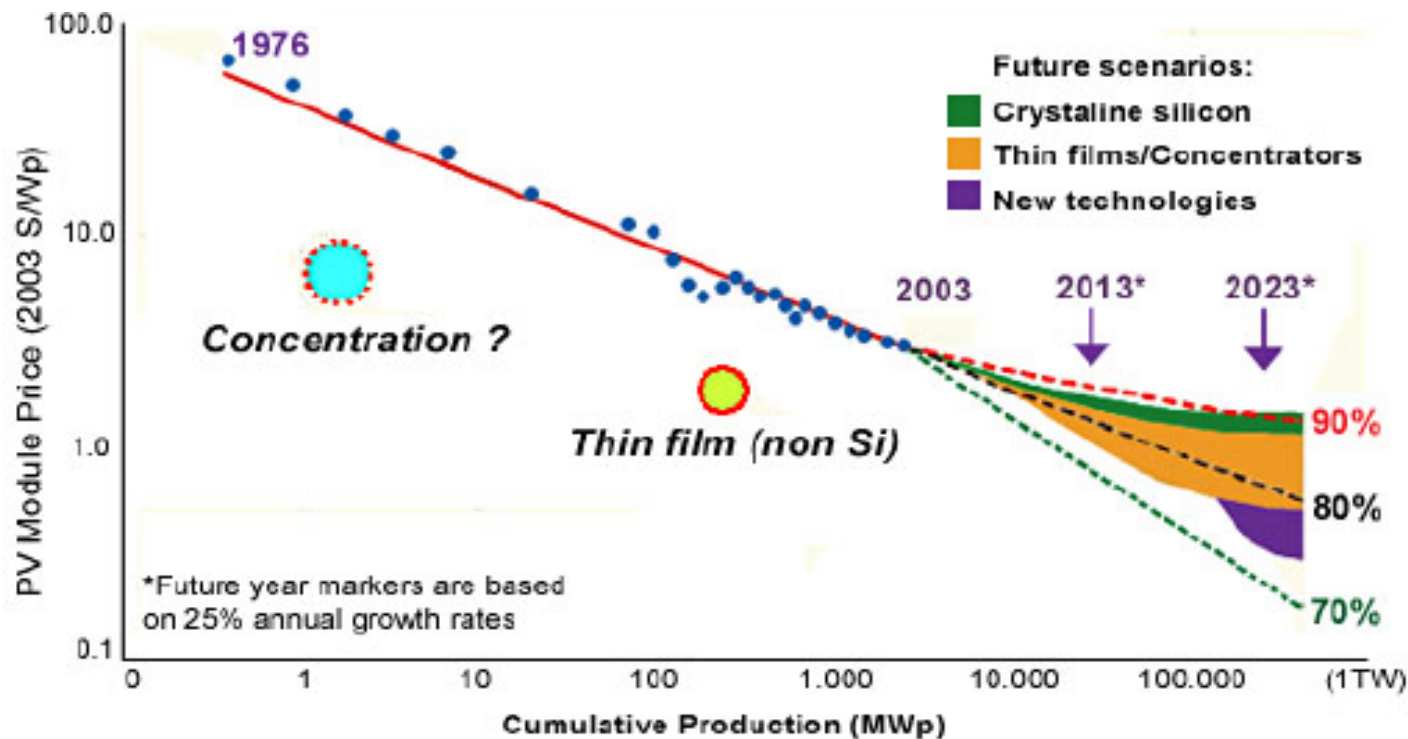
Pas de ruptures majeures prévisibles?

Systemes photovoltaïques

- **Silicium monocristallin**
- **Silicium polycristallin**
- **Couches minces
(silicium amorphe)**
- **Couches minces (CdTe, CIS)**



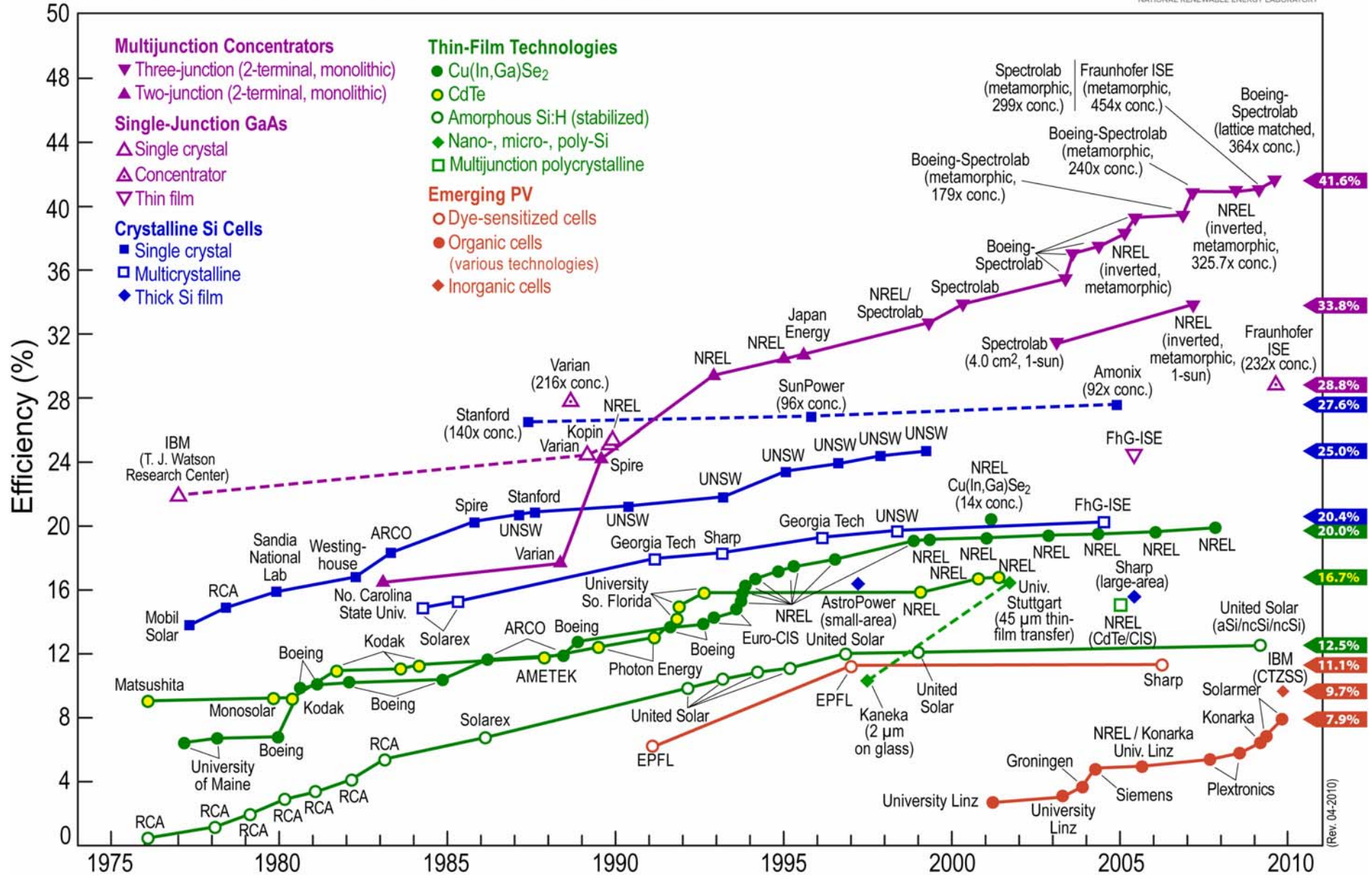
Solaire photovoltaïque*



De réelles possibilités de baisse des coûts

- Le solaire photovoltaïque est une technologie encore émergente, dont les coûts actuels (près de 500 €/MWh en France) devraient baisser jusqu'aux environs de 100 €/MWh en 2020-2030, avec les technologies en développement (silicium cristallin, couches minces).
- Les nouvelles technologies (génération 3) pourraient prolonger cette baisse... et permettre d'atteindre à terme des niveaux proches de 50 €/MWh ? Ces coûts n'incluent pas l'éventuel stockage, ni l'insertion dans le système électrique.
- Les pays plus ensoleillés que la France bénéficient de coûts encore plus bas

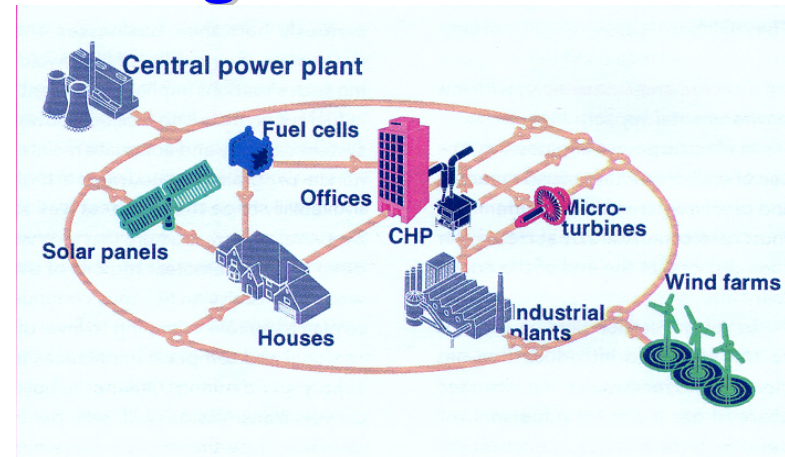
Evolution du rendement des cellules photovoltaïques



(Rev. 04-2010)

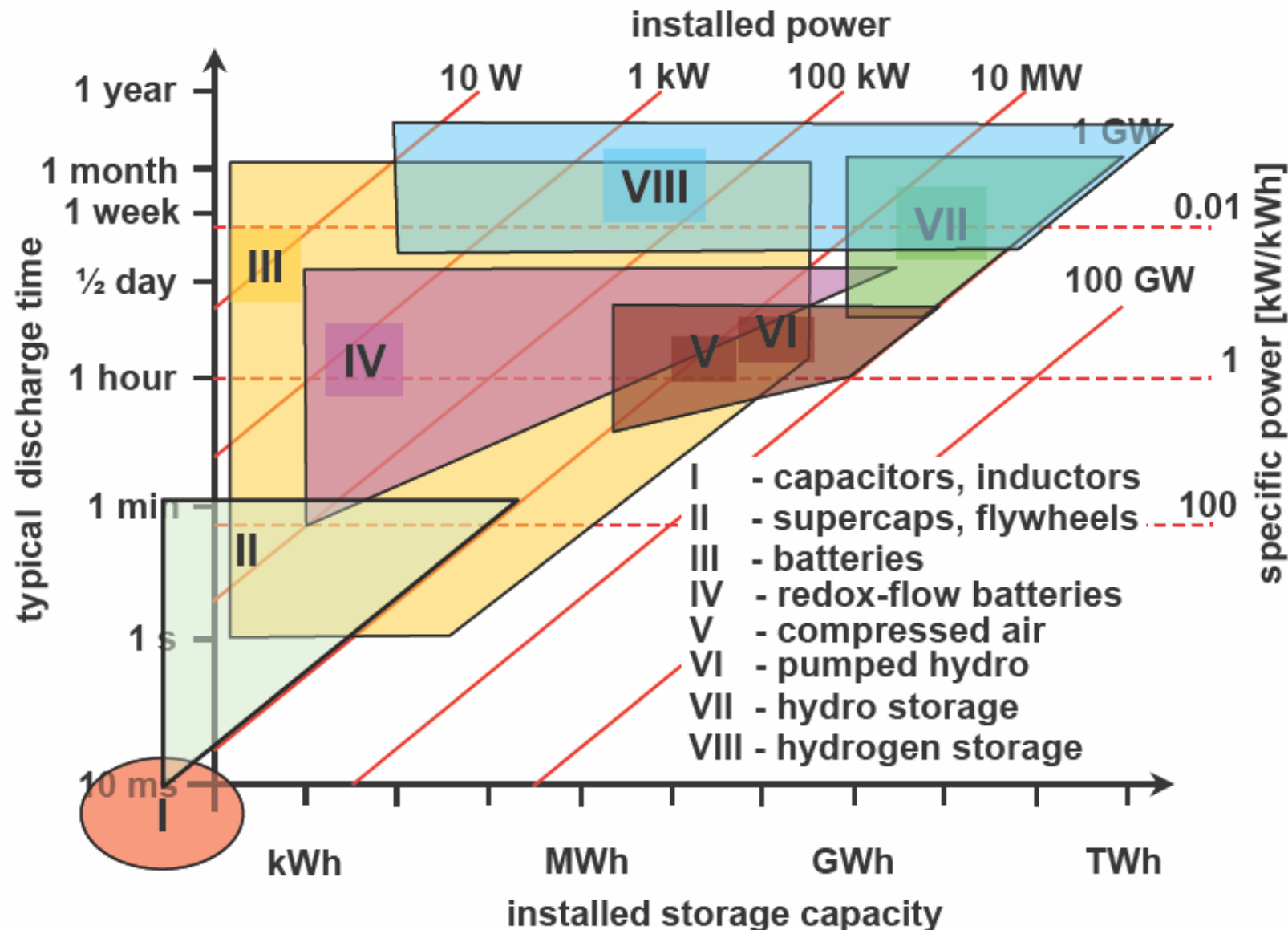
Transmission et stockage d'énergie

- **Systèmes décentralisés: réseaux Intelligents – La révolution des NTIC**



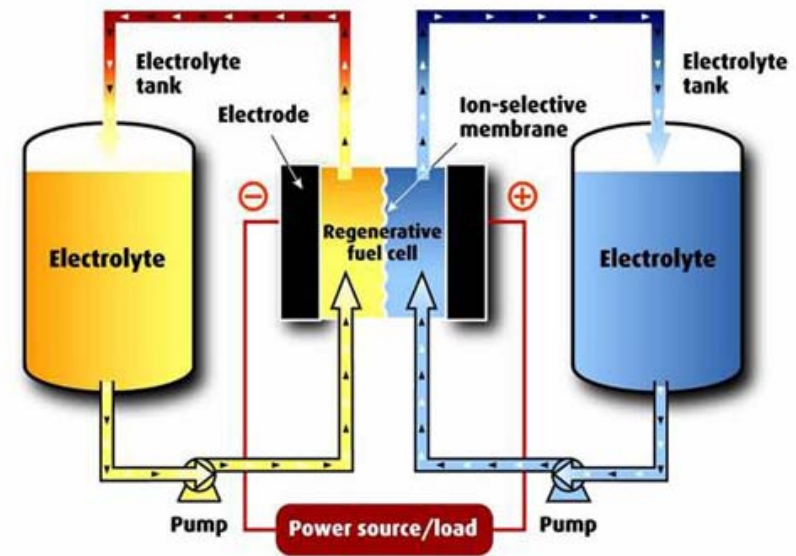
- **Le stockage d'énergie: une nécessité absolue pour aller vers un taux de pénétration élevé des renouvelables**
- **Coûts élevés, rendements limités, fiabilité parfois insuffisante: le principal point d'achoppement actuel**

Systemes de stockage énergetique de grande puissance

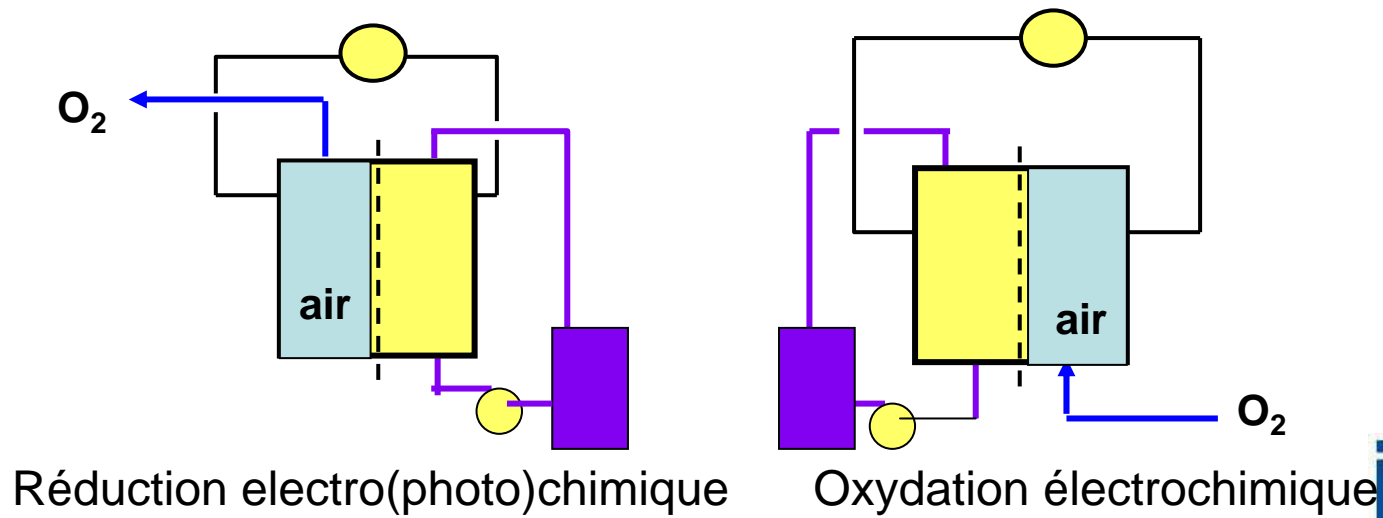
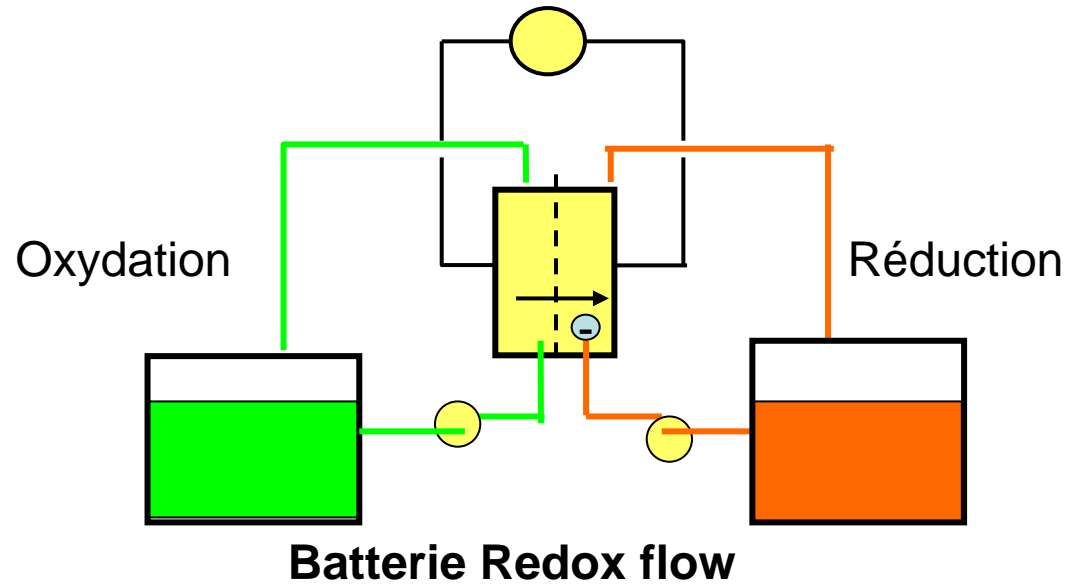


Ruptures possibles: stockage d'énergie

- Sites artificiels de stockage gravitaire hydraulique
- Stockage hydropneumatique à compression- détente isotherme
- Batteries à électrodes liquides et batteries *redox flow*
- Stockage chimique réversible en phase liquide
(carburant électrochimique)

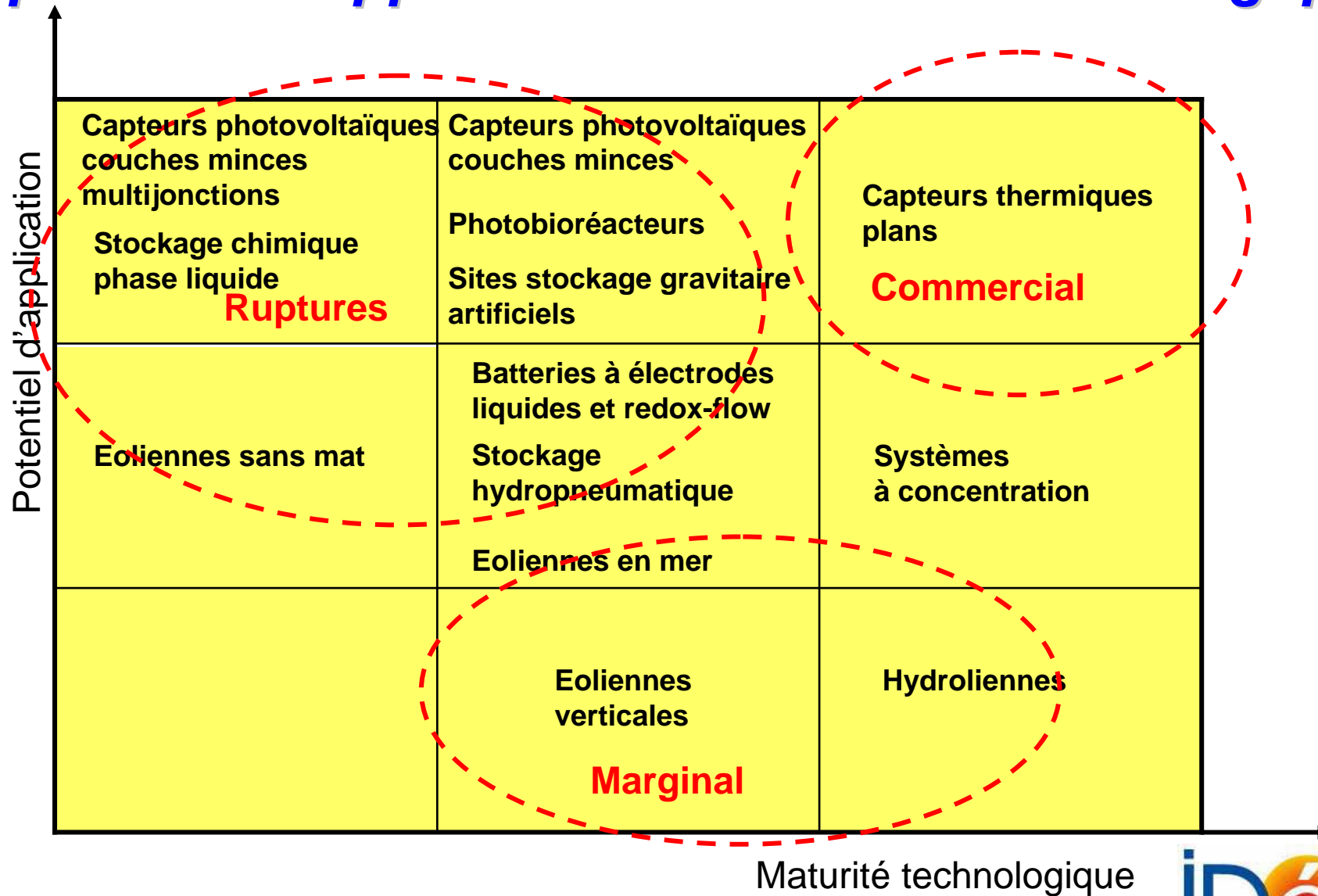


Stockage électrochimique en phase liquide (carburant électrochimique)



Réaction réversible

Ruptures technologiques: potentiel d'application vs. Maturité technologique



La transition à venir

Aujourd'hui

Energies fossiles

Moteur à combustion interne

Demain
2020-2030

Mix énergétique diversifié

Solutions hybrides

Energies fossiles (gaz naturel) + Renouvelables solaire-éolien /biomasse

CSC

Multimodalité des transports

Après- demain
2030-2050

Energies renouvelables + Stockage d'énergie

**Véhicules électriques/
Route électrique**

Avion à hydrogène



Conclusion:

- **La rentabilité économique des énergies renouvelables reste encore insuffisante**
- **Investir dans l'innovation est donc indispensable pour préparer l'avenir**
- **Il est nécessaire d'ouvrir le champ des possibles et d'envisager l'ensemble des ruptures technologiques**
- **Il serait utile d'évaluer à un stade précoce de manière aussi complète que possible et sur une base homogène les différentes options envisageables**