



Concentration solaire : état de l'art et systèmes

Jean-Bernard Michel, Dr. Ing. en énergétique
Professeur, Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale
Institut de Génie Thermique

Objectifs de cette présentation

- Poser les questions clefs plutôt que d'apporter des réponses incomplètes
- Positionner les technologies CSP selon les trois axes:
 - D'une intégration et d'un développement industriel durable
 - De l'approvisionnement énergétique au sens large (E + Th + Tr)
 - Des besoins en termes de Ra&D

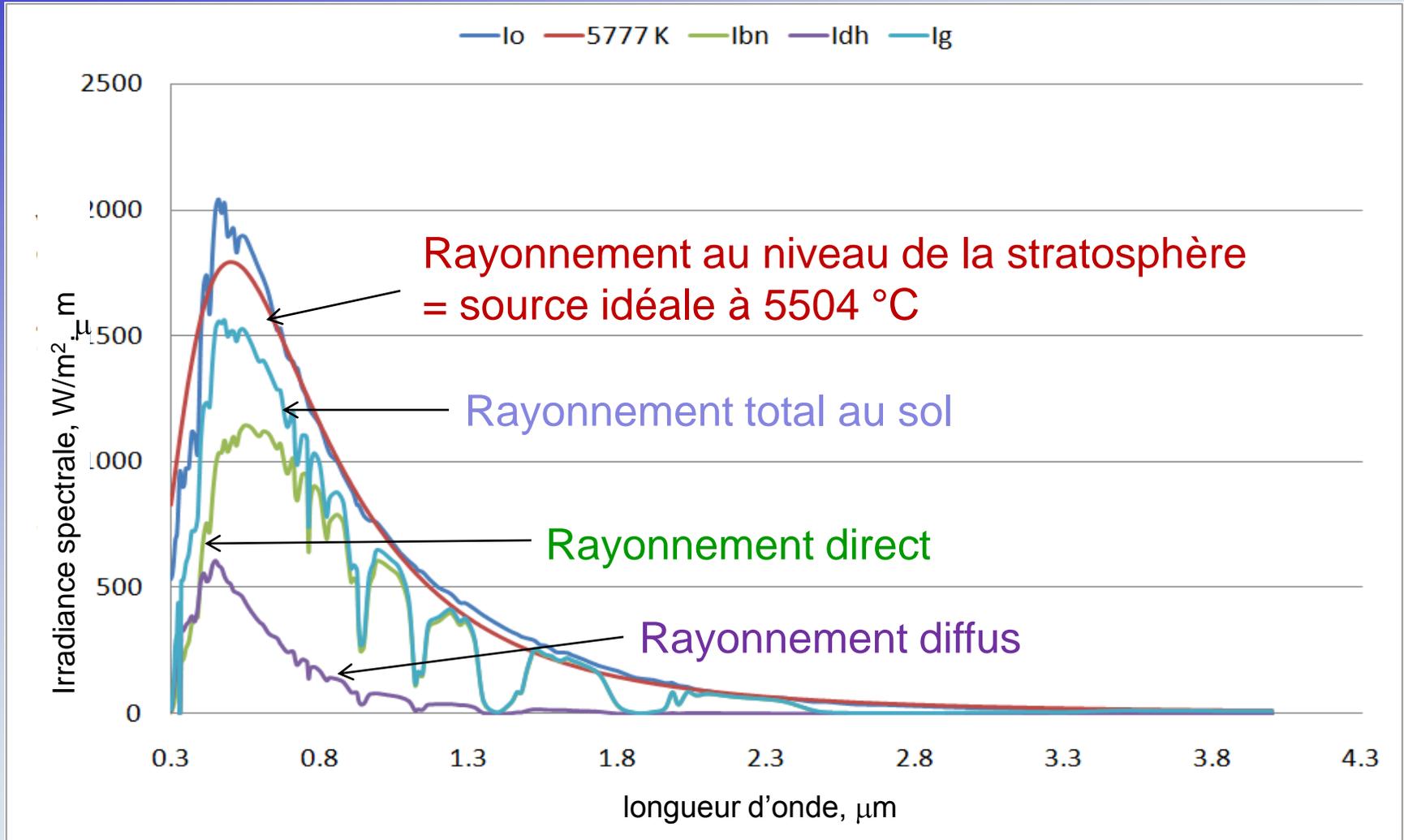
Orientation sur le choix des critères de sélection des technologies CSP

- Quels sont les besoins d'énergie à satisfaire ?
 - Pour les besoins propres et/ou la revente
 - Electricité et/ou chaleur de procédé: vapeur HP/MP/BP, eau chaude, air chaud, froid....
 - Dessalement de l'eau
 - Carburant pour les transports
- Quel type d'intégration est possible ou envisagé ?
 - Sur un parc industriel ?
 - Dans un centre urbain ?
- Quelles sont les étapes de développement à prévoir ?
 - Maturité des technologies ?
 - Opportunités pour les industries locales ?
 - Financements, adossements, mesures d'encouragement ?

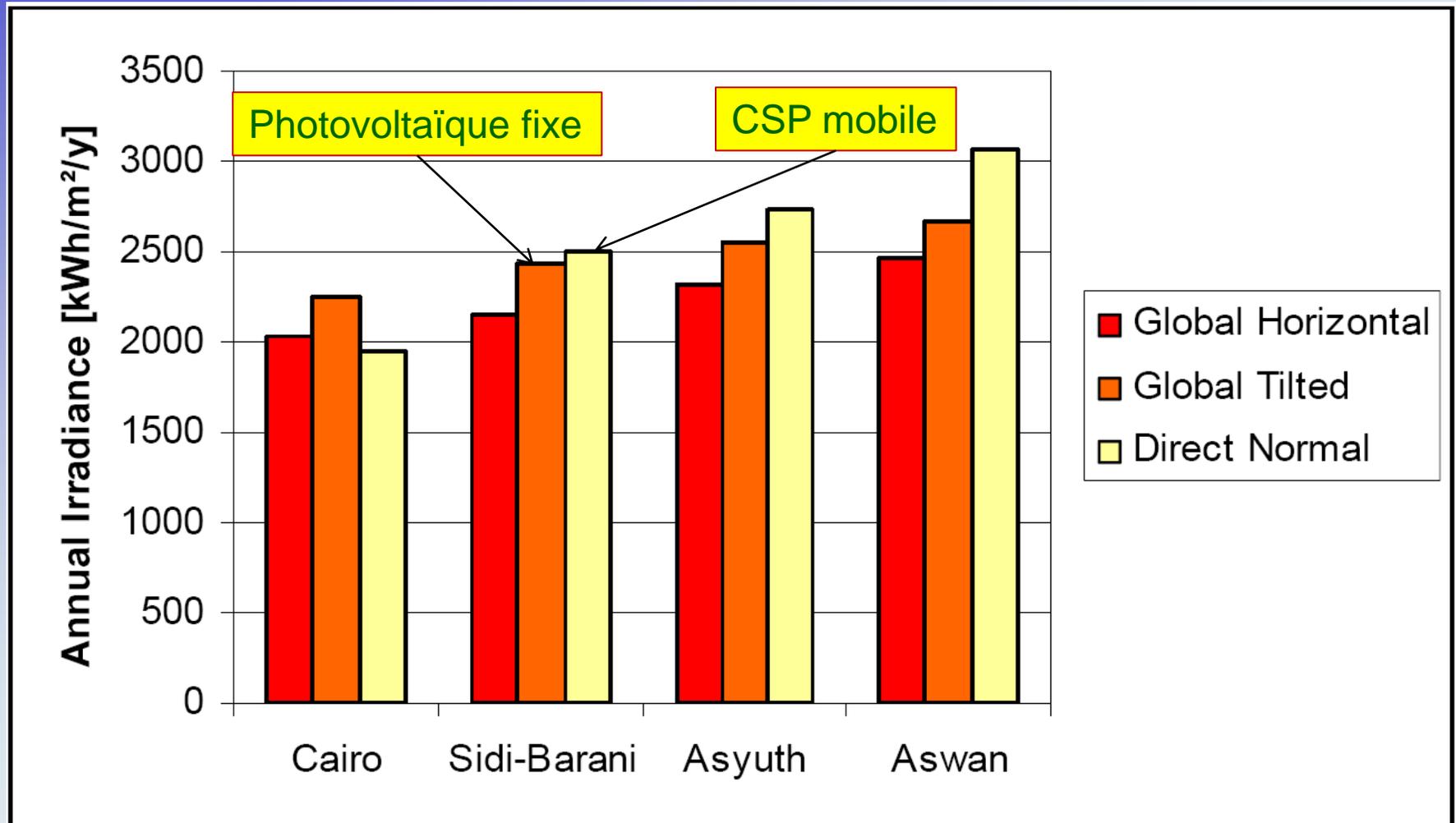
Constats

- On ne peut plus se permettre d'isoler la production d'électricité des autres besoins d'énergie !
 - Production thermodynamique d'électricité:
 - Près de 2/3 d'énergie chaleur à utiliser ou à rejeter
 - Facteur d'utilisation élevé grâce au stockage thermique et à l'hybridation
 - Production photovoltaïque ou éolienne d'électricité:
 - Pas d'autre produit que l'électricité, production distribuée
 - Facteur d'utilisation faible et possibilités de stockage réduites
 - Maturité du photovoltaïque non stabilisé et grandes perspectives d'évolution des technologies

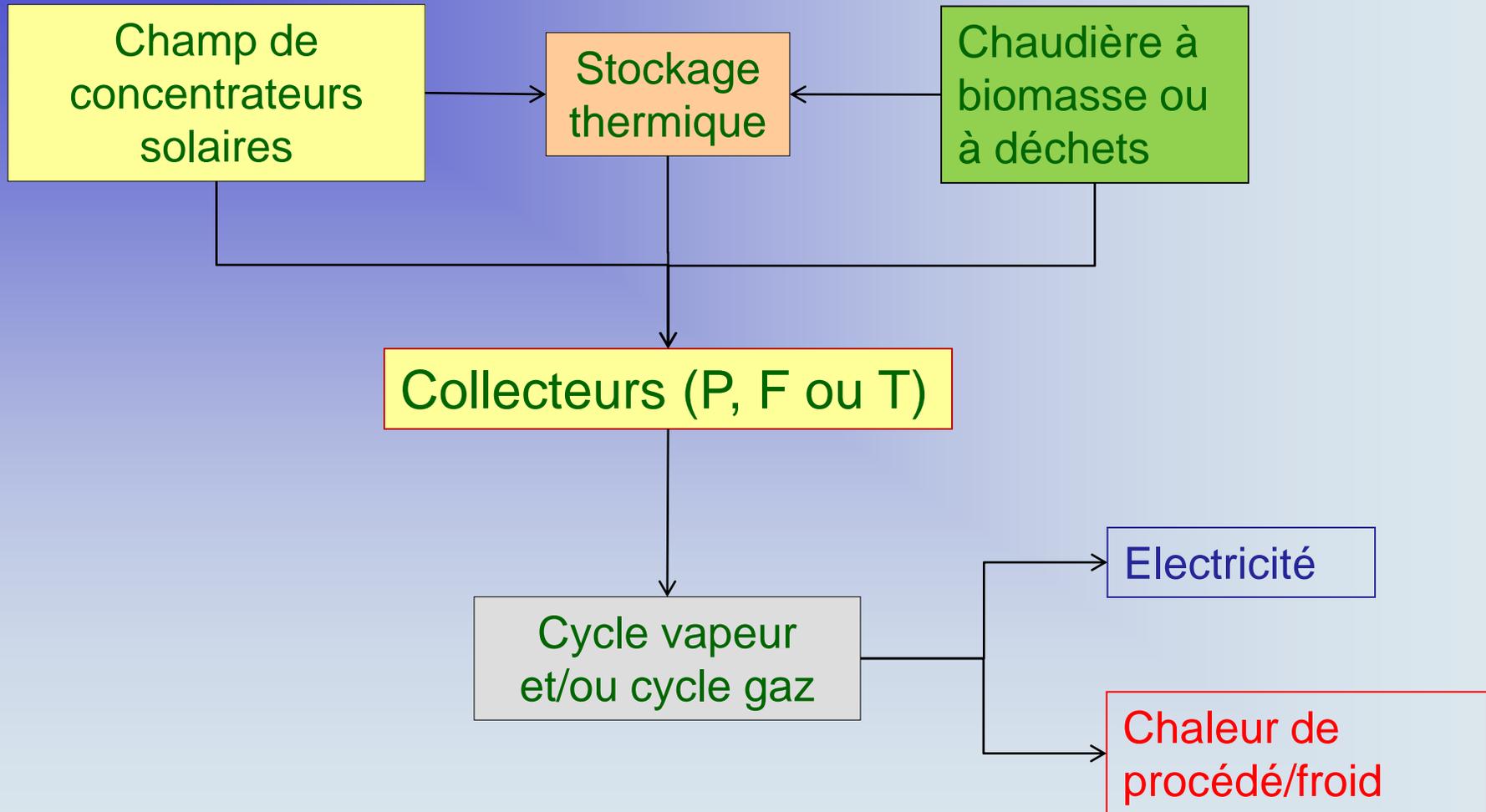
Rayonnement solaire



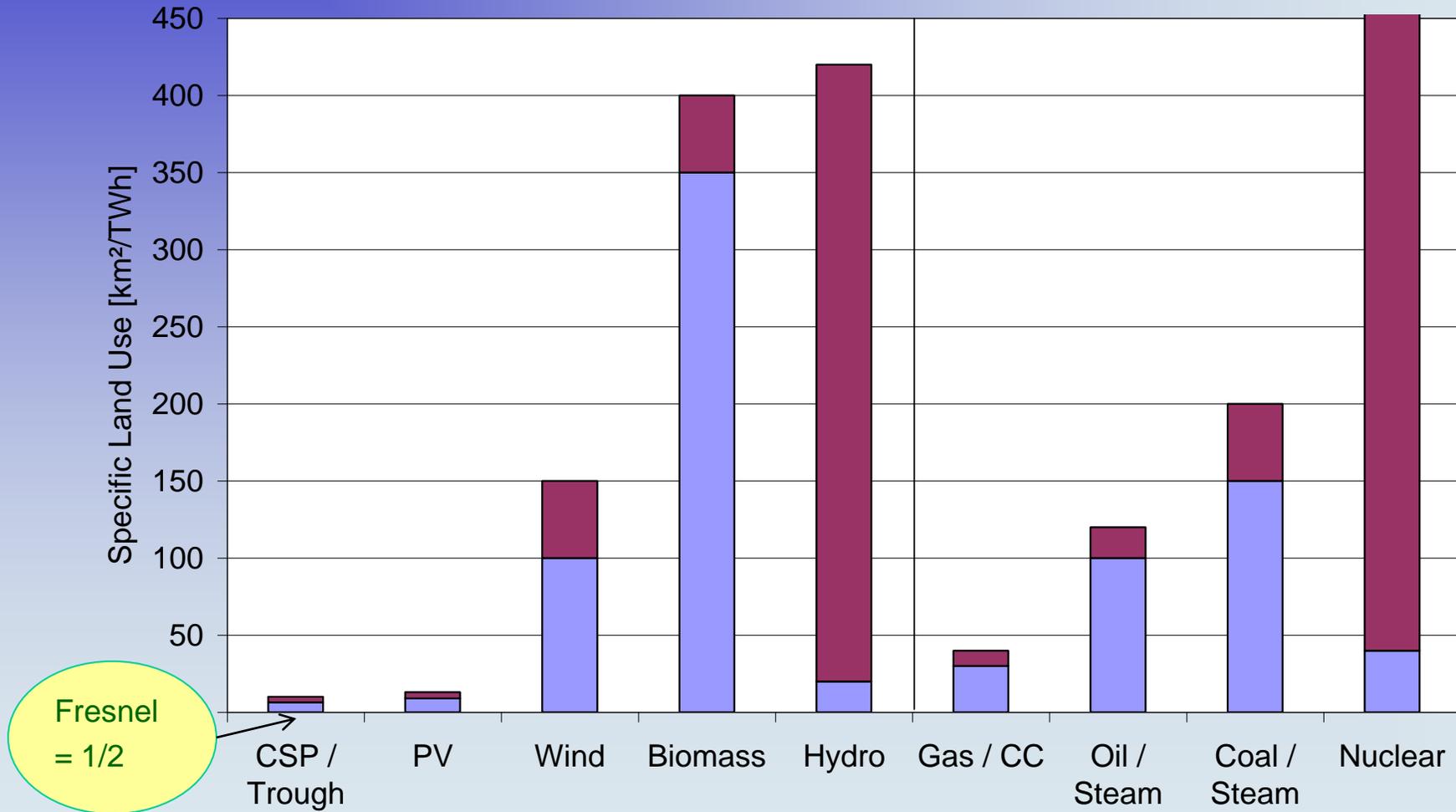
Exemple de comparaison du rayonnement direct et total: Egypte



Multiples configurations possibles



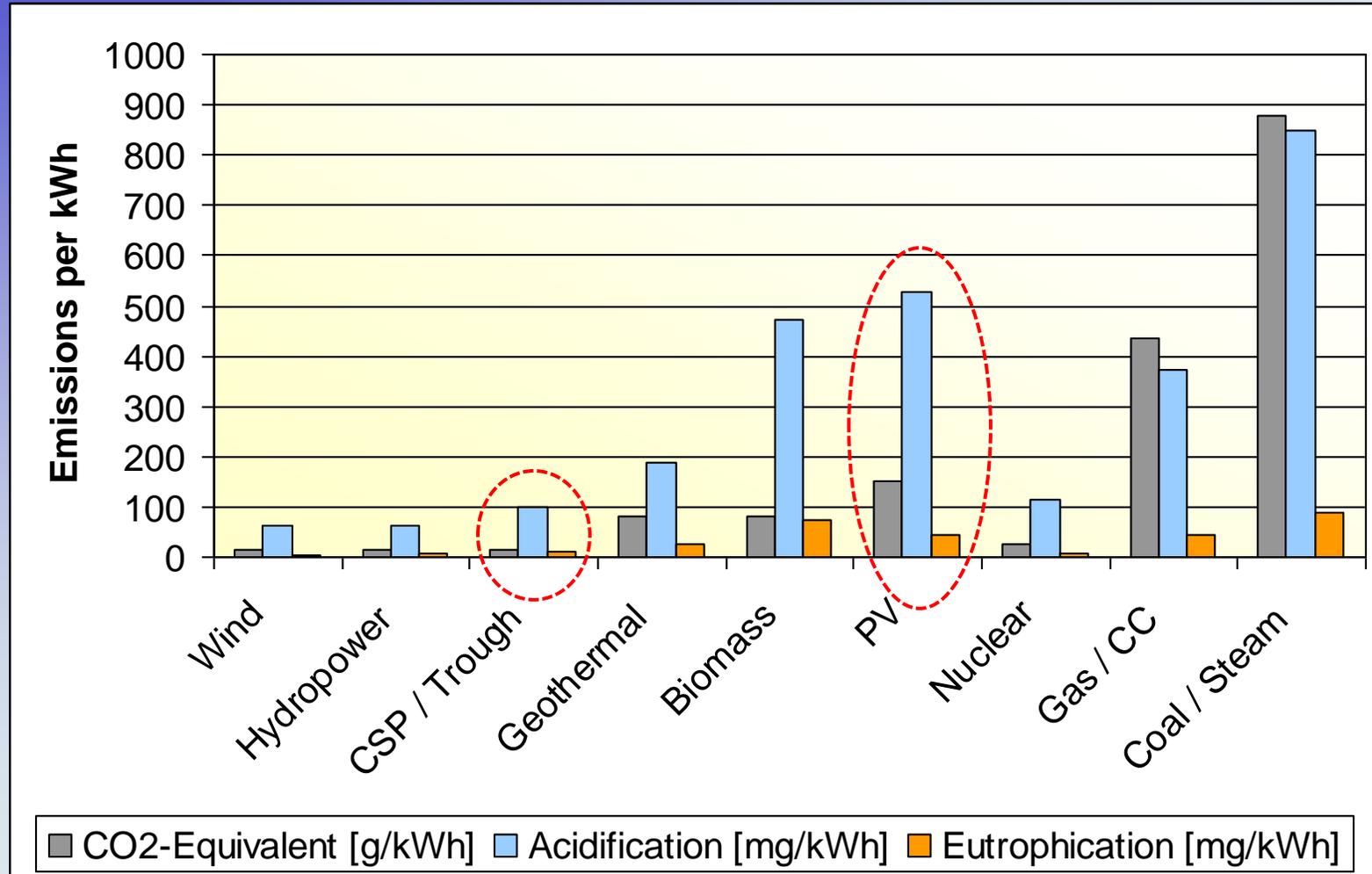
Comparaison des surfaces nécessaires* pour différentes technologies



Sources: SECO, Pehnt, DLR, MED-CSP WP7 report

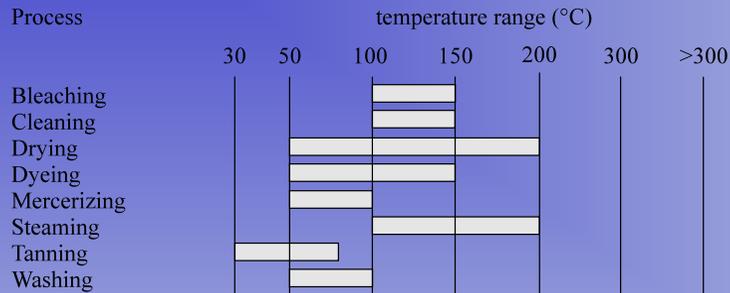
* valeurs moyennes, variables selon les situations des pays

Emissions comparées de différentes technologies *

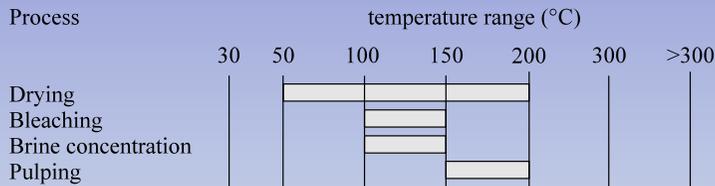


Couplages chaleur-force industriels

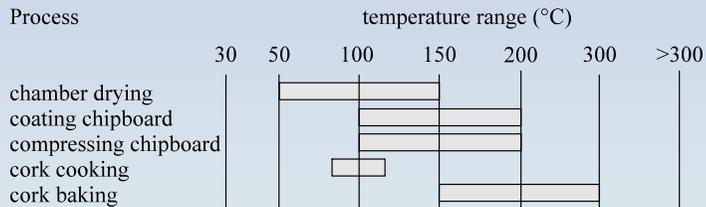
Textile Industry



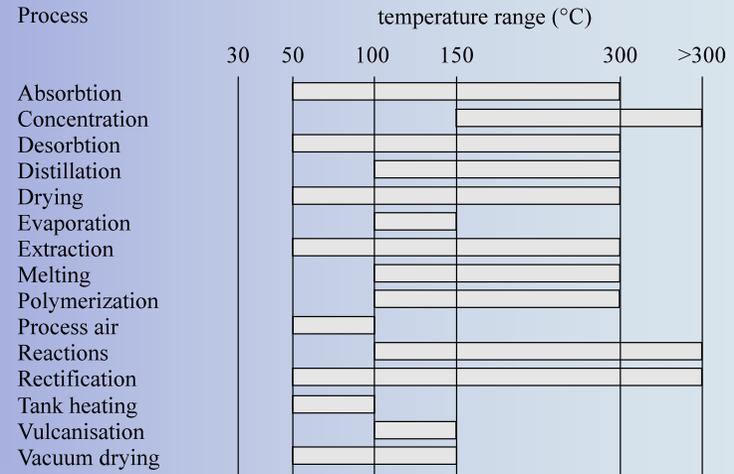
Pulp & Paper Industry



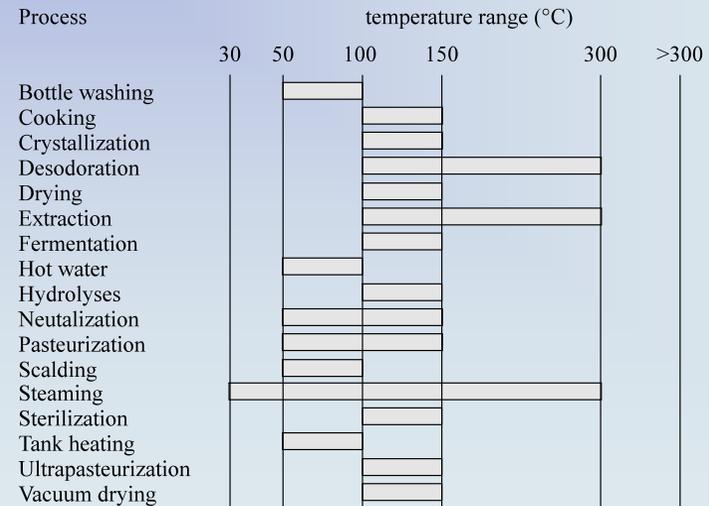
Wood Industry



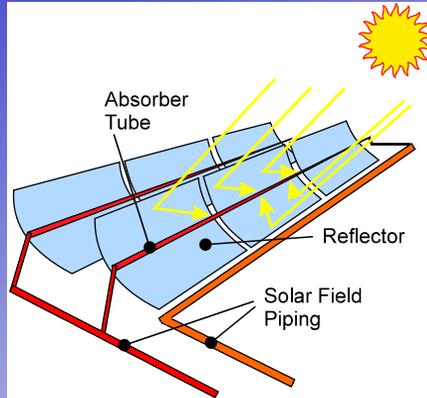
Chemical Industry



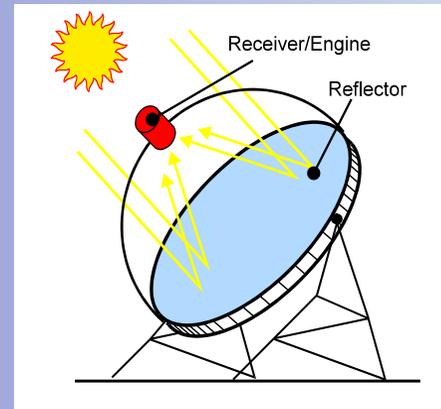
Food & Tobacco



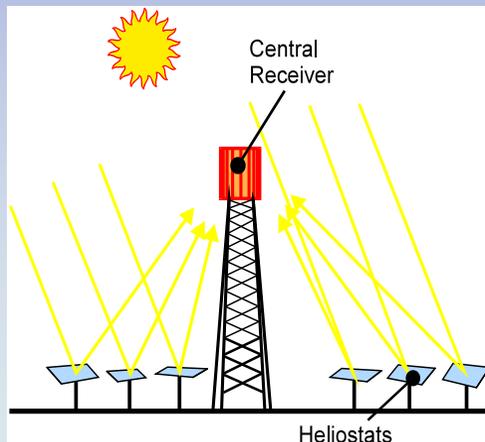
Principales technologies de concentration



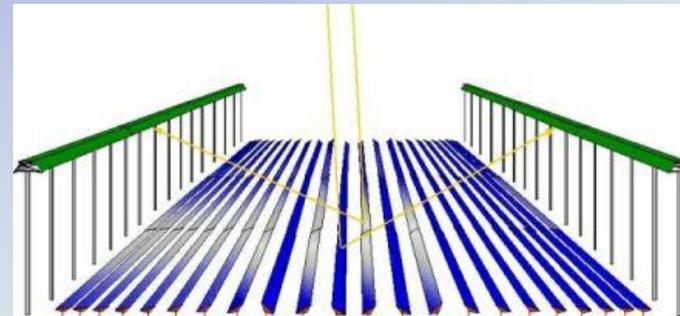
Cylindro-parabolique



Paraboloïdes (Dish)



Heliostats + Tour



Fresnel

Figure 3.3 Solar receiver for Linear Fresnel technology (DLR, Markus Steur).



Figure 3.4 Gemasolar plant of Torresol Energy in Andalusia, Spain (Torresol Energy).



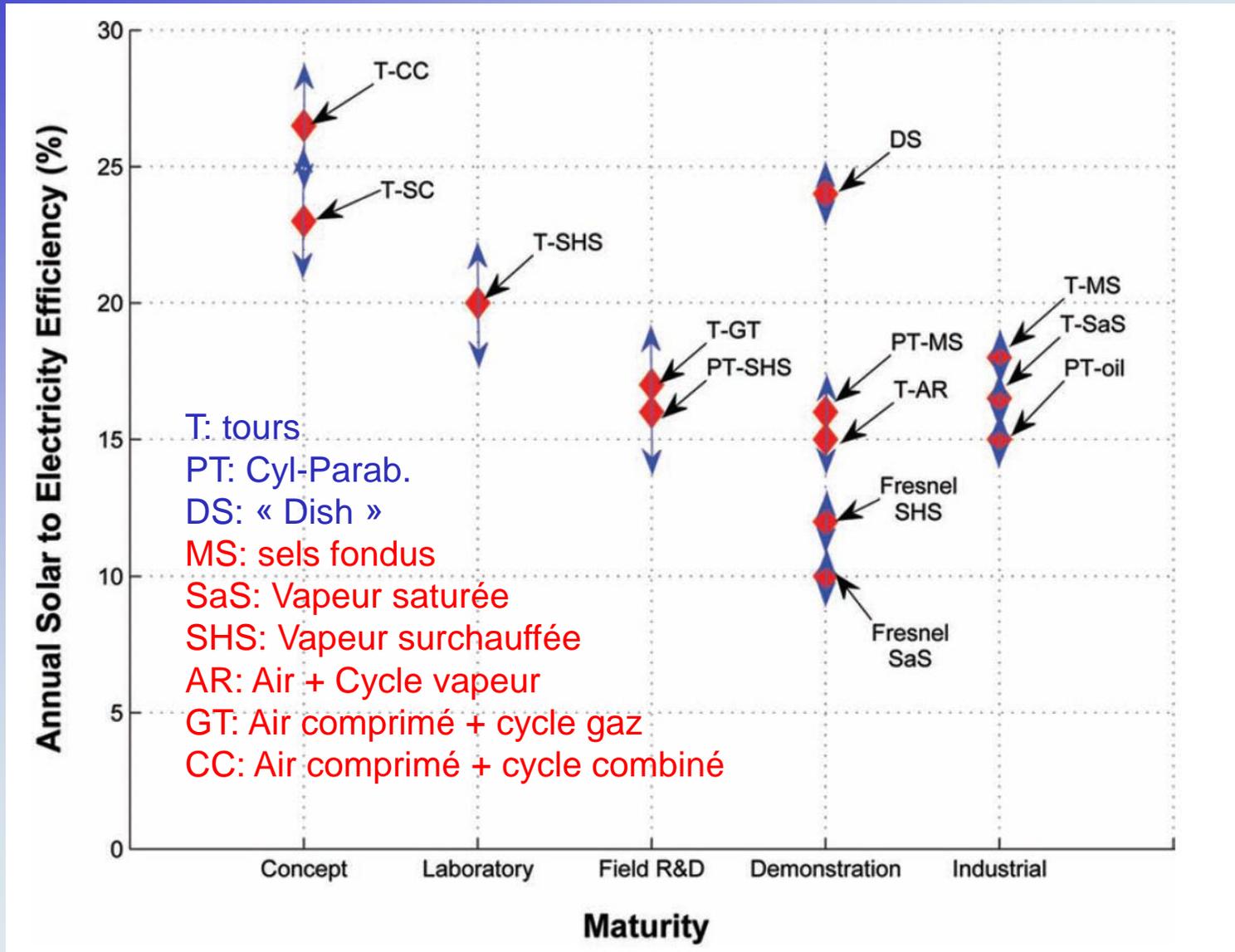
Figure 3.5 Solar receiver for trough technology (DLR, Markus Steur).



Concentrateur

- Le rendement maximal est obtenu pour l'absorption effective maximale = compromis entre plusieurs effets:
 - Plus la concentration est élevée (C^*I) et meilleur est le rendement optique.
 - Plus la température de l'absorbeur est élevée et plus les pertes par rayonnement augmentent (en T^4) ce qui diminue le rendement.
 - Plus la température du fluide de travail est élevée et meilleur est le rendement mécanique.

Rendement des filières en fonction de leur degré de maturité



Concentrateurs cylindro-paraboliques



Schott PTR-70



Solel UVAC-2 y UVAC-3

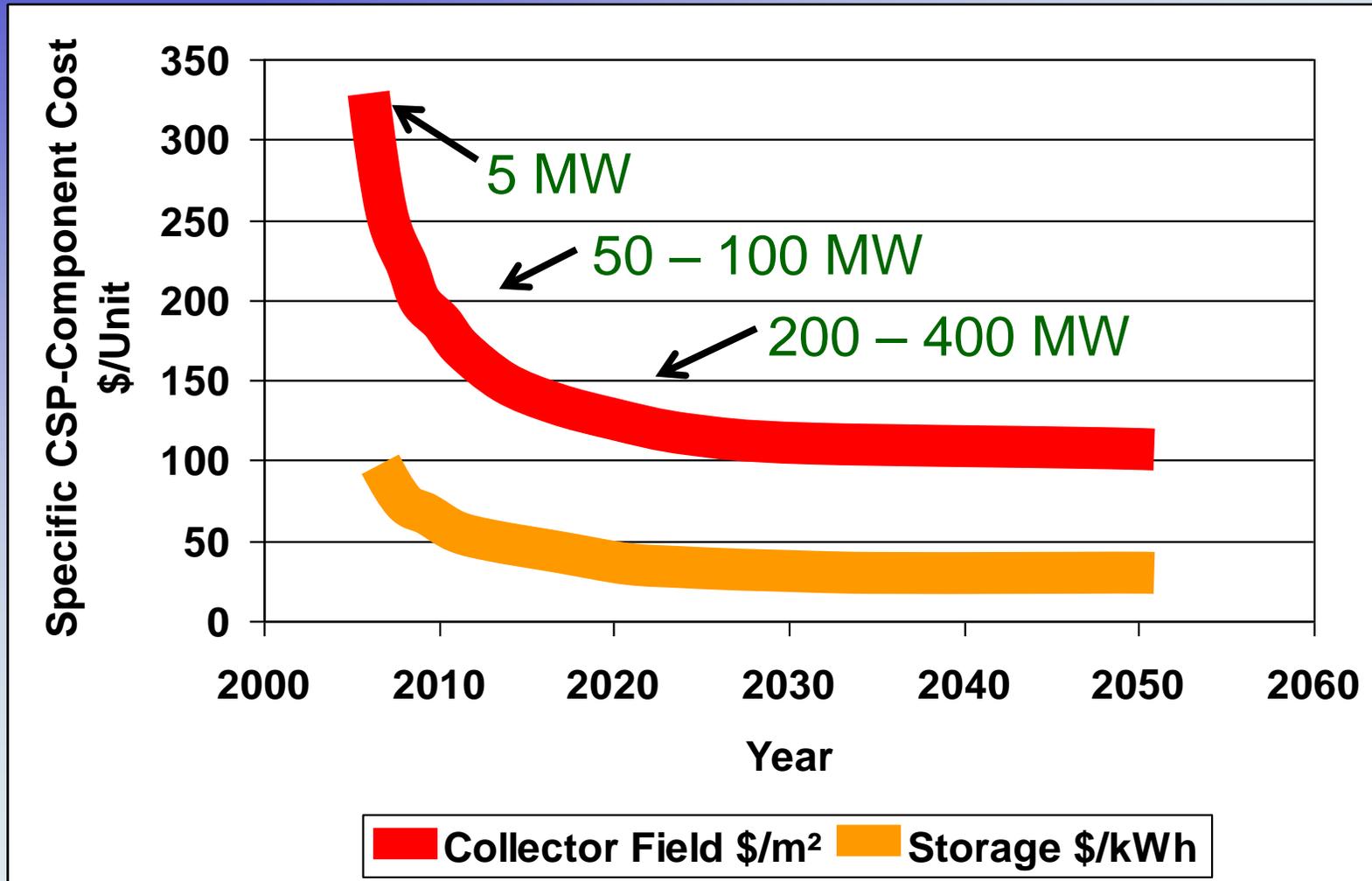
Liste des projets: réalisés, en construction, en projet

- Total en fonctionnement (2011): 1,3 GW (USA, Espagne etc.)
- En construction: 2,3 MW (USA, Espagne)
 - 370 MW - Ivanpah Solar Power Facility (Californie) le plus grand projet CSTC en construction – Tour
 - Espagne: 26 centrales , 50 à 100 MW, Cylindro-Paraboliques
- Annoncés 13.9 GW USA: 9'600, Maroc: 2'000, Chine; 2'000, Espagne: 1'080, Autres: 2'800

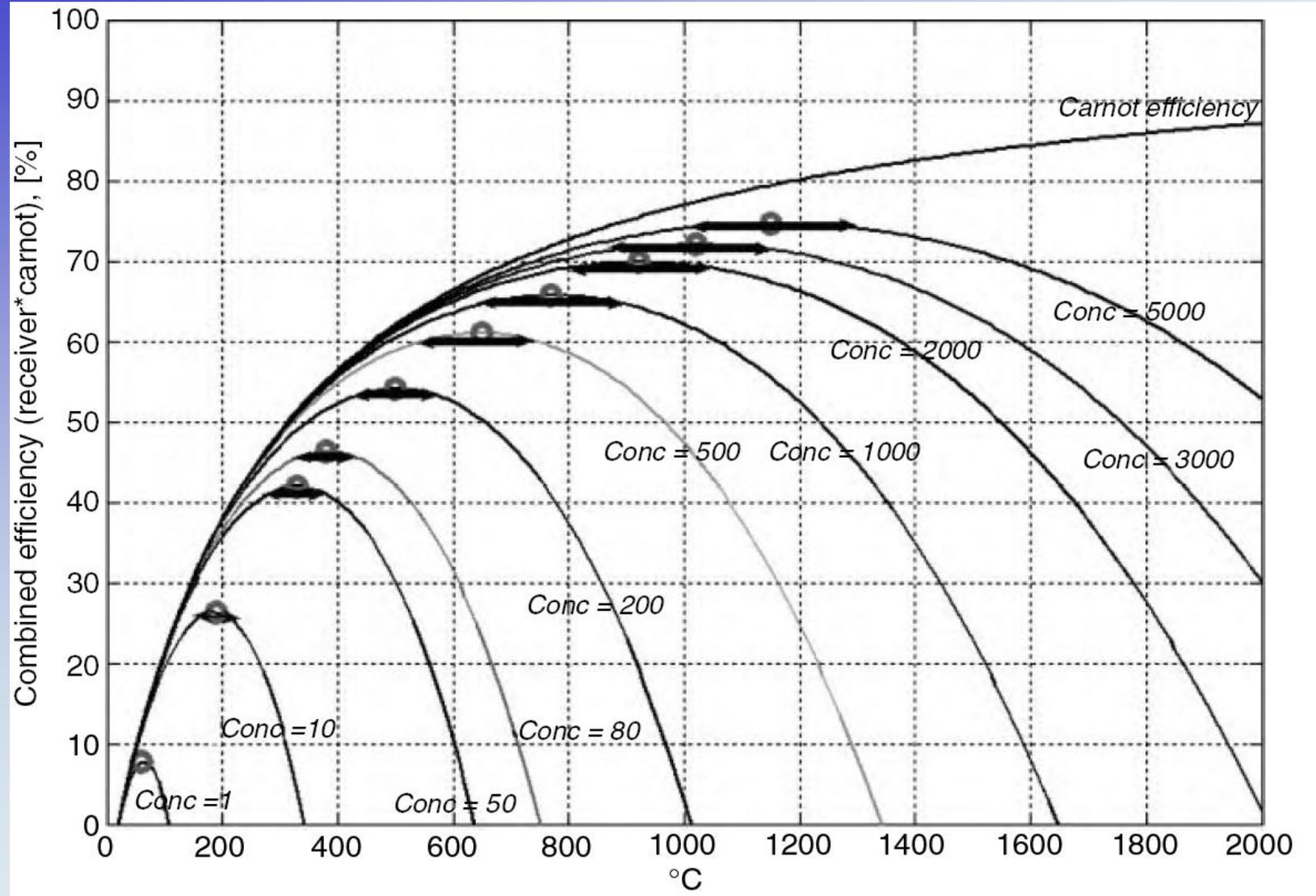
Comparaison des performances actuelles

Technologie	Rendement de conversion maximal (pic)	Rendement de conversion annuel	Perspectives d'évolution
Cyl.-Para.	23-27	15-16	Limitées
Fresnel	18-22	8-10	Importantes
Tours	20-27	15-17 20-35 (concepts)	Très importantes
Paraboles-Stirling	20-30	20-25	Production en série

Maturité technologique des composants



Rendement théorique du concentrateur idéal



Classement des types de stockage

- Par utilisation

- Court terme

- Apporte une stabilité de fonctionnement (nuages)

- Moyen terme

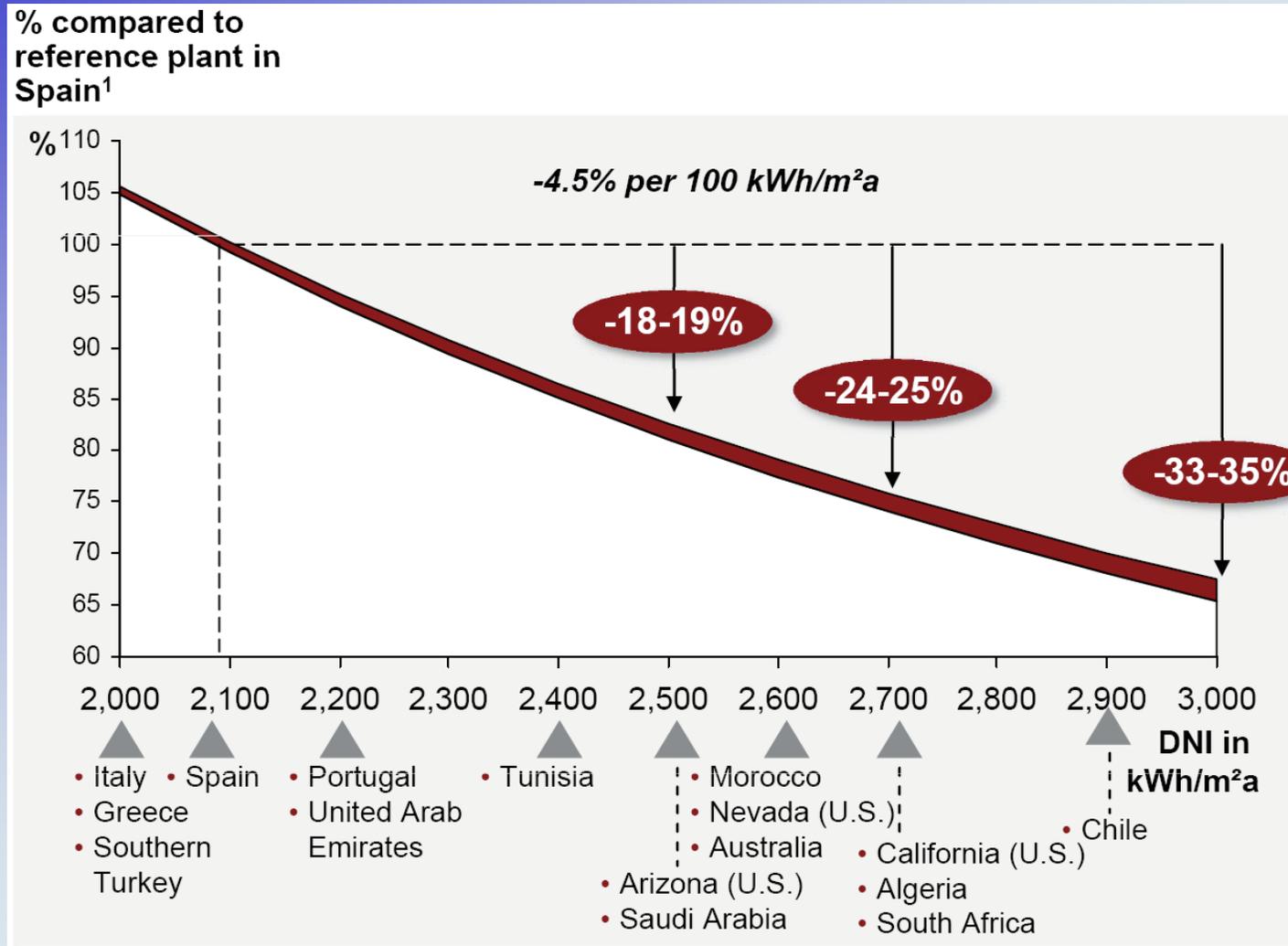
- Augmente la disponibilité (capacity factor)
 - Permet de suivre la demande de charge

- Par type

- Direct (même fluide que le fluide de travail, pas besoin d'échangeur thermique)

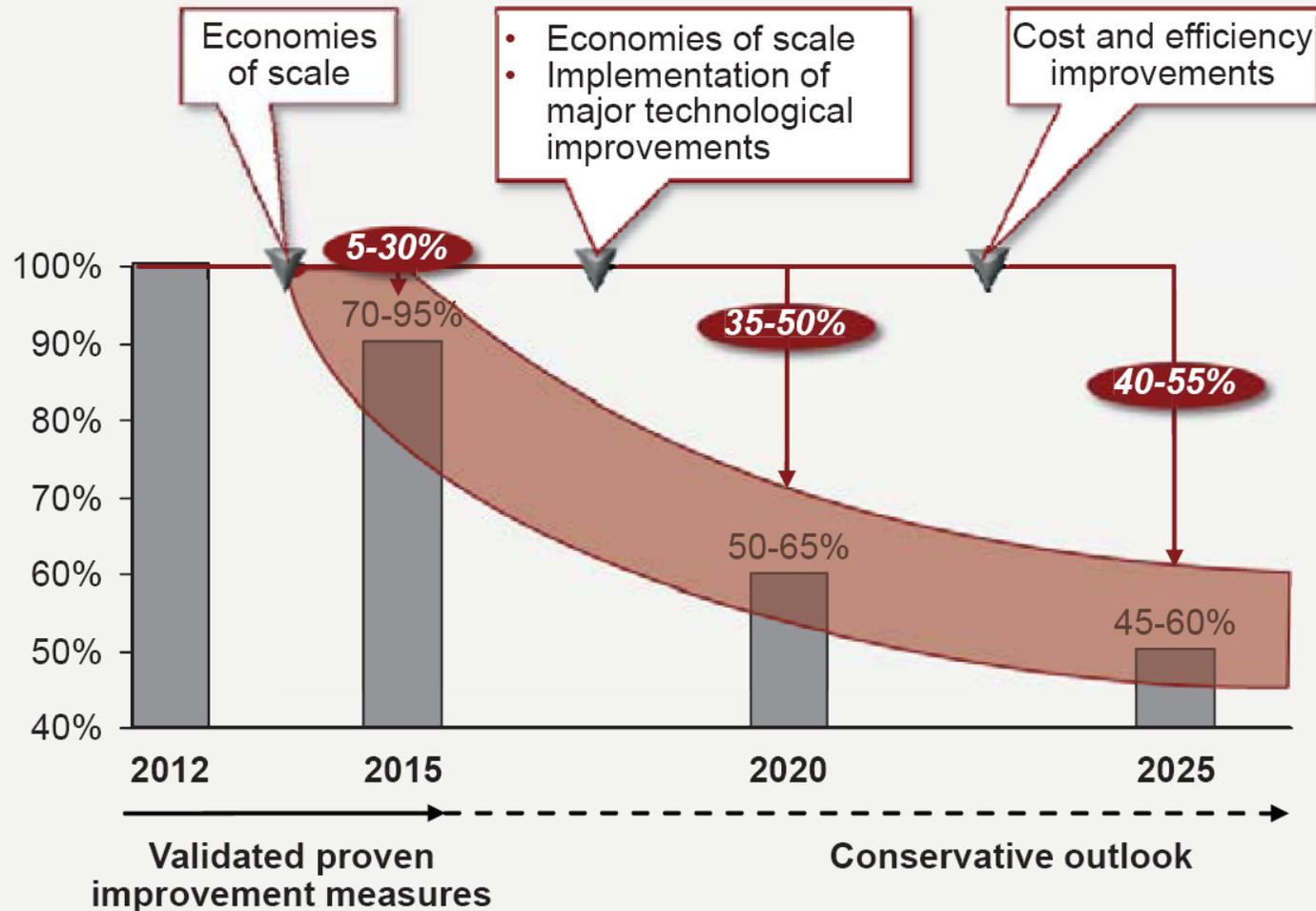
- Indirect (matériau différent, nécessite un échangeur thermique entre le stock et le fluide)

Importance relative de l'ensoleillement sur le coût du kWh



¹ DNI : ensoleillement normal direct de référence = 2'084 kWh/m²an à 100%
Source: A.T. Kearney

Projections de coût de production du kWh



Notes: Tarifs comparés à ceux de 2012.

Source: A.T. Kearney

Réflexions

- Quels sont les besoins d'énergie à satisfaire ?
 - Pour les besoins propres et/ou la revente
 - Electricité et/ou chaleur de procédé: vapeur HP/MP/BP, eau chaude, air chaud, froid....
 - Dessalement de l'eau
 - Carburant pour les transports
- Quel type d'intégration est possible ou envisagé ?
 - Sur un parc industriel ?
 - Dans un centre urbain ?
- Quelles sont les étapes de développement à prévoir ?
 - Maturité des technologies ?
 - Opportunités pour les industries locales ?
 - Financements, adossements, mesures d'encouragement ?

Sources

- MED-CSP: “Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region” Final Report by German Aerospace Center (DLR), 16-04-05
- Manuel Silva, CSP Webinar, Leonardo Energy (2010) www.leonardo-energy.org/node/5840
- R. Sioshansi, P. Denholm, “The Value of Concentrating Solar Power and Thermal Energy Storage” National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL-TP-6A2-45833 February 2010
- A.T. Kerney, “Solar Thermal Electricity 2025 - Clean electricity on demand: attractive STE cost stabilize energy production”, Juin 2010
- Technology Roadmap, Concentrating Solar Power, AIE
- Concentrating solar power: its potential contribution to a sustainable energy future, EASAC policy report 16, Nov. 2011, ISBN: 978-3-8047-2944-5
www.easac.eu