



Quel mix énergétique en 2030 et 2050?

Cédric PHILIBERT

Centrale-Energie, Paris, 22 février 2017

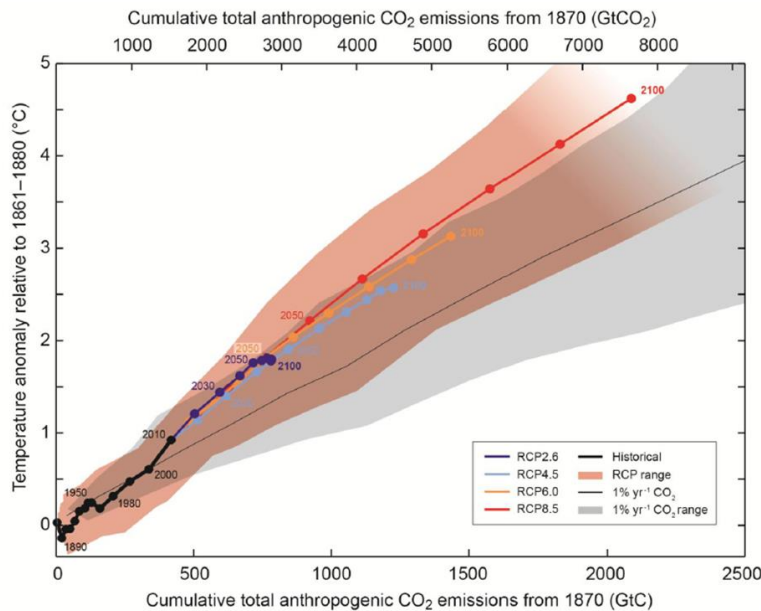
Quel mix énergétique?

1. Le défi de l'accord de Paris
2. Les scénarios 2°C de l'AIE
3. Baisse des coûts et déploiement des renouvelables
4. L'intégration des renouvelables variables
5. Plus loin, plus vite
6. La question des matériaux
7. La contribution de la biomasse et la capture du CO₂
8. L'électrification
9. Quel rôles pour l'hydrogène?
10. L'innovation est essentielle

L'accord de Paris – COP21

« Contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels »

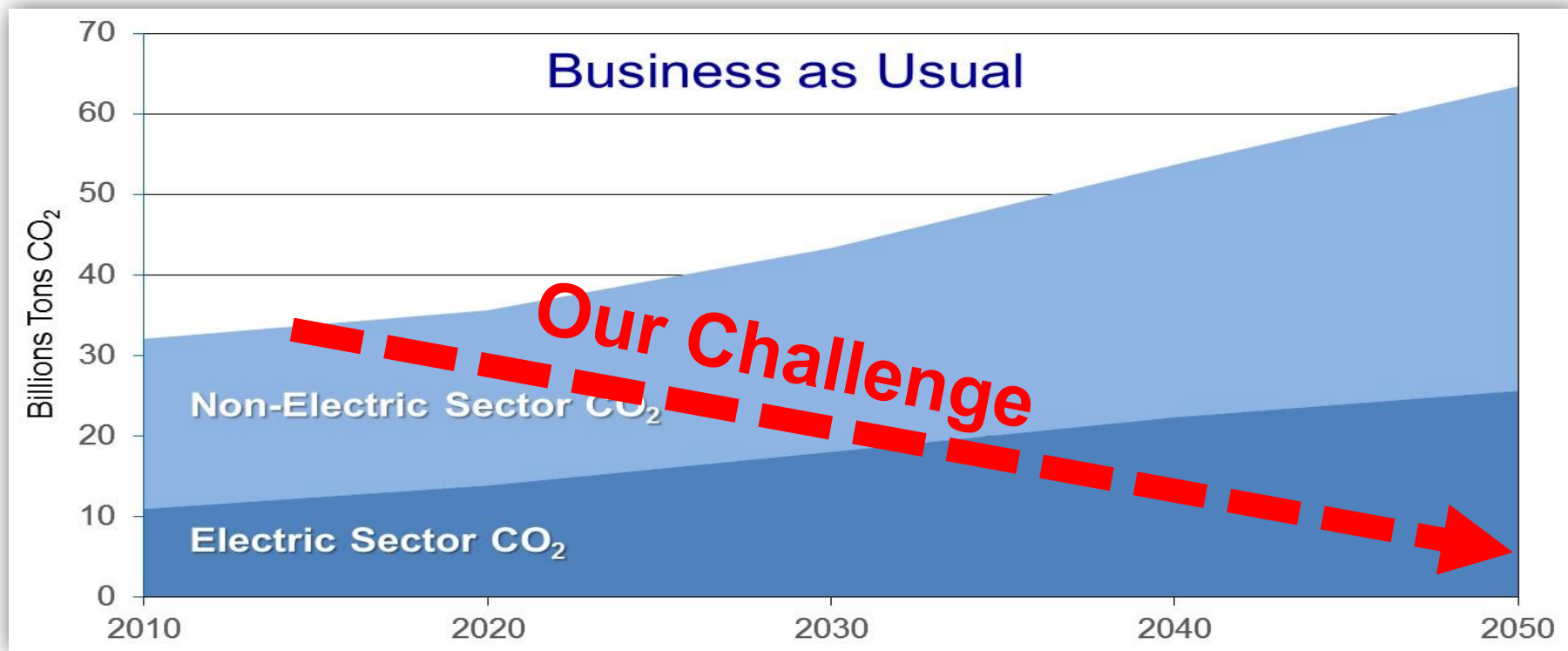
Cumulative carbon determines warming



SPM.10



De plus en plus difficile!

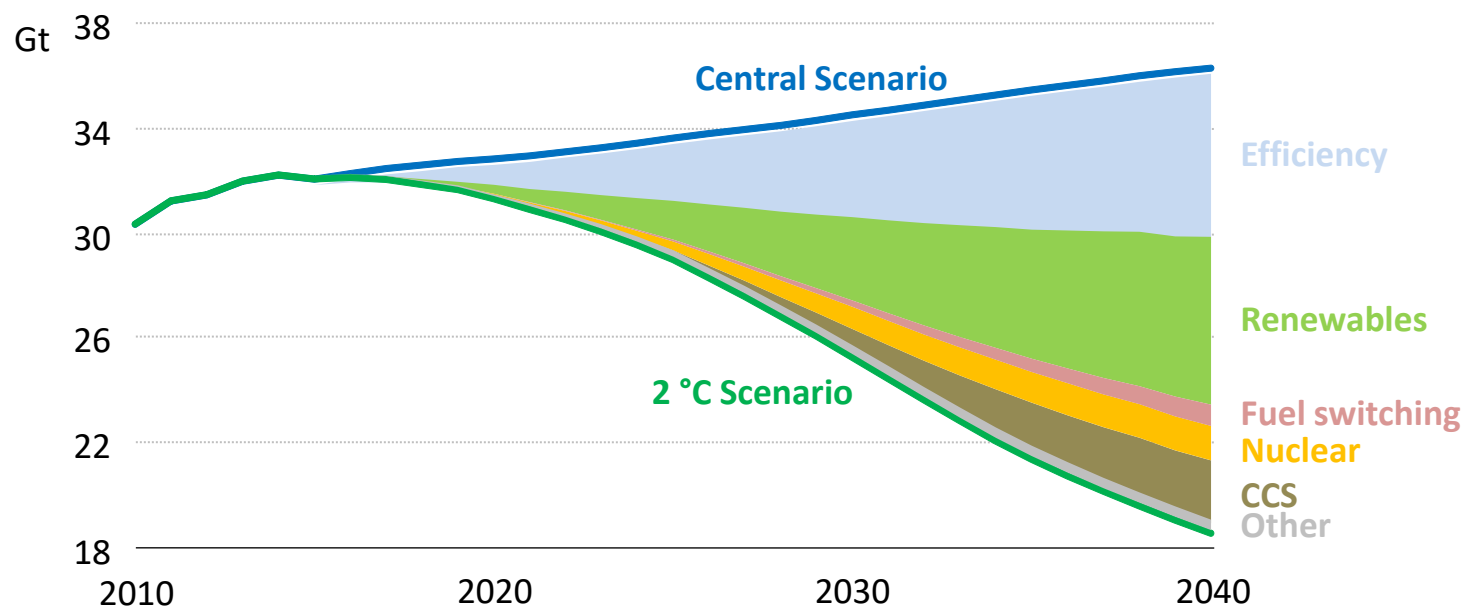


Source: US EPRI

23 ans après la Conférence de Rio, l'objectif de la convention sur les changements climatiques est précisé avec une ambition accrue

Les engagements pris sont insuffisants

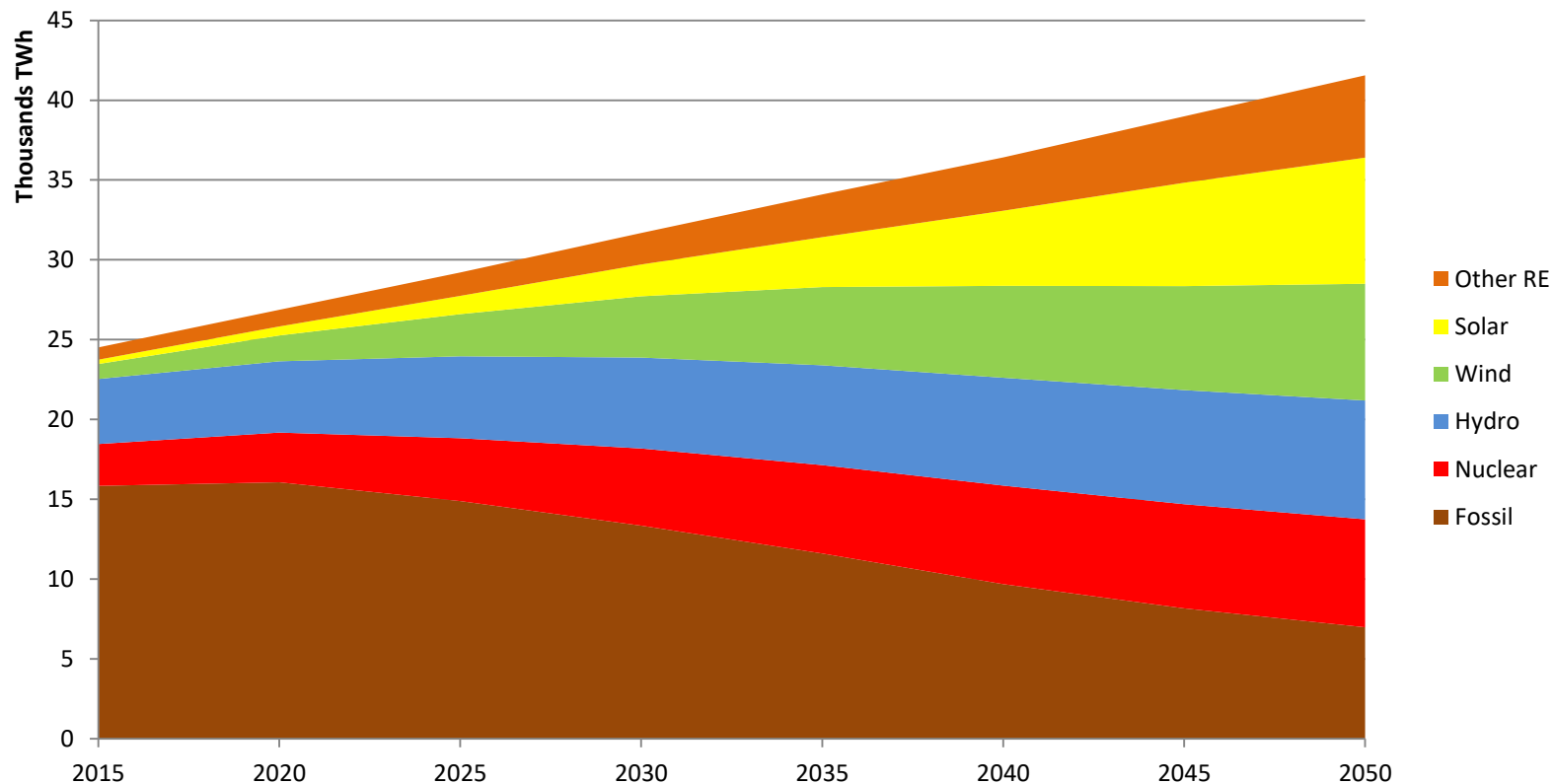
Global CO₂ emissions reductions in the Central & 2 °C Scenario by technology



L'efficacité énergétique et les renouvelables apporteront l'essentiel des réductions d'émission – à commencer par la production d'électricité

Evolution du mix électrique mondial dans le Scenario 2°

ETP
2016

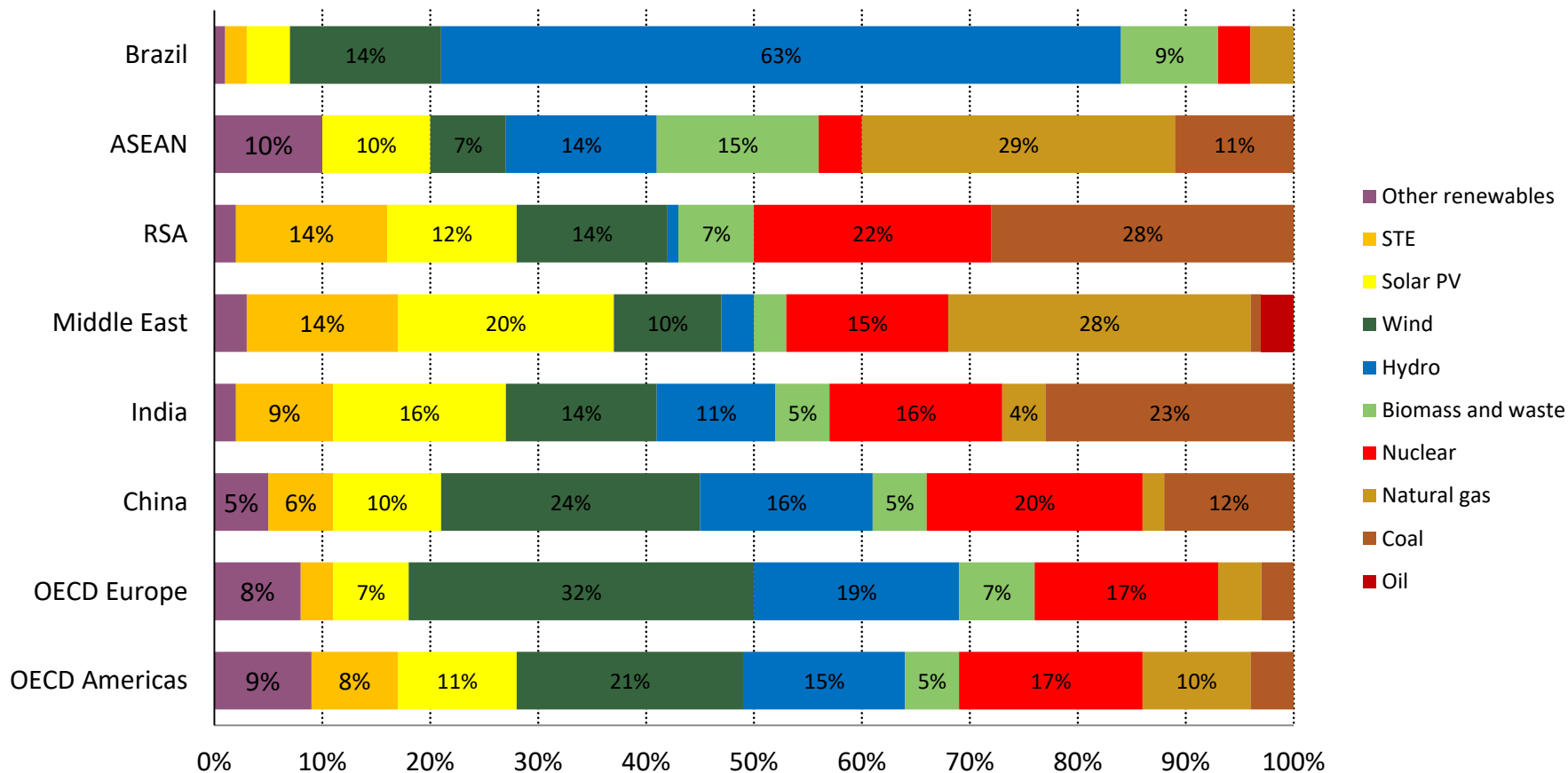


Un complet renversement est indispensable, les renouvelables produisant 2/3 de l'électricité en 2050 au plus tard

Les mix électriques varient fortement selon les régions

ETP
2016

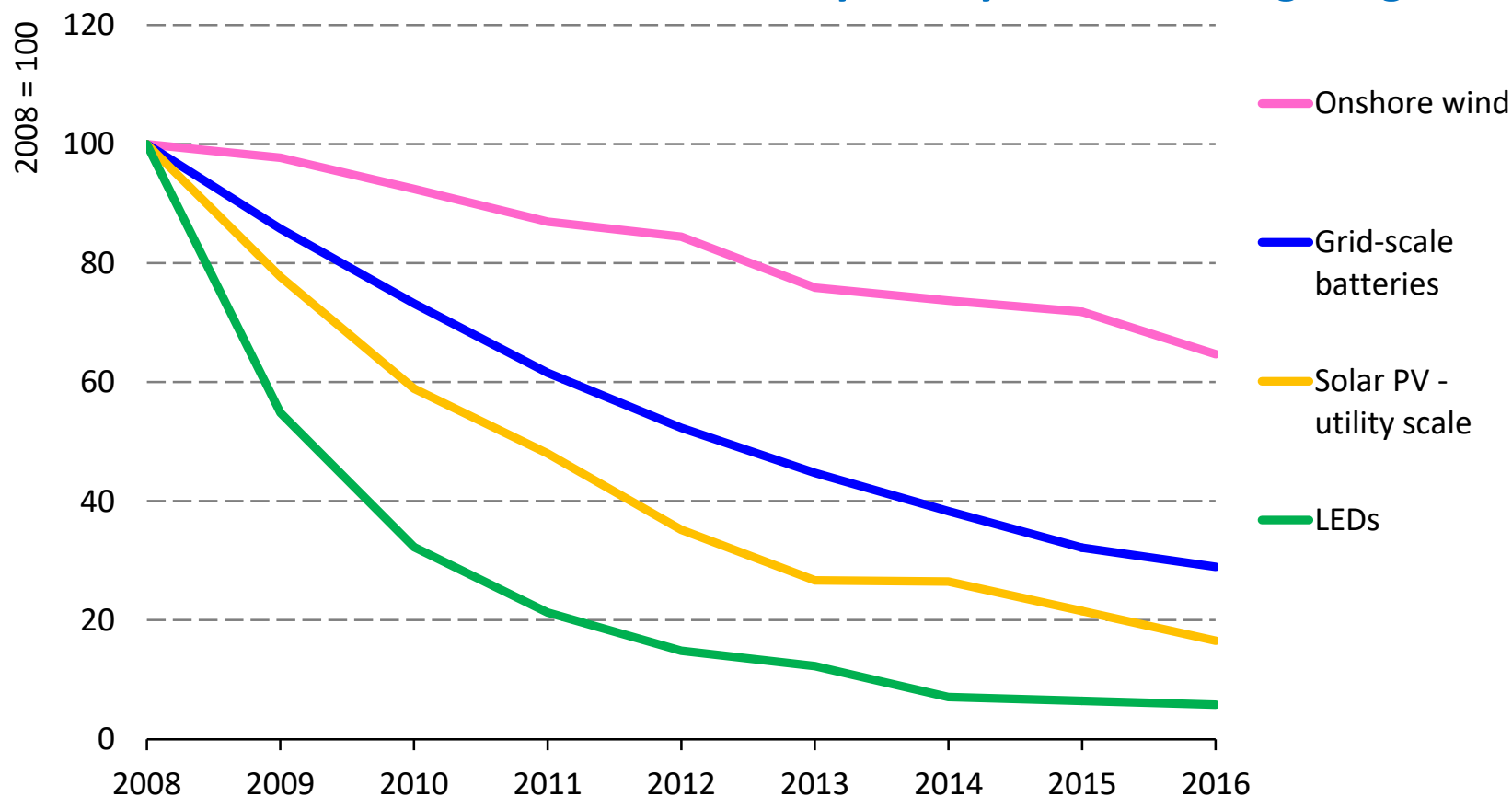
Electricity mixes by 2050 in the 2DS in selected regions



Les ressources, et les variations saisonnières de la demande, expliquent les différences

Le coût des renouvelables s'effondre

Indexed cost of onshore wind, battery, utility PV and LED lighting



***La baisse des coûts ouvre des possibilités nouvelles,
Mais le cadre réglementaire reste très important***

Les enchères font baisser les coûts

Recent announced long-term contract prices for new renewable power to be commissioned over 2016-2019

Onshore wind

Offshore wind

Utility-scale solar PV

Netherlands
85 USD/MWh

Denmark
65 USD/MWh

Denmark
58 USD/MWh

Germany
USD 80/MWh

United States
USD 45/MWh

Canada
USD 62-66/MWh

United States
USD 65-70/MWh

Mexico
USD 38-67/MWh

Mexico
USD 35-65/MWh

El Salvador
USD 50-67/MWh

Brazil
USD 49/MWh

Chile
USD 29-50/MWh

Chile
USD 41-66/MWh

Zambia
USD 60/MWh

South Africa
USD 51/MWh

South Africa
USD 65/MWh

Morocco
USD 30/MWh

India
USD 65-94/MWh

Jordan
USD 61-77/MWh

United Arab Emirates
USD 30-58/MWh

Egypt
USD 41/MWh

Australia
USD 69/MWh

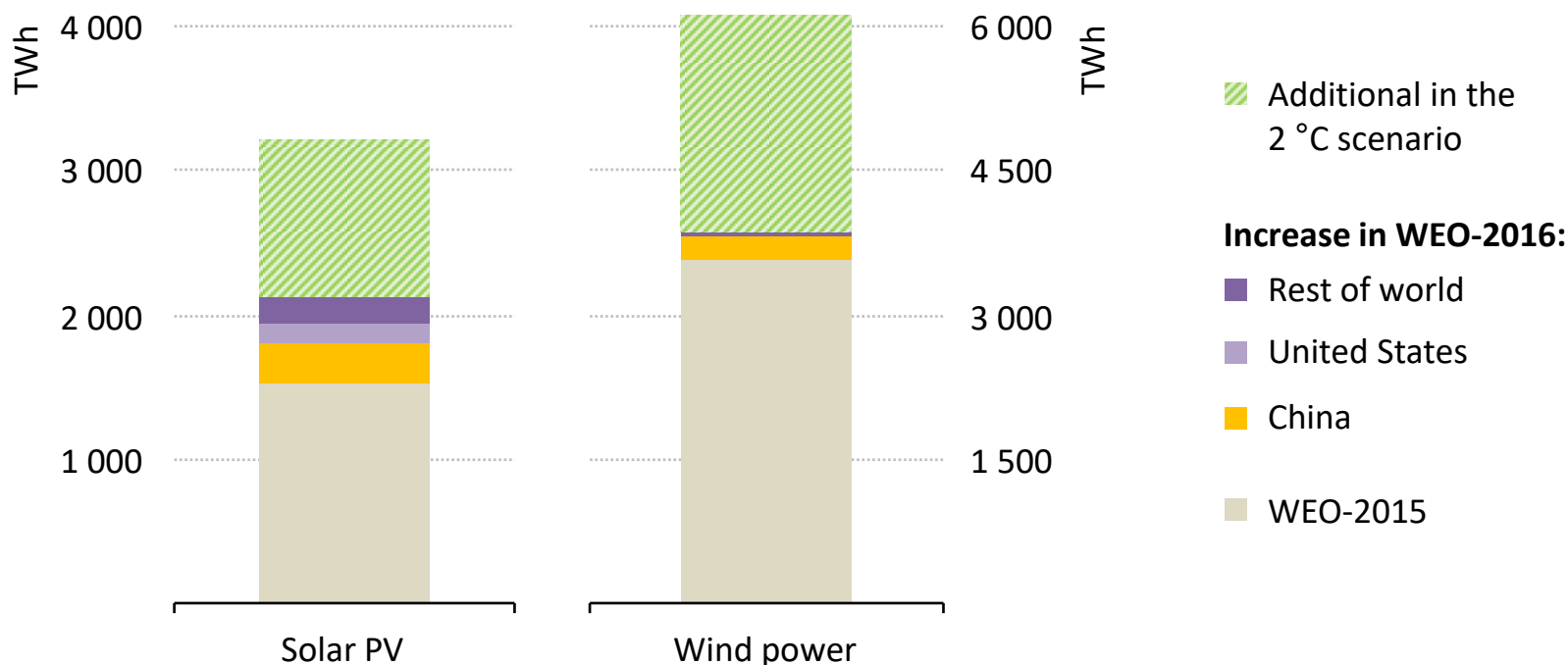
This map is without prejudice to the status or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area

Note: Values reported in nominal USD includes preferred bidders, PPAs or FITs. US values are calculated excluding tax credits. Delivery date and costs may be different than those reported at the time of the auction.

D'excellentes ressources, la compétition par les prix et les contrats d'achat à long terme permettent les coûts les plus bas © IEA 2017

Les perspectives de déploiement du solaire PV et de l'éolien s'améliorent

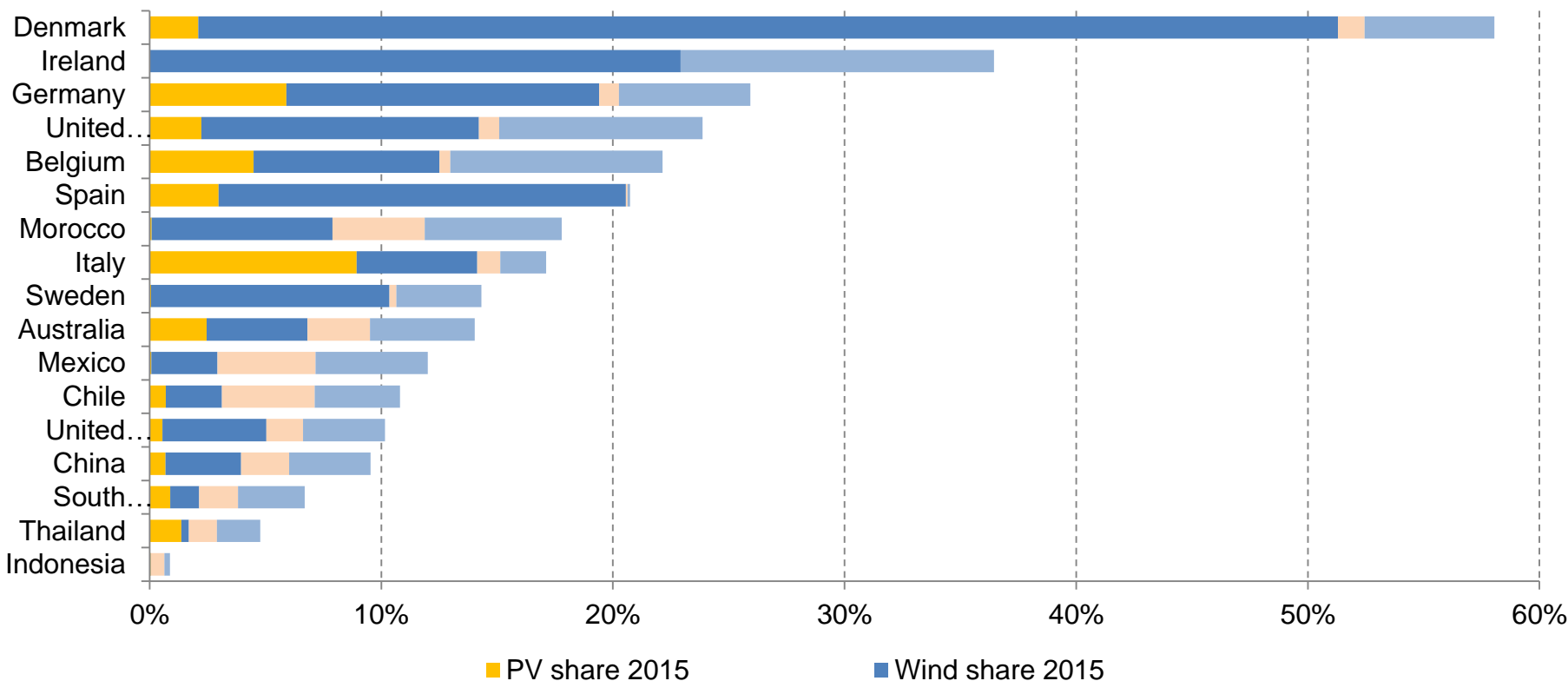
Electricité solaire PV et éolienne, 2040, scénario central



Des politiques plus fortes pour le solaire PV et l'éolien permettent aux renouvelables de fournir jusqu'à 37% de la production d'électricité en 2040 dans le scénario central – et près de 60% dans le Scénario 2 °C

L'intégration des renouvelables variables

Share of variable electricity generation in 2015 and 2021



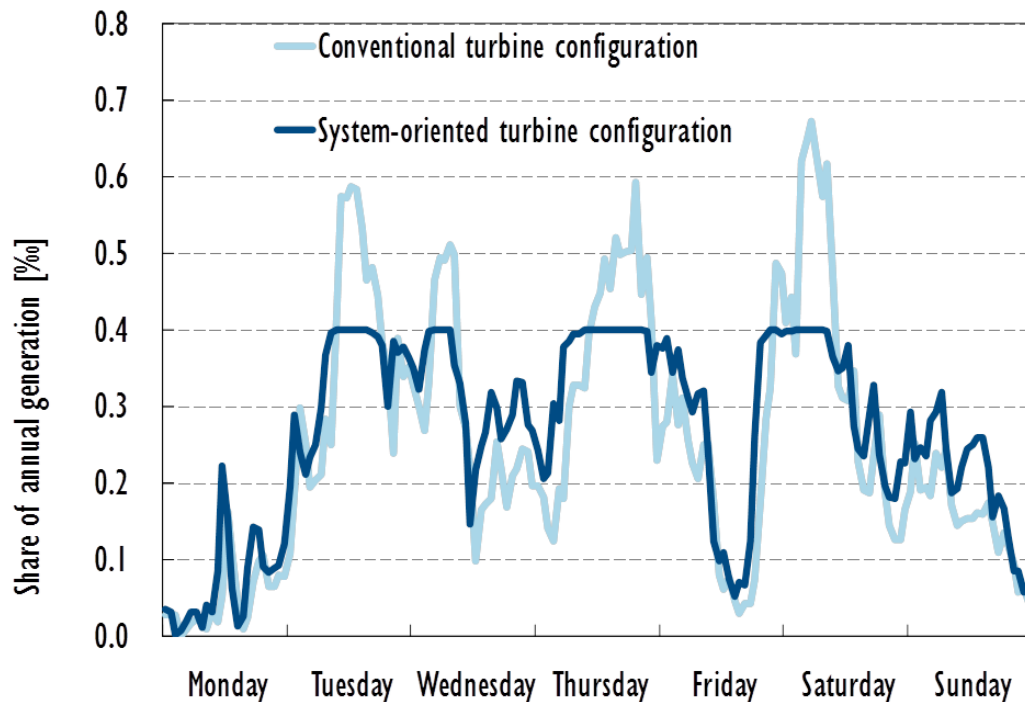
L'expérience de nombreux pays montre comment intégrer des proportions significatives d'énergies renouvelables variables

Augmenter les énergies variables suppose des systèmes plus flexibles

1) Promouvoir un déploiement "amical pour le réseau"

2) Améliorer les opérations de marché

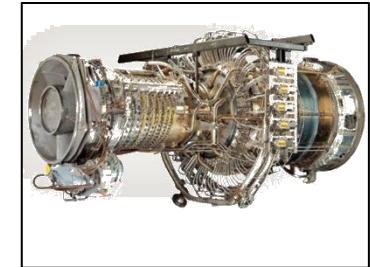
3) Accroître la flexibilité du reste du systèmes



Réseaux



Génération



Stockage

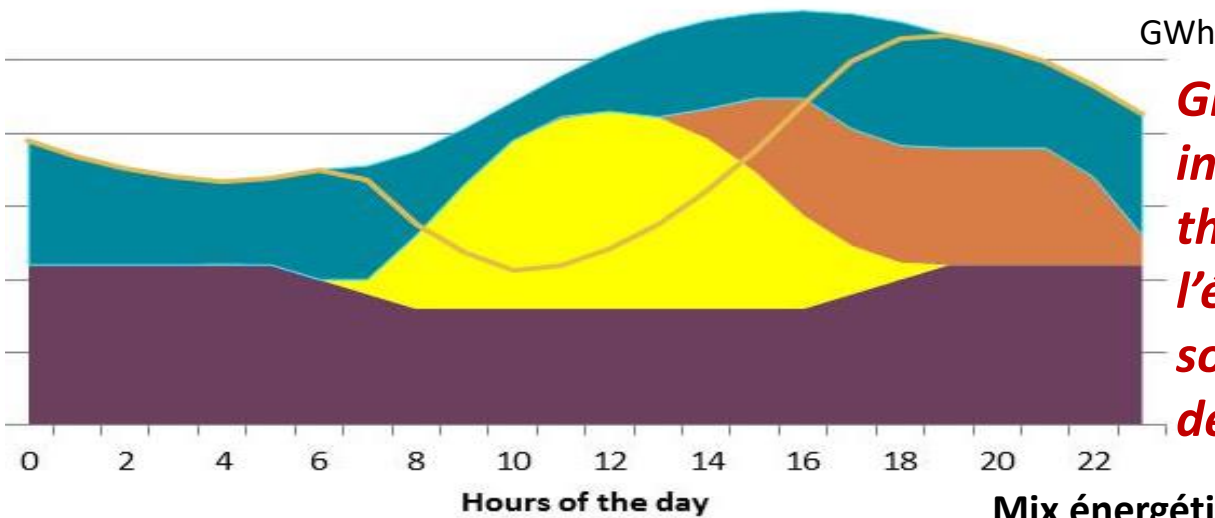


Gestion de la demande



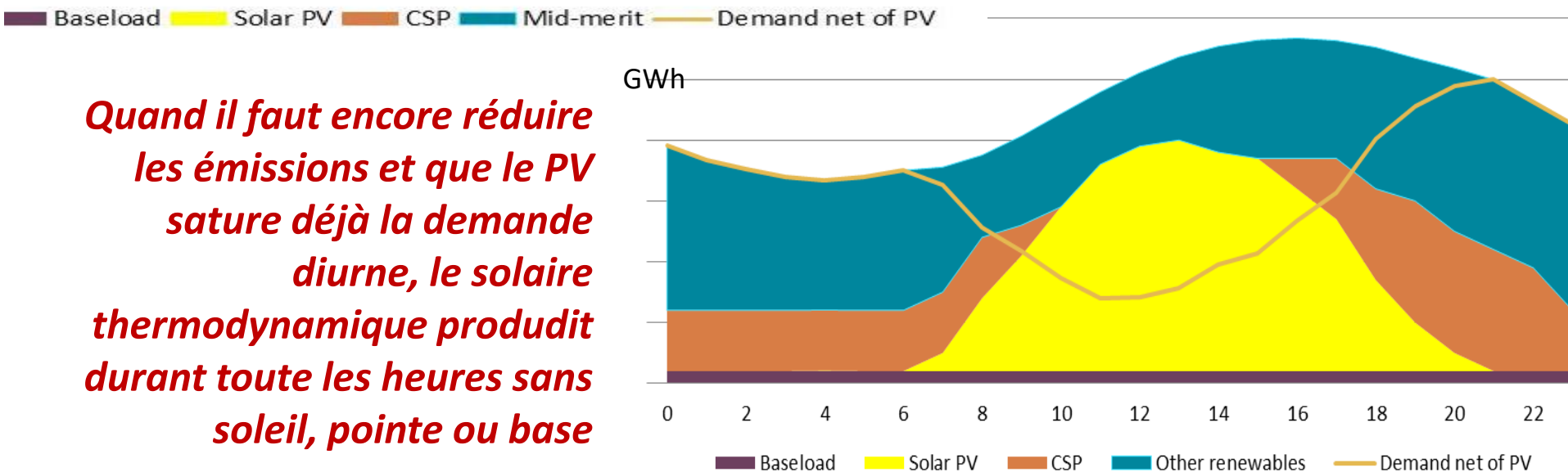
PV et CSP sont complémentaires

Mix énergétique possible d'un pays ensoleillé, 2030



Grâce au stockage thermique intégré, le solaire thermodynamique produit l'électricité après le coucher du soleil durant la pointe de demande

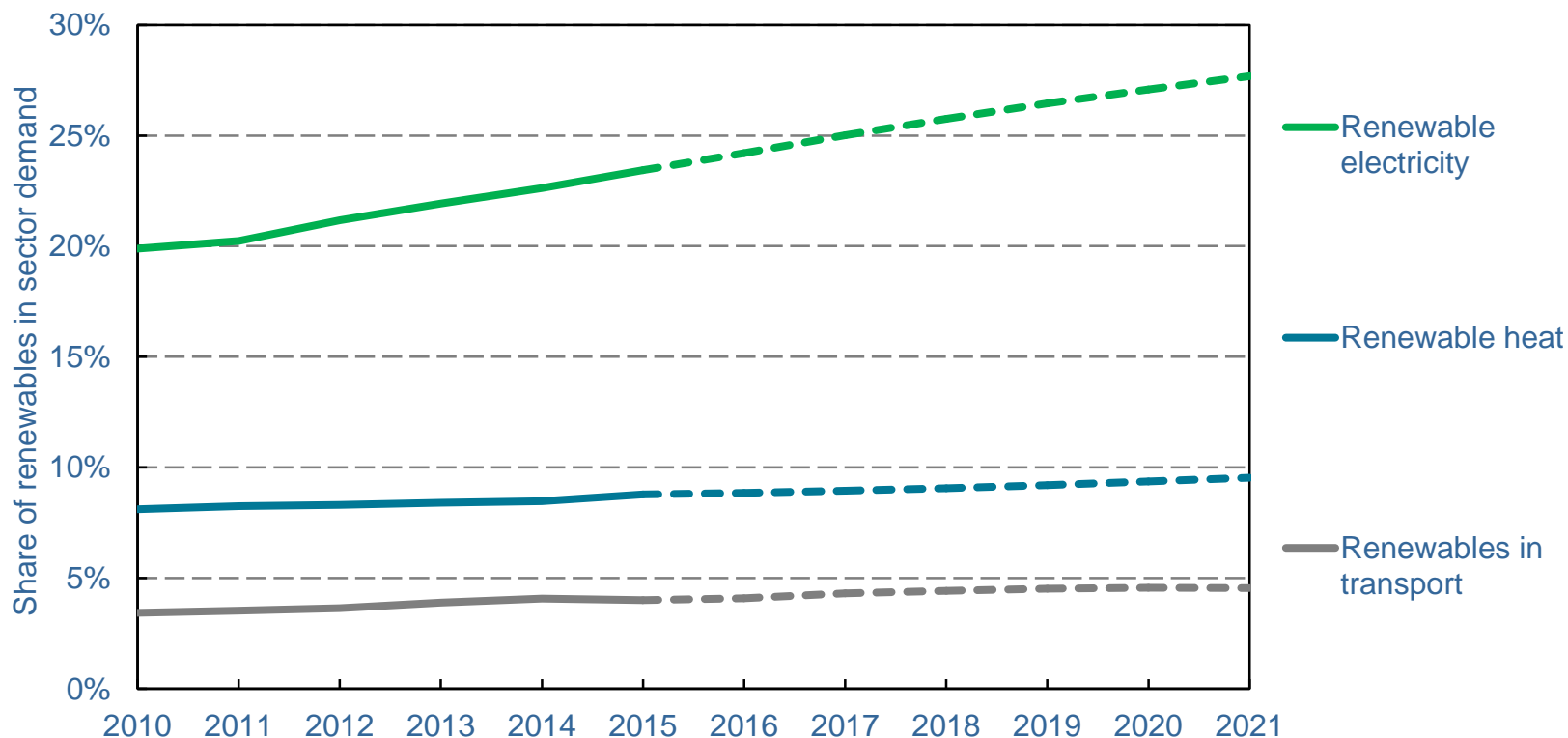
Mix énergétique possible d'un pays ensoleillé, 2050



Quand il faut encore réduire les émissions et que le PV sature déjà la demande diurne, le solaire thermodynamique produit durant toute les heures sans soleil, pointe ou base

Chaleur et transports en retard

Part des renouvelables dans l'électricité, la chaleur et les transports

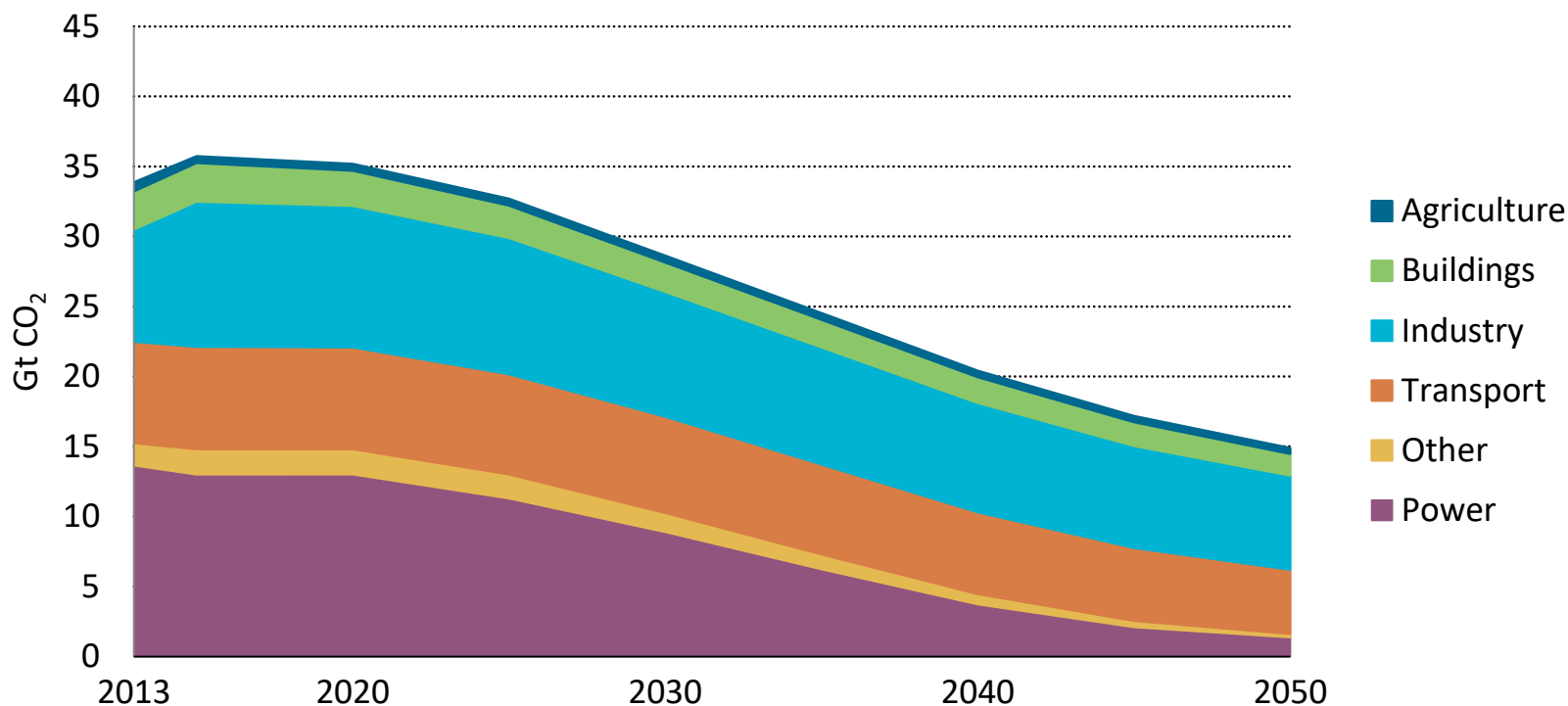


Les renouvelables dominent la croissance de l'électricité mais les progrès sont plus lents pour la chaleur et les transports;

Comment faire mieux que le Scénario 2°?

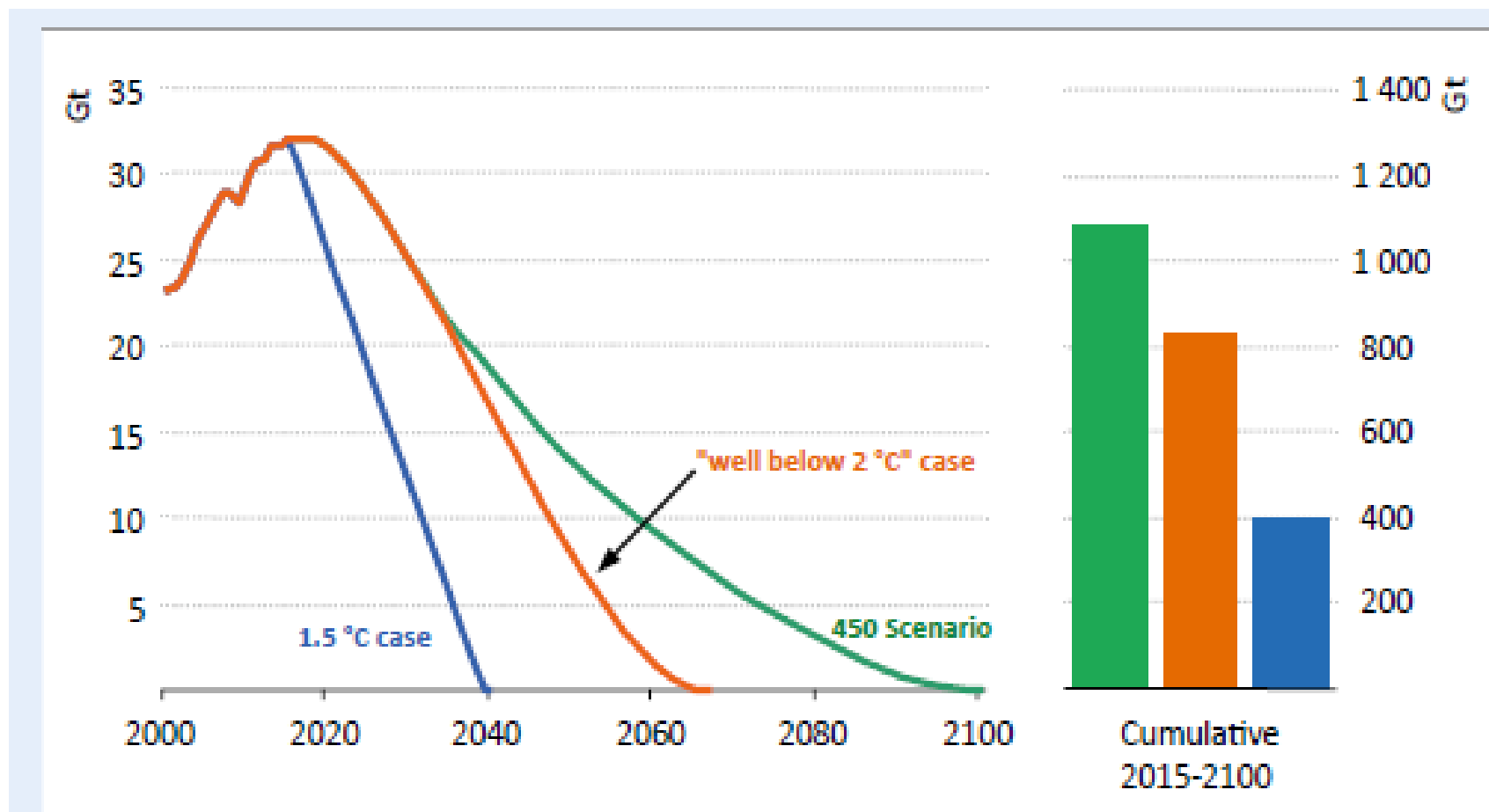
ETP
2016

Energy- and process-related CO₂ emissions by sector in the 2DS



L'industrie et les transports comptent pour la majorité des émissions résiduelles du Scénario 2°C

Le budget carbone est très serré

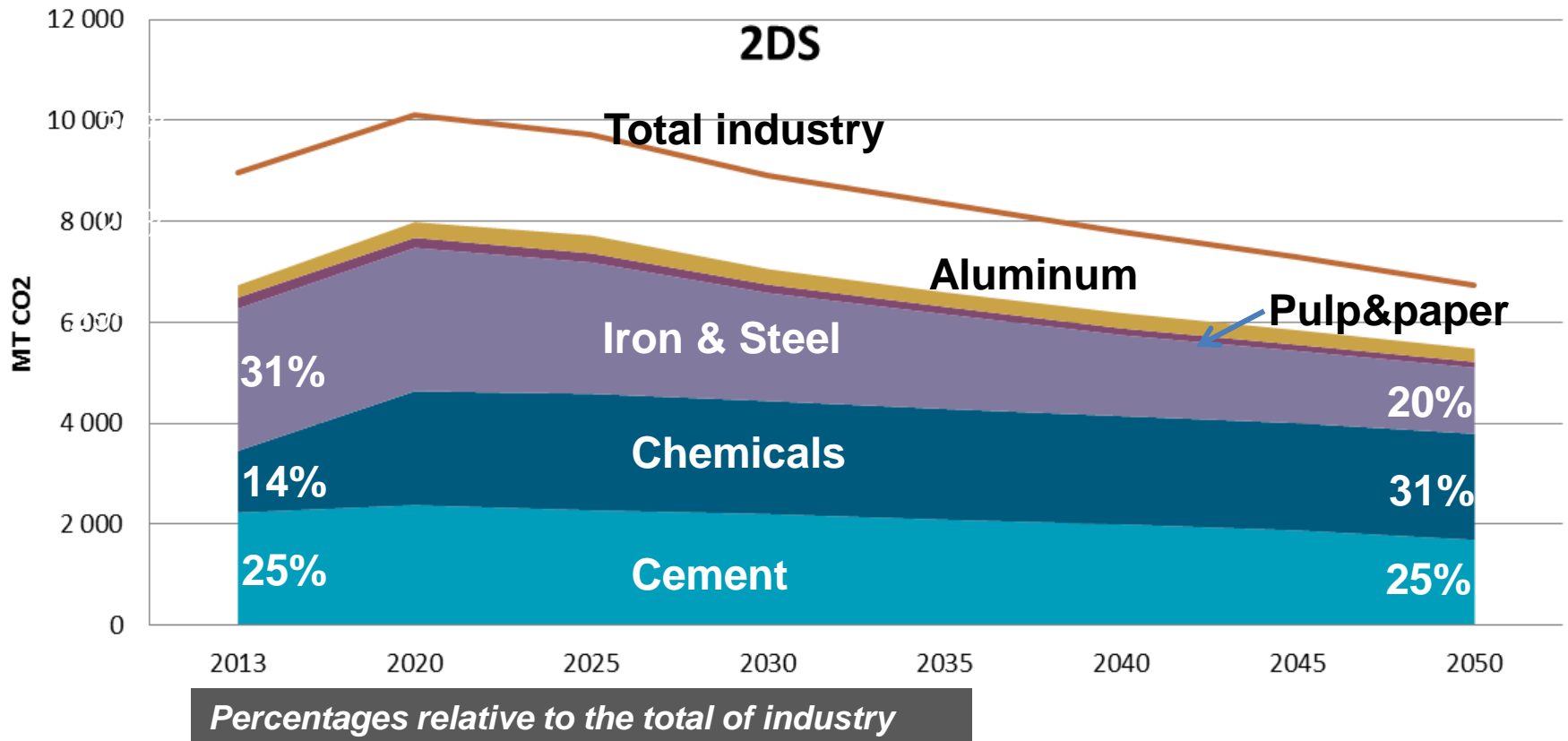


Sans émissions négatives ultérieurement, les émissions de CO₂ doivent tomber à zéro dès 2040 ou 2060 selon l'objectif espéré

Les matériaux au cœur du problème

ETP
2016

Direct CO₂ emissions from industry

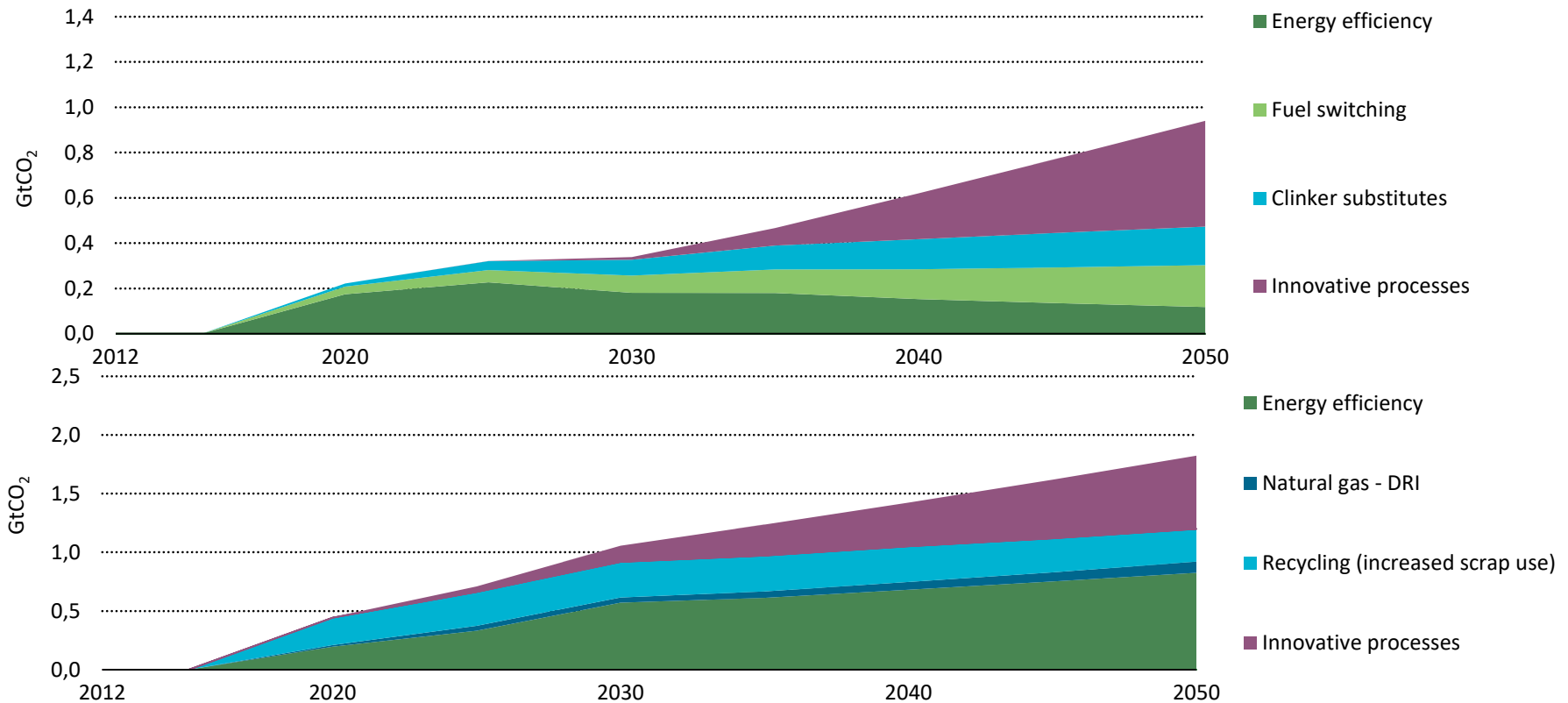


La fabrication du fer et de l'acier, des produits chimiques et du ciment représente l'essentiel des émissions industrielles en 2050

L'innovation est indispensable

ETP
2016

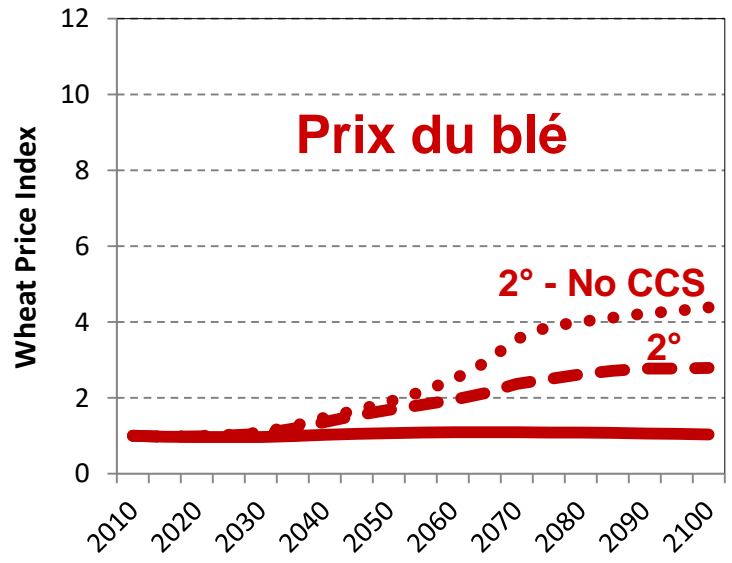
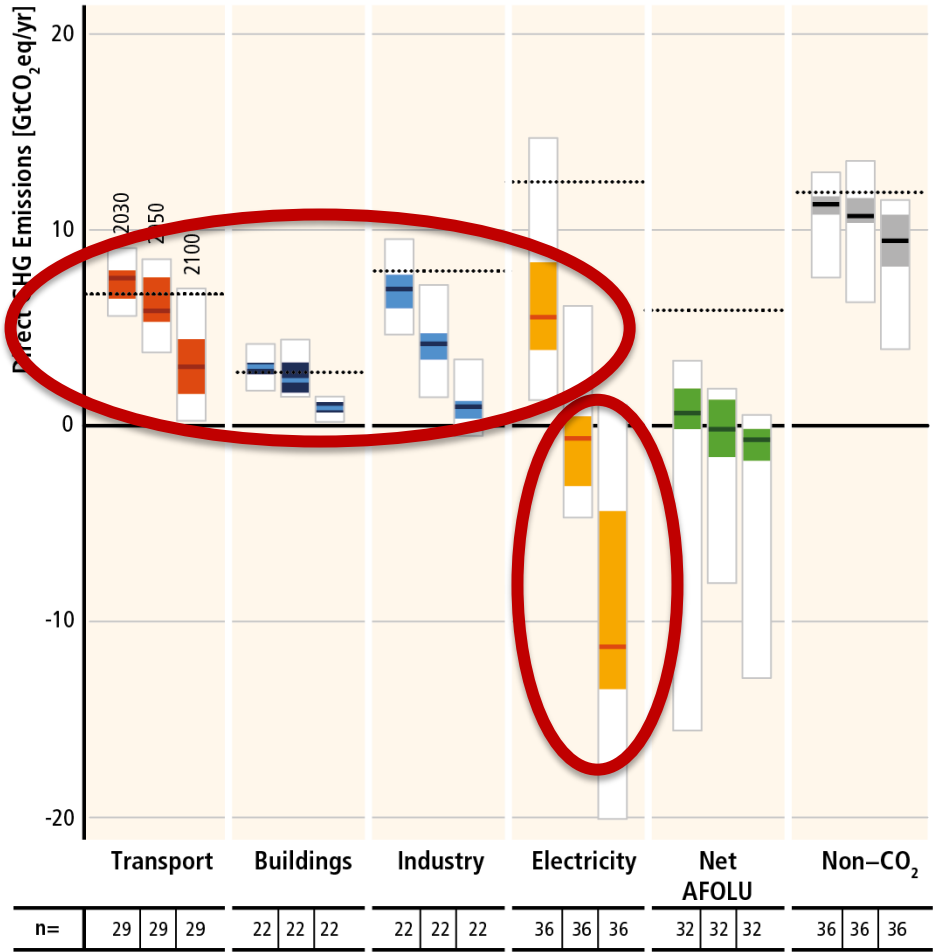
CO₂ emission reductions from selected industry sectors in the 2DS



Le Scénario 2° nécessite beaucoup d'innovation dans les procédés industriels... Et plus encore s'il faut faire mieux!

La biomasse et le stockage peuvent contribuer mais sont limités

450 ppm CO₂eq with CCS



Source: Muratori, et al., 2016

L'industrie fournira plus d'occasion d'émissions négatives (BECCS) que la production d'électricité

Source: IPCC, AR5, SPM

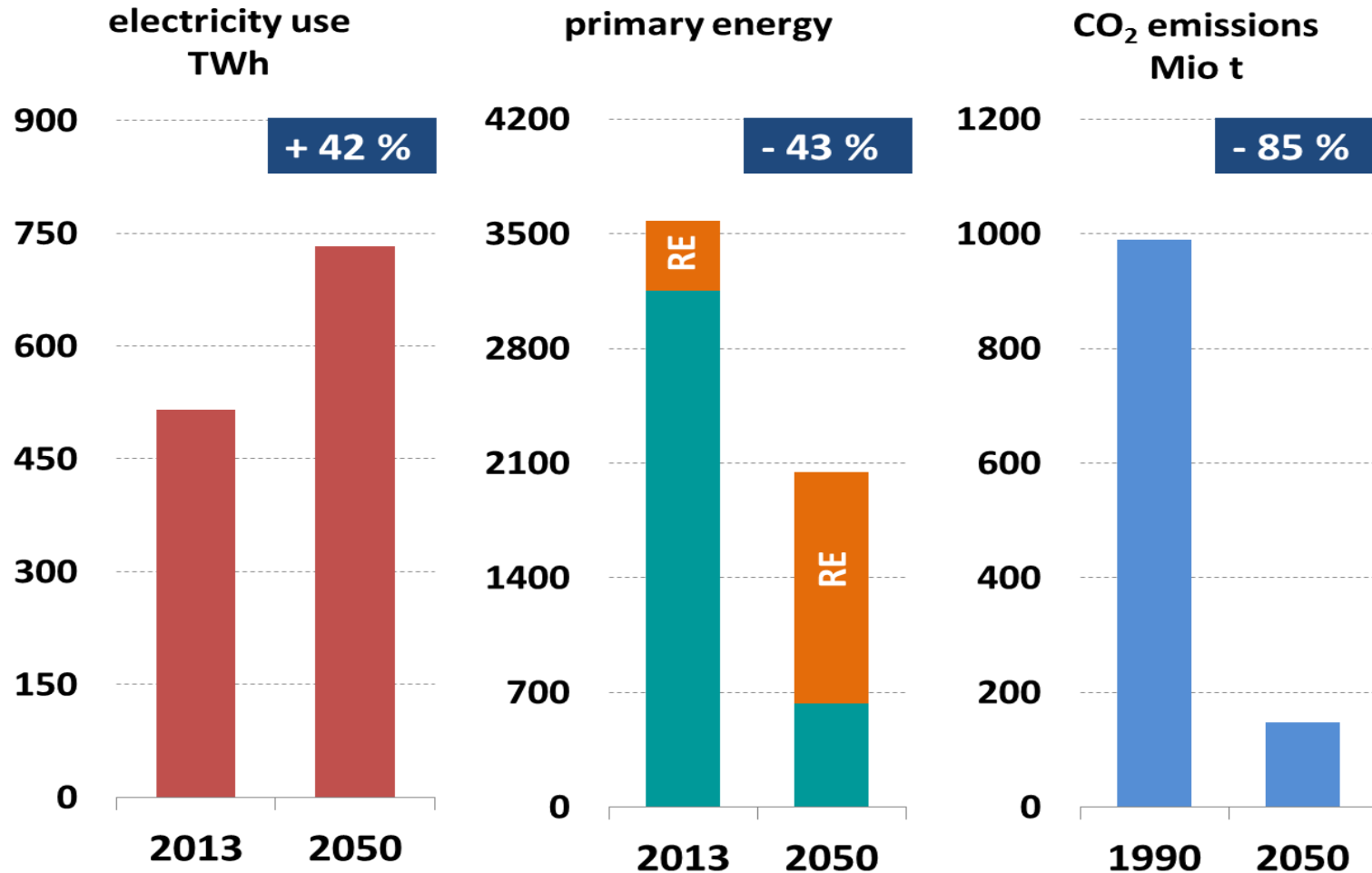
**La biomasse et les possibilités de stockage du CO₂ sont limitées
Il faut faire plus pour réduire les émissions brutes**

Nouvelles options pour la chaleur



La chaleur solaire offre de nouvelles possibilités dans les pays chauds et secs pour l'extraction, le raffinage et la chimie

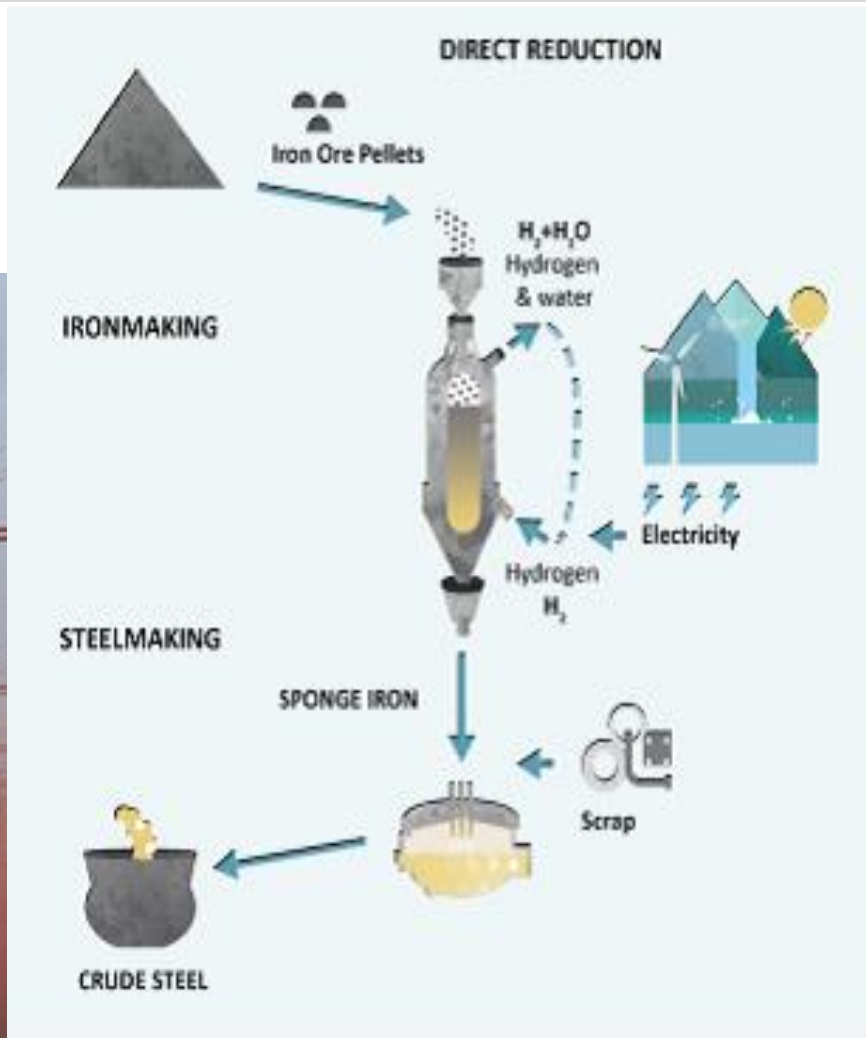
Une électrification massive est nécessaire



Les travaux du Fraunhofer ISE suggèrent une décarbonisation profonde de l'Allemagne par une électrification massive des usages



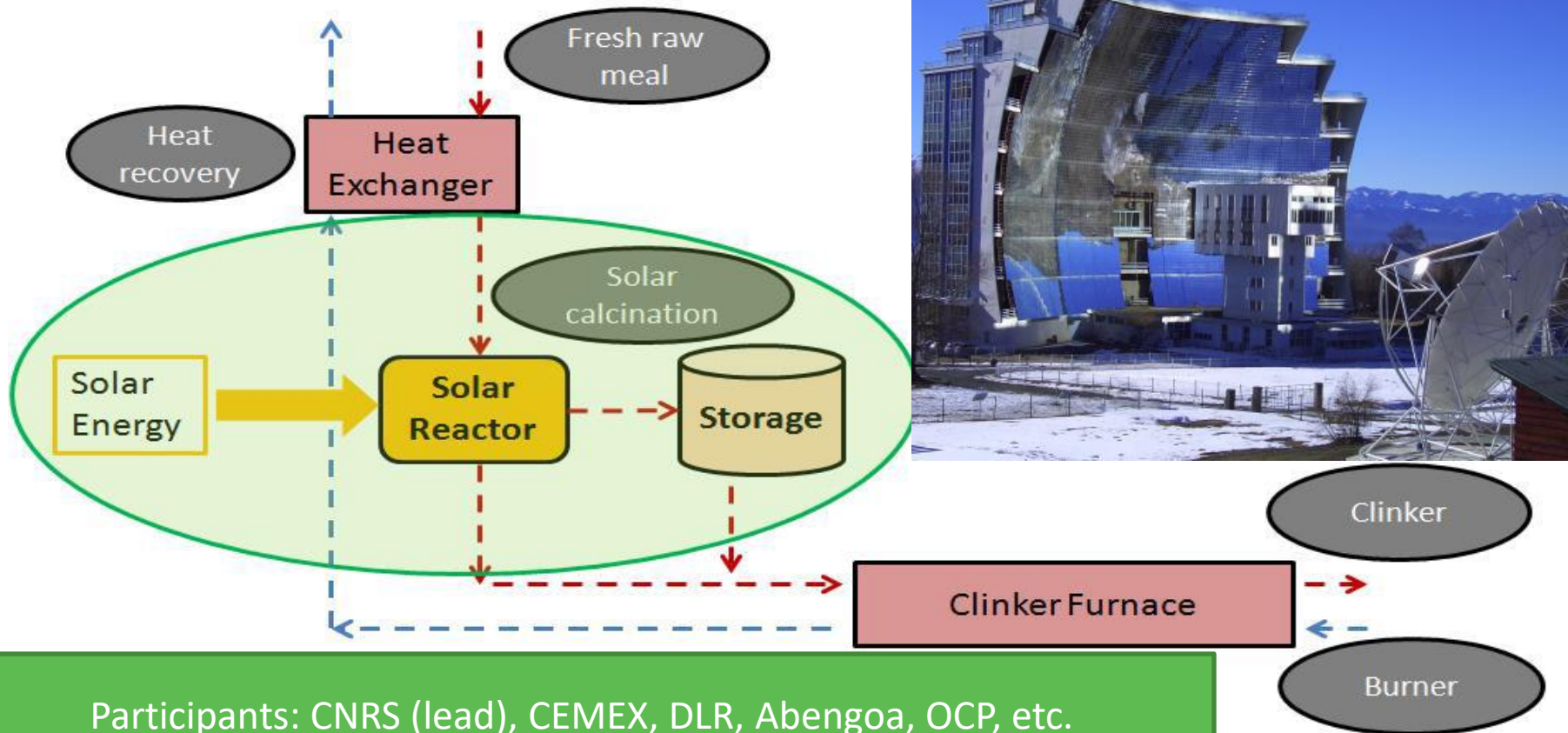
Electrification et hydrogène



L'hydrogène pourra jouer de multiples rôles dans la transition si elle est produite avec de l'électricité renouvelable

On cherche les solutions pour le ciment

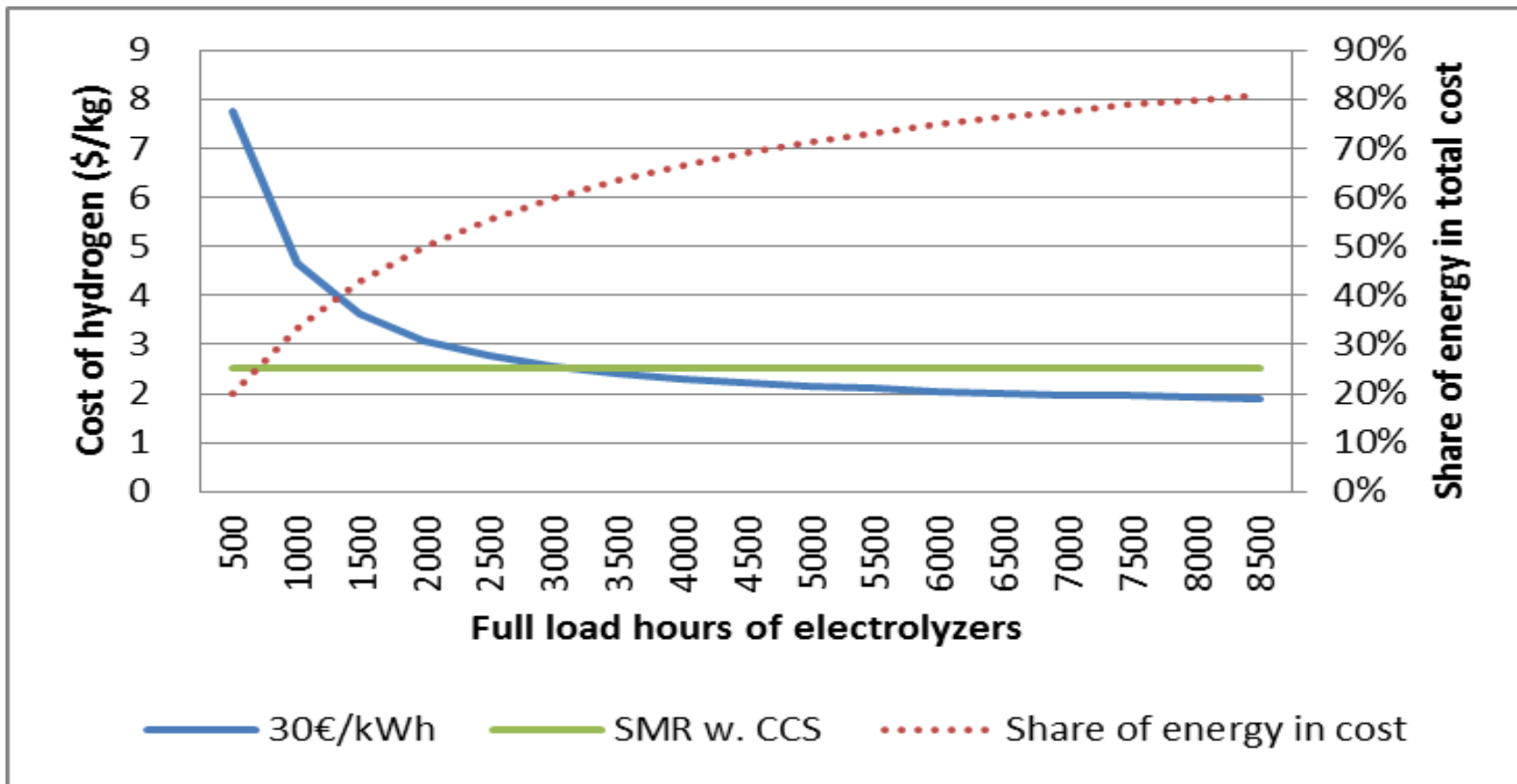
EU-backed SOLPART: high temp particle heating for industries



Participants: CNRS (lead), CEMEX, DLR, Abengoa, OCP, etc.

Le projet SOLPART vise à fournir de la chaleur solaire jusqu'à 1000°C aux cimenteries – dans les pays chauds et secs

Comment produire l'hydrogène?



Seules d'excellentes ressources renouvelables peuvent amener l'électrolyse de l'eau au prix du reformage vapeur du gaz naturel, même en tenant compte du prix du CO₂

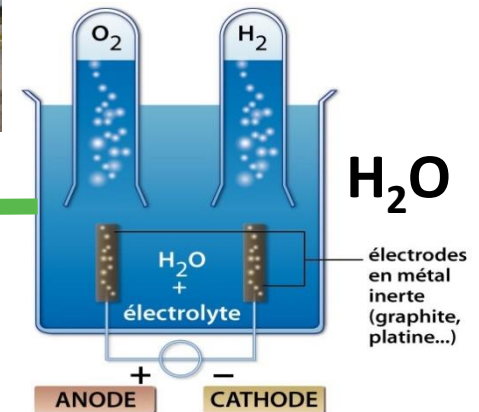
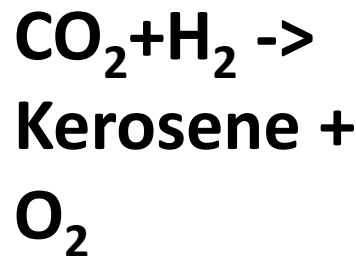
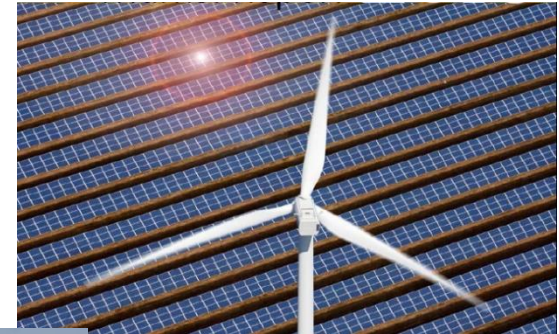
Recycler le CO₂ extrait de l'air pour fabriquer des combustibles de synthèse?

CO₂ atmosphérique



Industrie avec capture

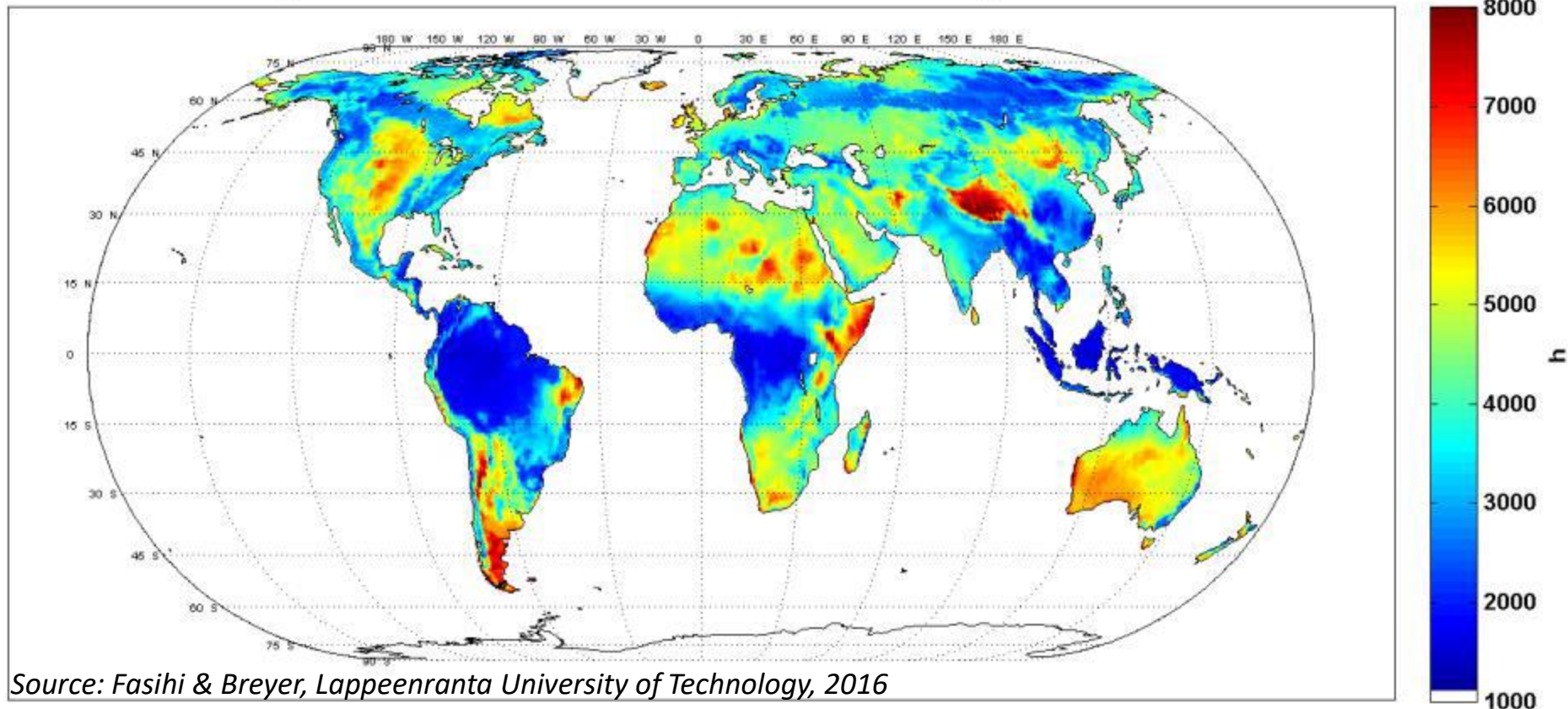
CO₂



1 CO₂ extrait par photosynthèse, capturé après usage et re-énergisé par hydrogénation, évite l'émission de 2 CO₂ fossiles

Les meilleures ressources éoliennes et solaires sont souvent loin des centres de consommation

Hybrid PV1-Wind cumulative FLh for cost year 2030



Les énergies éoliennes et solaires combinées pourraient produire l'électricité avec un « facteur de capacité » élevé et un coût faible (dissipation minimale) dans certaines régions du monde

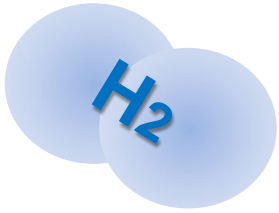
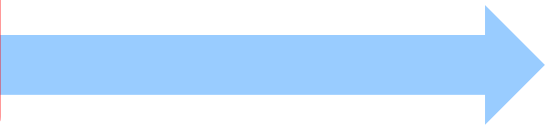
Large Scale Hydrogen Supply-Chain & Utilization



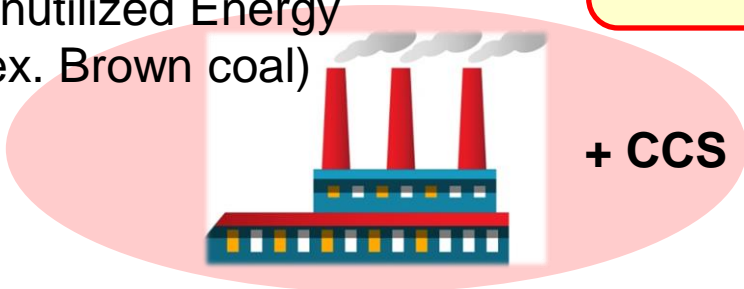
Feasibility Study has been conducted by several Chemical and Engineering Companies in Japan for utilizing the surplus renewable energy of the world.

▪ Electrolysis

Production



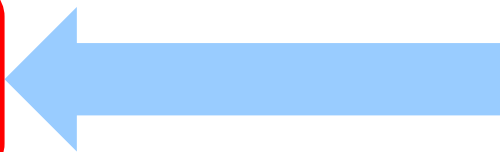
Unutilized Energy (ex. Brown coal)



Storage & Transportation



Utilization



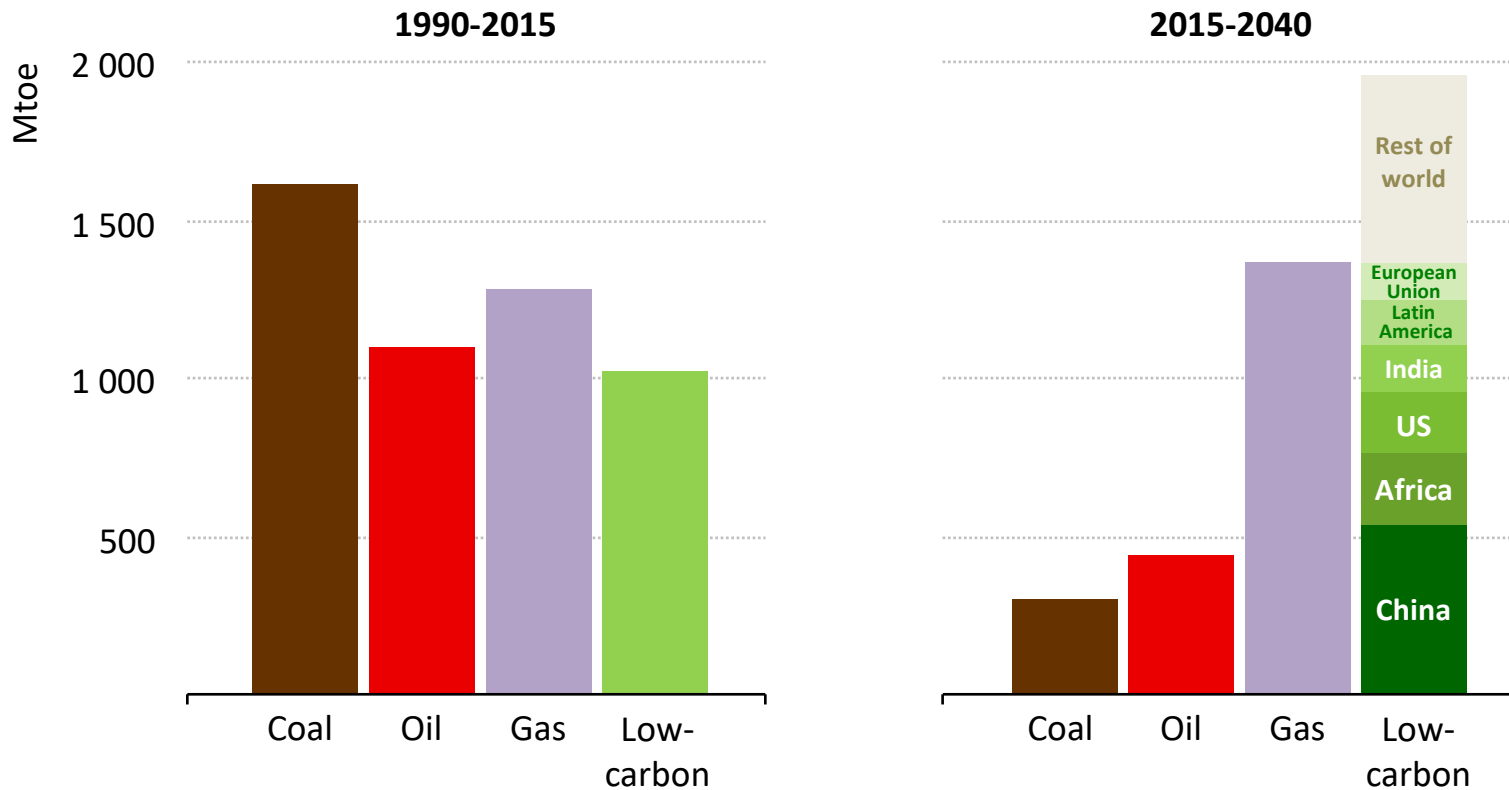
- FCV
- Power generation
 - Gas Turbines
 - Stationary FCs

- Hydrogen Carriers
 - Liquid H₂
 - Methylcyclohexane
 - NH₃ etc.

- La convention climat requiert des émissions nettes nulles pour « stabiliser les concentrations »
- L'accord de Paris suggère 2060 comme date limite
- On en est très loin avec les engagements actuels
- On voit comment respecter les 2°C (avec 50% chances), rester « bien au-dessous » sera difficile
- La baisse de coût des renouvelables ouvre de nouvelles perspectives, moins dépendantes d'un usage intensif de la biomasse et du stockage CO₂
- On peut faire beaucoup avec les technologies existantes, mais il faut encore beaucoup innover

Un nouveau 'fuel' en pole position

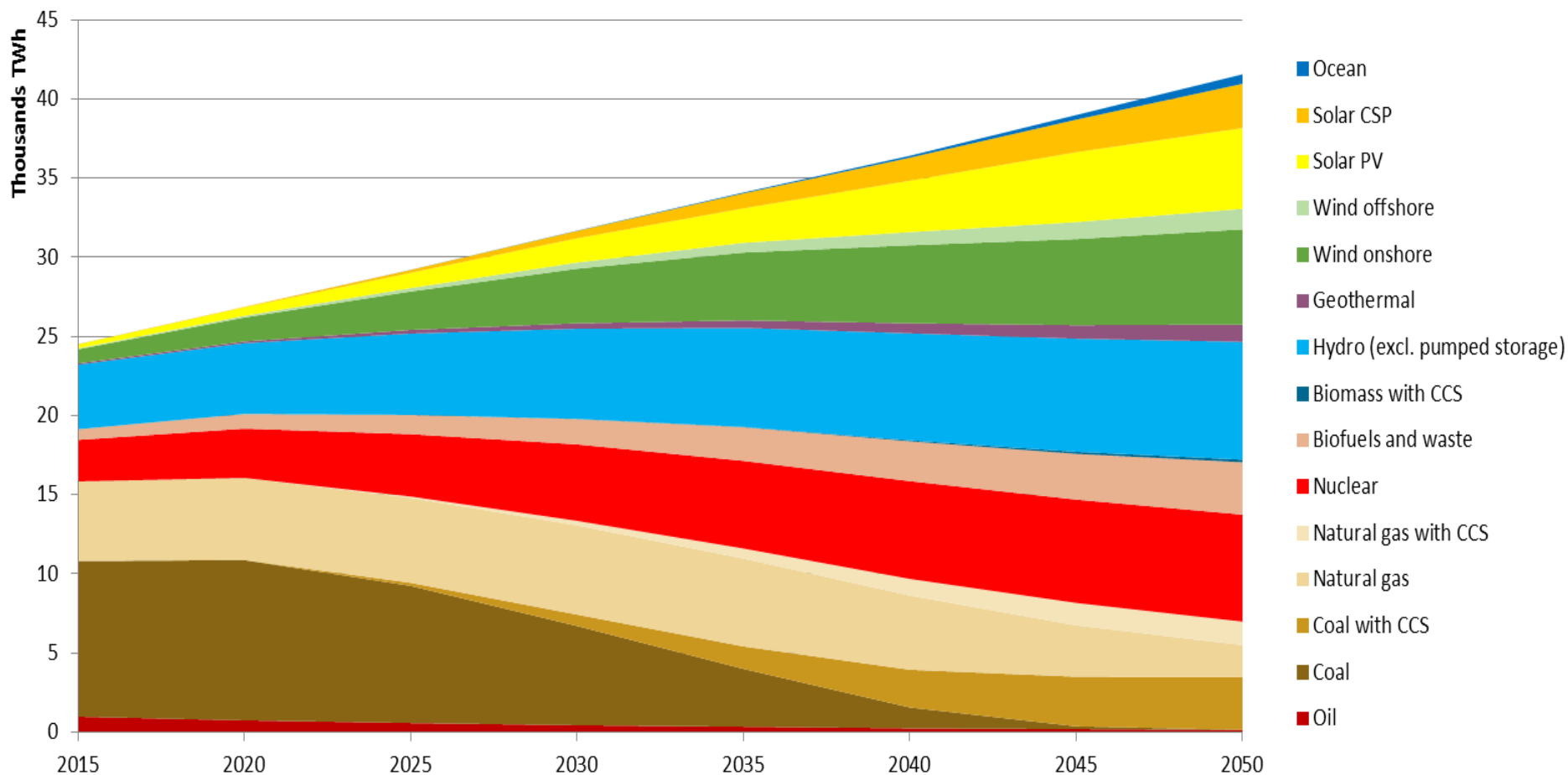
Change dans la demande d'énergie primaire (scénario central)



Les fuels et technologies "bas-carbone", principalement renouvelables, fourniront près de la moitié de la croissance de la demande énergétique d'ici 2040

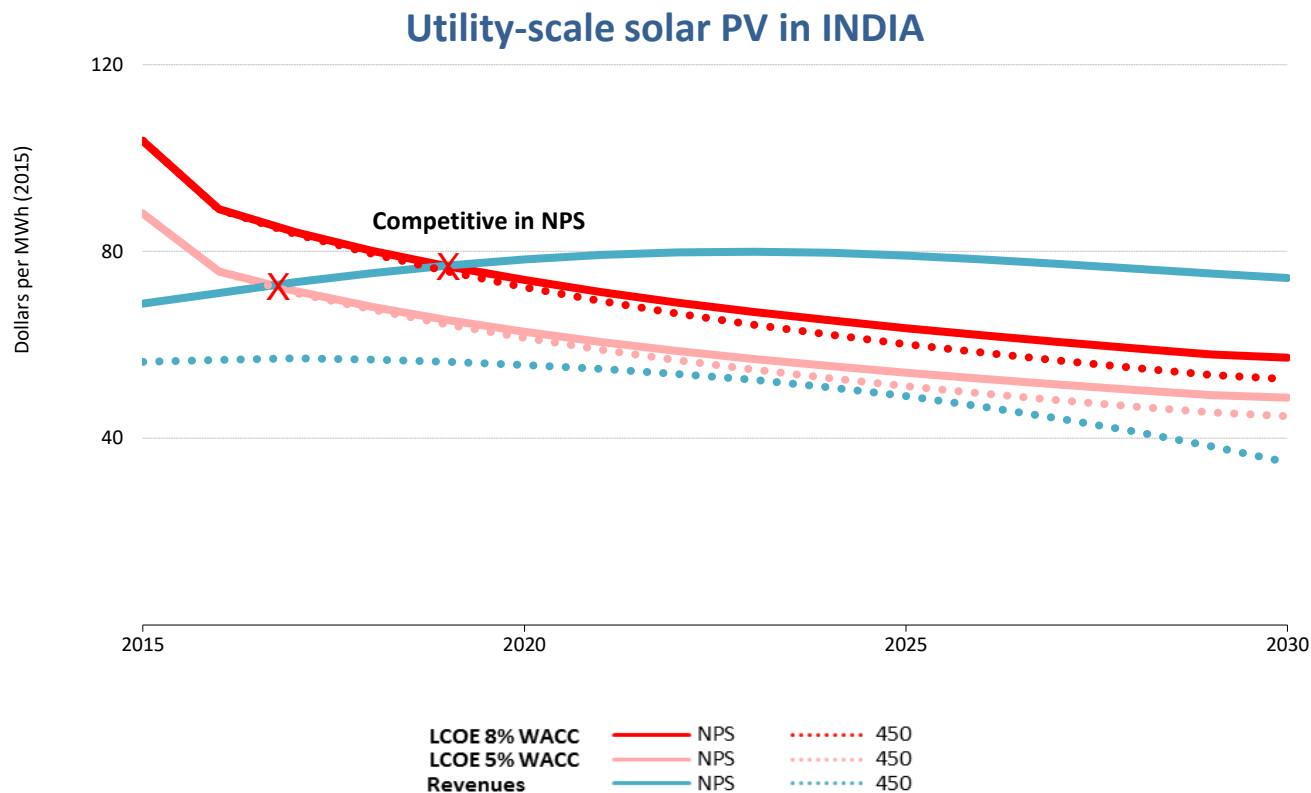
Evolution du mix électrique mondial dans le Scénario 2°

ETP
2016



Un complet renversement est indispensable, les renouvelables produisant 2/3 de l'électricité en 2050 au plus tard

Relying only on wholesale markets may not suffice to drive investment



Utility-scale PV seems competitive in India and various other countries but in climate-friendly scenarios lower fossil fuel prices make competitiveness elusive