



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

Les objectifs post Copenhague des pays émergents :  
analyse prospective des scénarios issus de TIAM-FR.

S. Selosse, E. Assoumou, N. Maïzi

Centre de Mathématiques Appliquées, MINES ParisTech  
Chaire Modélisation prospective au service du développement durable

Journée de la Chaire  
mercredi 17 novembre 2010

# La place des pays pour les questions d'énergie



Chaire ParisTech Modélisation prospective  
au service du développement durable

# Basculement de la consommation d'énergie primaire

Regional Consumption Shares, 2000

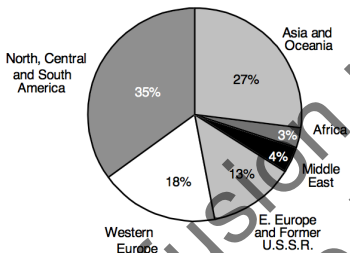


Figure: Source: AER 2000.

Regional Consumption Shares, 2007

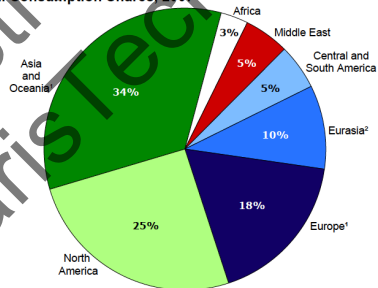
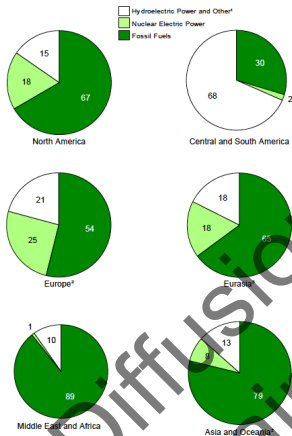


Figure: Source: AER 2009.

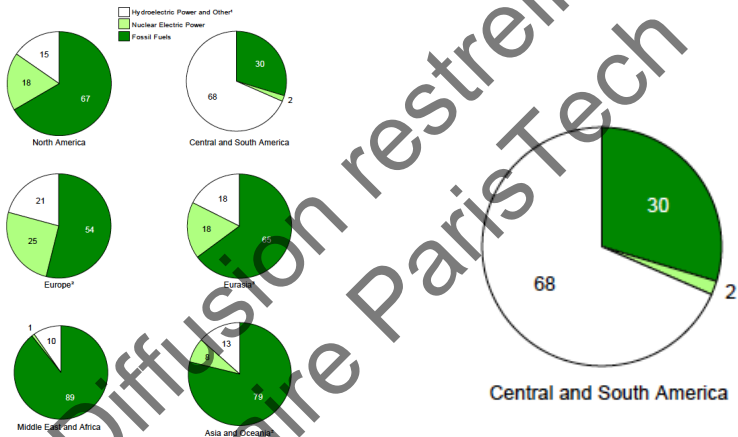
Evolution de la répartition de la consommation primaire par région.

# Un mix électrique marqué régionalement (2007) Source: AER 2009



**Figure:** Répartition du Mix de production électrique par région (2007). Source: AER 2009.

# Un mix électrique marqué régionalement (2007) Source: AER 2009



**Figure:** Répartition du Mix de production électrique par région (2007). Source: AER 2009.

# Un mix électrique marqué régionalement (2007) Source: AER 2009



**Figure:** Répartition du Mix de production électrique par région (2007). Source: AER 2009.

# Un mix électrique marqué régionalement (2007) Source: AER 2009



**Figure:** Répartition du Mix de production électrique par région (2007). Source: AER 2009.

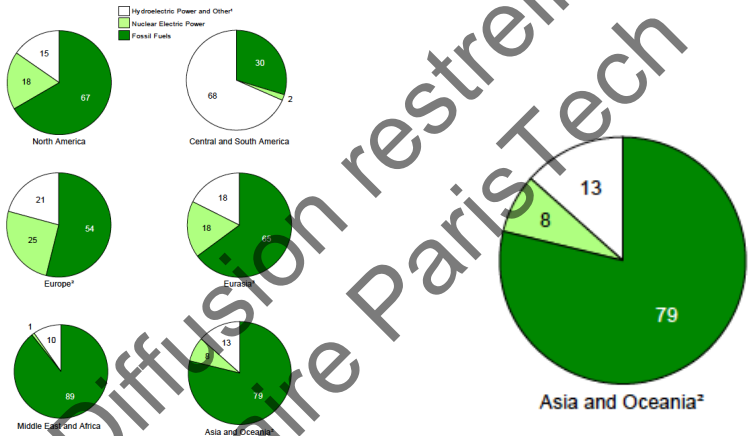
# Un mix électrique marqué régionalement (2007) Source: AER 2009



**Figure:** Répartition du Mix de production électrique par région (2007). Source: AER 2009.

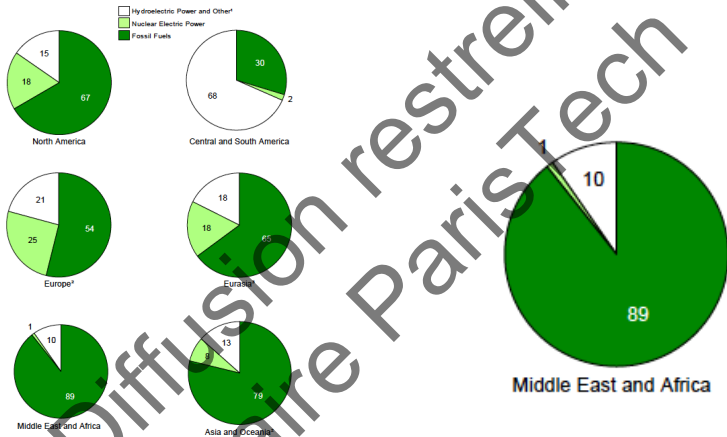


# Un mix électrique marqué régionalement (2007) Source: AER 2009



**Figure:** Répartition du Mix de production électrique par région (2007). Source: AER 2009.

# Un mix électrique marqué régionalement (2007) Source: AER 2009



**Figure:** Répartition du Mix de production électrique par région (2007). Source: AER 2009.

## Explosion régionale de la consommation de fossiles

Selected Countries, 1980-2008

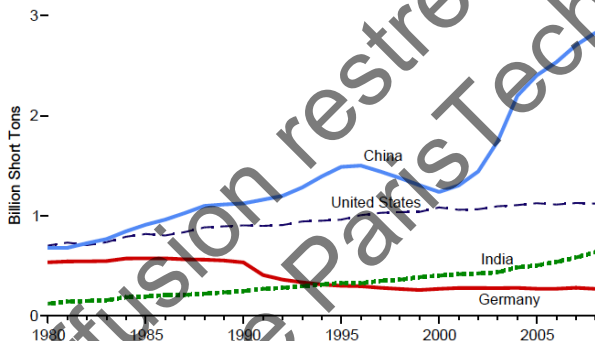


Figure: World Coal Consumption for top consuming countries.

Source: AER 2009.

## Poids régional des émissions de dioxyde de carbone renversé

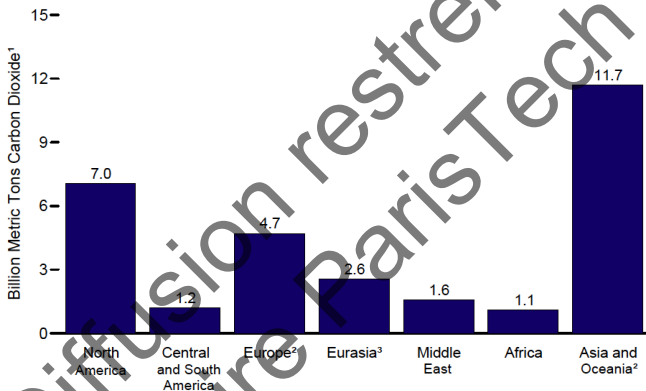


Figure: World Carbon Dioxide Emissions From Energy Consumption in 2007.

Source: AER 2009.

# Les engagements post-Copenhague lisibilité et périmètre



Chaire ParisTech Modélisation prospective  
au service du développement durable

# limiter l'accroissement de la température à 2° C


régions	année de référence	niveau d'engagement	% de réduction	type de réduction
Western WEU + Eastern Europe	<b>1990</b>	<u>Low</u> Up	<u>20 %</u> 30 %	Emissions
Japan JPN	<b>1990</b>	Fix	25 %	Emissions
Australia New-Zealand AUS	2000	<u>Low</u> Up	<u>5 %</u> 25 %	Emissions
United States* USA	2005	Fix	17 %	Emissions
Canada* CAN	2005	Fix	17 %	Emissions
China CHI	2005	<u>Low</u> Up	<u>40 %</u> 45 %	Intensité carbone
India IND	2005	<u>Low</u> Up	<u>20 %</u> 25 %	Intensité carbone

## Engagements post-Copenhague pour 2020

# Prolongement des hypothèses à 2050 pour TIAM-FR

régions	année de référence	niveau d'engagement	% de réduction	type de réduction
WEU, EEU et JPN	1990	Low	60 %	Emissions
		Up	80 %	
AUS	2000	Low	60 %	Emissions
		Up	80 %	
CHI	2005	Low	90 %	Emissions
		Up	10 %	Intensité
IND	2005	Low	60 %	Emissions
		Up	10 %	Intensité

**Table: Hypothèses de prolongement des réductions par Région pour 2050**

\*  USA/CAN engagés à réduire de :  
30% en 2025, 42% en 2030 et 83% en 2050 leurs **Emissions**

# Réflexion prospective autour des engagements climatiques

➡ A partir de **3 scénarios** reflétant une contrainte sur les émissions de CO<sub>2</sub> uniquement:

- 1 Distribuée régionalement pour respecter les engagements Post Copenhague :

Engagements hauts

**Scénario Optimiste**

Engagements bas

**Scénario Pessimiste**

- 2 Appliquée au niveau mondial :

Redistribution régionale de la  
contrainte carbone

**Scénario 2.5 W/m<sup>2</sup>**



# Réflexion prospective autour des engagements climatiques

➡ A partir de **3 scénarios** reflétant une contrainte sur les émissions de CO<sub>2</sub> uniquement:

- 1 Distribuée régionalement pour respecter les engagements Post Copenhague :

Engagements hauts

**Scénario Optimiste**

Engagements bas

**Scénario Pessimiste**

- 2 Appliquée au niveau mondial :

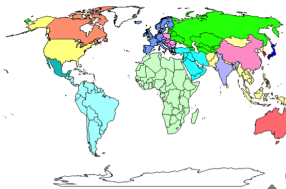
Redistribution régionale de la  
contrainte carbone

**Scénario 2.5 W/m<sup>2</sup>**

# L'outil prospectif : charnière entre sciences et décisions

Vision pluridisciplinaire à travers l'outil prospectif MARKAL-Times

économie, physique, optimisation, ...



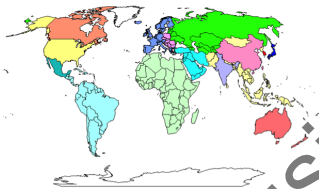
**Figure:** Découpage régional du modèle mondial TIAM-FR

Diffusion restreinte  
Chaire ParisTech

# L'outil prospectif : charnière entre sciences et décisions

Vision pluridisciplinaire à travers l'outil prospectif MARKAL-Times

économie, physique, optimisation, ...



**Figure:** Découpage régional du modèle mondial TIAM-FR

- 1 Une communauté d'utilisateurs au sein de l'ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Programme) sous l'égide de l'AIE
- 2 Une approche par programmation linéaire
- 3 Un horizon temporel de 2000 à 2100
- 4 Une désagrégation géographique en 15 régions
- 5 Un module climatique intégré

# Les enjeux de la Prospective

## La démarche

**Explorer le futur**  
à partir de la  
**connaissance du présent et du**  
**passé**

## L'objectif

Dans le but d'examiner les  
évolutions possibles  
en fonction  
des décisions prises, des  
actions réalisées.

Diffusion restreinte  
Chaire ParisTech

*La prospective regarde en avant.  
Le regard est pour elle le premier temps de l'action*  
Pierre Massé

# Les enjeux de la Prospective

## La démarche

**Explorer le futur**  
à partir de la  
**connaissance du présent et du**  
passé

## L'objet

Dans le but d'examiner les  
**évolutions possibles**  
en fonction  
**des décisions prises, des**  
actions réalisées.

Diffusion Testeint  
Chaire ParisTech

*La prospective regarde en avant.  
Le regard est pour elle le premier temps de l'action*

Pierre Massé

# Les enjeux de la Prospective

## La démarche

**Explorer le futur**  
à partir de la  
**connaissance du présent et du**  
passé

## L'objet

Dans le but d'examiner les  
**évolutions possibles**  
en fonction  
**des décisions prises, des**  
actions réalisées.

*La prospective regarde en avant.  
Le regard est pour elle le premier temps de l'action*

Pierre Massé

# Conséquences globales, régionales et sectorielles des engagements



Chaire ParisTech Modélisation prospective  
au service du développement durable

# L'impact des contraintes CO<sub>2</sub> sur l'horizon prospectif

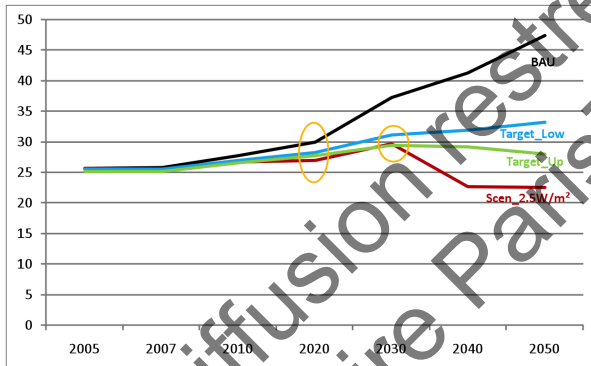


Figure: Emissions de CO<sub>2</sub> en Gt

- Contraintes sur les émissions de CO<sub>2</sub> du système énergétique
- Deux échéances : 2020 et 2050
- Deux points de cassure : si 2020 est encore ouvert, l'orientation pour 2030 semble décisive



# L'impact des contraintes CO<sub>2</sub> sur l'horizon prospectif

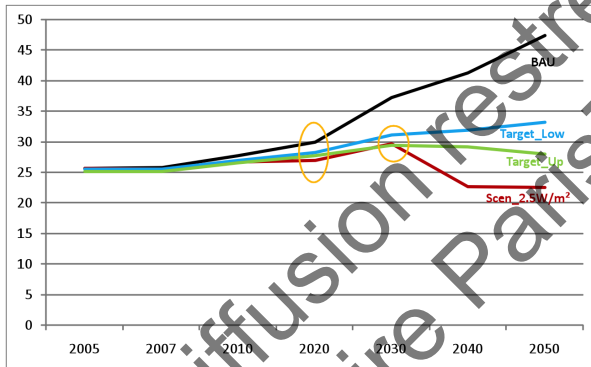


Figure: Emissions de CO<sub>2</sub> en Gt

- Contraintes sur les émissions de CO<sub>2</sub> du système énergétique
- Deux échéances : 2020 et 2050
- Deux points de cassure : si 2020 est encore ouvert, l'orientation pour 2030 semble décisive

# Caractère captif de l'énergie primaire

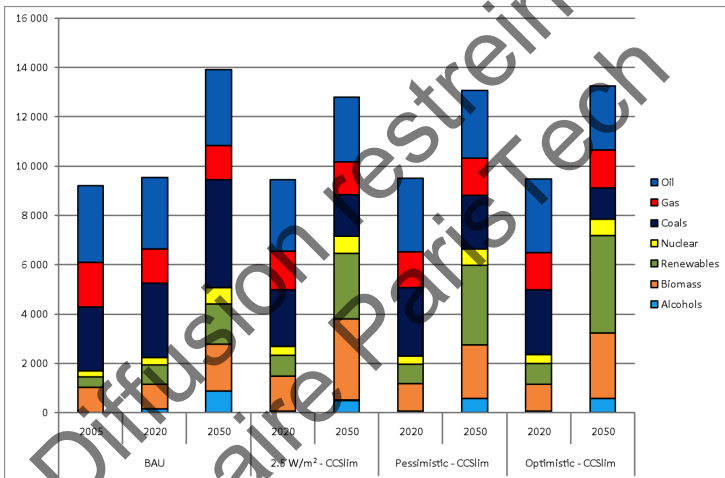
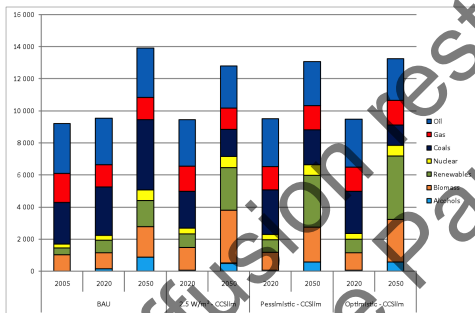


Figure: Consommation en énergie primaire en Mtep

# Caractère captif de l'énergie primaire

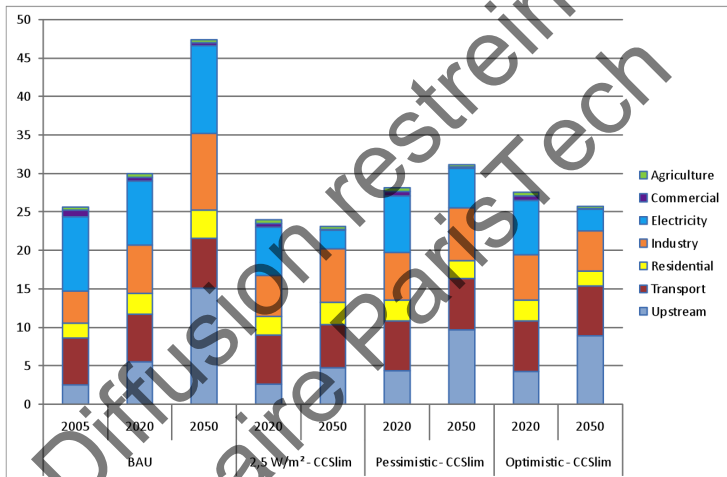


## Principales tendances

- Parts de pétrole/gaz/charbon quasi incompressibles
- Scénario 2.5 W/m<sup>2</sup>: moins "gourmand", plus "vert"

Figure: Energie primaire par ressource en Mtep

## Partage contrasté du fardeau des émissions par secteurs

Figure: Emissions de CO<sub>2</sub> de la consommation finale en Gt

# Nouvelle nature du mix de production électrique

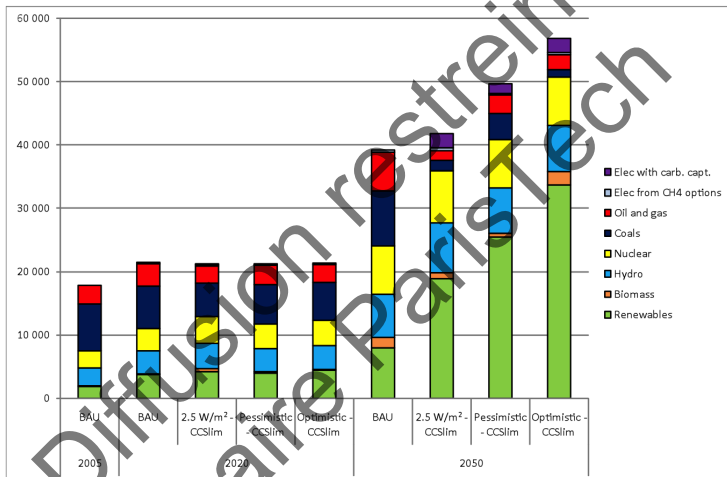
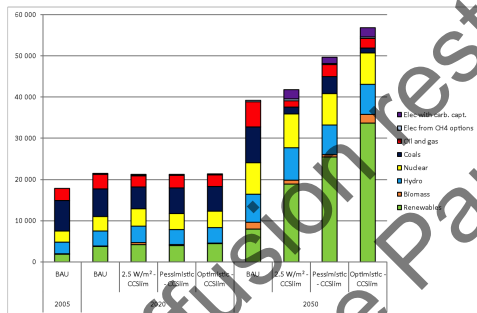


Figure. Mix de production électrique mondiale en TWh

# Nouvelle nature du mix de production électrique



**Figure:** Mix de production électrique mondiale en TWh

## Clés de la décarbonisation :

- Basculement des usages vers le vecteur électrique dans les scénarios vertueux
- On retrouve des préconisations entendues (Roadmap 2050)
- Les conditions de réalisation de ce basculement ?

# Compétitions, substitutions et cohérences préservées

## L'outil prospectif MARKAL-Times

Structuré autour d'un RES qui régit les échanges en flux d'énergie de façon à

- garantir l'équilibre global
- en maintenant un coût actualisé minimal

- 1 Équilibre des flux énergétiques
- 2 Accumulation des capacités inter période
- 3 Limites de fonctionnement
- 4 Réserve d'électricité de pointe
- 5 ...

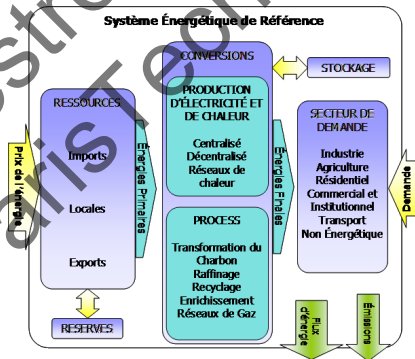
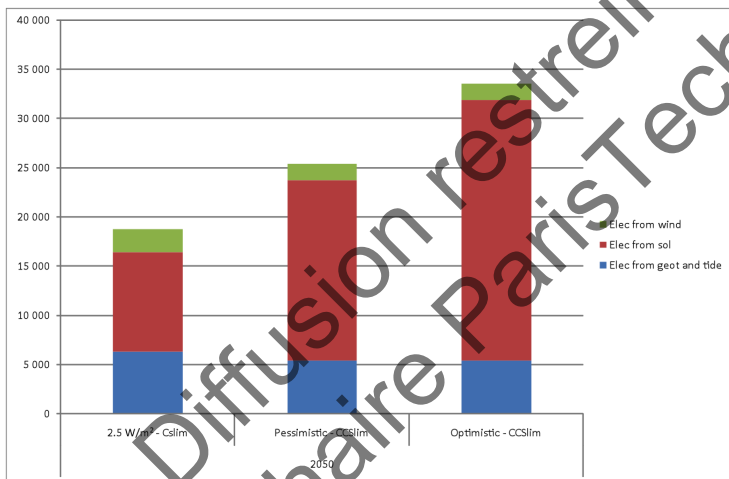


Figure: Reference Energy System de TIAM-FR

# Pourvu que les potentiels suivent



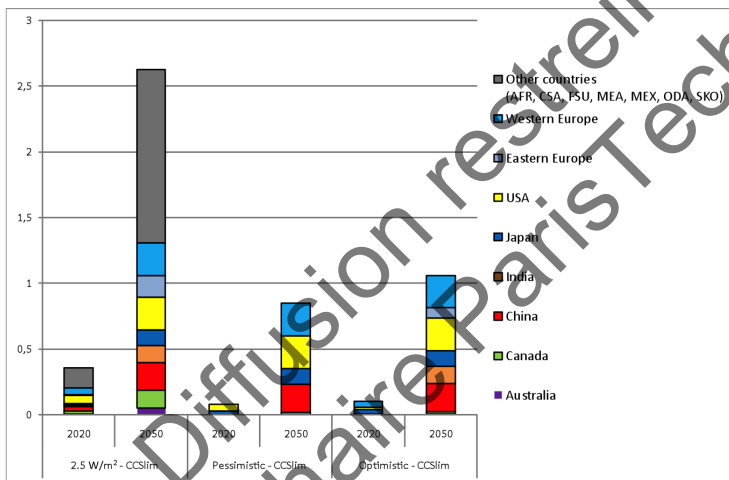
Pour le  
renouvelable

Forte  
pénétration du  
solaire

Figure: Production issue de renouvelables en TWh en 2050



# Pourvu que les potentiels suivent



Pour le CCS

Des gisements  
régionaux  
plausibles

Figure: Volume de CO<sub>2</sub> capturé en Gt (2020/2050)

# Pourvu que le fardeau des émissions par région soit tenable

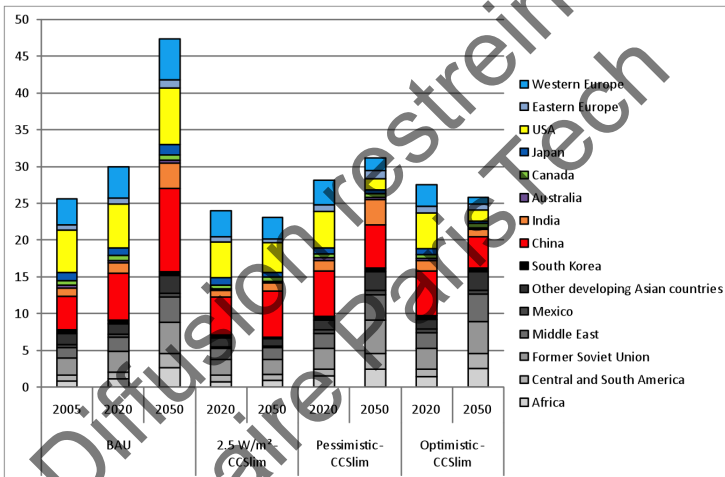


Figure: Emissions de CO<sub>2</sub> de la consommation finale en Gt

# Faisabilité technologique pour la Chine et l'Inde



## Nécessité de lutter contre des inerties sectorielles marquées

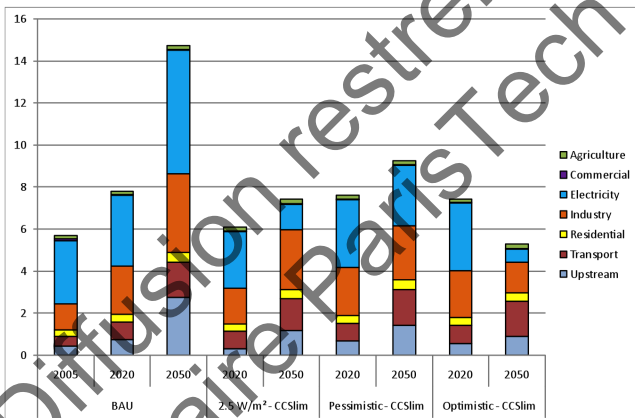


Figure: Emissions de CO<sub>2</sub> de la consommation finale (CHI+IND) en Gt

## Des difficultés de transition liées à l'inertie technologique ?

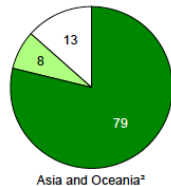
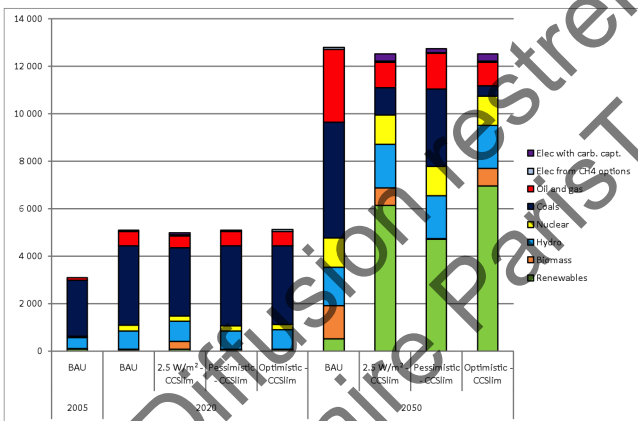
Asia and Oceania<sup>2</sup>

Figure: Mix 2007

Figure: Mix de production électrique (CHI+IND) en TWh

# Des valeurs duales à la tenabilité des scénarios



## Et pour une tonne de CO<sub>2</sub> supplémentaire ?

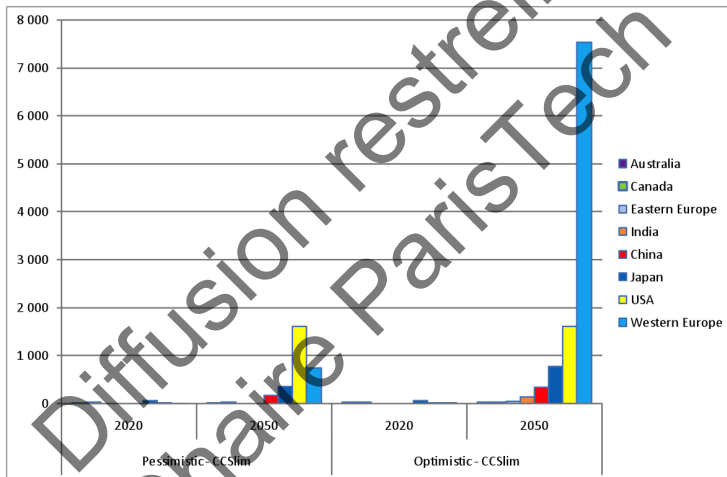


Figure: Valeurs duales pour les contraintes régionales en \$/tCO<sub>2</sub> évitée

## Et si un négociateur était éclairé par ce regard

- il nous demanderait de préciser les hypothèses de nos scénarios
- il pousserait sans doute plus loin le regard du scénario 2.5 W/m<sup>2</sup>

parce qu'il présente :

- des valeurs duales plus faibles et unilatéralement réparties : 28 \$/tCO<sub>2</sub> évitée en 2020 et 124 \$/tCO<sub>2</sub> en 2050,
- qui traduisent des options technologiques plus cohérentes (coût/efficacité) par rapport aux systèmes en place,
- et semble éclairer un paysage énergétique du long terme plus "plausible"

- Mais restent alors entières les questions de l'accompagnement
- ➊ par des engagements internationaux appropriés
  - ➋ des politiques domestiques adaptées localement