

$$\frac{1}{\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} invcost_i(t) \cdot I_i(t) + \sum_{t \in T} \frac{1}{(1 +$$

$$\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \cdot C_i(t) + \sum_{i \in PRC} varom_i(t) \cdot$$

$$\sum_{EELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varom_i(t) \cdot P_{lzy}(t)$$

$$\sum_{EENC} \sum_s cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

$$\sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

$$\sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$



## Evaluation des NDCs avec le modèle TIAM-FR

### Politique climatique post-Paris et décarbonisation du système énergétique

Sandrine SELOSSE

MINES ParisTech, PSL Research University, CMA-Centre de Mathématiques Appliquées  
Chaire Modélisation prospective au service du développement durable

13 janvier 2017

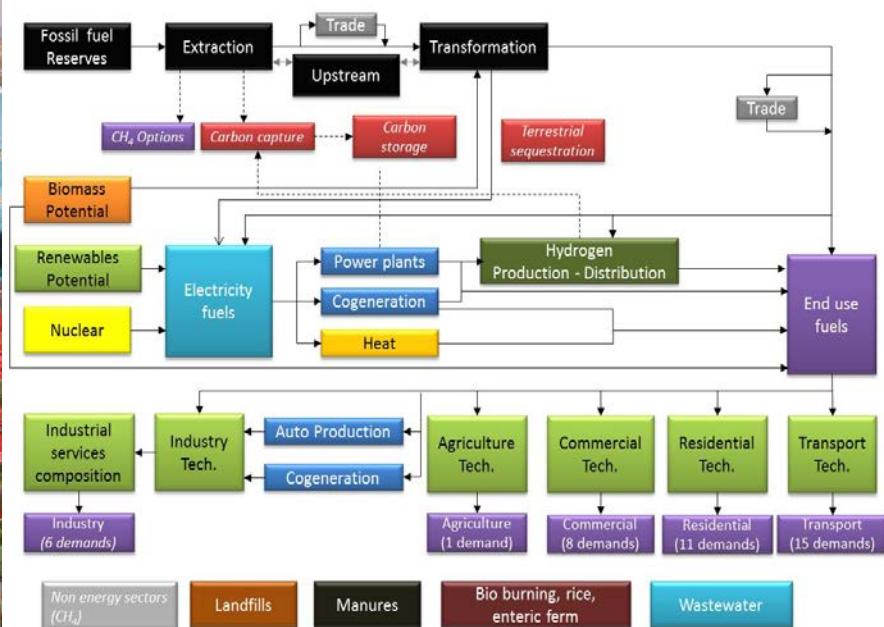
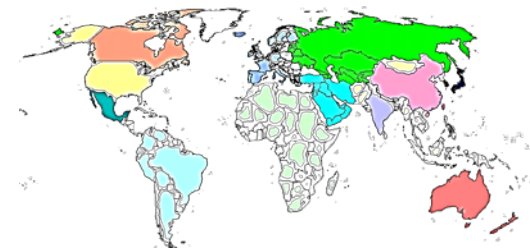
Ecole des PONTS ParisTech – Champs-sur-Marne

# Approche prospective : le modèle TIAM-FR

2/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

- Version française du modèle TIAM (*TIMES Integrated Assessment Model*)
- Optimisation, programmation linéaire, bottom-up, multirégional
- **Futurs possibles à long terme des systèmes énergétiques dans le contexte post-Paris**



$$NPV = \sum_{r=1}^R \sum_{y \in YEARS} (1 + d_{r,y})^{REFYR-y} * ANNCOST(r,y)$$

où  
 NPV est la valeur nette actualisée du coût total pour toutes les régions sur la période considérée ;  
 ANNCOST (r,y) est le coût total annuel dans la région r à l'année y ;  
 dr,y est le taux d'actualisation ;  
 REFYR est l'année de référence pour l'actualisation ;  
 YEARS est l'ensemble des années et R est l'ensemble des régions (15 régions)

# Qu'apporte l'Accord de Paris pour l'atténuation globale du changement climatique ?

3/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

## Un accord historique : la COP 21 marque une étape décisive dans la transition vers un monde décarboné



### Une étape majeure

- Haut niveau de **coopération internationale** après des décennies de négociations et de division régionale
- Signal politique pour initier une **transition globale**



### Un nouvel objectif

- Reconnaissance (sans formalisation) de l'objectif de l'objectif de **1,5°C**
- Le besoin d'un zéro émissions nettes

*Article 2.1(a): "(h)olding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5°C"*

*Article 4.1: "(...) to achieve a balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in the second half of this century"*

# Spécification des scénarios : trajectoires décarbonées

4/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

$$\frac{1}{(1 + \alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$
$$\times \left( \sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$
$$+ \sum_{i \in ELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varu$$
$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s com_k(s)$$
$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$
$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

- **Un objectif global à 2050 en ligne avec l'objectif de 2°C**
  - 40 %
  - 50 %
  - 70 %réduction des émissions de GES d'ici 2050 par rapport à 2010
- **Un scénario régional considérant l' Accord de Paris et les INDCs**
  - Engagements conditionnels d'ici (2025)2030
  - Hypothèses régionales à 2050



C  
I  
B  
L  
E  
S  
  
2  
0  
3  
0  
  
C  
I  
B  
L  
E  
S  
  
2  
0  
5  
0

Régions	Année de référence	Année cible	Niveau de réduction	Type de réduction	Atténuation 2010-2030 (-)	Atténuation 2010-2030 (+)
<b>Pays industrialisés</b>						
Europe (WEU-EEU)	1990	2030	40%	Réduction des émissions	-29.5%	
USA (USA)	2005	2025	26% - 28%		-33.3%	-35.0%
Australie et Nouvelle-Zélande (AUS)		2030	26% - 28%		-26.0%	-28.0%
Canada (CAN)	30%		-25.8%			
Japon (JPN)	2013		26%		-25.5%	
<b>Pays émergents à croissance rapide</b>						
Chine (CHI)	2005	2030	60% - 65%	Intensité carbone	15.5%	1.1%
Inde (IND)			33% - 35%		133%	126.0%
<b>Pays en développement</b>						
Russie (FSU)	1990	2030	25% - 30%	Réduction des émissions	16.1%	8.4%
Mexico (MEX)	BAU		25% - 40%		-2.6%	-22.1%
Corée du Sud (SKO)			37%		-20.8%	-20.8%
Afrique (AFR)			15% - 30%		17.1%	-3.5%
Moyen-Orient (MEA)			15% - 30%		14.7%	-5.5%
Pays asiatiques (ODA)			15% - 30%		6.5%	-12.3%
Amerique Latine (CSA)	<i>INDCs extraits de TIMES-ALyC</i>				15.3%	8.6%

Régions	Année de référence	Année cible	Niveau de réduction	Type de réduction	Atténuation 2030-2050 (-)	Atténuation 2030-2050 (+)
<b>Pays industrialisés</b>						
Europe (WEU-EEU)	1990	2050	60%-80%	Réduction des émissions	-33%	-67%
USA (USA)	2005		83%		-73%	-72%
Australie et Nouvelle-Zélande (AUS)	2005		60%-80%		-46%	-72%
Canada (CAN)	2005		60%-80%		-43%	-71%
Japon (JPN)	2013		60%-80%		-46%	-73%
<b>Pays émergents à croissance rapide</b>						
Chine (CHI)	2030	2050	Pic d'émission en 2030		0%	
Inde (IND)						
<b>Pays en développement</b>						
Russie (FSU)	2030	2050	Pic d'émission en 2030		0%	
Mexico (MEX)						
Corée du Sud (SKO)						
Afrique (AFR)						
Moyen-Orient (MEA)						
Pays asiatiques (ODA)						
Amerique Latine (CSA)						

# Que peut-on dire de ces scénarios ?

6/19

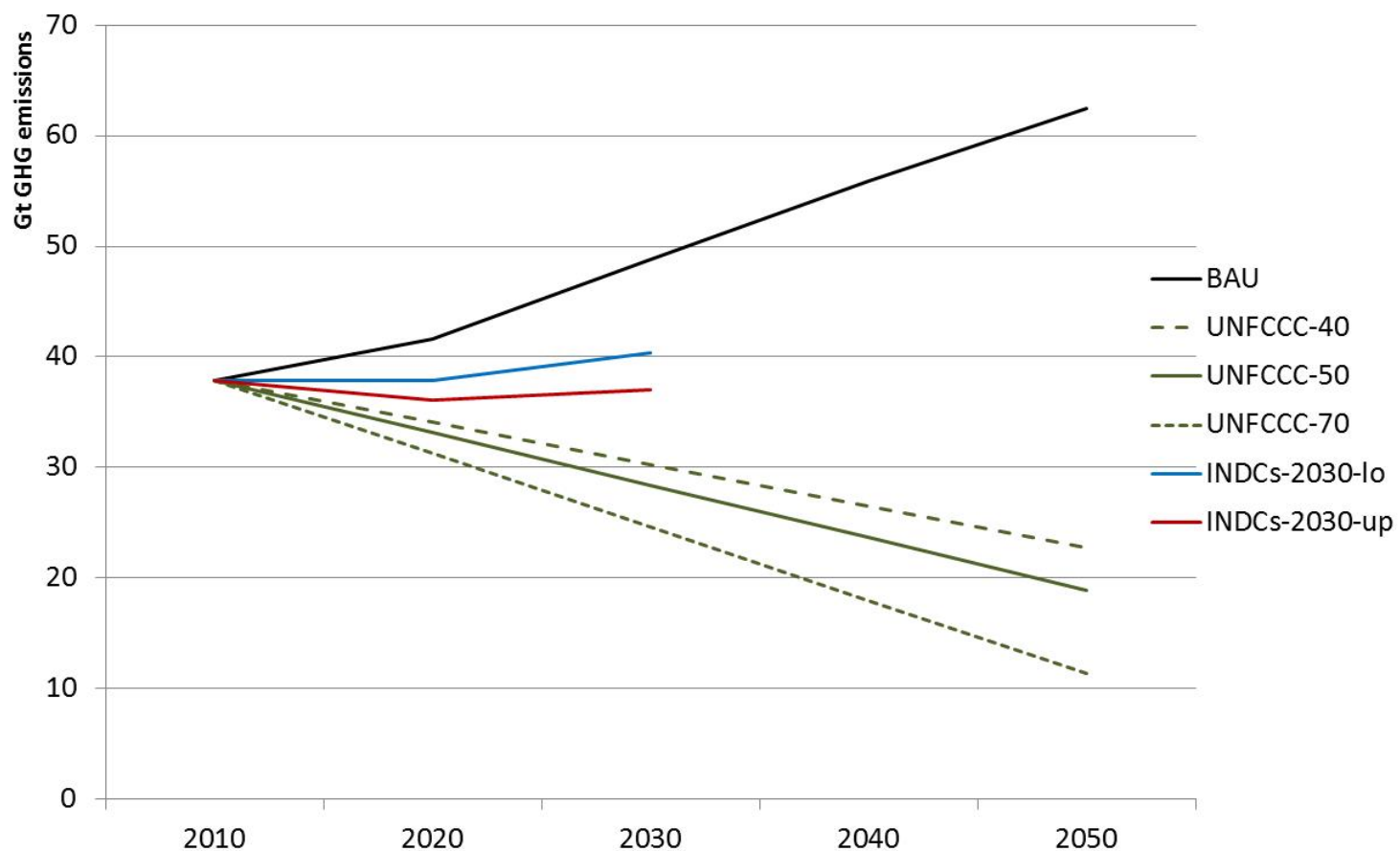
Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

- 1- La convergence avec l'objectif de 2°C ?**
- 2- La contribution des régions**
- 3- Les trajectoires technologiques**

# Trajectoires à court terme des émissions de GES

7/19

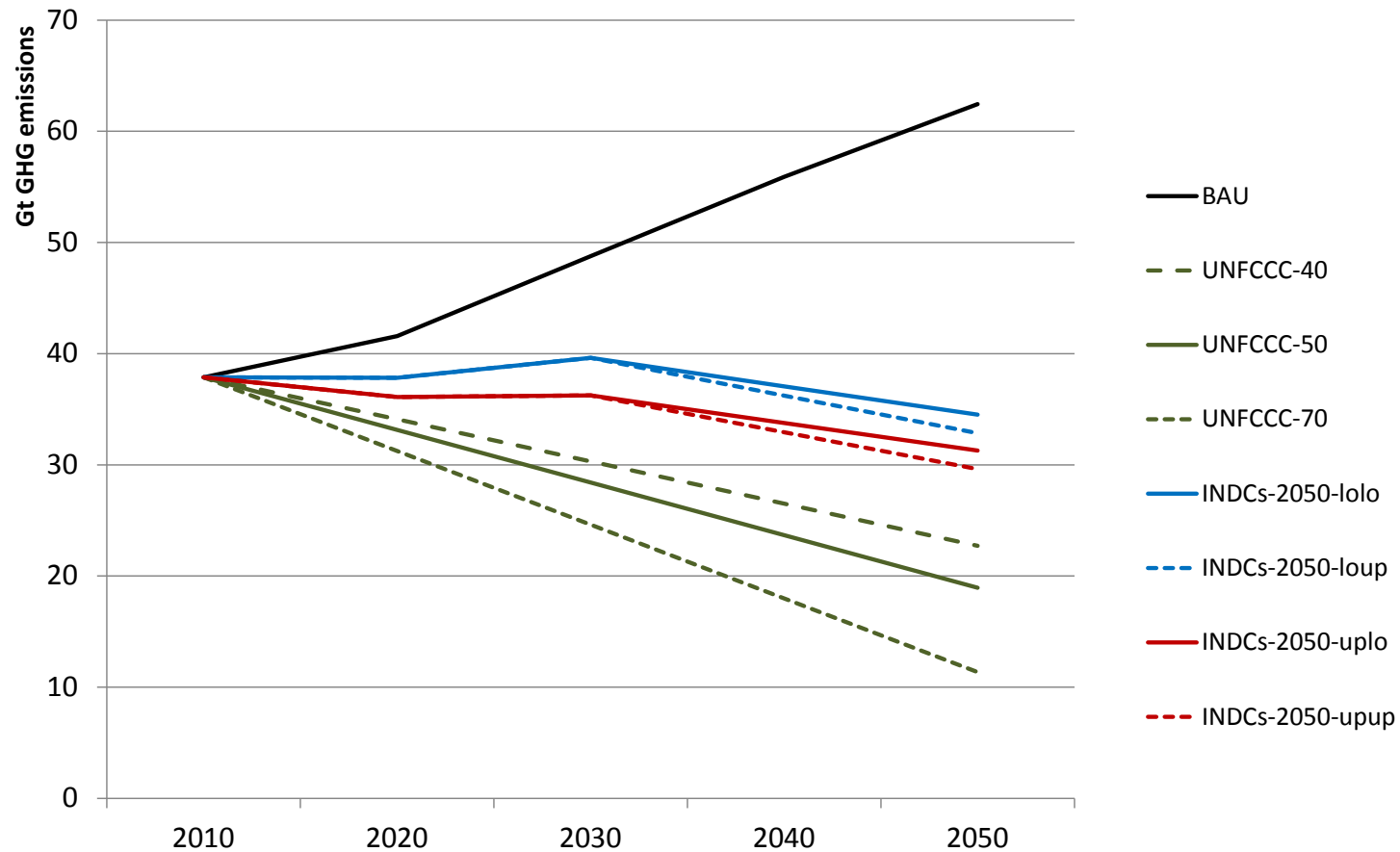
Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017



# Trajectoires à long terme des émissions de GES

8/19

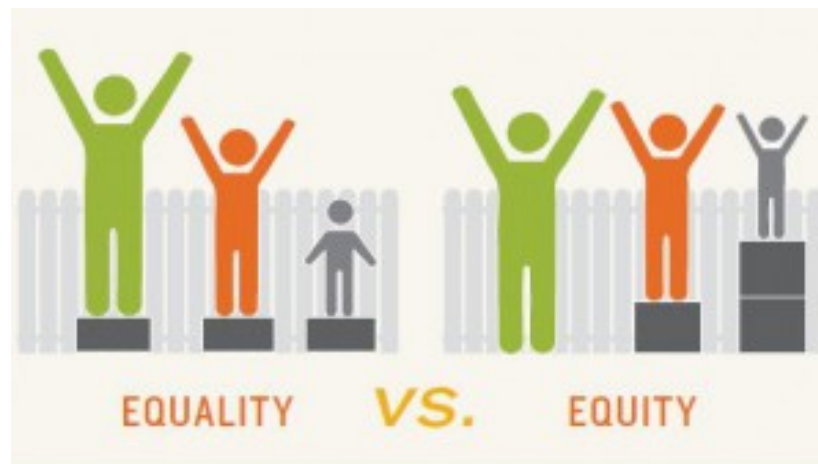
Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017





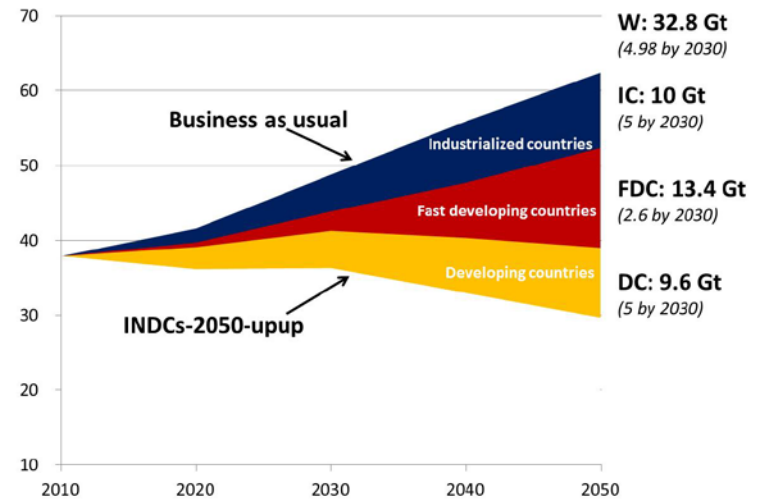
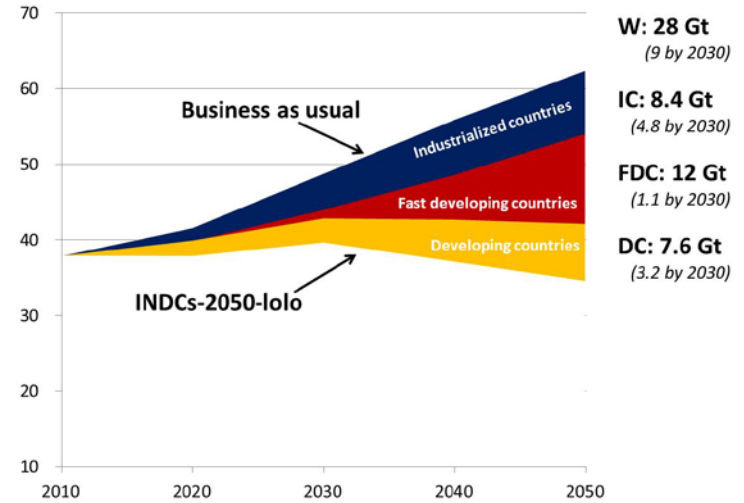
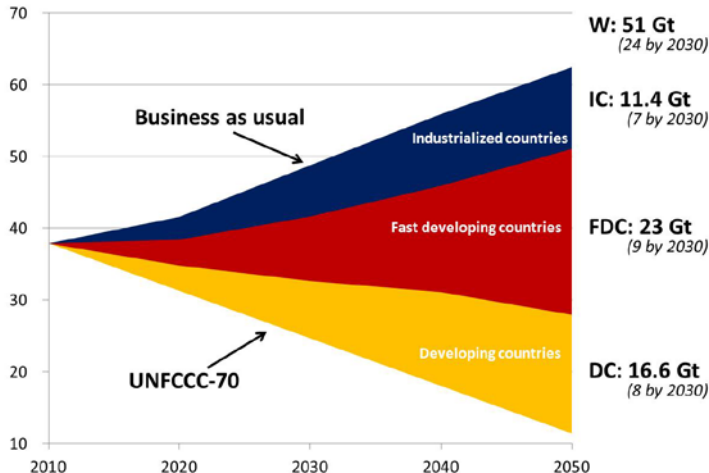
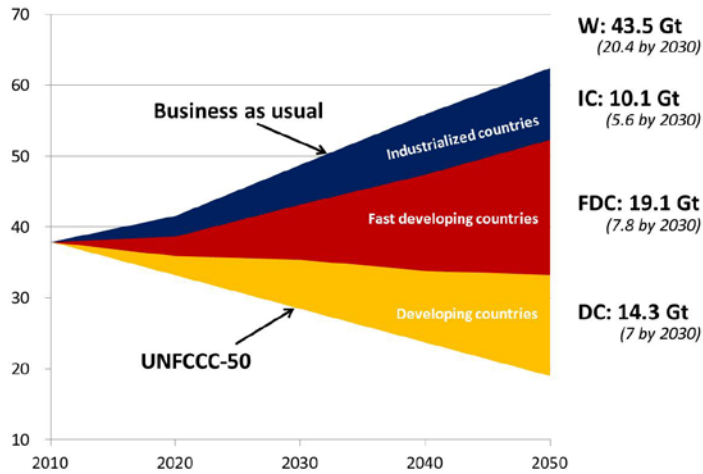
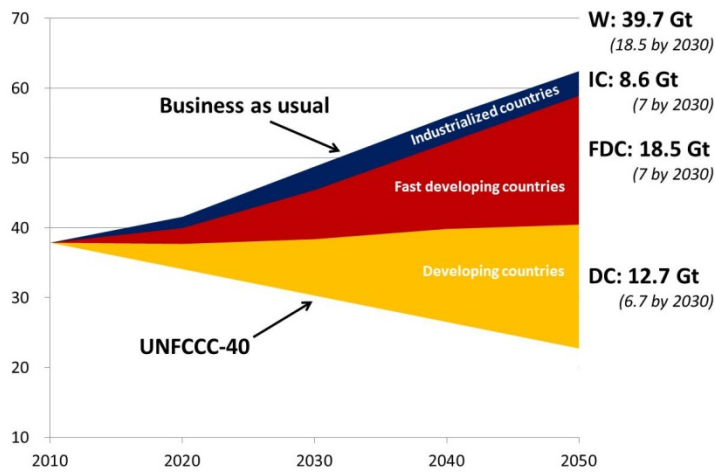
## 2- La contribution des régions

**Est-on en ligne avec les principes d'équité et de responsabilités communes mais différenciées ?**



# Contribution régionale à l'effort d'atténuation

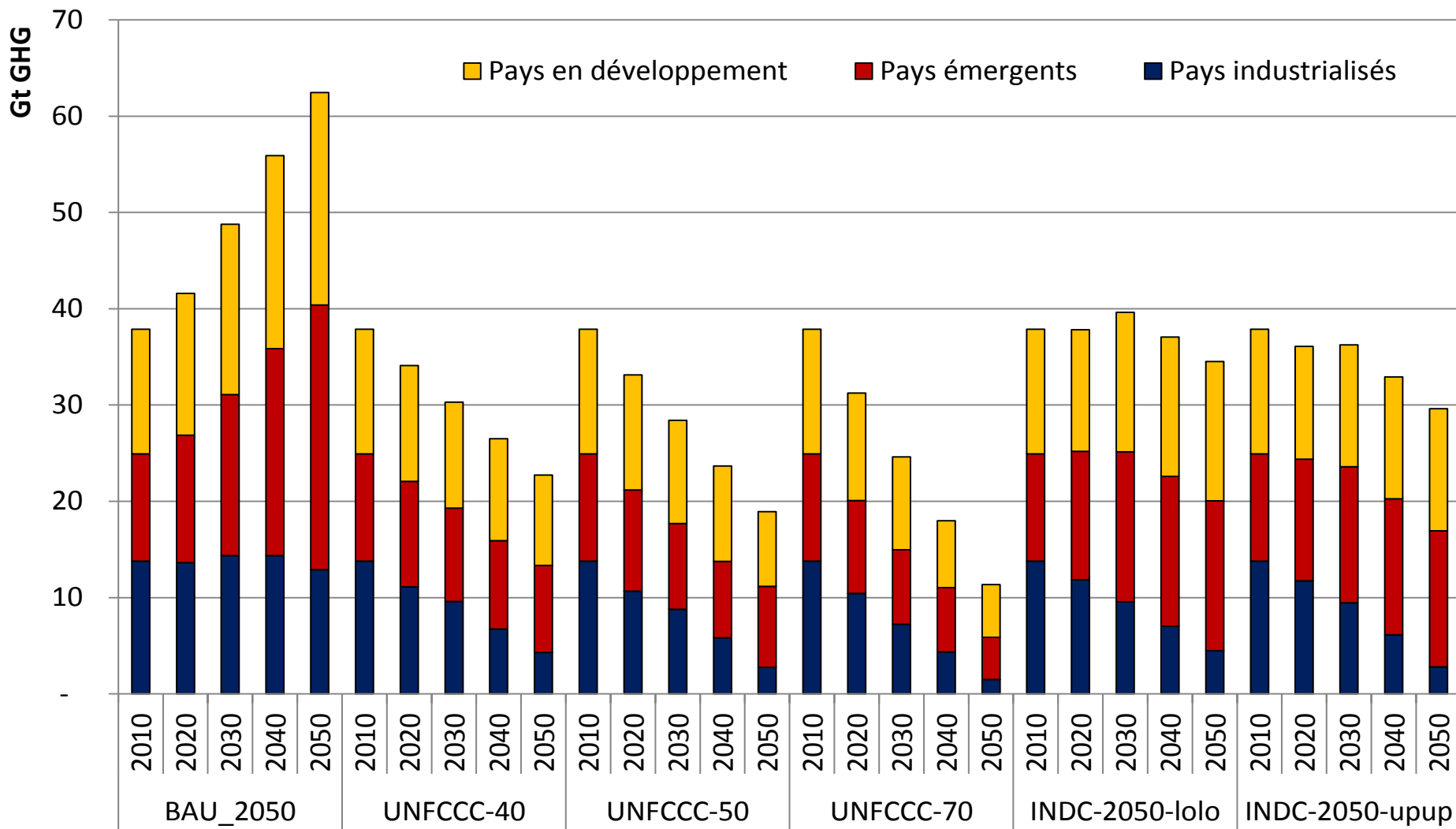
Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017



# Contribution régionale à l'effort d'atténuation

11/19

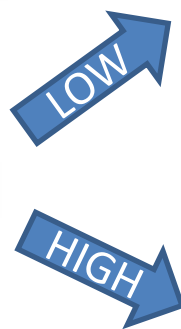
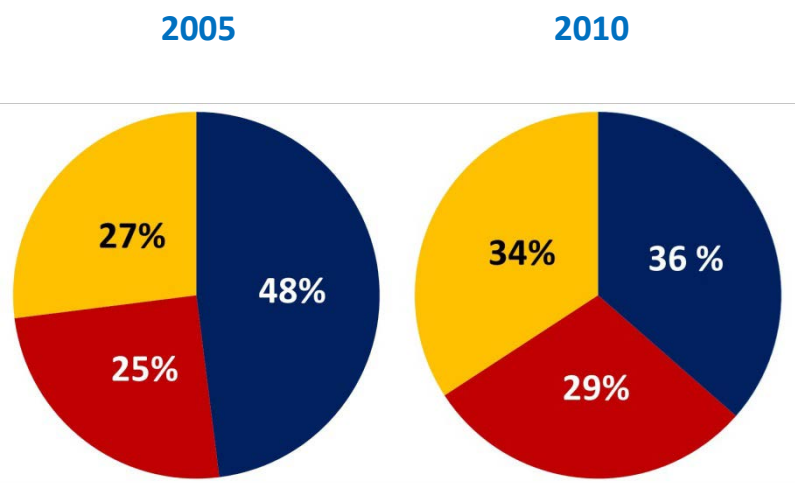
Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017



# Répartition régionale des émissions de GES

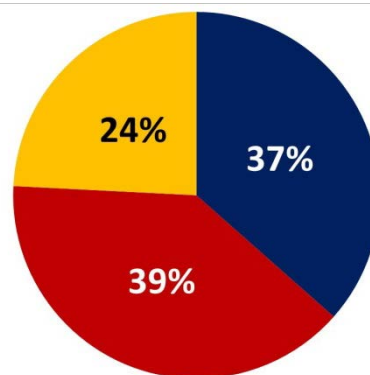
12/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

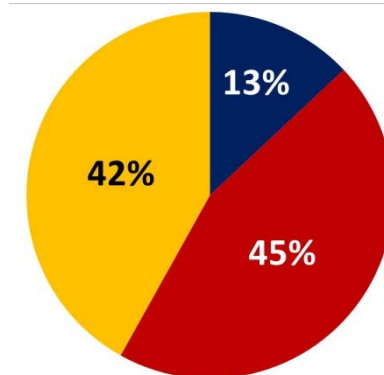


- Pays industrialisés
- Pays émergents
- Pays en développement

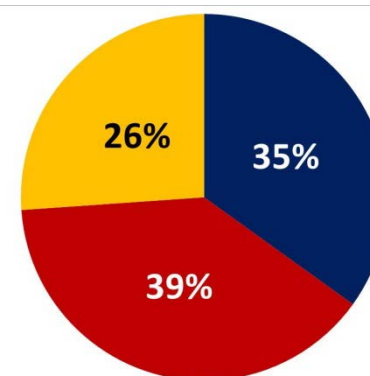
2030 – Cibles basses



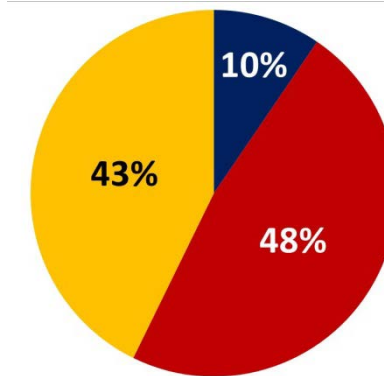
2050 – Cibles basses



2030 – Cibles hautes



2050 – Cibles hautes



### 3- Trajectoires technologiques

Les choix technologiques à l'effort d'atténuation

# Production électrique mondiale (PJ)

14/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

$$\frac{1}{(1+\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

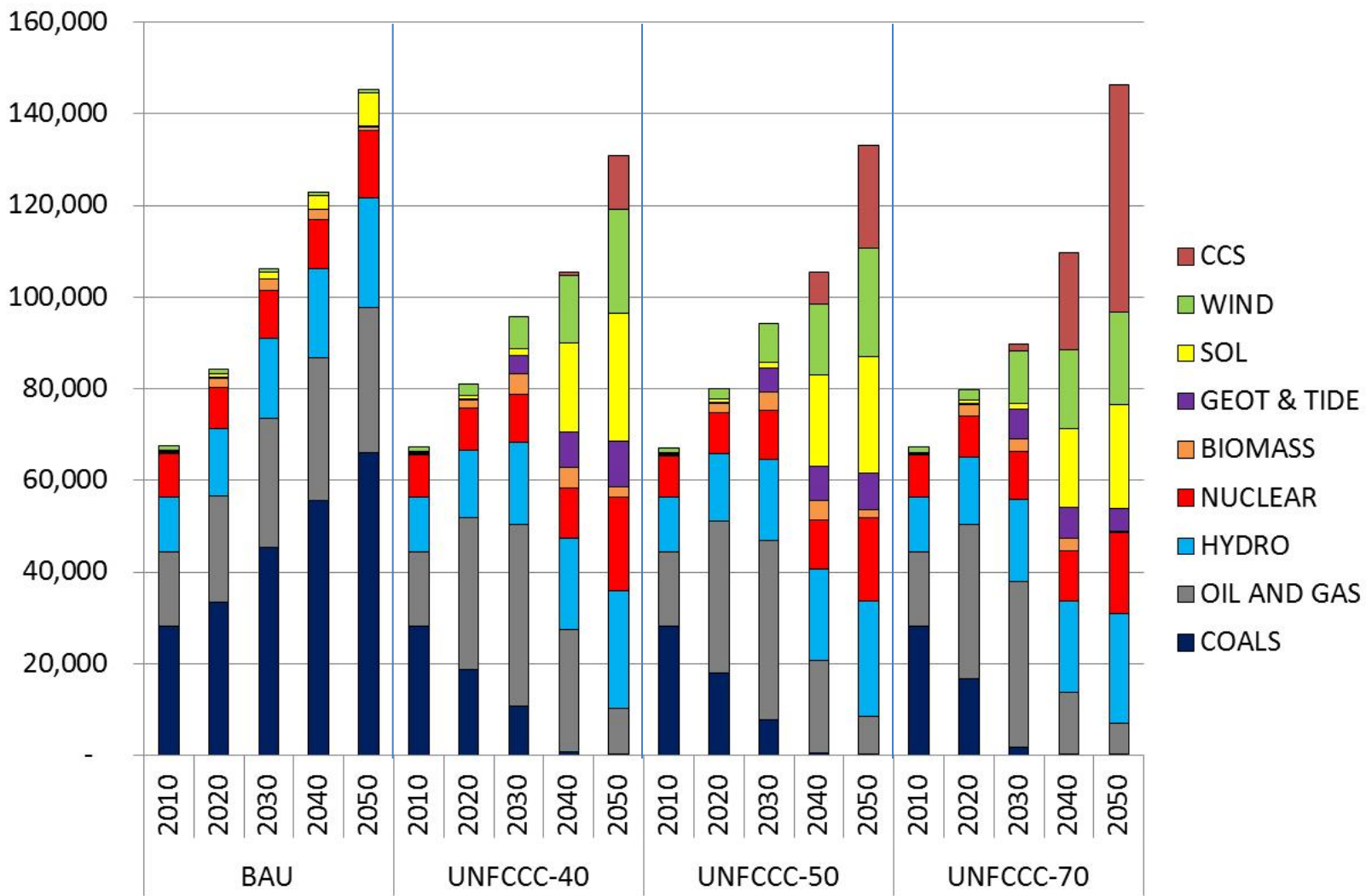
$$\times \left( \sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$

$$+ \sum_{i \in EELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varu$$

$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s com$$

$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

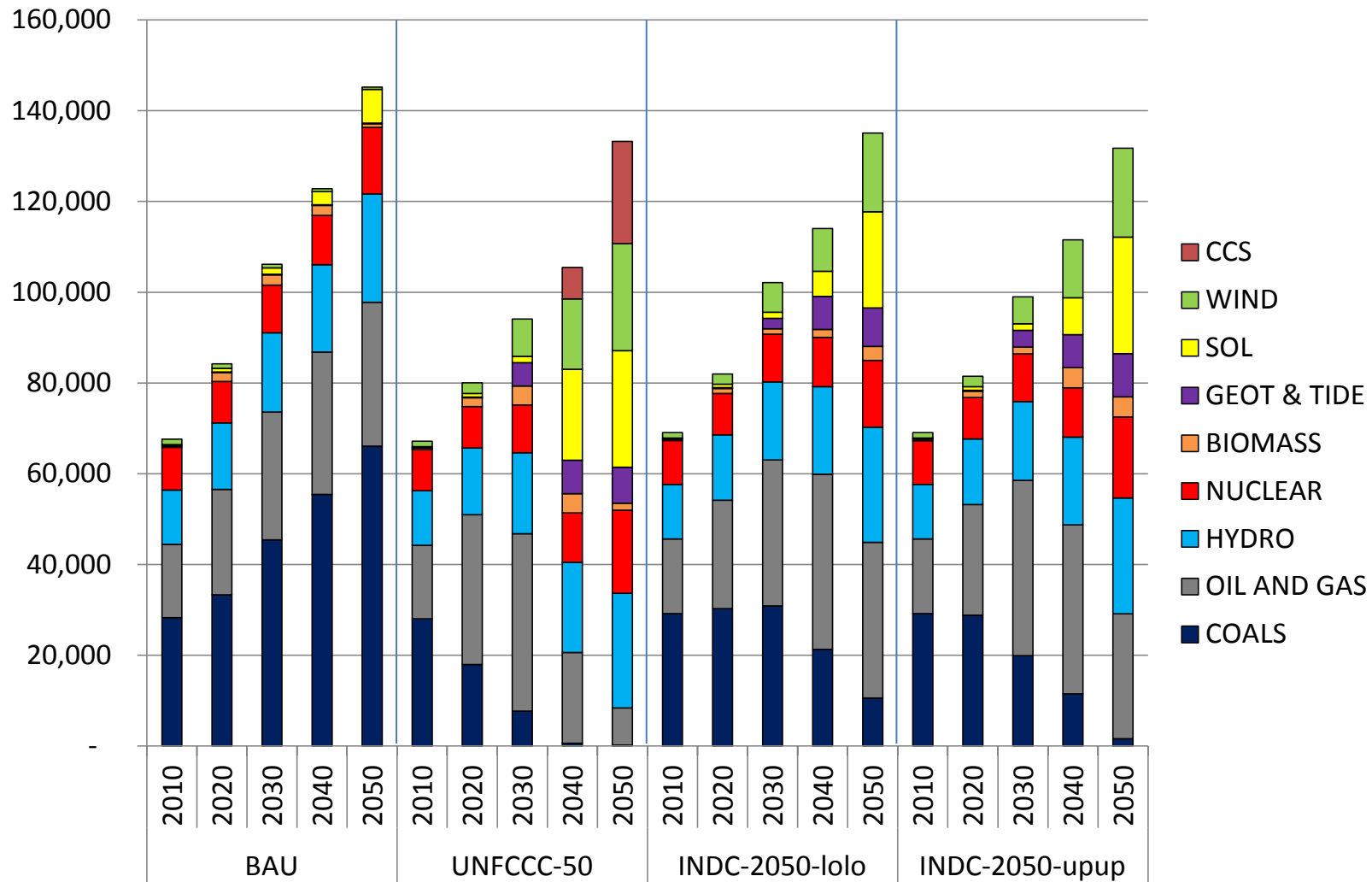
$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$



# Production électrique mondiale (PJ)

15/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017



# Production électrique mondiale (PJ)

16/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

$$\frac{1}{(1+\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

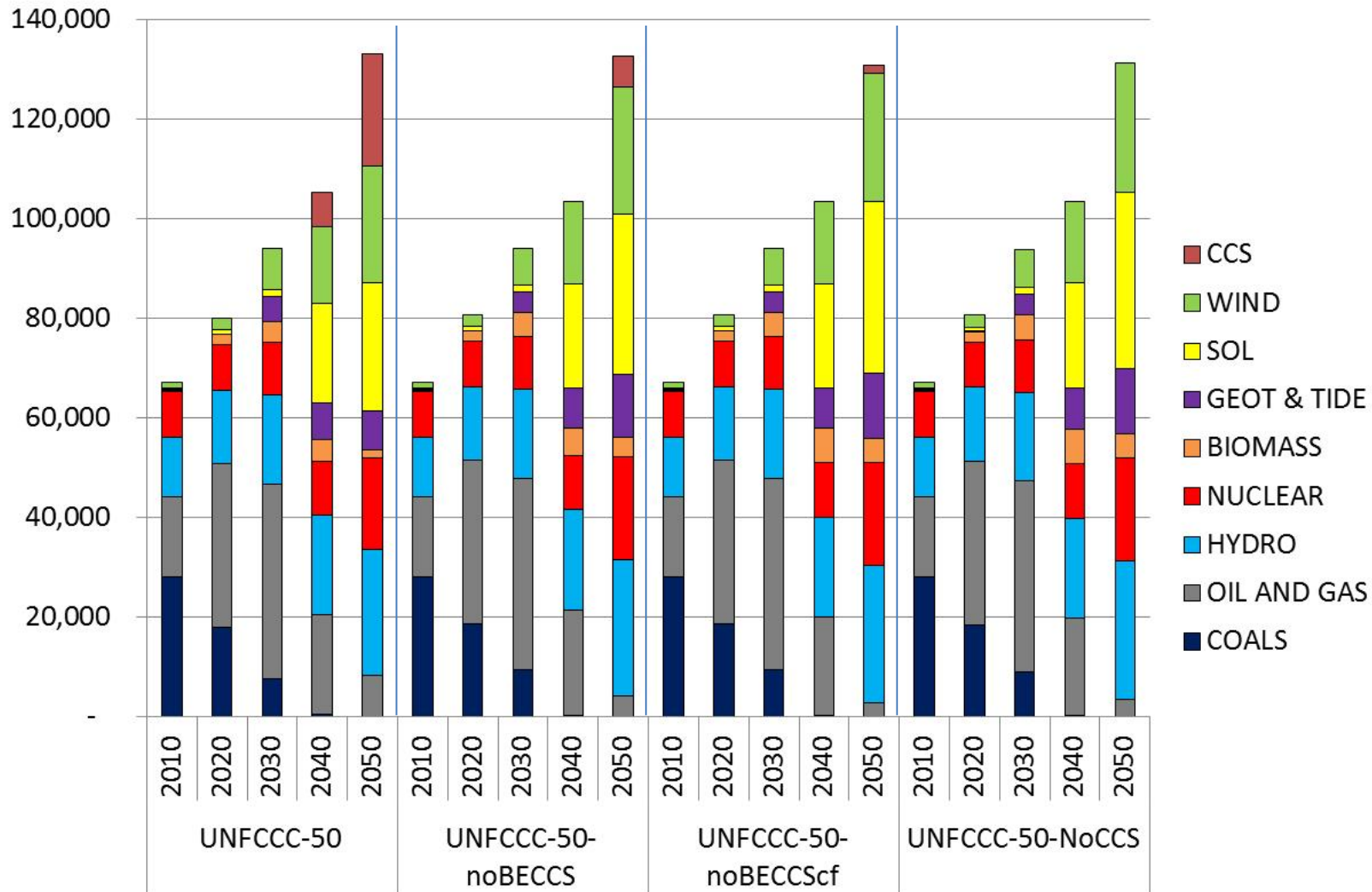
$$\times \left( \sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$

$$+ \sum_{i \in EELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varu$$

$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s com_s$$

$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$





# Production électrique Régionale (PJ)

## Pays industrialisés

17/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

$$\frac{1}{(1+\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} in$$

$$\times \left( \sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \right)$$

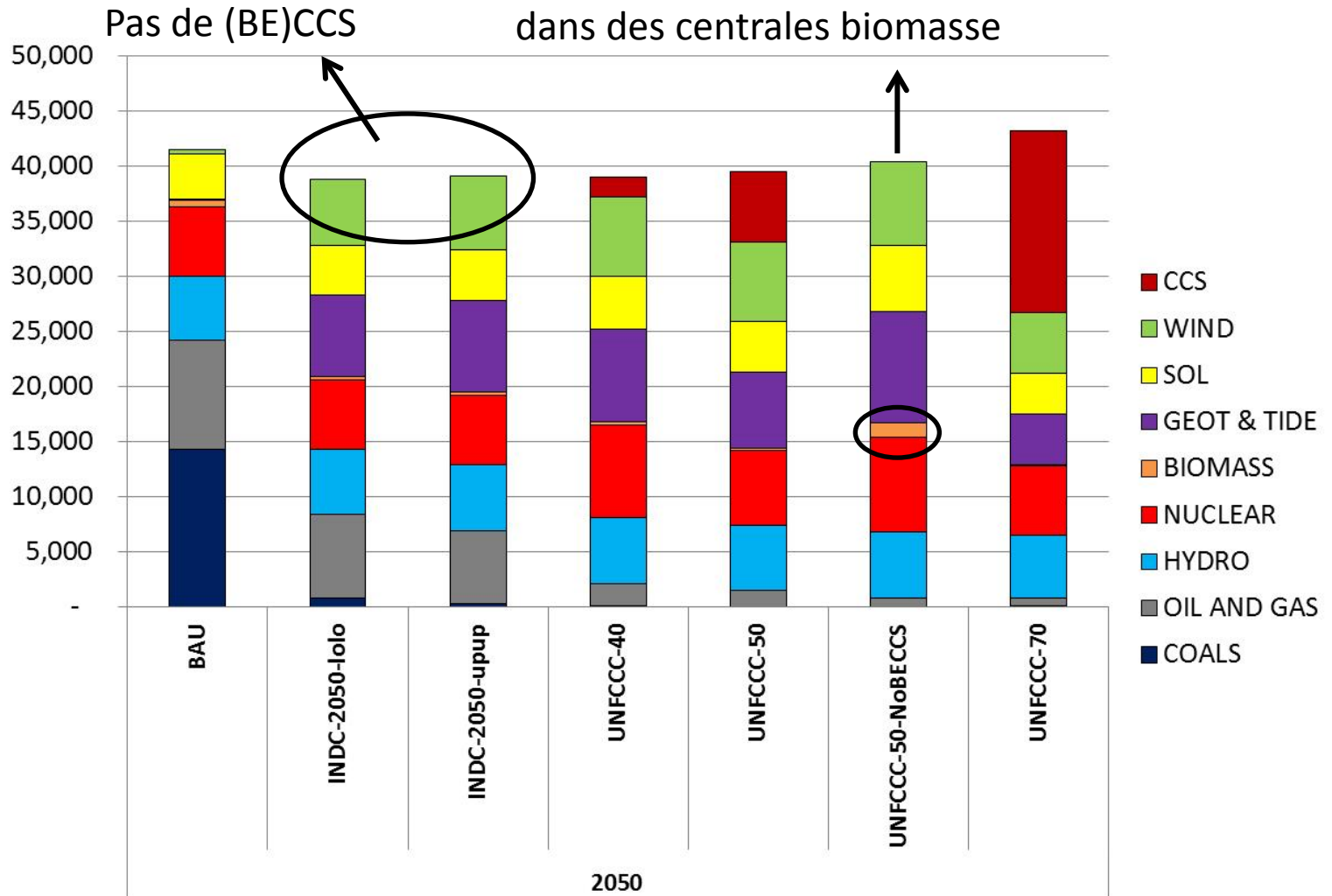
$$+ \sum_{i \in EELA} \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} varu$$

$$+ \sum_{k \in ENC} \sum_s com_s$$

$$+ \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

$$- \sum_s \sum_{z \in Z} \sum_{y \in Y} price$$

Pas de BECCS = pas de CCS mais investissement dans des centrales biomasse



# Production électrique **Régionale (PJ)** – Centrales CCS

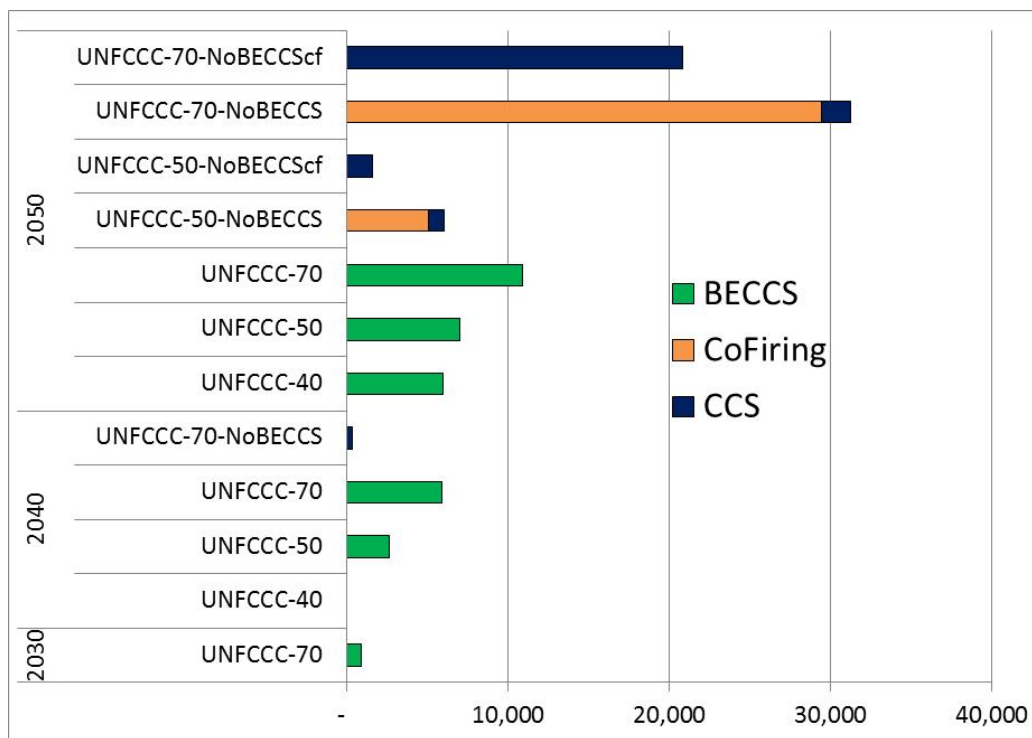
## **Pays émergents**

18/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

Scénarios INDCs : pas de CCS mais électricité à partir de centrales biomasse plus important

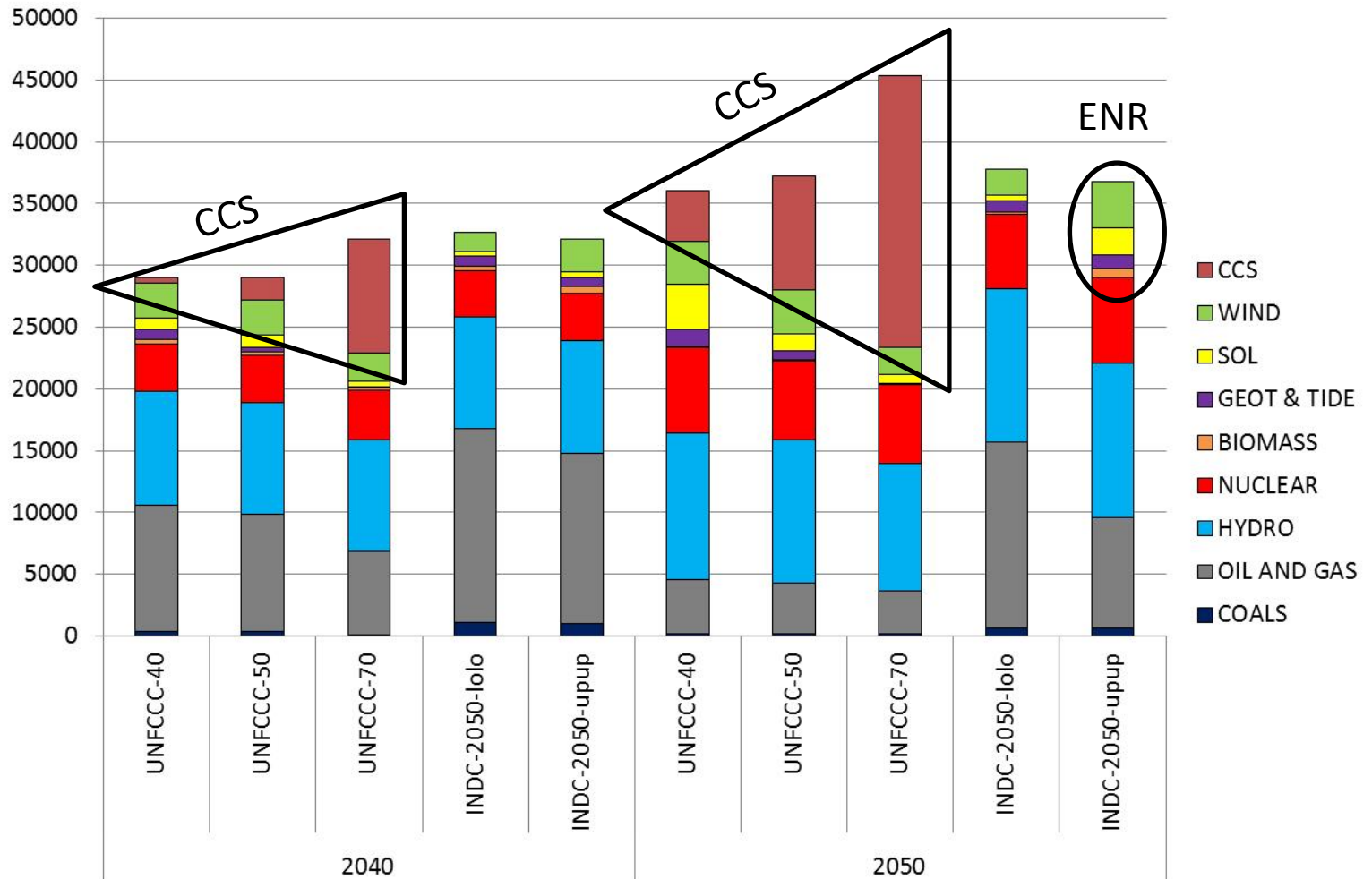
UNFCCC-70-NoBECCS : système électrique décarboné (solaire)



# Production électrique Régionale (PJ) – Pays en développement

19/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017



# Conclusion

20/19

Journée de la Chaire Modélisation prospective – 13 janvier 2017

- Contribution et coopération **globales** essentielles
  - Juste contribution des pays en développement
  - Contribution ambitieuse et réaliste des émergents
- Le progrès technologique est aussi un défi déterminant
  - Objectif **réaliste** : disponibilité des solutions technologiques
    - Echelle du challenge: Renouvelables, CCS, biomasse, stockage
  - Un signal clair de décarbonisation aux décideurs publics, aux investisseurs et à la communauté économique



$$\frac{1}{\alpha)^{n(t-1)}} \sum_{i \in TCH} invcost_i(t) \cdot I_i(t) + \sum_{t \in T} \frac{1}{(1 + \alpha)^{n(t-1)}}$$

$$\sum_{i \in TCH} fixom_i(t) \cdot C_i(t) + \sum_{i \in PRG} varom_i(t)$$

$$\sum_{s \in EELA} \sum_{z \in EZ} \sum_{y \in Y} varom_i(t) \cdot P_{lzy}(t)$$

$$\sum_{s \in ENC} \sum_{s} cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

$$\sum_{s \in ZEZ} \sum_{y \in Y} cos_{ks}(t) \cdot IMP_{ks}(t)$$

$$\sum_{s \in ZEZ} \sum_{y \in Y} price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$

$$\sum_{s \in ZEZ} \sum_{y \in Y} price_{ELCS}(t) \cdot EXP_{ELCS}(t)$$



**Merci pour votre attention!**

Contact : [sandrine.selosse@mines-paristech.fr](mailto:sandrine.selosse@mines-paristech.fr)

13 janvier 2017

Ecole des PONTS ParisTech – Champs-sur-Marne