

# Enjeux mondiaux et impacts régionaux des contraintes carbone : Prospective long terme à l'aide du modèle TIAM

Sandrine SELOSSE, Edi ASSOUMOU, Nadia MAÏZI

Centre de Mathématiques appliquées, MINES ParisTech

Journée de la Chaire Modélisation prospective  
20 novembre 2009



**ParisTech**  
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# Plan

1. Le modèle
2. Les scénarios de contraintes carbone
3. Les résultats



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# 1- ETSAP-TIAM: Un modèle et une communauté

## La communauté ETSAP

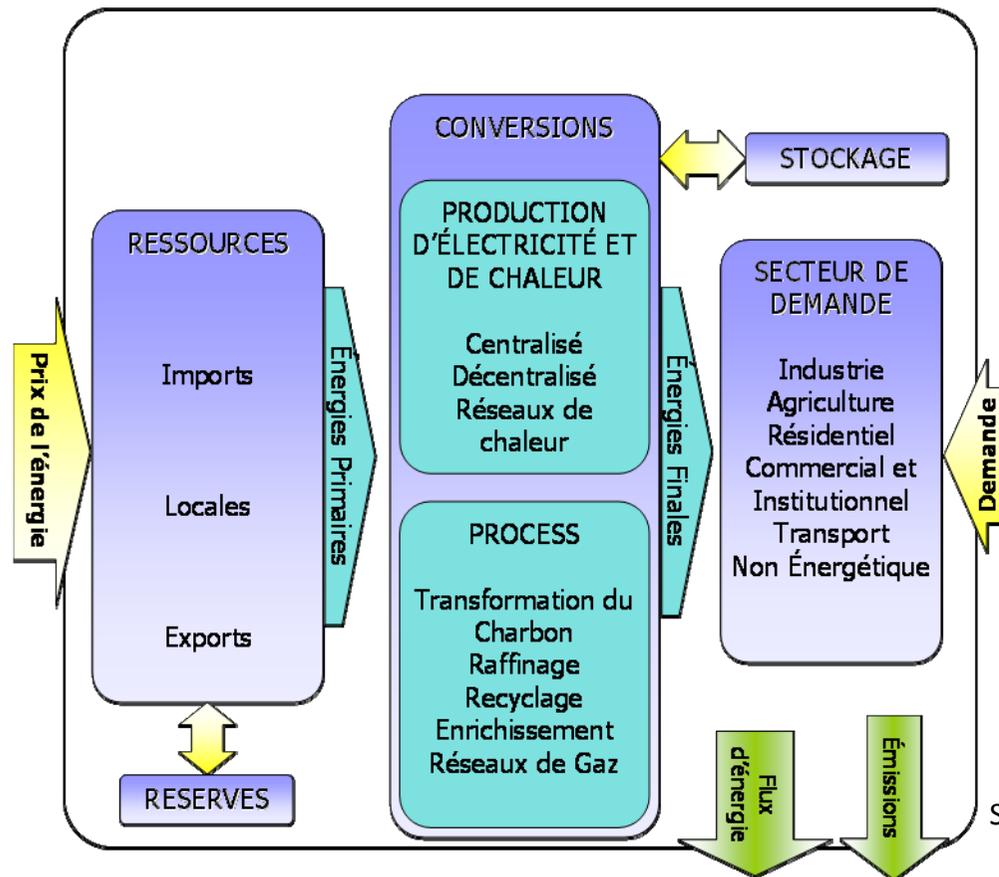
- TIAM fait partie de la famille des modèles MARKAL/TIMES développée par l'ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Programme) sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Energie
- Un réseau d'utilisateurs, une communauté d'experts en modélisation
- 3 équipes initiales pour TIAM: GERAD au Canada, IER/Université de Stuttgart en Allemagne et VTT en Finlande
- TIAM-FR



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# Un modèle bottom up du système énergétique riche en technologie (1)

- Le concept de Système énergétique de référence (RES)



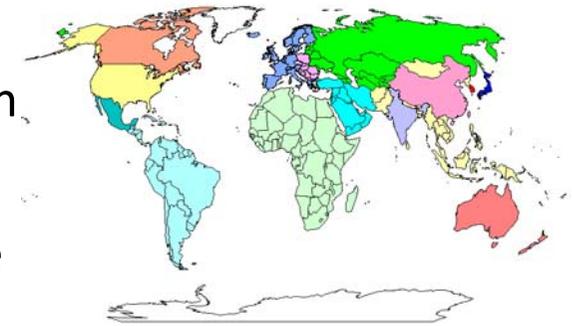
Source: Edi Assoumou, Gilles Guerassimoff



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Un modèle bottom up du système énergétique riche en technologie (2)

- Le concept de Système énergétique de référence (RES)
- Un modèle de programmation linéaire
  - Minimisation du coût total actualisé du système énergétique
  - Structure du système énergétique
- Un horizon temporel de 2000 à 2100
- Un modèle intégré géographiquement
  - Le monde divisé en 15 régions et une sous-division OPEP et non OPEP
  - Des régions reliées par des variables d'énergie, de matériaux et d'échanges de permis d'émission
- Un module climatique intégré



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Hypothèses générales du modèle

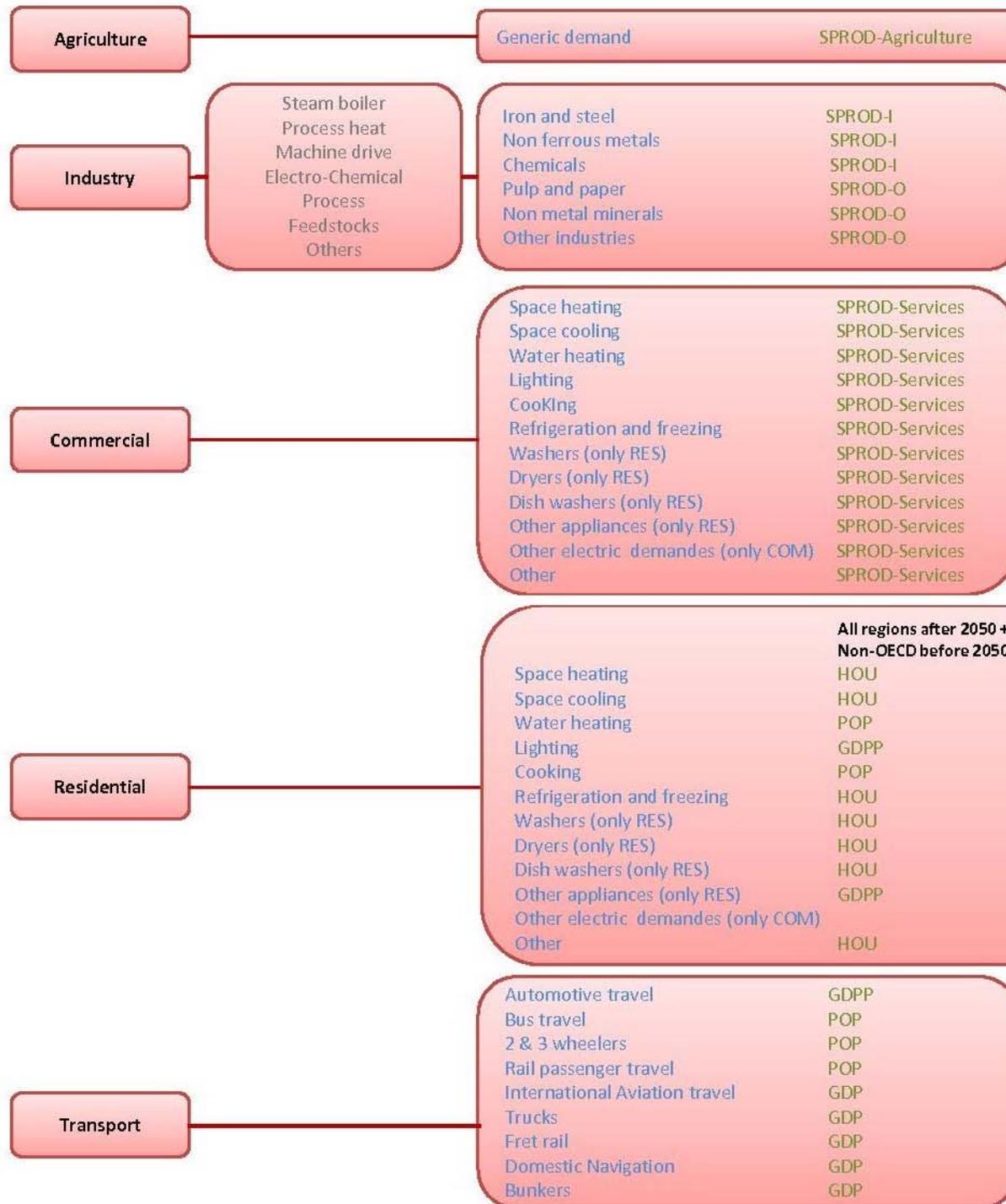
- Les prix à l'importation des énergies fossiles (WEO, DGEMP, AIE, DoE)
- Les principaux déterminants socio-économiques :

La consommation d'énergie est fondée sur les projections externes de :

- La croissance du PIB régional
- La croissance de la population
- Le volume des différents secteurs économiques : la demande régionale de services en énergie utile par secteur



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable



## End-use sectors : Demands for energy services and drivers

Demands for energy services  
Drivers

HOU : Households  
GDP: Gross domestic product  
POP: Population  
GDPP: GDP per capita  
SPROD-X: Production of sector X related to GDP

## 2- Spécification des scénarios

Scénarios		Régions concernées	Contraintes 2020	Contraintes 2050
EUROPE	Europe_20	Europe de l'ouest	20%	60%
	Europe_30	Europe de l'ouest	30%	80%
PAYS DÉVELOPPÉS	Annexe1_20	Europe, USA, Japon, Canada, Australie	20%	60%
	Annexe1_30	Europe, USA, Japon, Canada, Australie	30%	80%
PAYS DÉVELOPPÉS + CHINE + INDE	Annexe1+_10	Europe, USA, Japon, Canada, Australie + Chine, Inde	30% + 10%	80% + 20%
	Annexe1+_20	Europe, USA, Japon, Canada, Australie + Chine, Inde	30% + 20%	80% + 40%

⇒ L'objectif de cette analyse est de discuter des résultats de différents mécanismes de coordination pour des objectifs intermédiaires de réduction des émissions de GES

⇒ A travers l'analyse de scénarios basée sur le modèle ETSAP-TIAM couvrant la période 2000-2050 et évaluer :

- L'évolution de la consommation d'énergie primaire
- Les niveaux d'émission régionaux
- Les coûts de la politique climatique

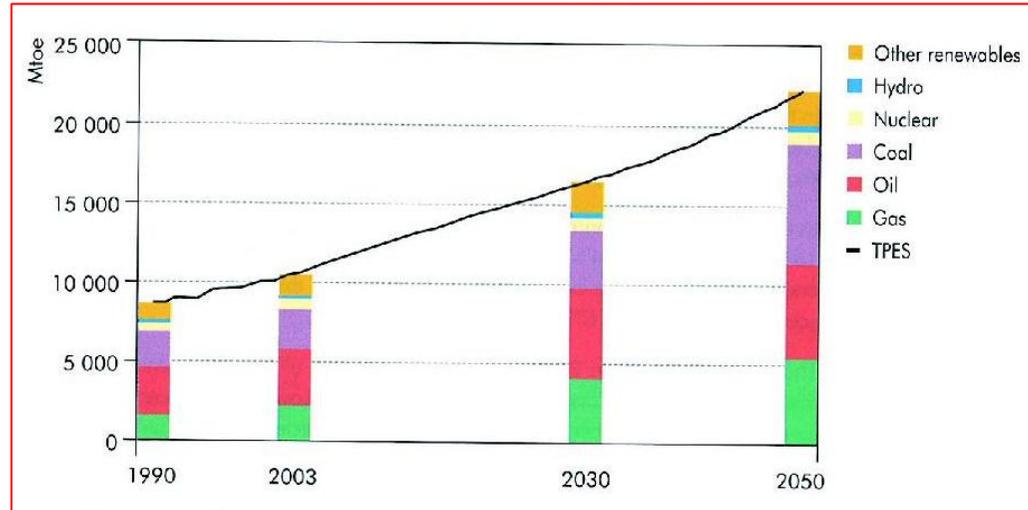


Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

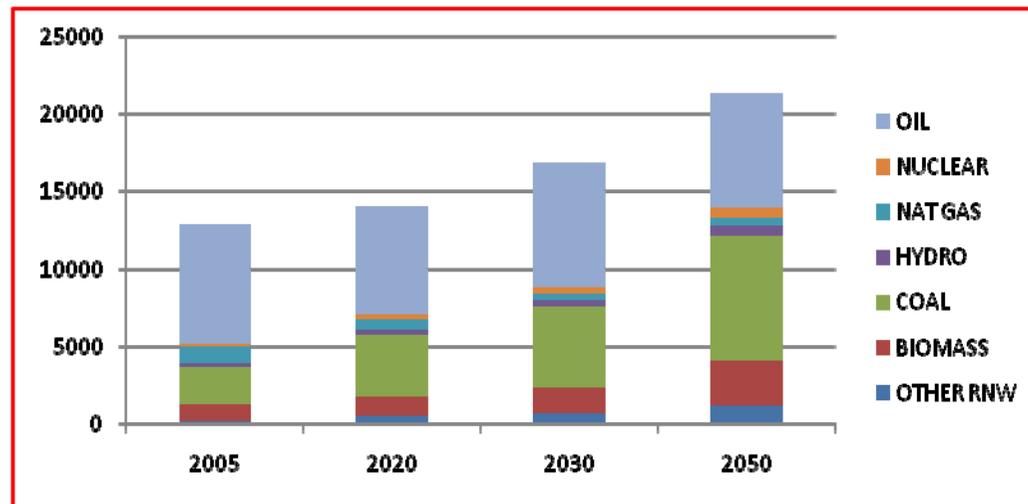
# 3- Les résultats

## LE SCENARIO DE RÉFÉRENCE

Production mondiale totale d'énergie primaire (TPES) par énergie dans le scénario de référence de ETP 2006 (Mtep)



Production mondiale totale d'énergie primaire (TPES) par énergie dans le scénario de référence de TIAM (Mtep)

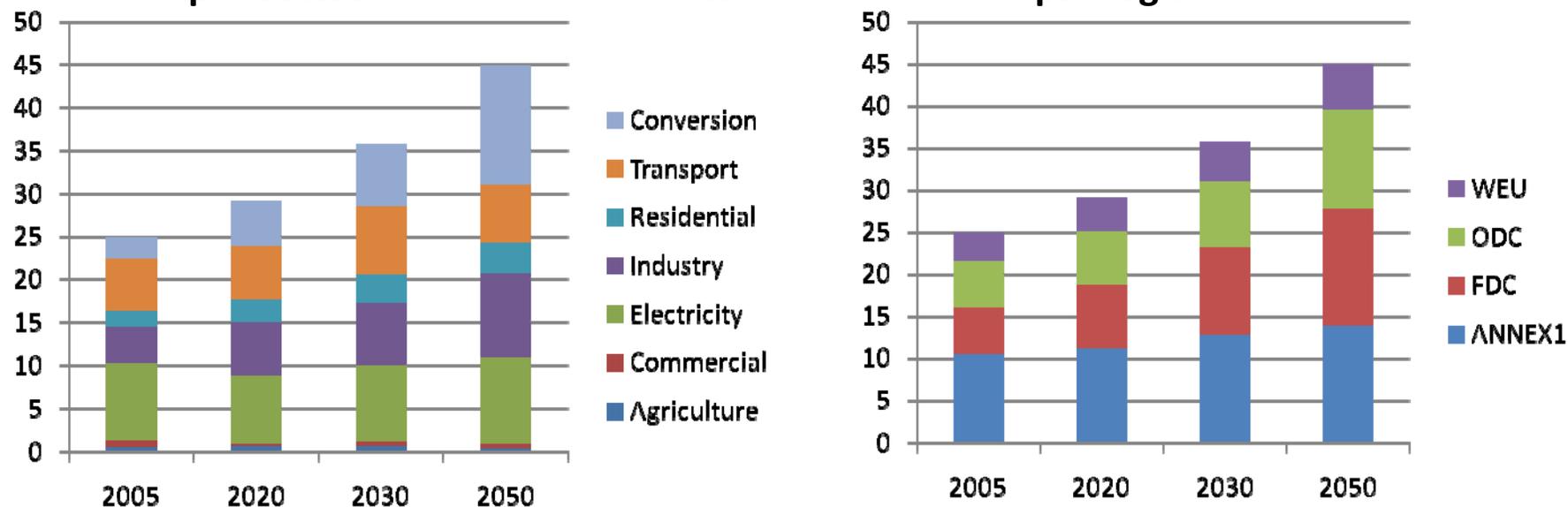


Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> dans le scénario de référence de ETP 2006 (Gt) – par région

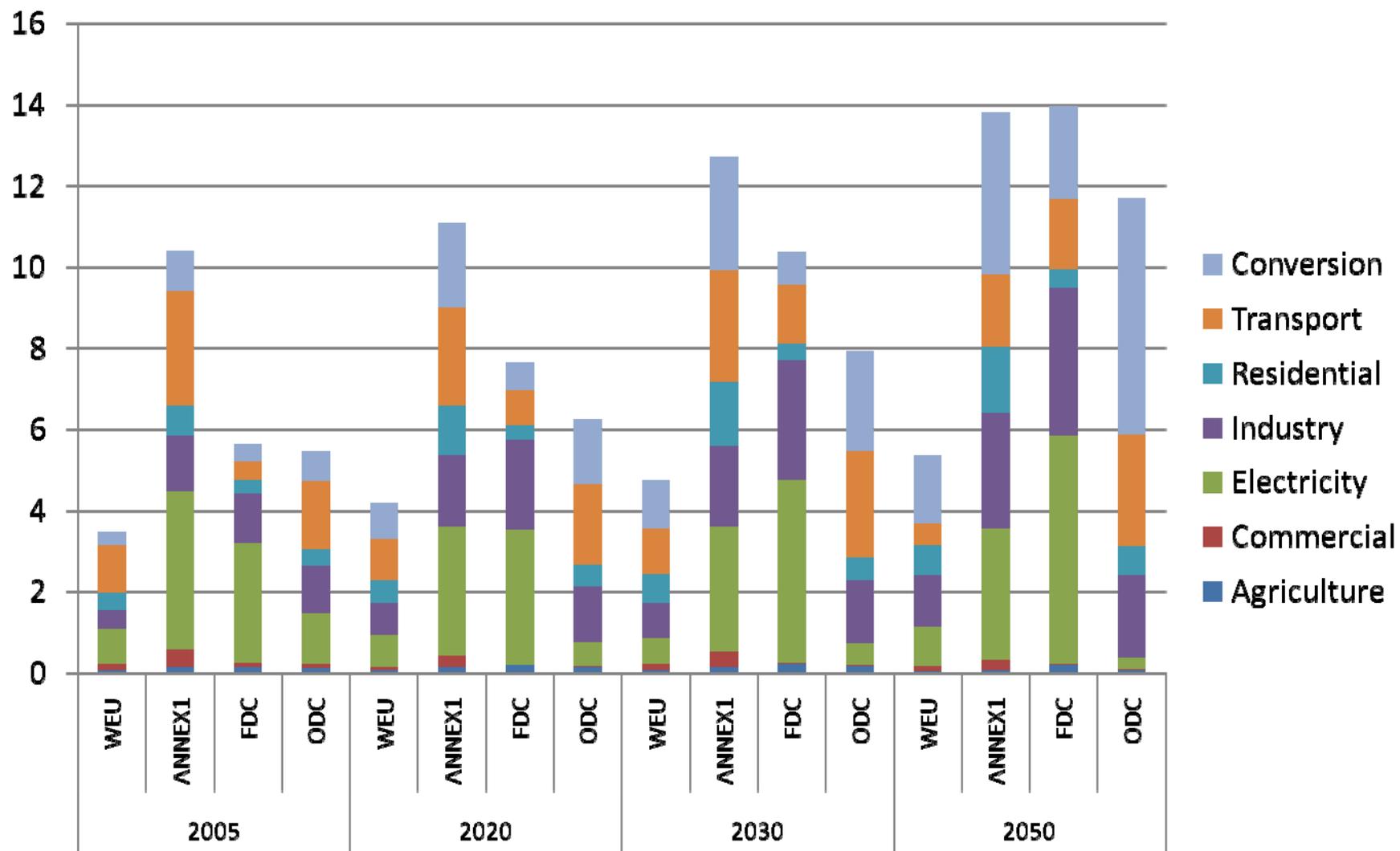
Emissions CO <sub>2</sub> (Gt)	2003	2050
OCDE	12,969	21,949
Economies en transition	2,543	3,953
Pays en développement	9,02	32,12
<b>Monde</b>	<b>24,532</b>	<b>58,022</b>

## Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> dans le scénario de référence de TIAM-FR (Gt) – par secteur et par région



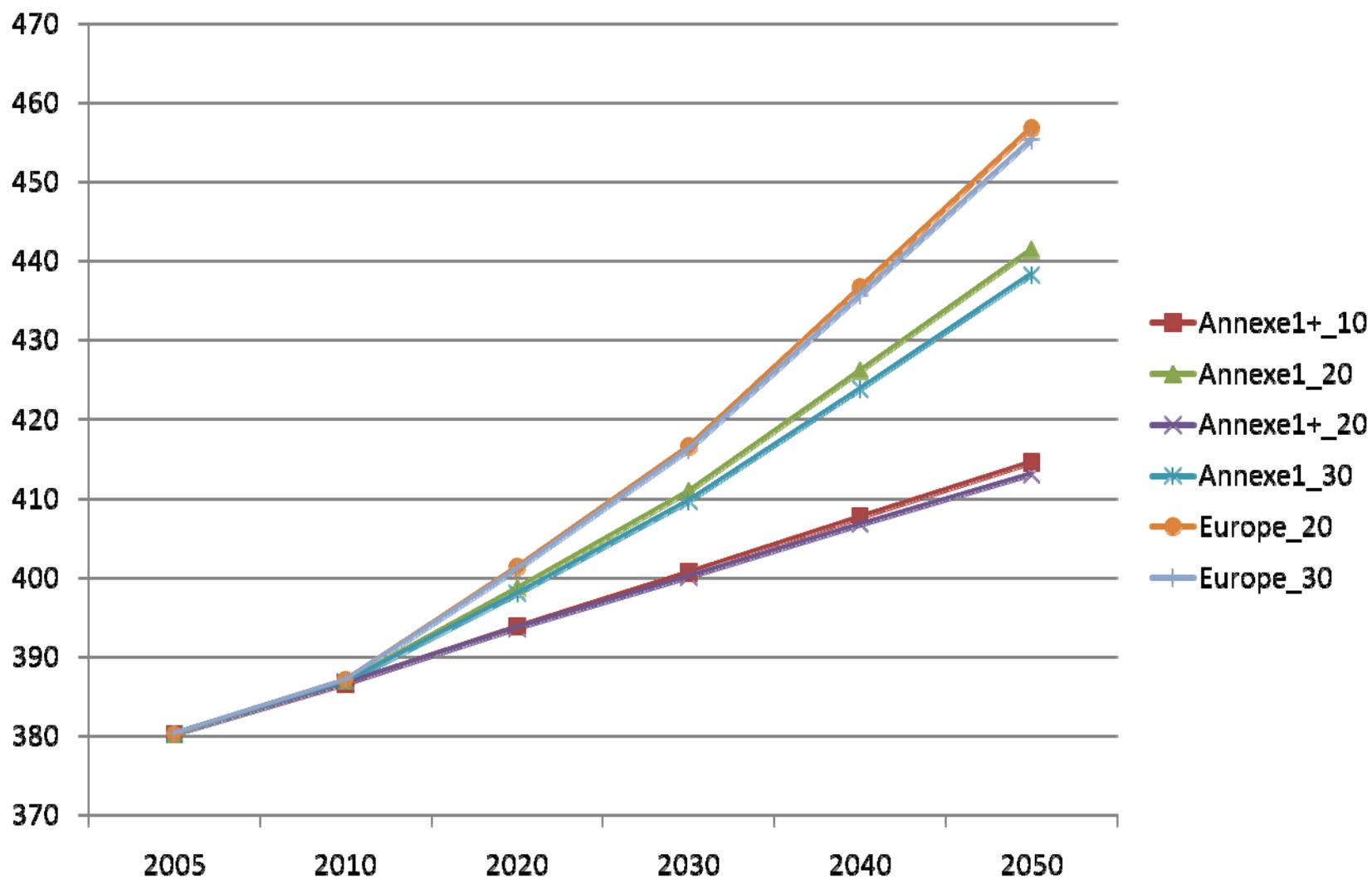
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Emissions régionales de CO2 par secteur dans le scénario de référence de TIAM-FR (Gt)



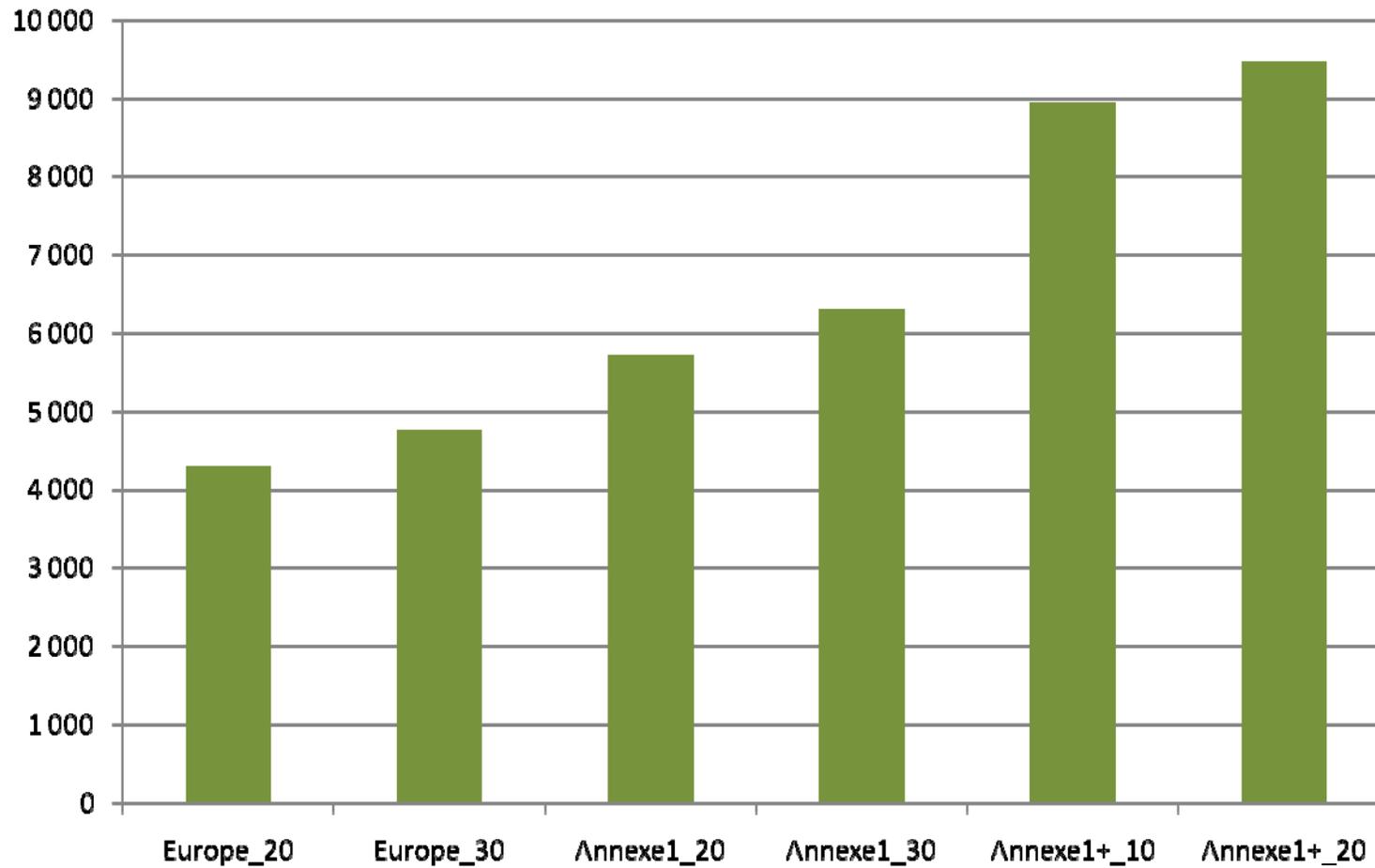
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> (ppm) suivant les scénarios



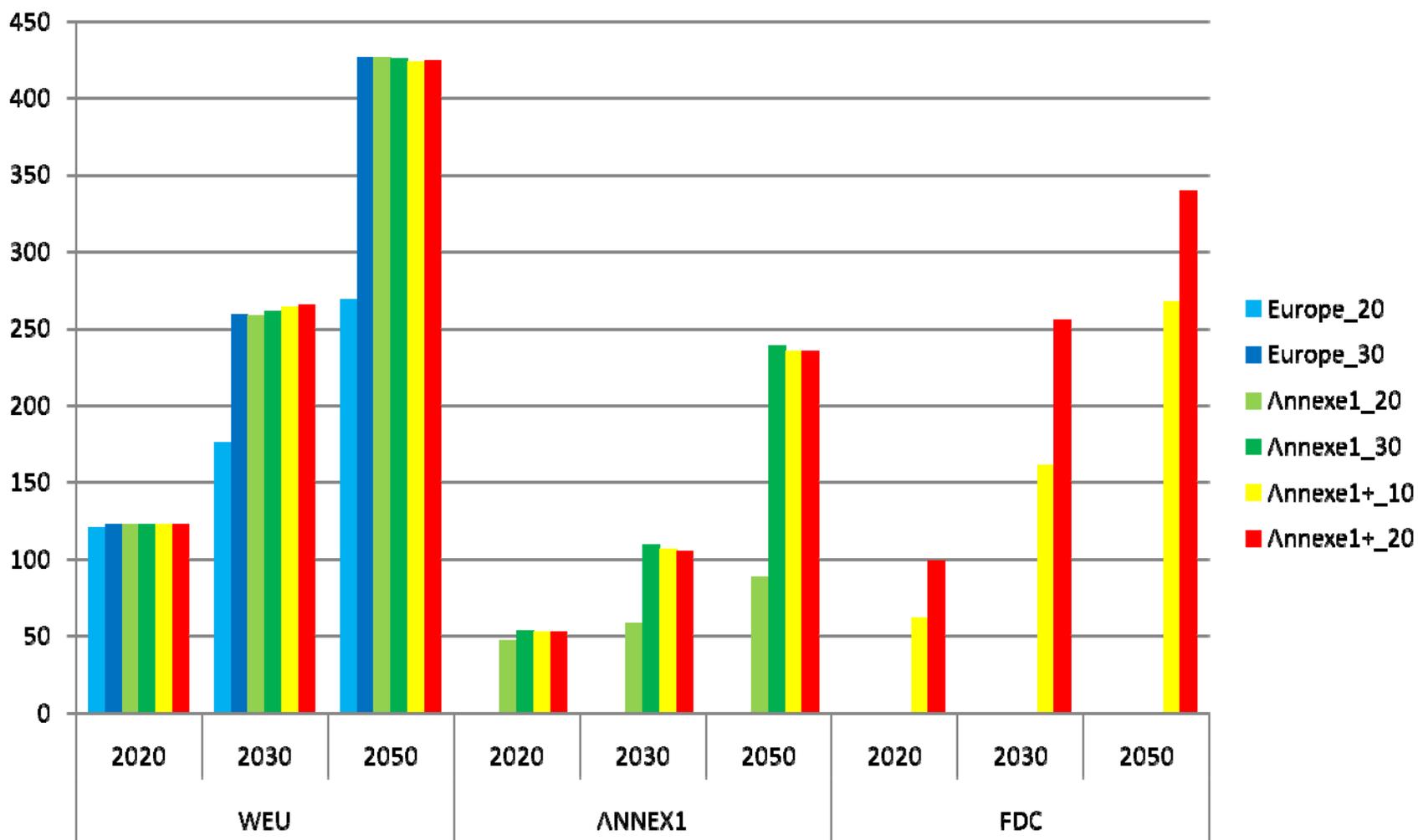
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Coût total actualisé (2005 milliards US\$) par scénario



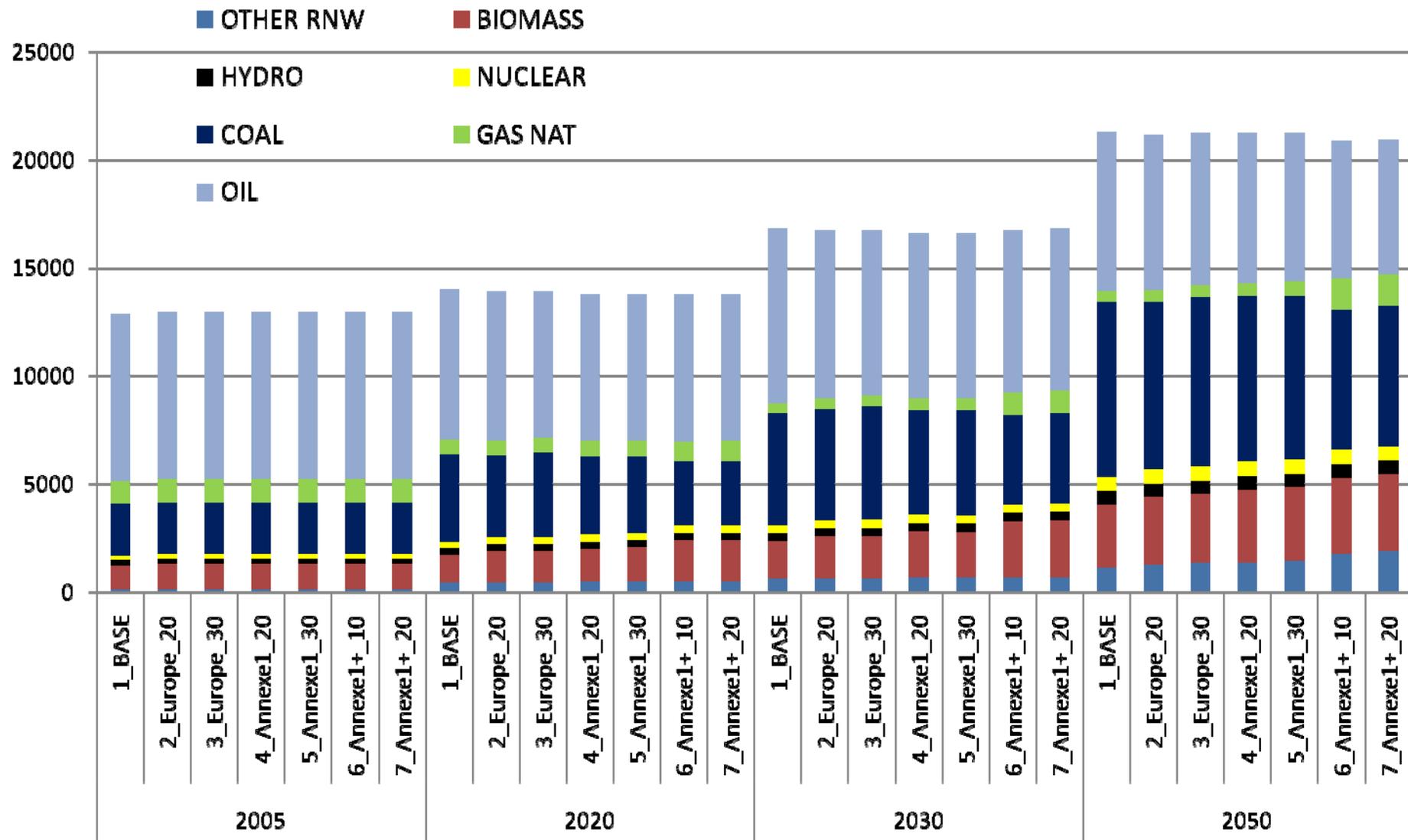
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Coût du carbone (2005 US\$/t) par scénario et par région (Pondéré par les émissions totales de carbone)



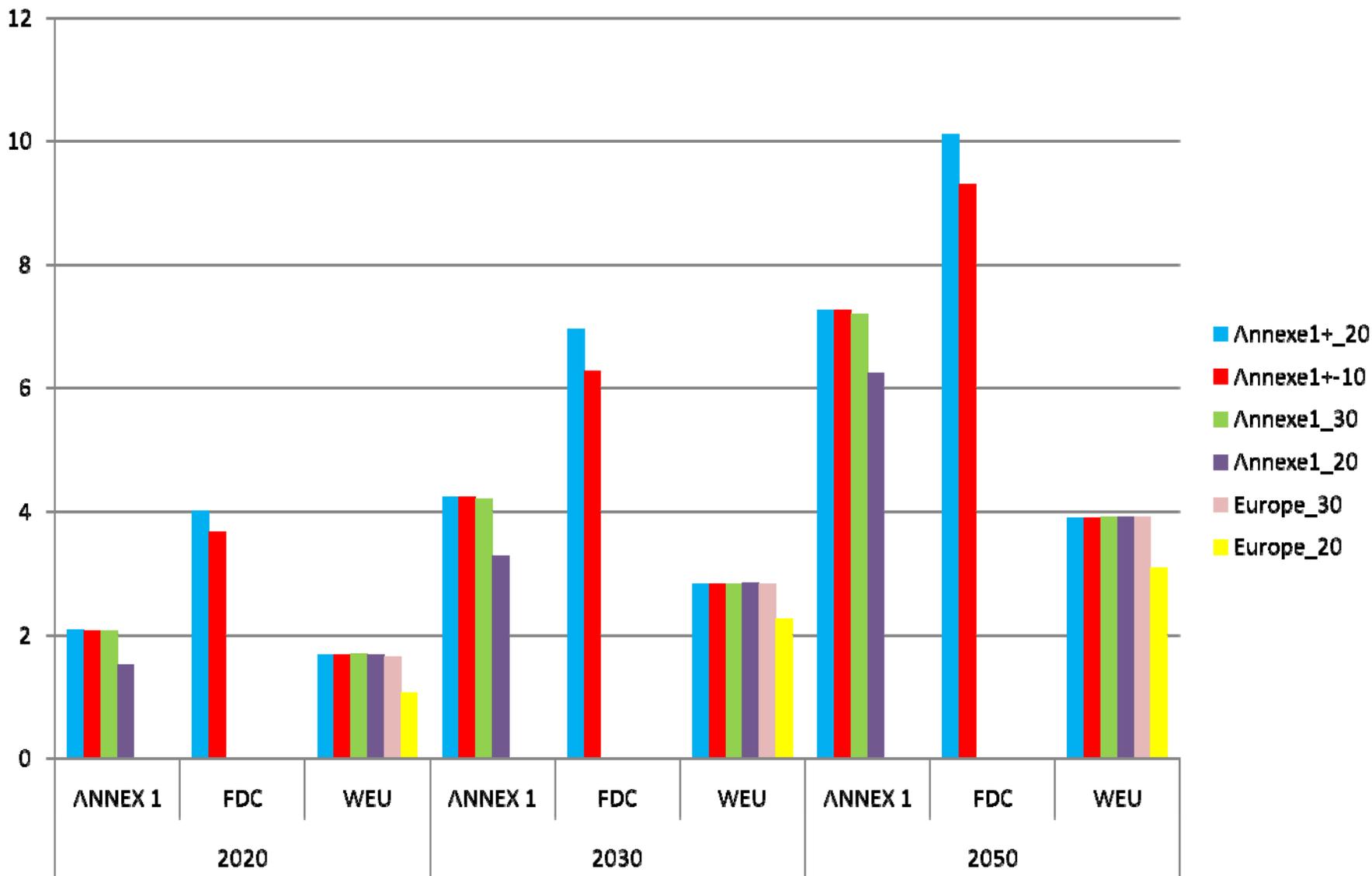
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Production mondiale totale d'énergie primaire (TPES) par énergie (en Mtep)



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Séquestration totale nette de CO<sub>2</sub> (Gt CO<sub>2</sub>)



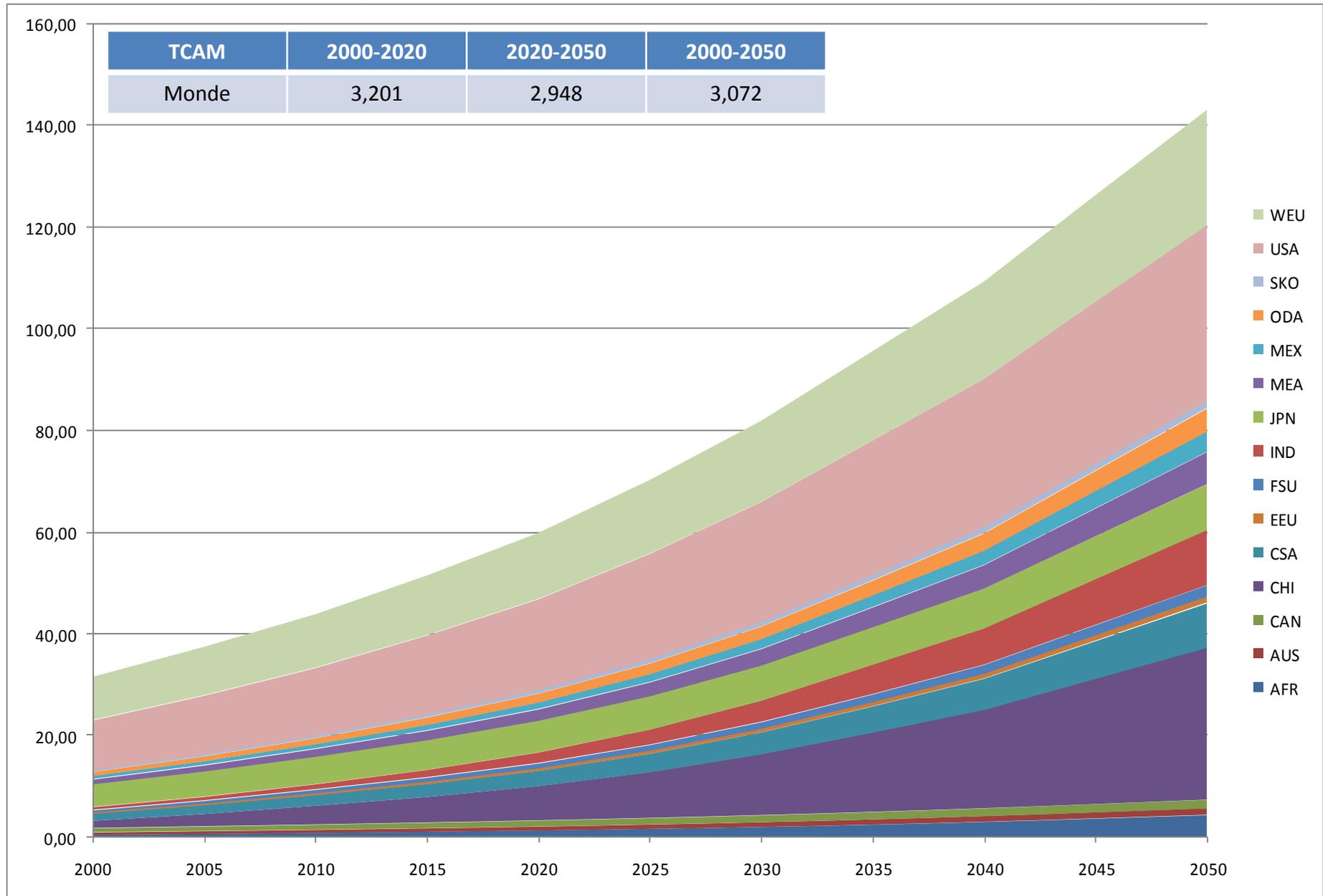
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# Annexes

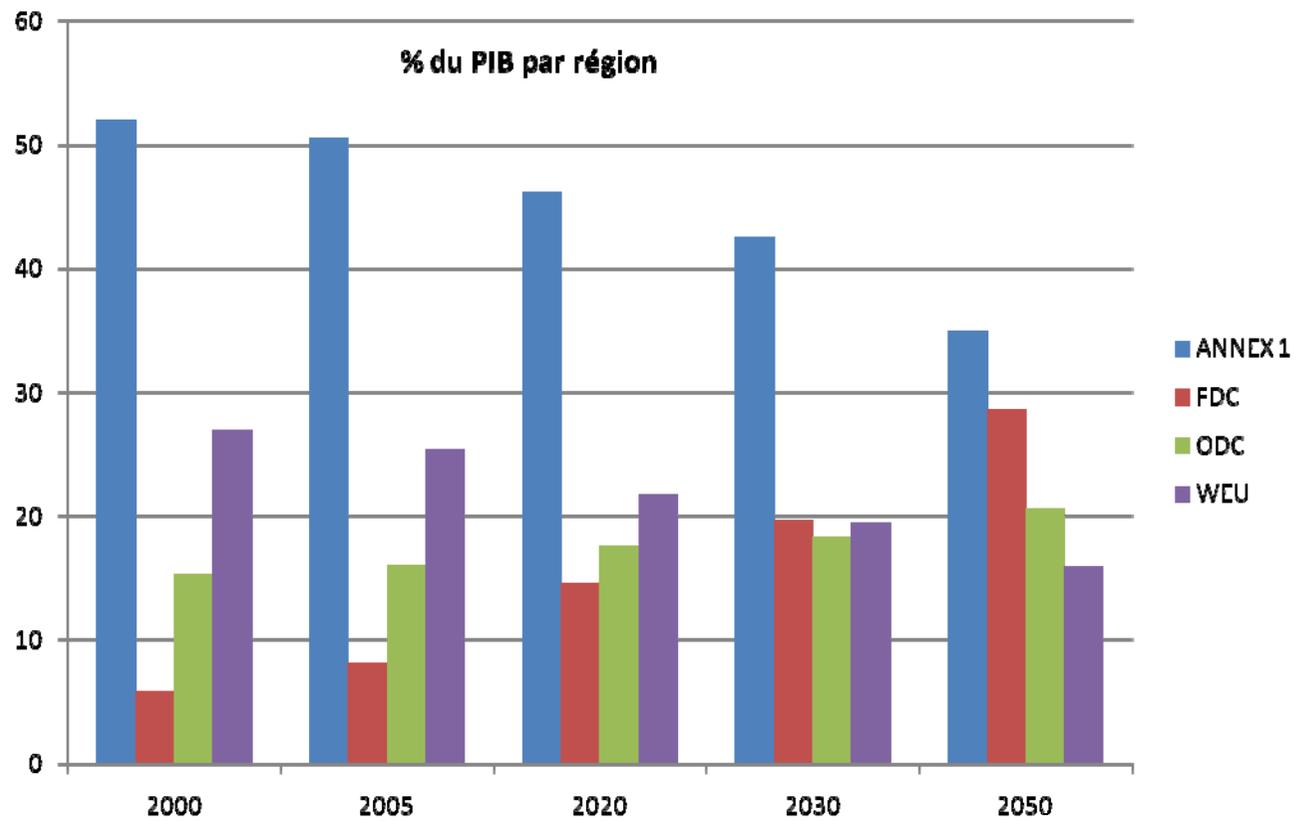


Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

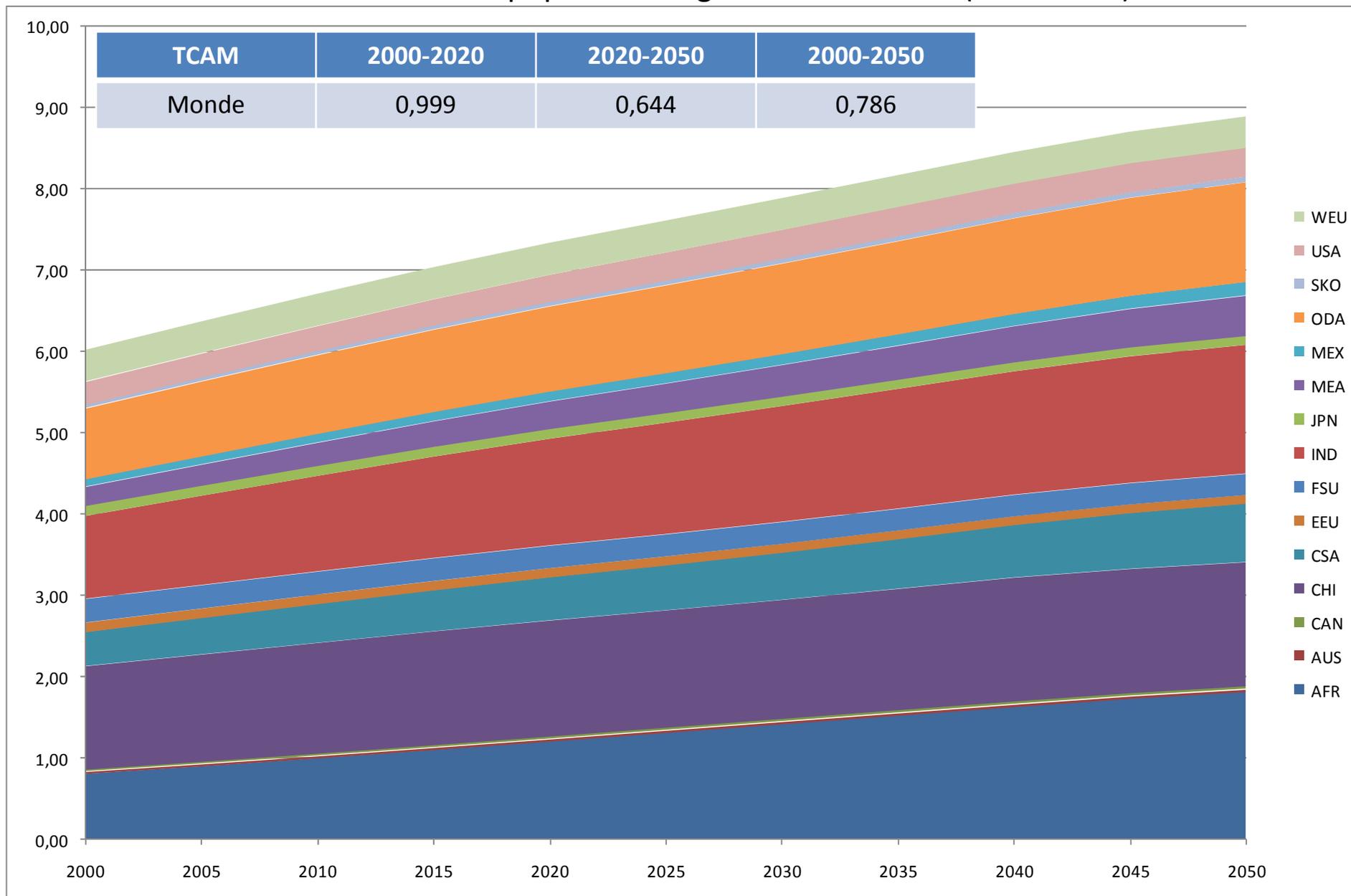
# Evolution du PIB régional dans TIAM (en trillion de US dollars 2000 aux prix courants)



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

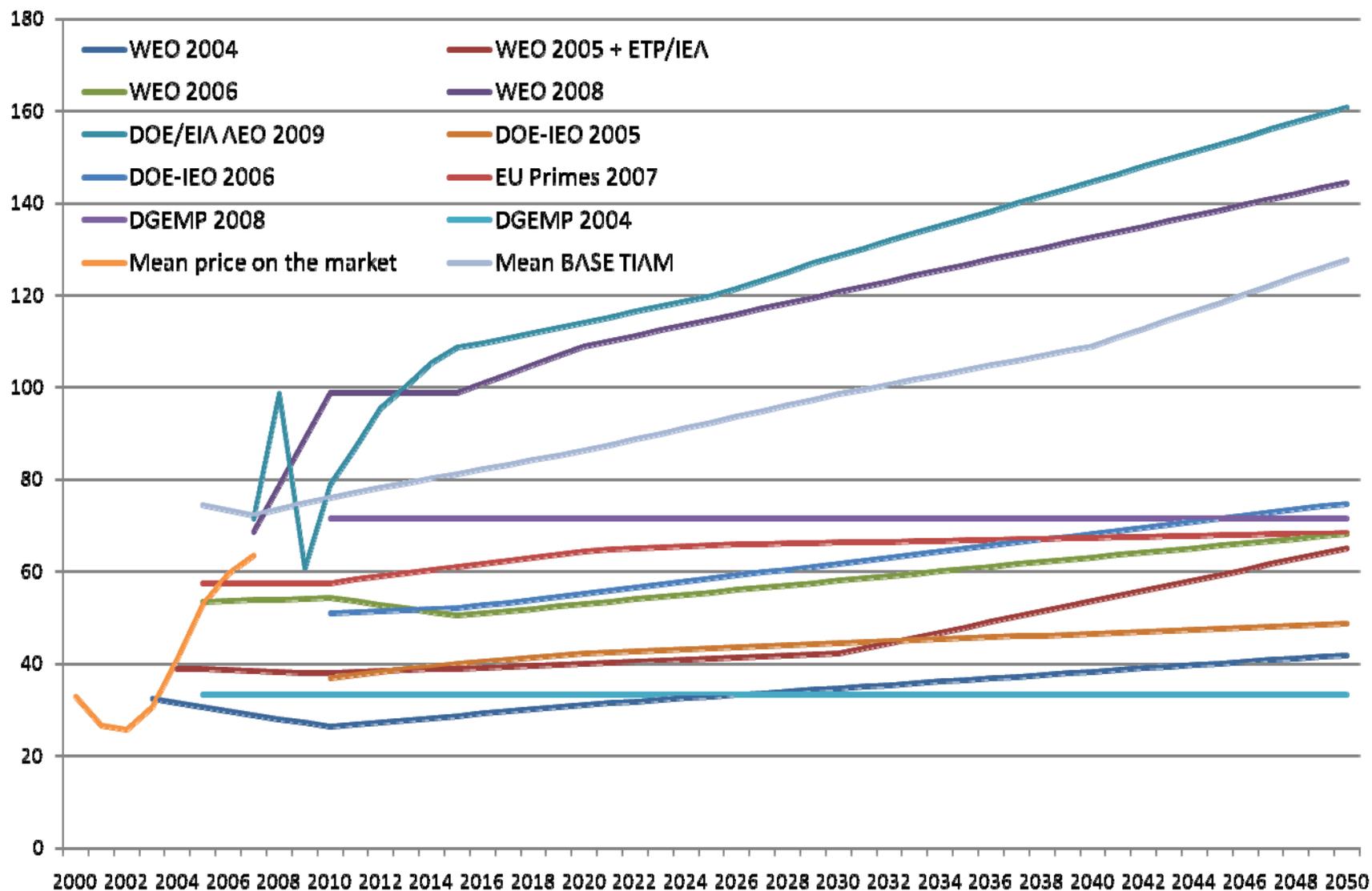


## Evolution de la population régionale dans TIAM (en milliard)



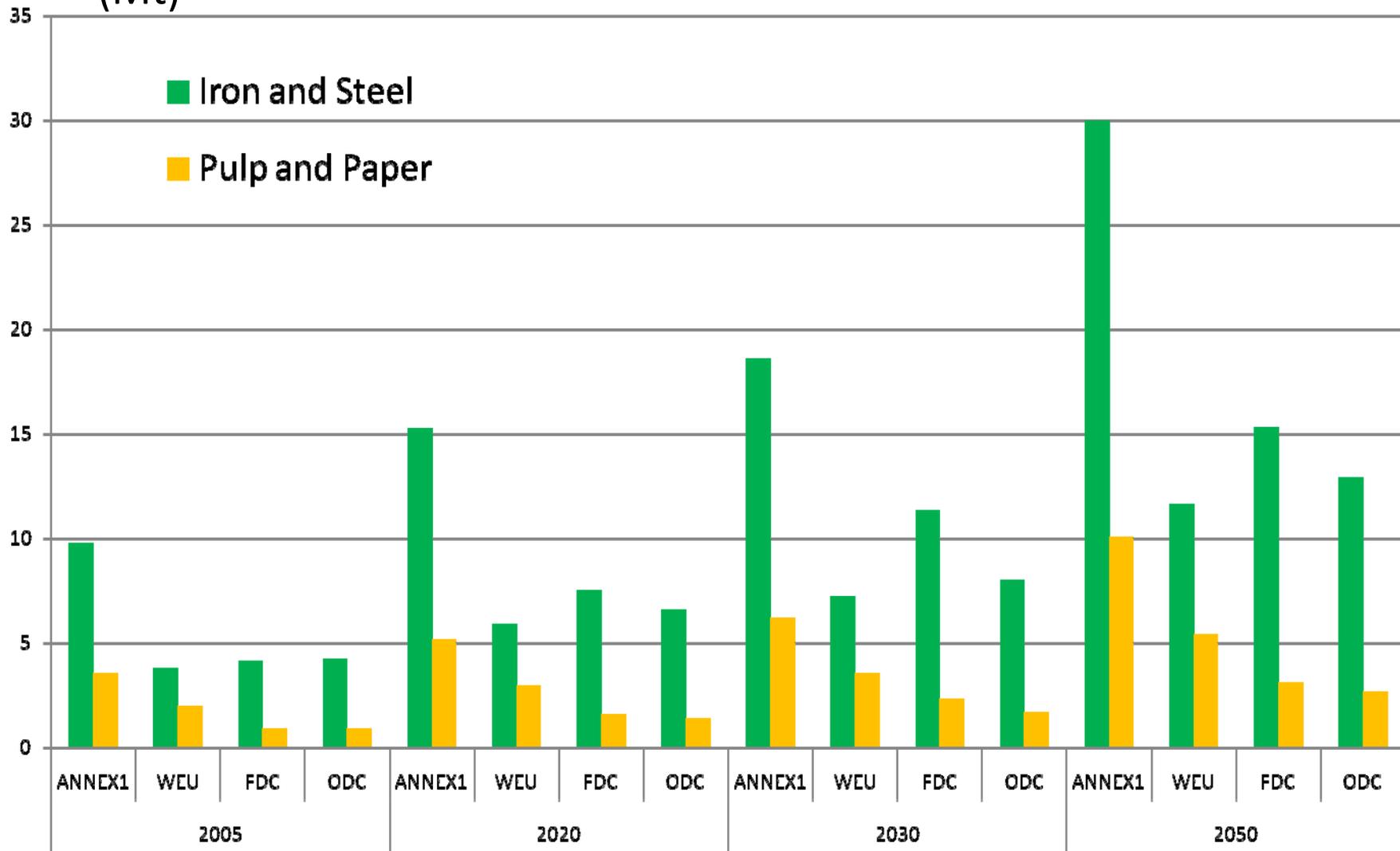
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# Prix du pétrole brut (\$2005/bbl)



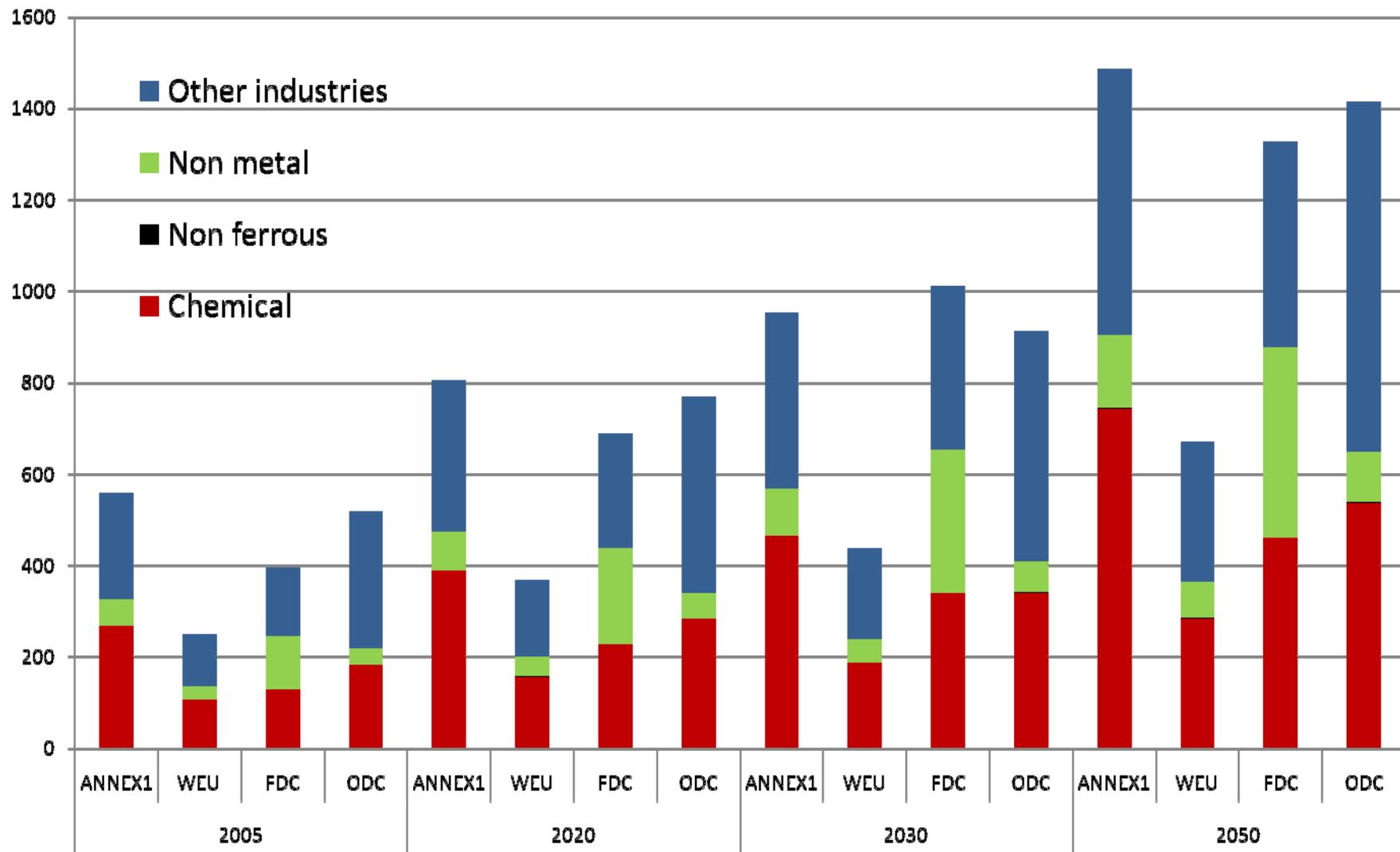
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# Demande régionale de services en énergie utile par secteur (Mt)



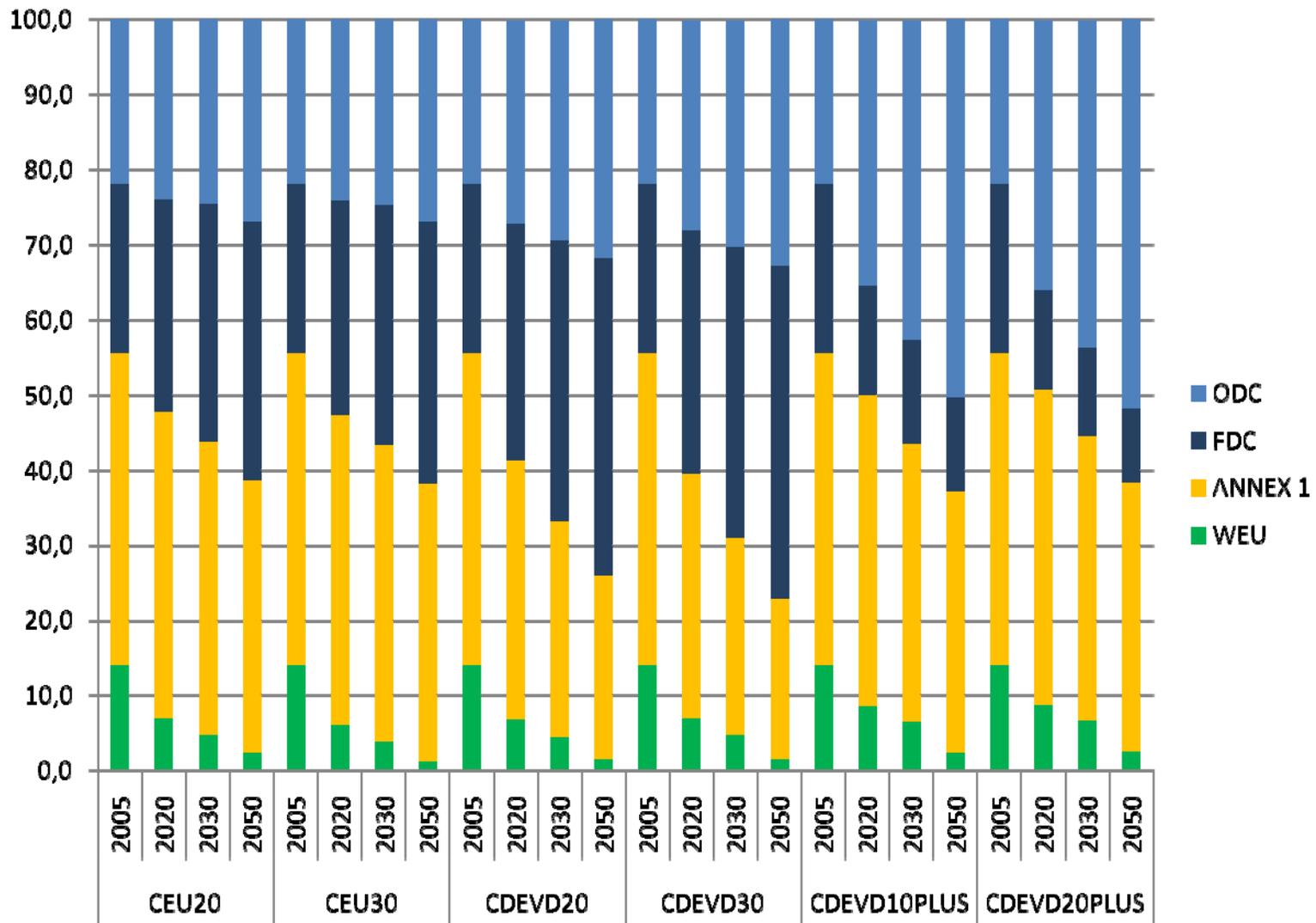
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Demande régionale de services en énergie utile par secteur (PJ)



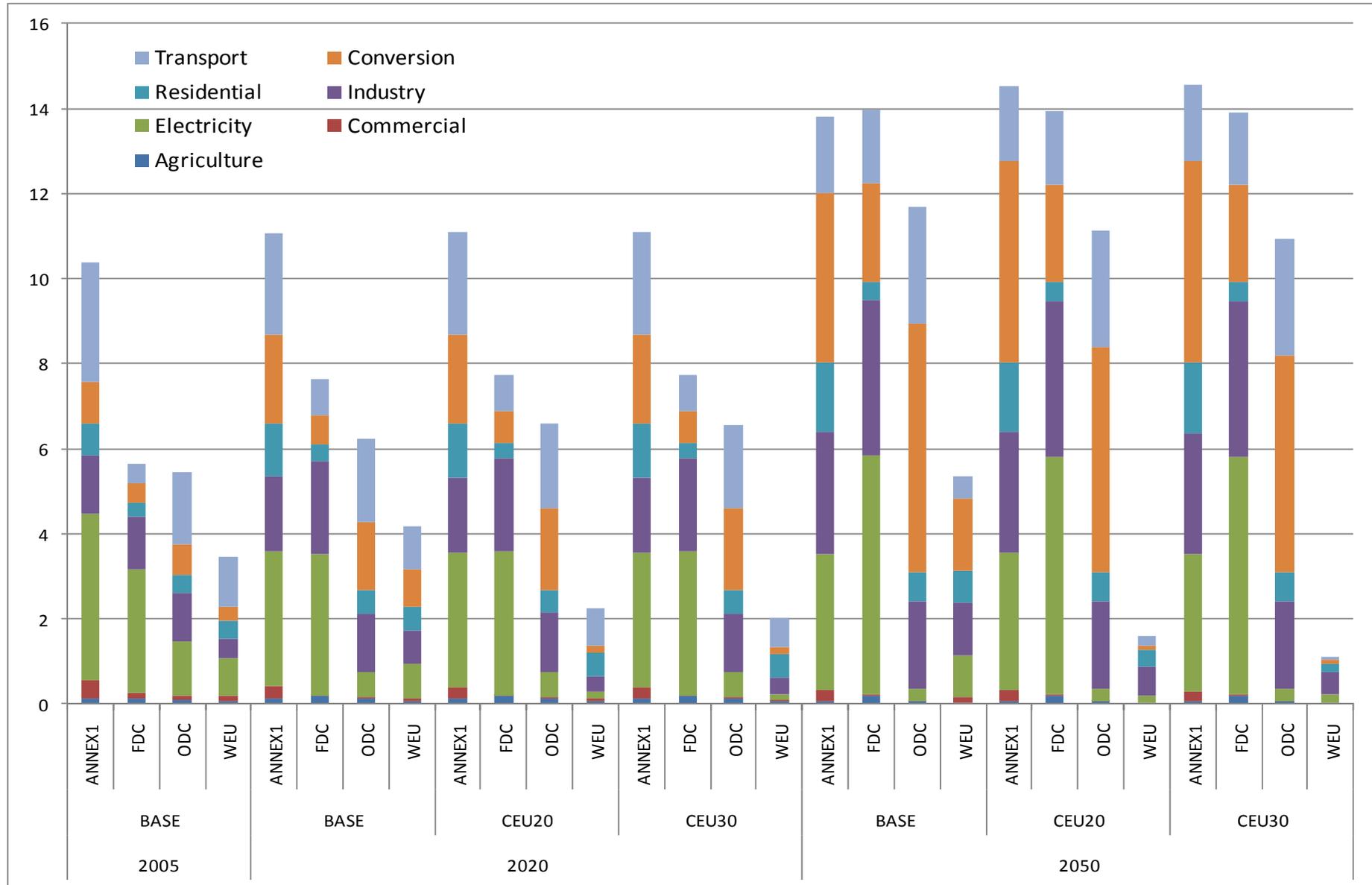
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## Distribution of CO<sub>2</sub> emissions by region (%)



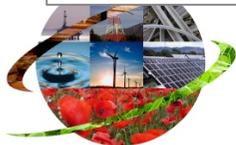
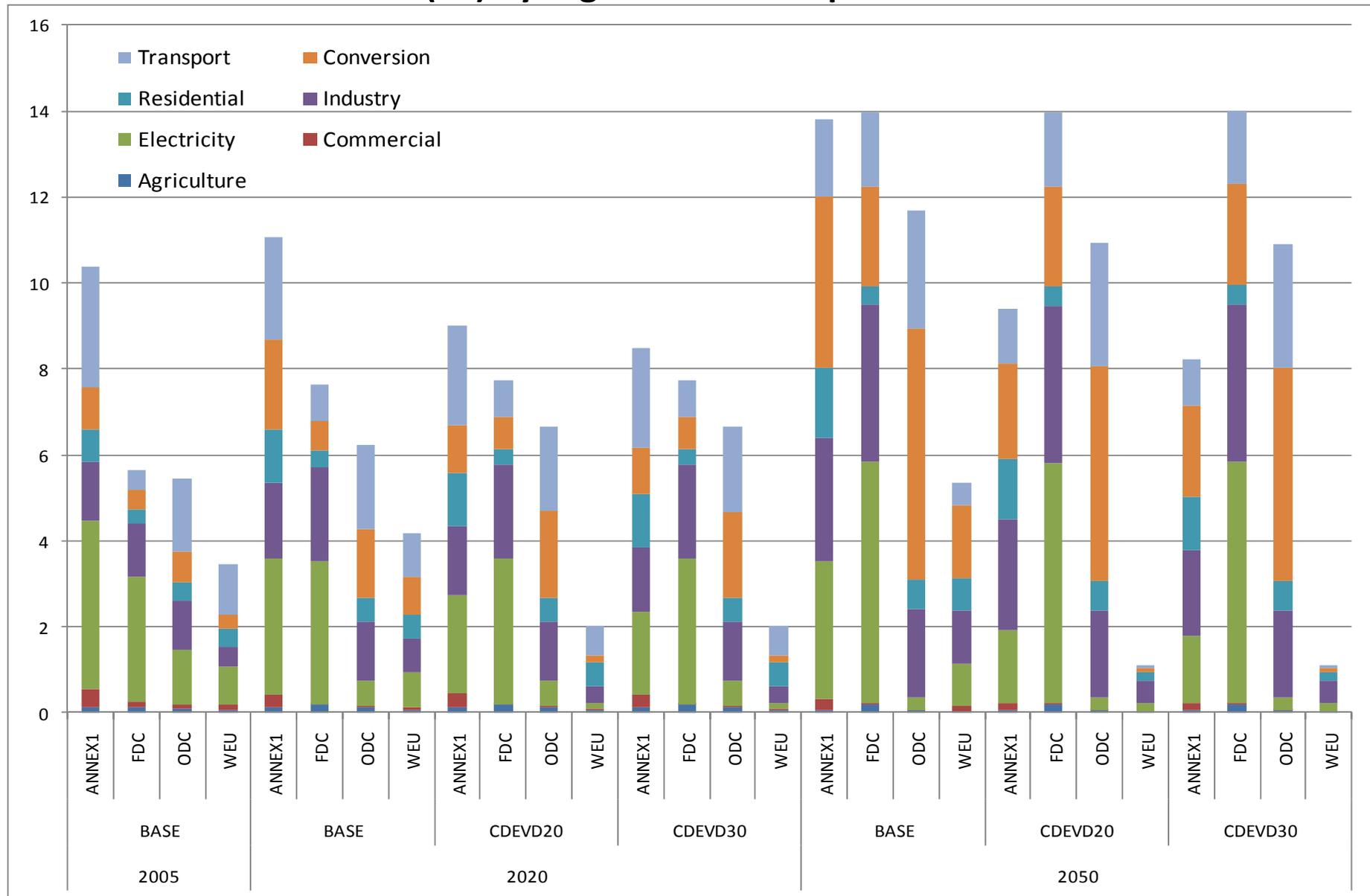
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# Carbon emissions (Gt) by region for EU scenarios



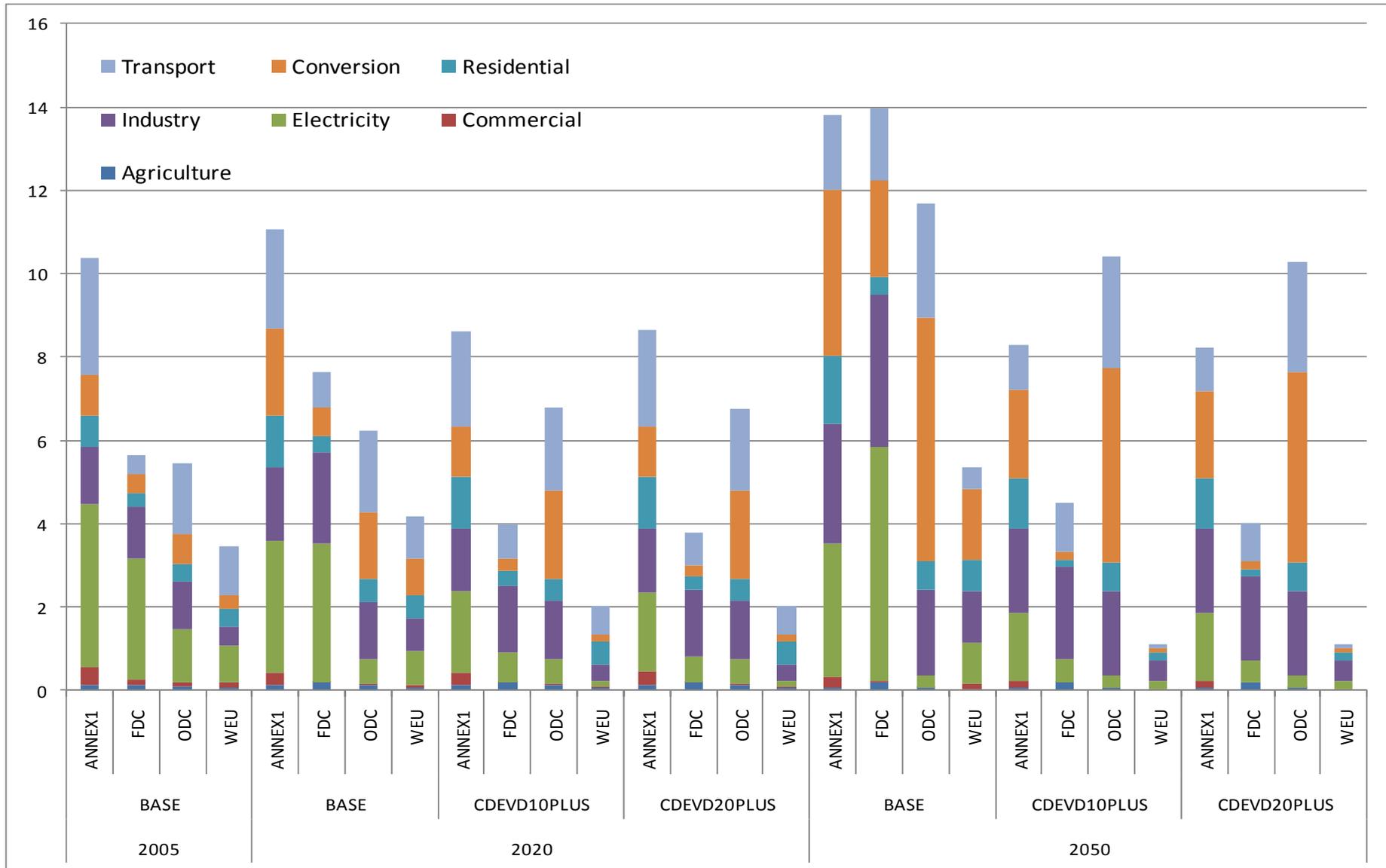
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# Carbon emissions (Gt) by region for developed countries scenarios



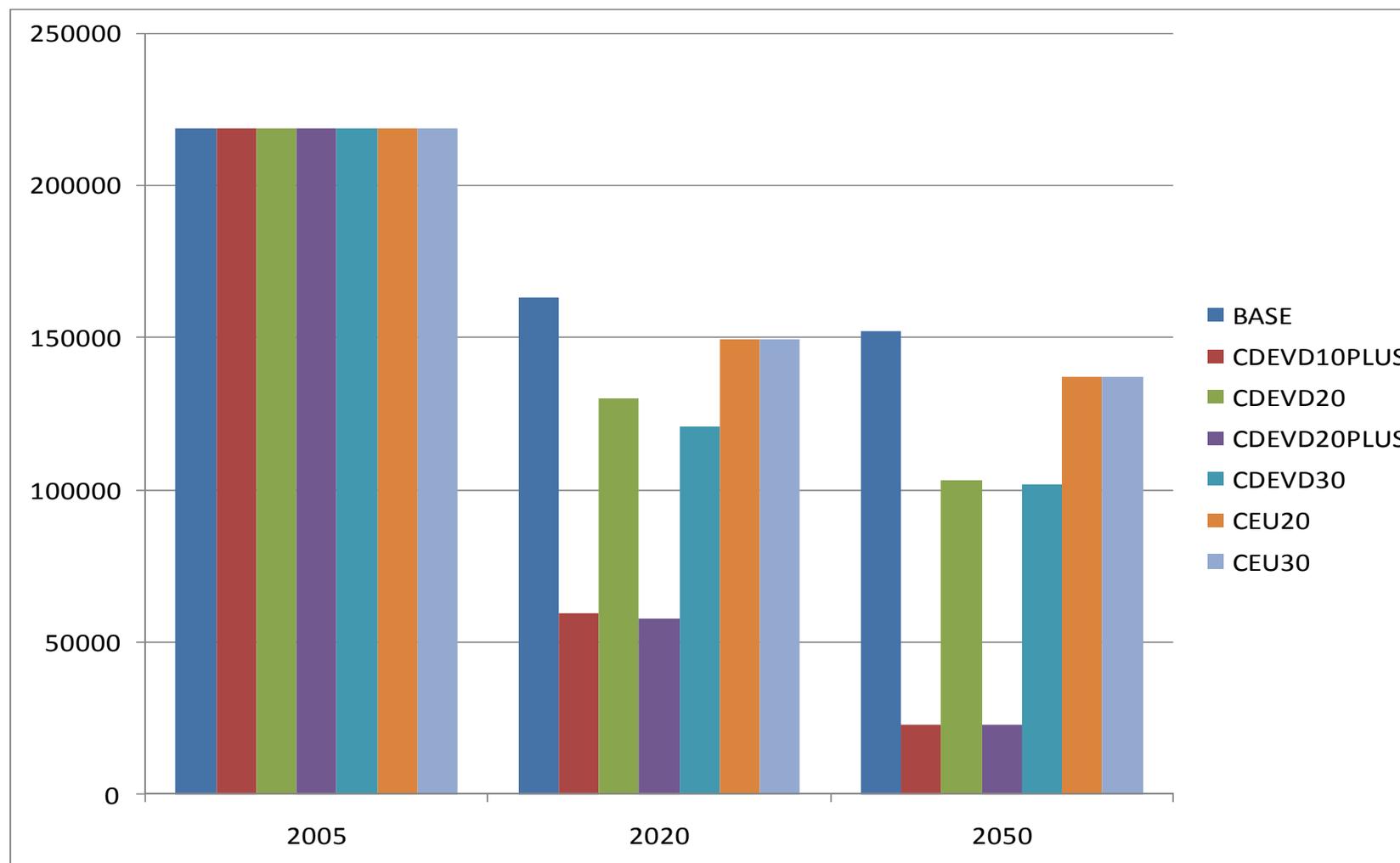
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# Carbon emissions (Gt) by region for developing countries scenarios



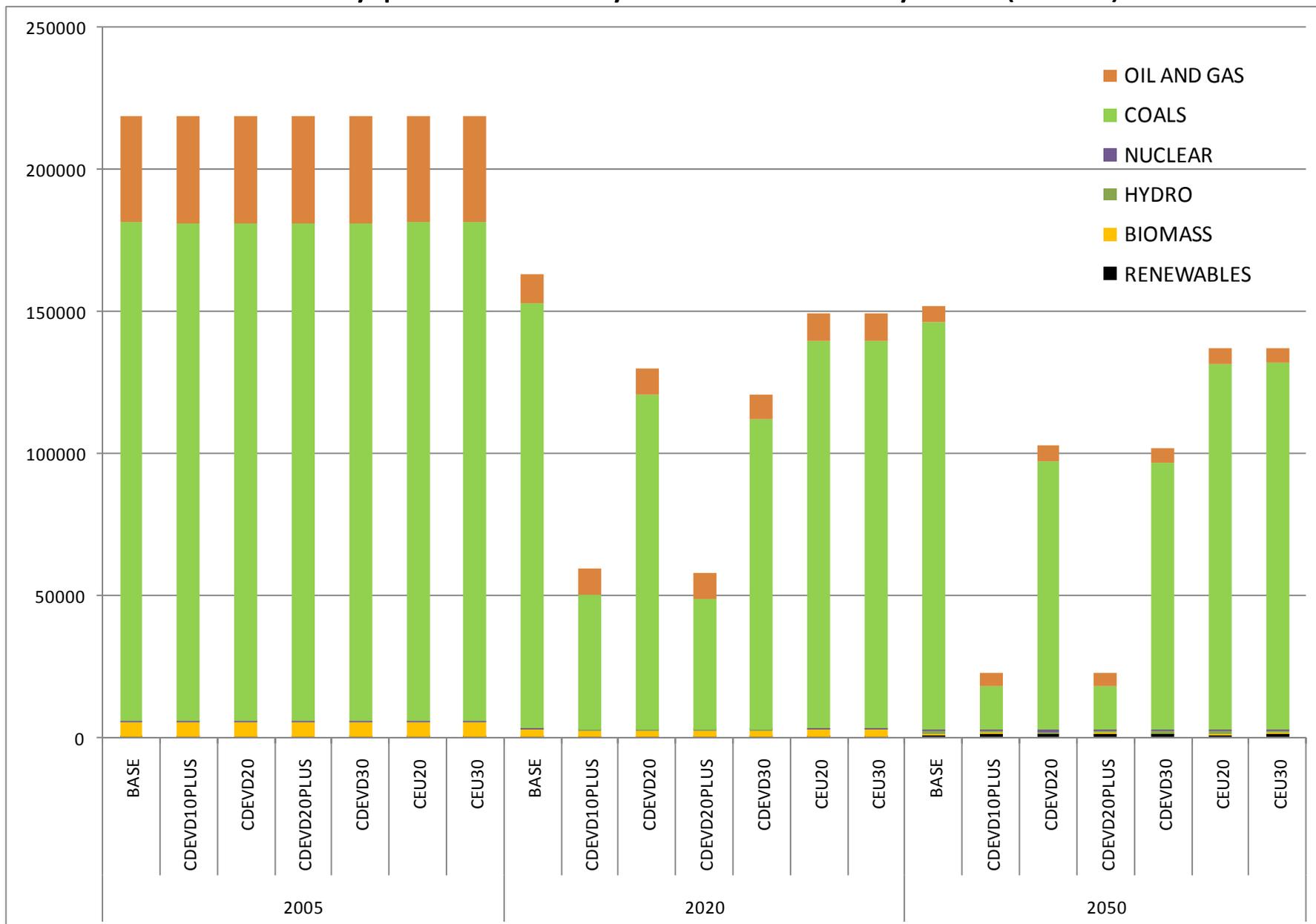
Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

## World electricity production by scenario (mtoe)



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable

# World electricity production by scenario and by fuel (mtoe)



Chaire Modélisation prospective  
au service du développement durable