

Paul Mathis

L'énergie, moteur du progrès

?

120
clés pour
comprendre
les énergies

éditions
Quæ

Energie et réchauffement climatique

Académie d'Orléans

27 mai 2015

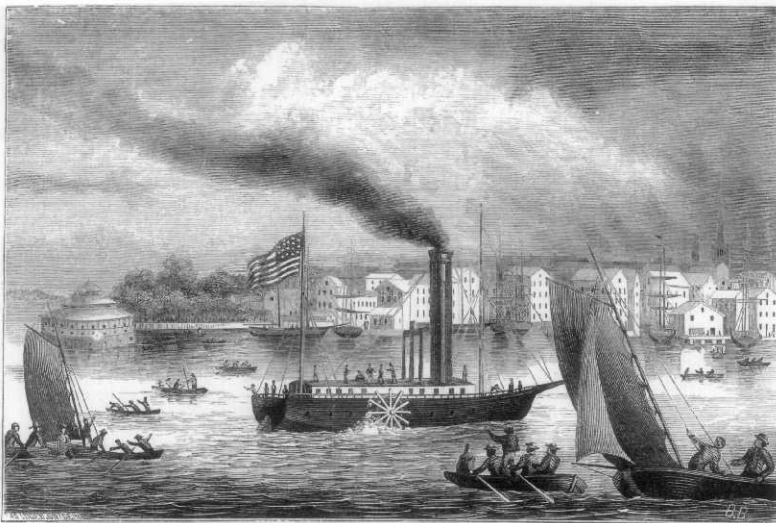
1. Dans le rétroviseur
2. Energie, CO₂, réchauffement climatique
3. Se projeter dans l'avenir :
 - le climat demain
 - la transition énergétique

Dans le rétroviseur

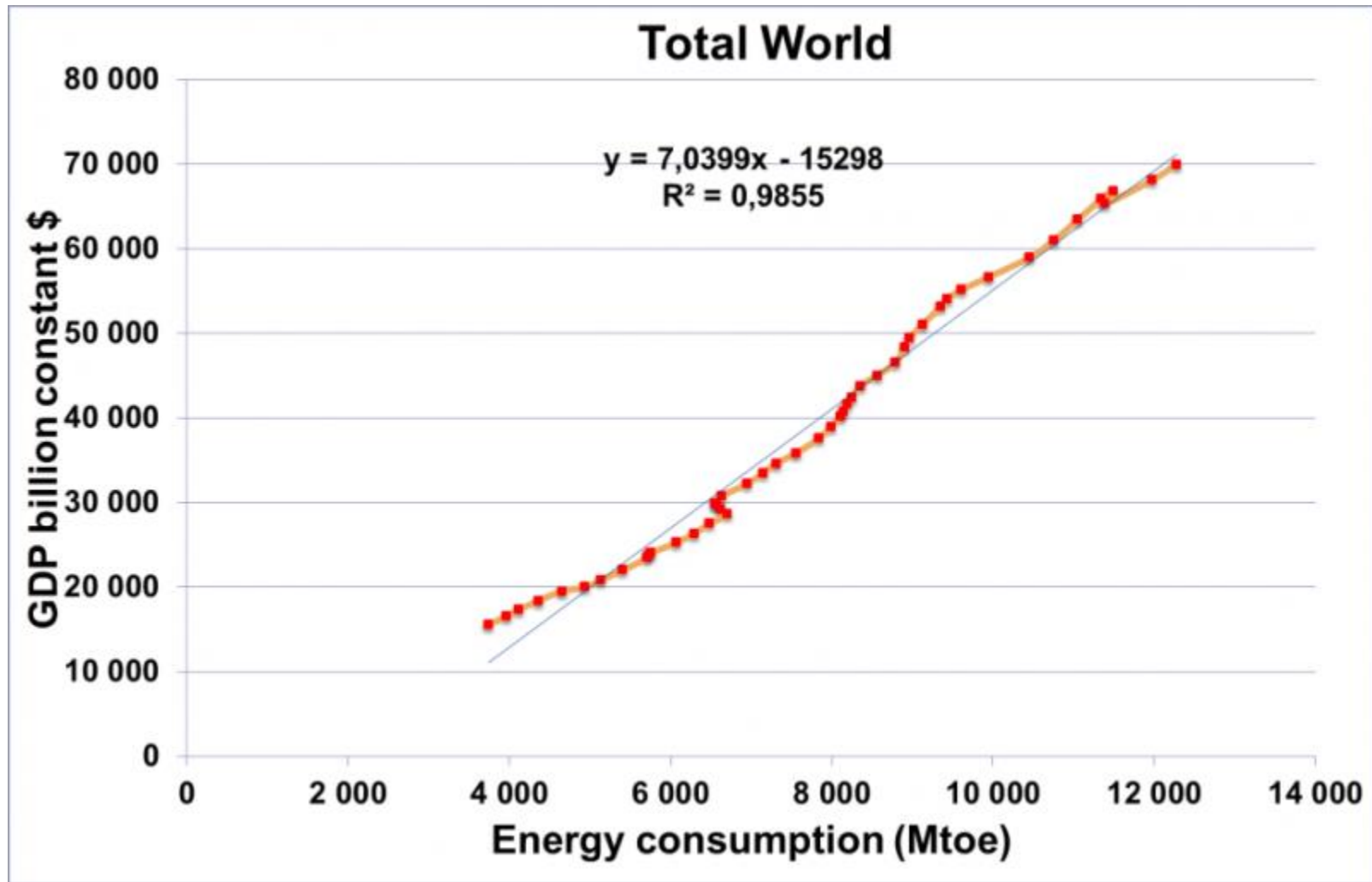
Histoire de l'énergie # Histoire des progrès socio-économiques

- 400 000 ans : maîtrise du feu. Découverte essentielle.
- Puis autres énergies (vent, eau, géothermie)
- Vers 1700 : la machine à vapeur et le charbon.
Moteur de changements socio-économiques :
industrie, transports, agriculture, santé, etc.
- Puis pétrole, gaz, électricité, etc.

L'énergie, moteur du progrès ?



PNB mondial

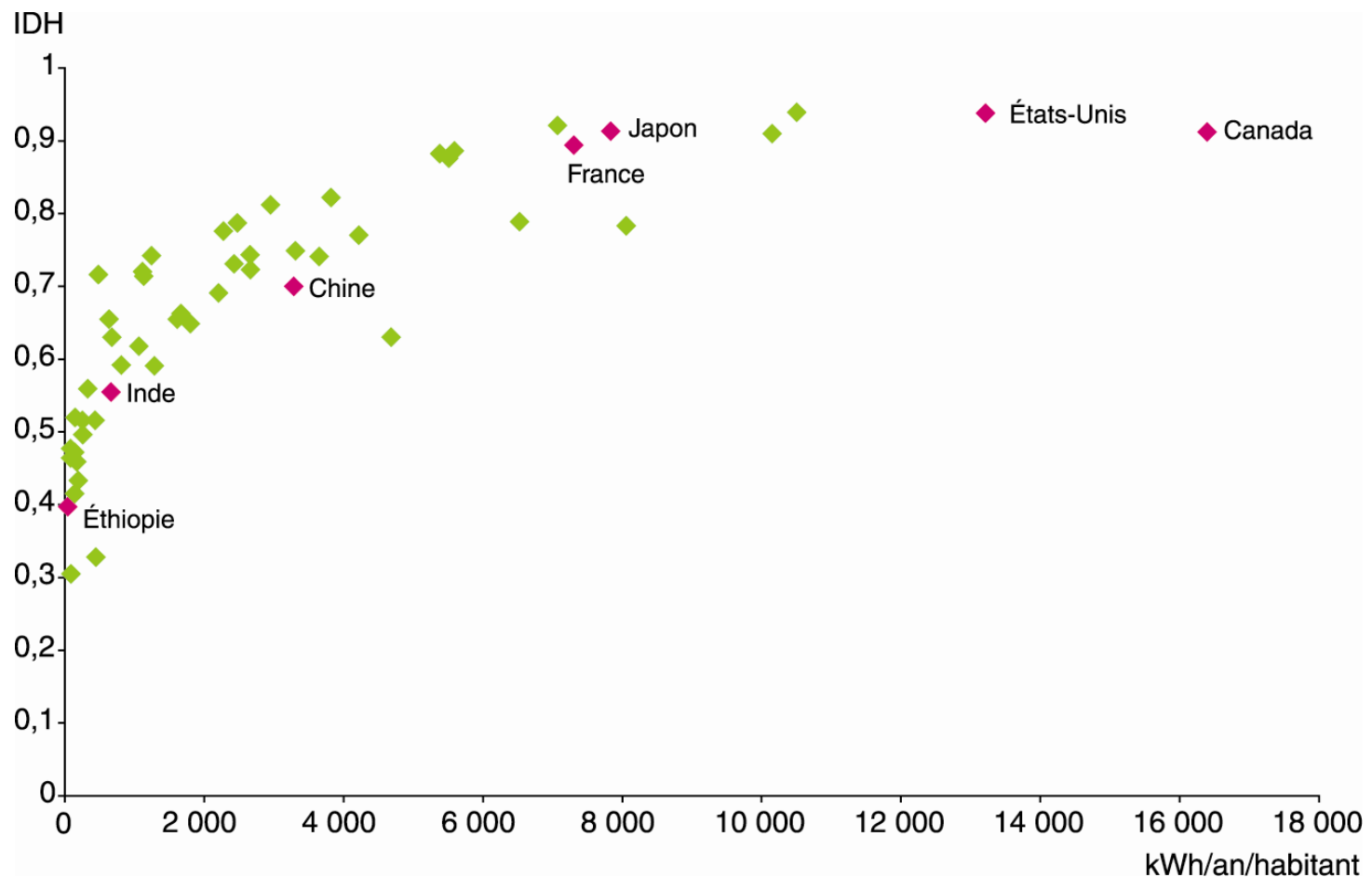


1965-2011

<http://theshiftproject.org/fr/cette-page/lien-pibconsommation-denergie>

L'énergie, moteur du progrès ?

Comment définir le progrès ? Par IDH (indice de développement humain) ?



Critères pour l'IDH (PNUD) :

Espérance de vie à la naissance // niveau d'éducation // niveau de vie

Dans le rétroviseur

Energie, CO2, réchauffement climatique

Energie, progrès : cela pourra-t-il continuer ?

L'énergie, moteur du progrès ?

Les sources d'énergie (Monde) :

Combustibles fossiles **82%**

pétrole : 31% (transports)

charbon : 29% (électricité)

gaz naturel: 22% (chaleur, électricité)

Énergies renouvelables **13%**

[dont 10% de bois] : tous services énergétiques

Énergie nucléaire **5%** (électricité)

Total : 13 Gtep (13 milliards de tonnes-équivalent
pétrole par an)

[2011 - énergies primaires]

Les gaz à effet de serre (GES)

Combustion des **combustibles** fossiles (charbon, pétrole, gaz)

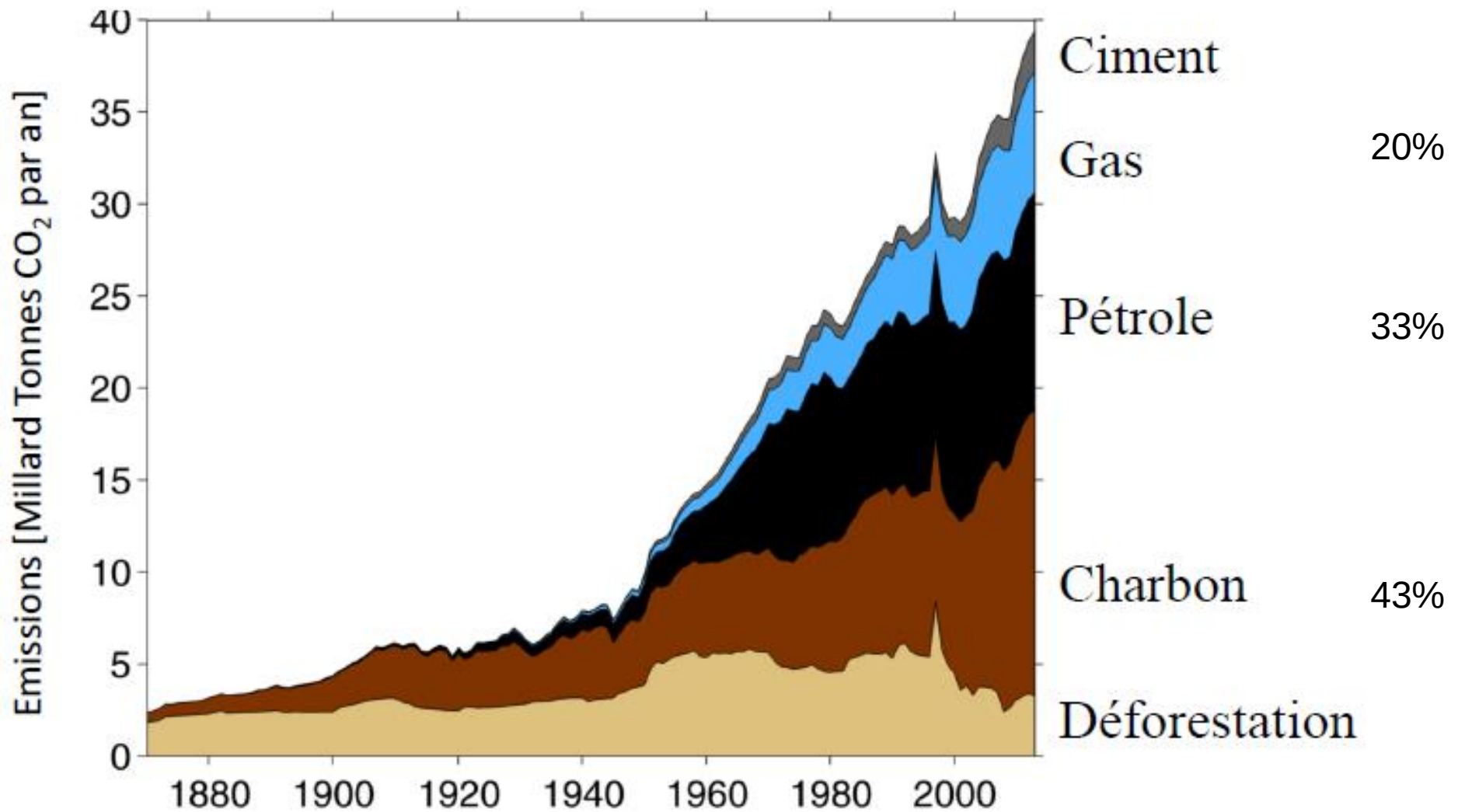
Schéma de principe : $C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{chaleur (utilisée)}$

CO₂ : inéluctable !

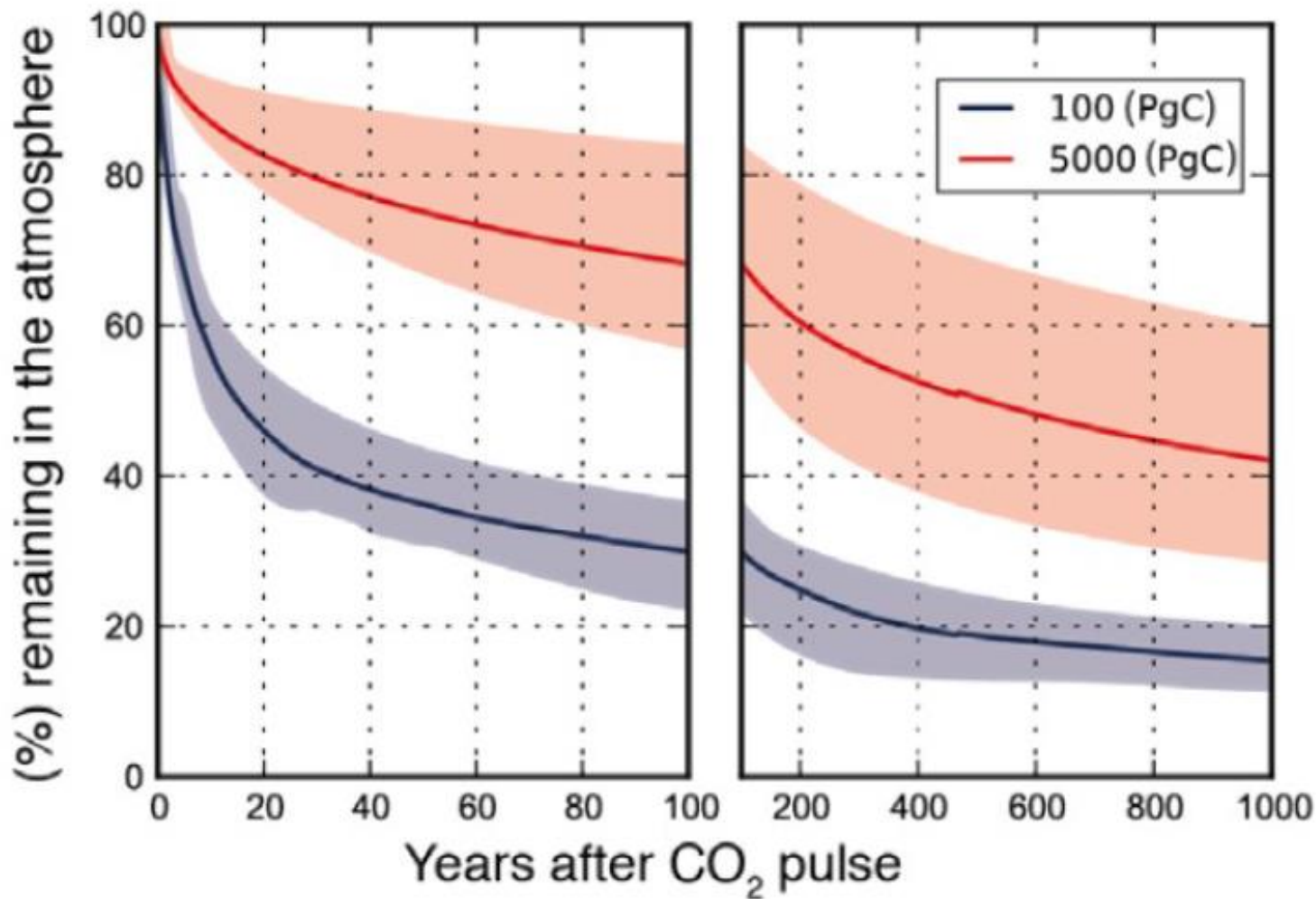
CO₂ s'accumule dans l'atmosphère → effet de serre → réchauffement
→ → nombreux effets négatifs

L'énergie, moteur du progrès ?

Origine des émissions mondiales de CO₂



Pic en 1997 : origine ?

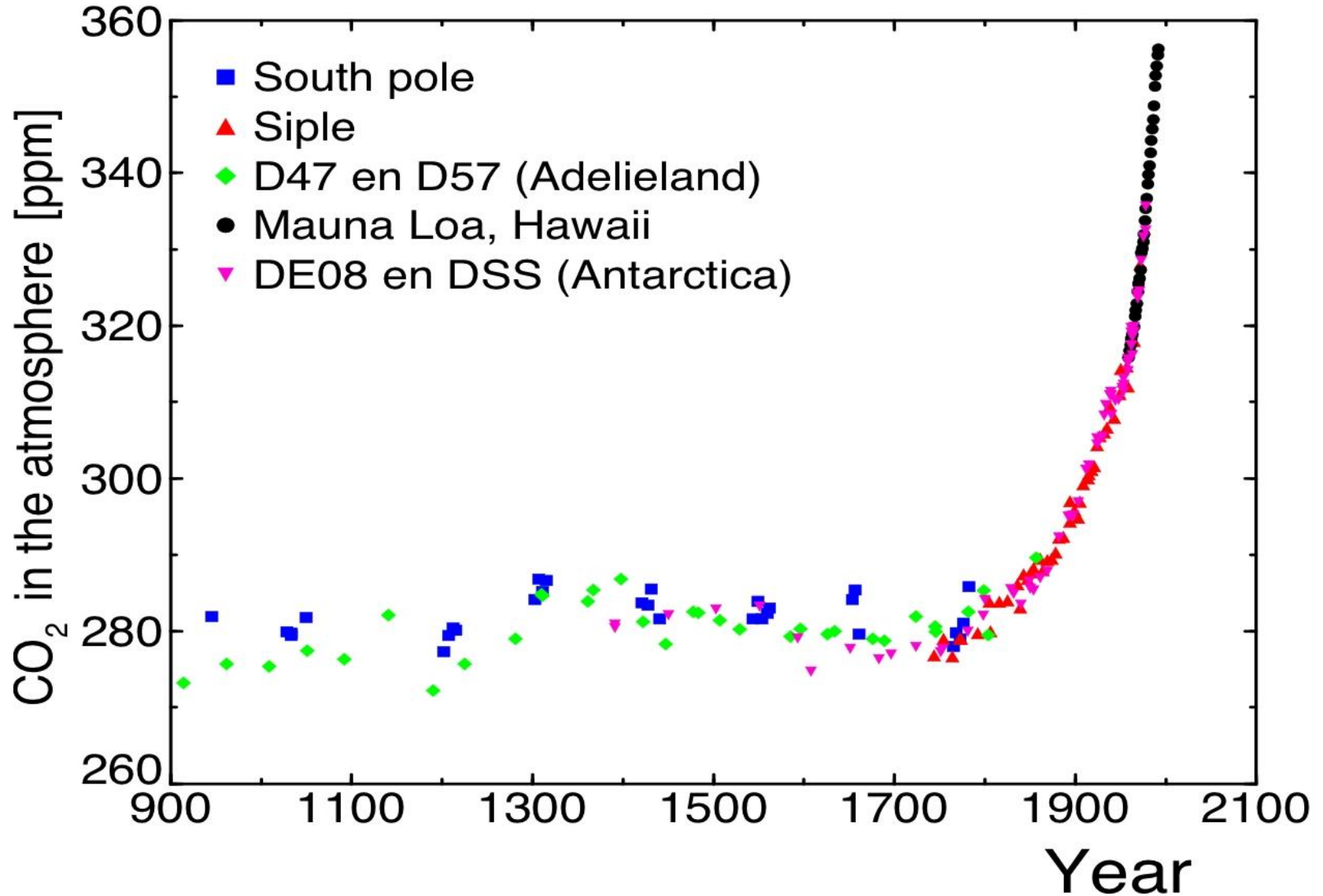


Prise par biosphère
et océans

Prise par les océans

100 PgC : émission de 10 ans

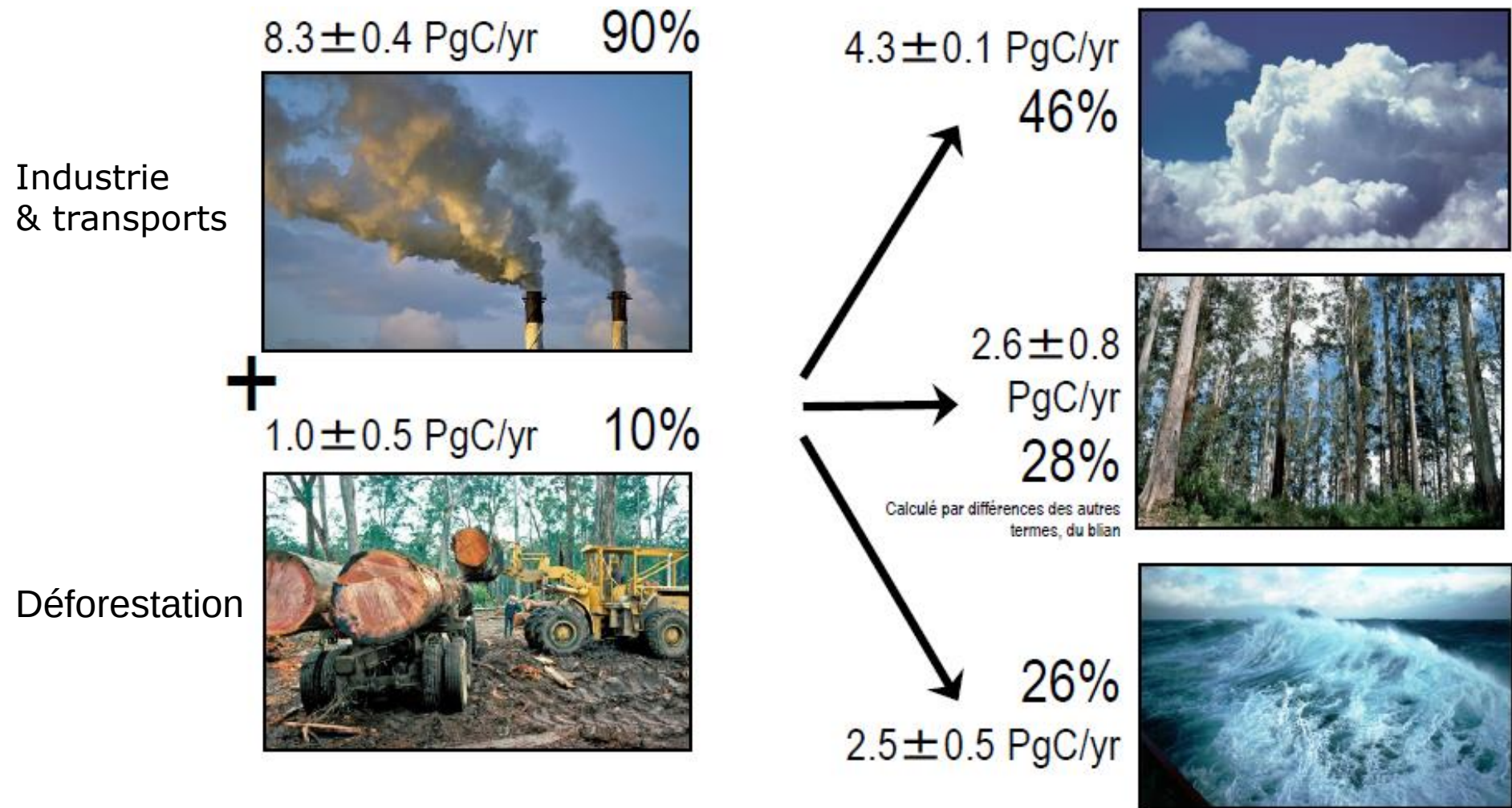
L'énergie, moteur du progrès ?

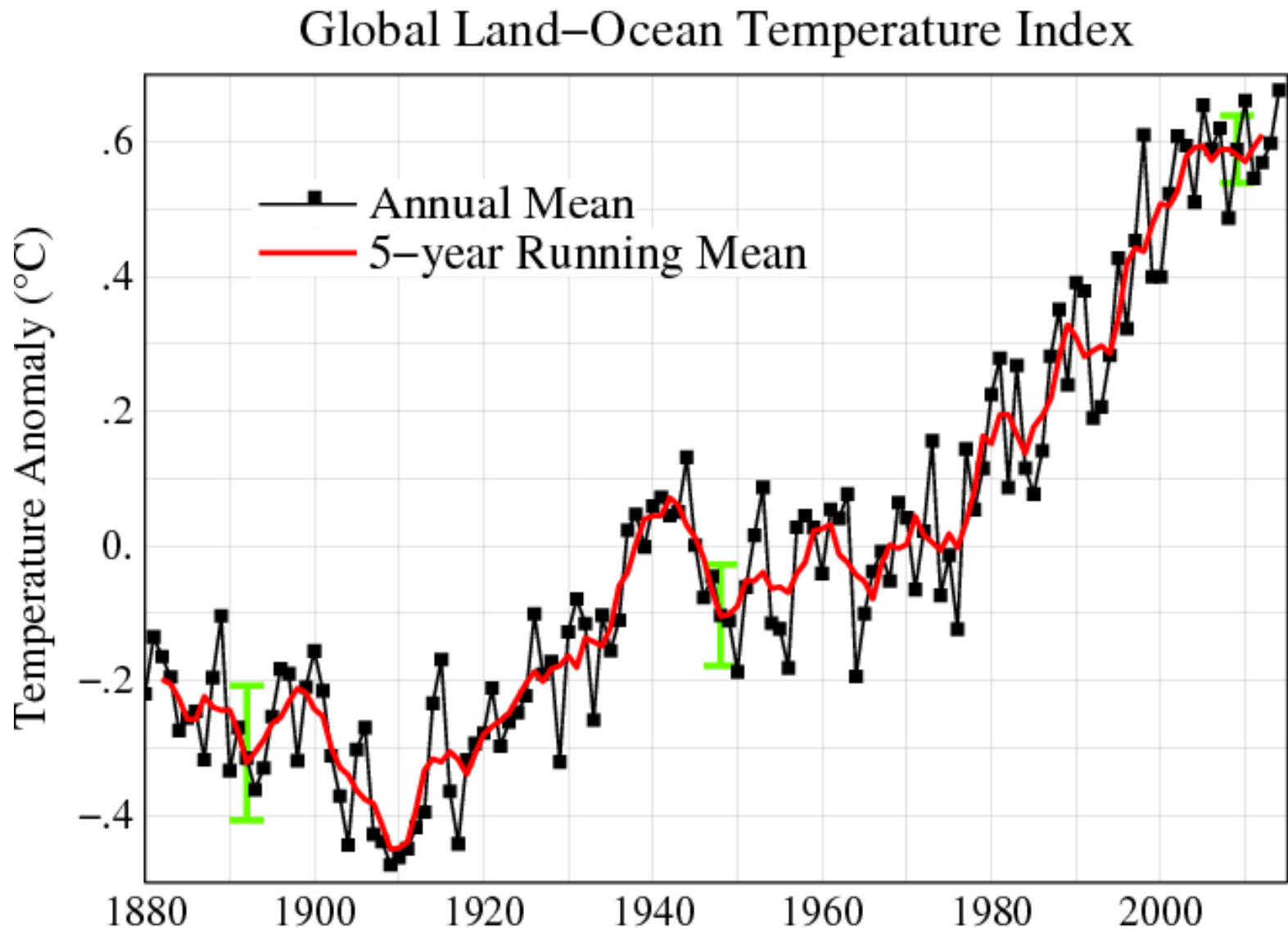


Mélange en un an

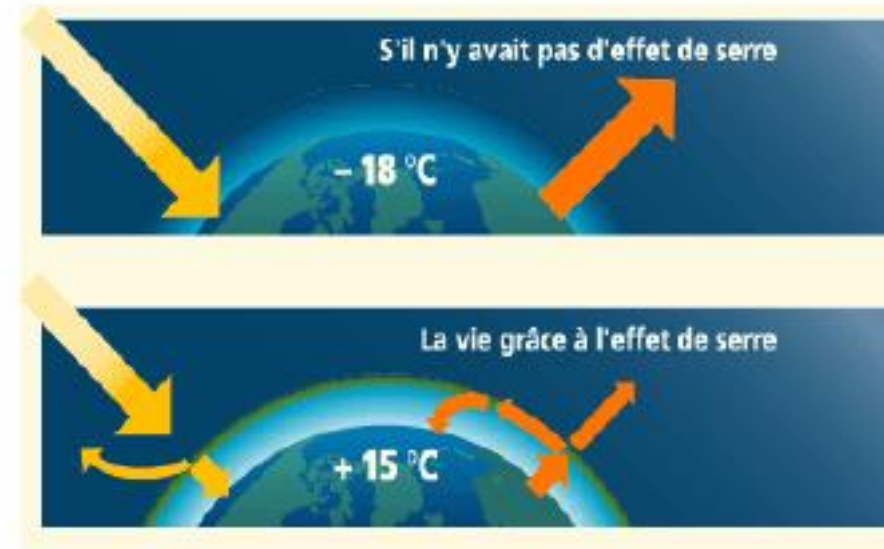
CO₂ : fraction molaire dans l'air sec

L'énergie, moteur du progrès ?





L'effet de serre



(voir référence Valérie Masson-Delmotte)

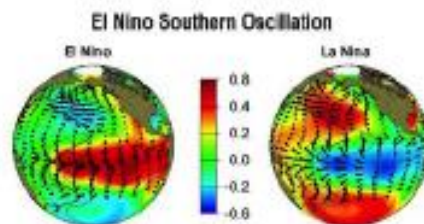
L'énergie, moteur du progrès ?

Pourquoi le climat varie

Orbite de la Terre



Variabilité interne



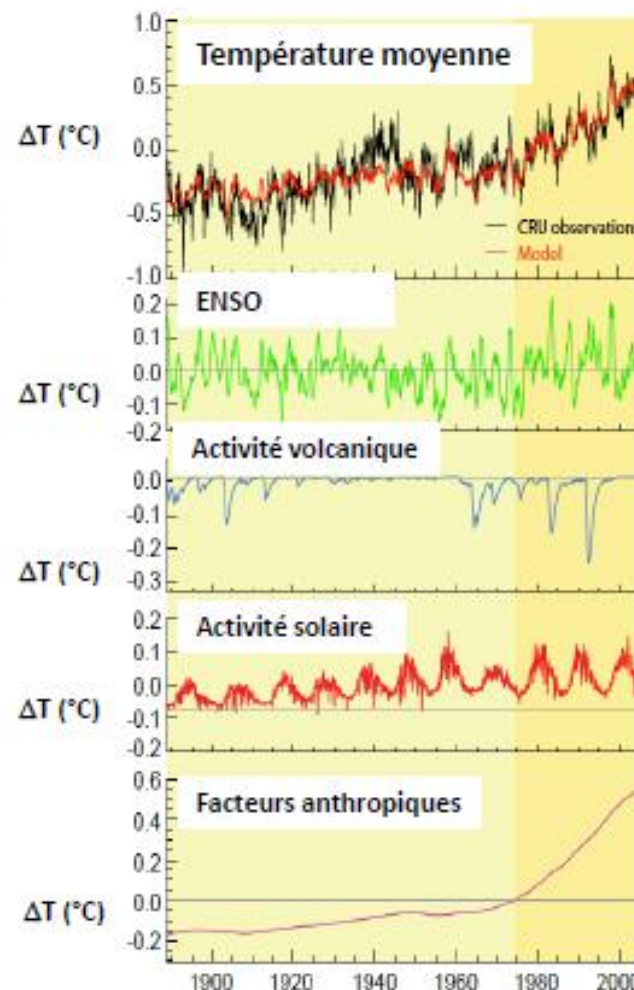
Activité volcanique



Activité solaire



Facteurs anthropiques



Modélisation (observations + physique de l'atmosphère et des océans)

Observations

Réchauffement moyen + autres effets déjà visibles :

- Montée des océans
- Fonte des glaciers, calottes glaciaires et glaces de mer
- Acidification des océans
- Canicules (santé, végétation, besoin de climatisation)
- Sécheresses (production végétale, manque d'eau, incendies)
- Inondations
- Ouragans, typhons
- Perte de biodiversité
- Perte de production (mais aussi des gains)
- Lutttes pour les terres, migrations forcées
- etc.

Actuellement +1°C

+2° ou +5° en 2100 ?

Dans le rétroviseur

Energie, CO₂, réchauffement climatique

Se projeter dans l'avenir : le climat demain

Observations → Interprétation (modèles) → Prévision (scénarios)

Incertitudes :

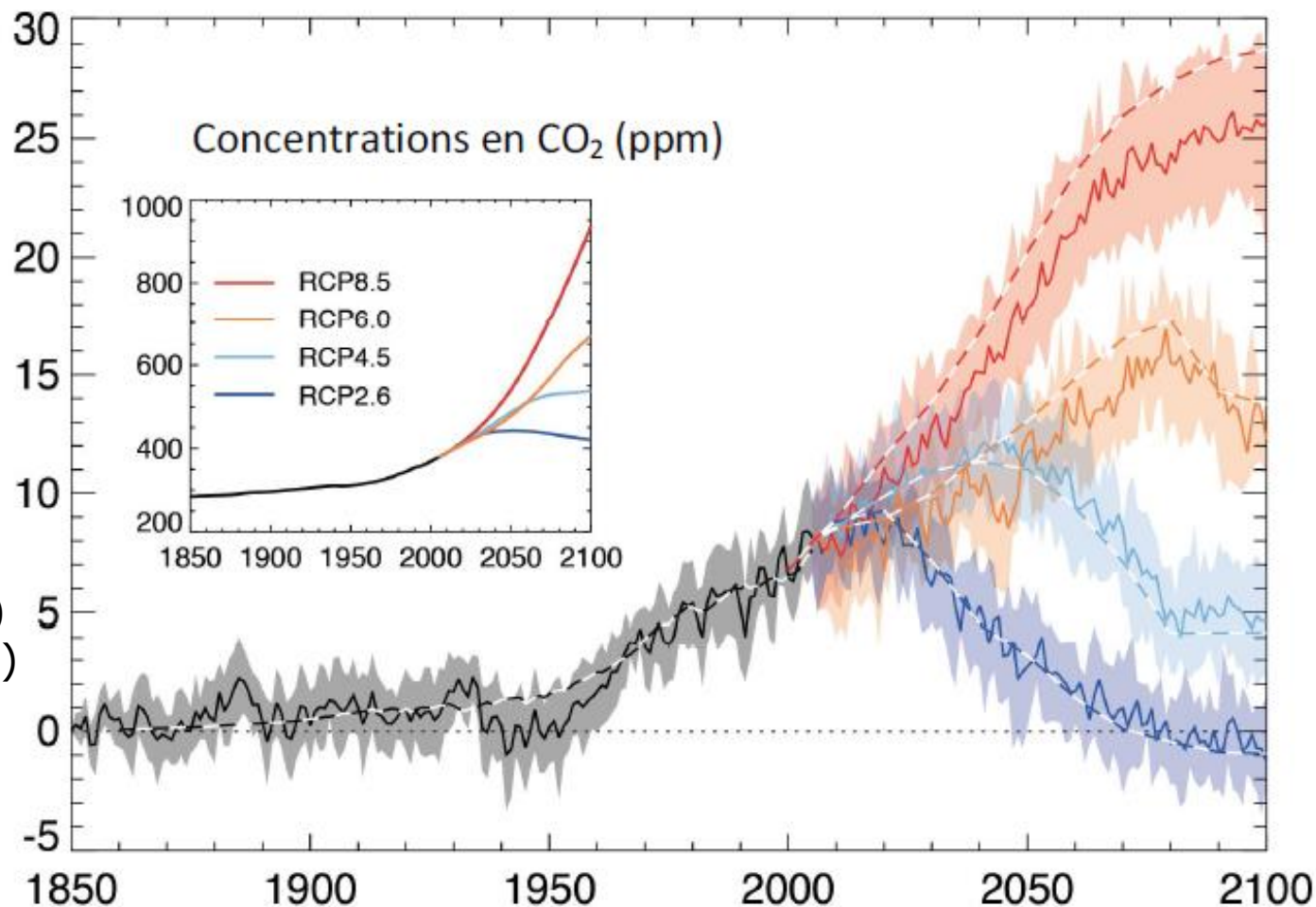
-- dues aux modèles physiques

- Les courants océaniques (chaleur stockée dans les océans : 90%)
- Comportement des glaciers (albédo)
- Importance des rétroactions (ex: pergélisol, vapeur d'eau)
- Modélisation des nuages (effet de serre ou réflexion)

-- dues aux facteurs anthropiques (énergie/CO₂, autres GES)

Emission de carbone, Gt/an

GIEC 2014 Résumé pour décideurs

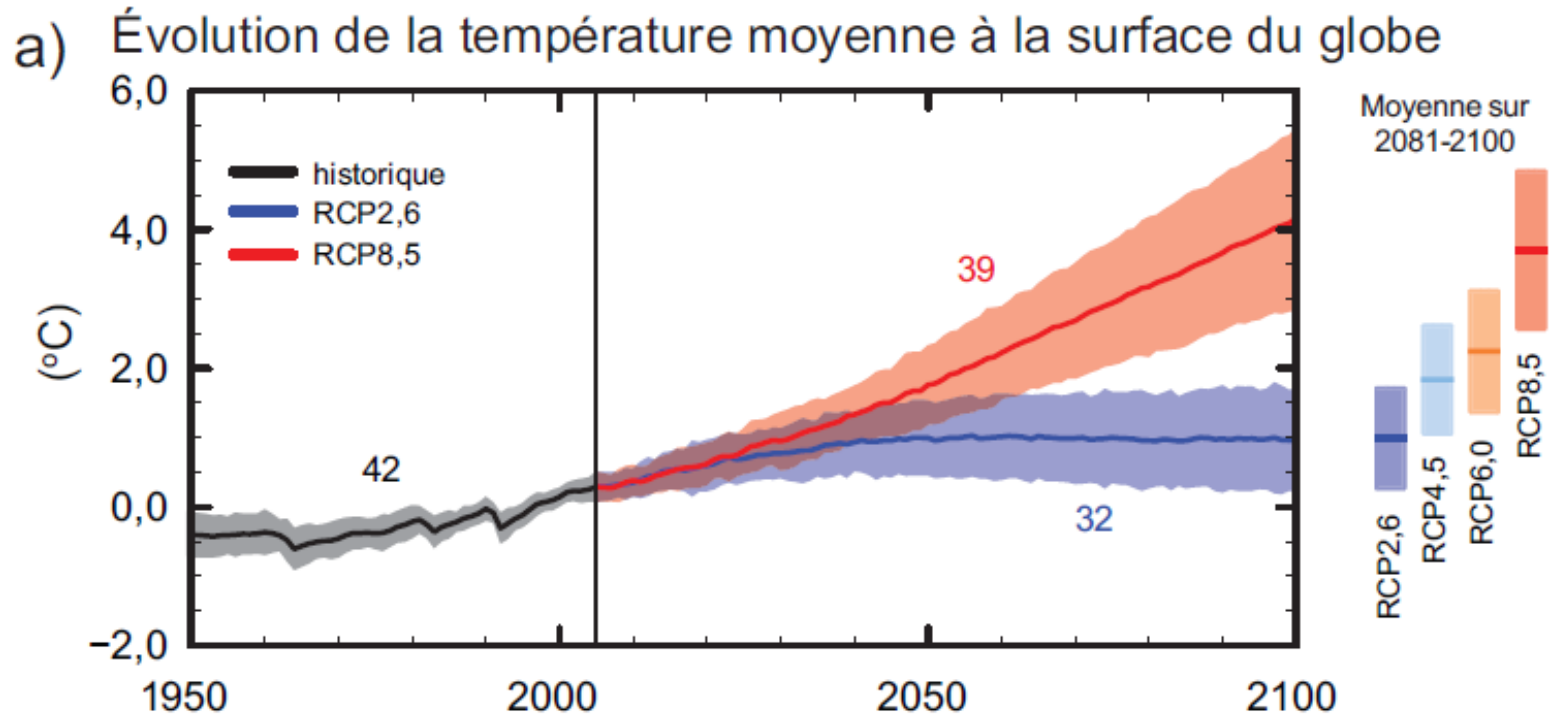


Forçage :
P(entrée)-P(sortie)
en W/m² (en 2100)

RCP :
representative
concentration
profile

Fig. 1 : Trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre (GES) envisagées dans le dernier rapport du GIEC (AR5). Les indications RCP2.6,...,RCP8.6 correspondent à divers forçages radiatifs atteints en 2100 : 2.6 W/m²,...,8.6 W/m². Un forçage radiatif représente la différence, au niveau du sommet de la troposphère, du rayonnement reçu du soleil et émis par le système Terre, différence générée par l'augmentation de la concentration en GES. Un forçage radiatif positif tend à réchauffer l'atmosphère. L'encadré à gauche donne la correspondance en terme de concentration en CO₂ de l'atmosphère (d'après le Résumé Technique du Groupe de Travail I (WGI)).

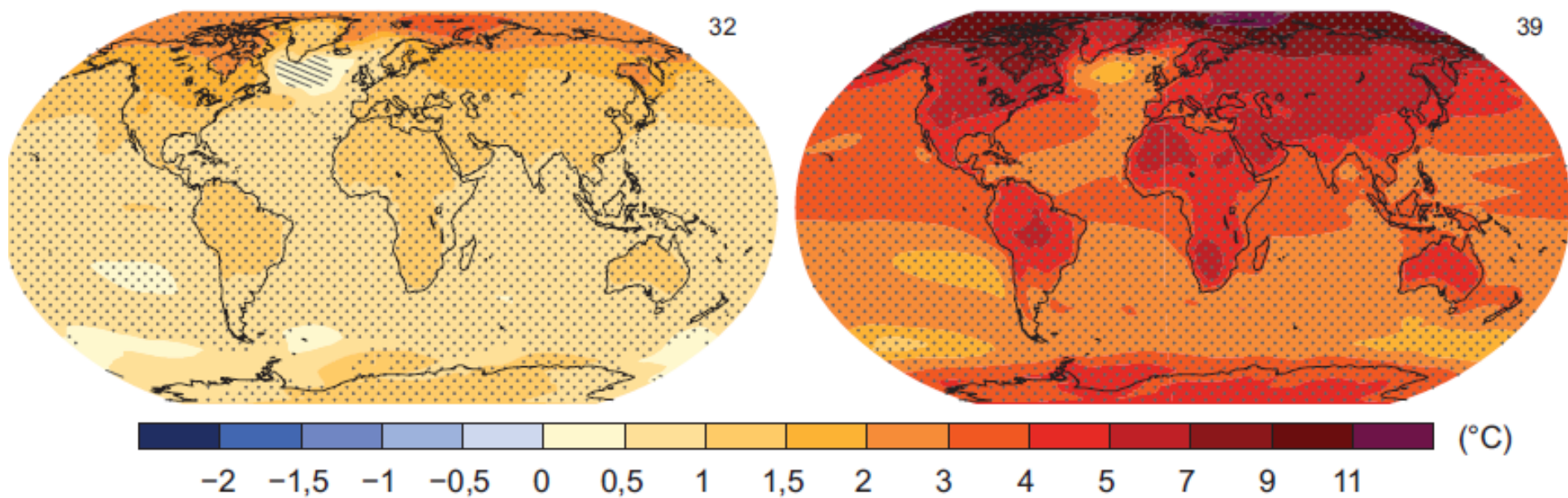
(par rapport à la moyenne 1986-2005)



RCP 2,6

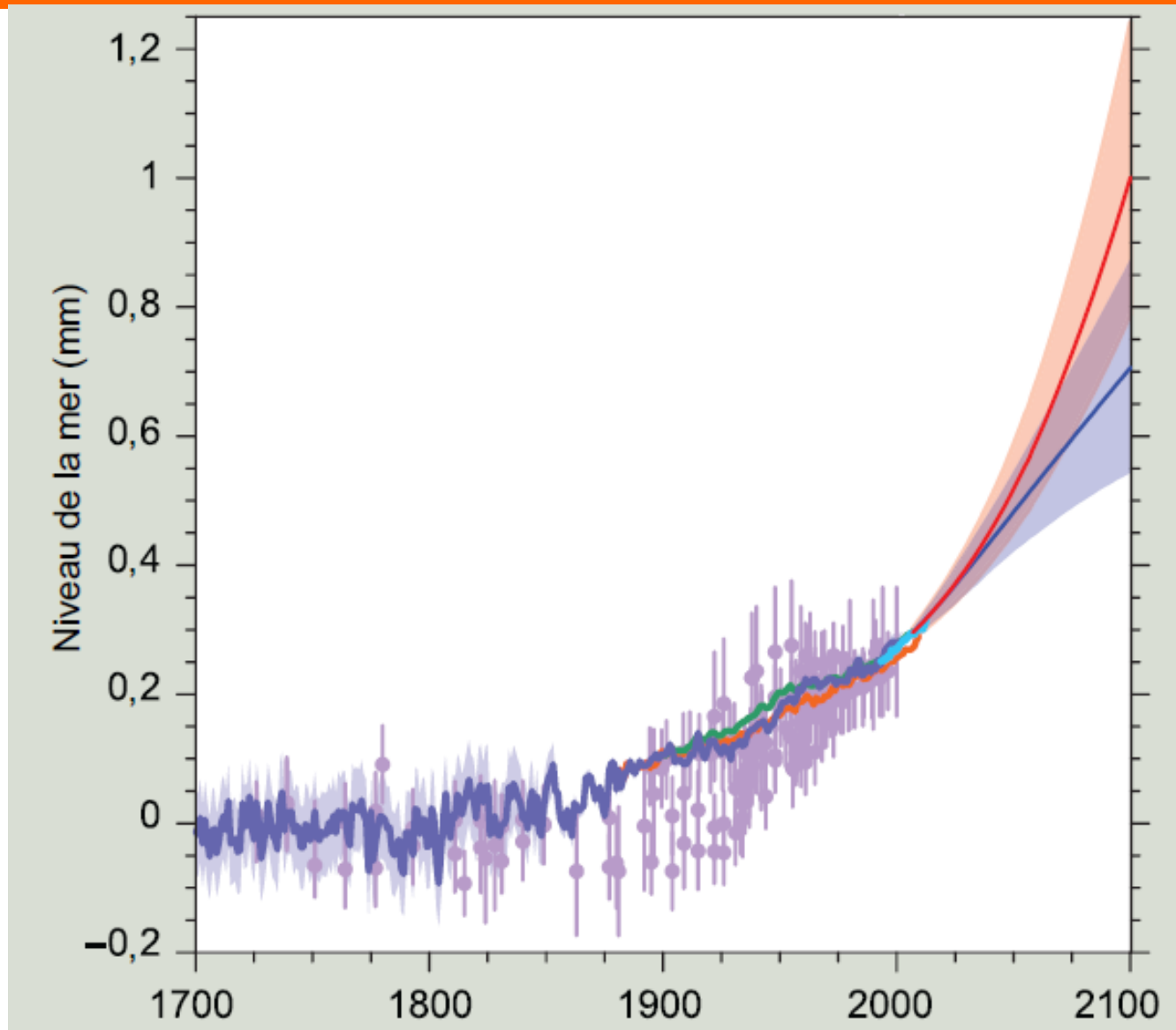
RCP 8,5

Évolution de la température moyenne en surface (entre 1986-2005 et 2081-2100)



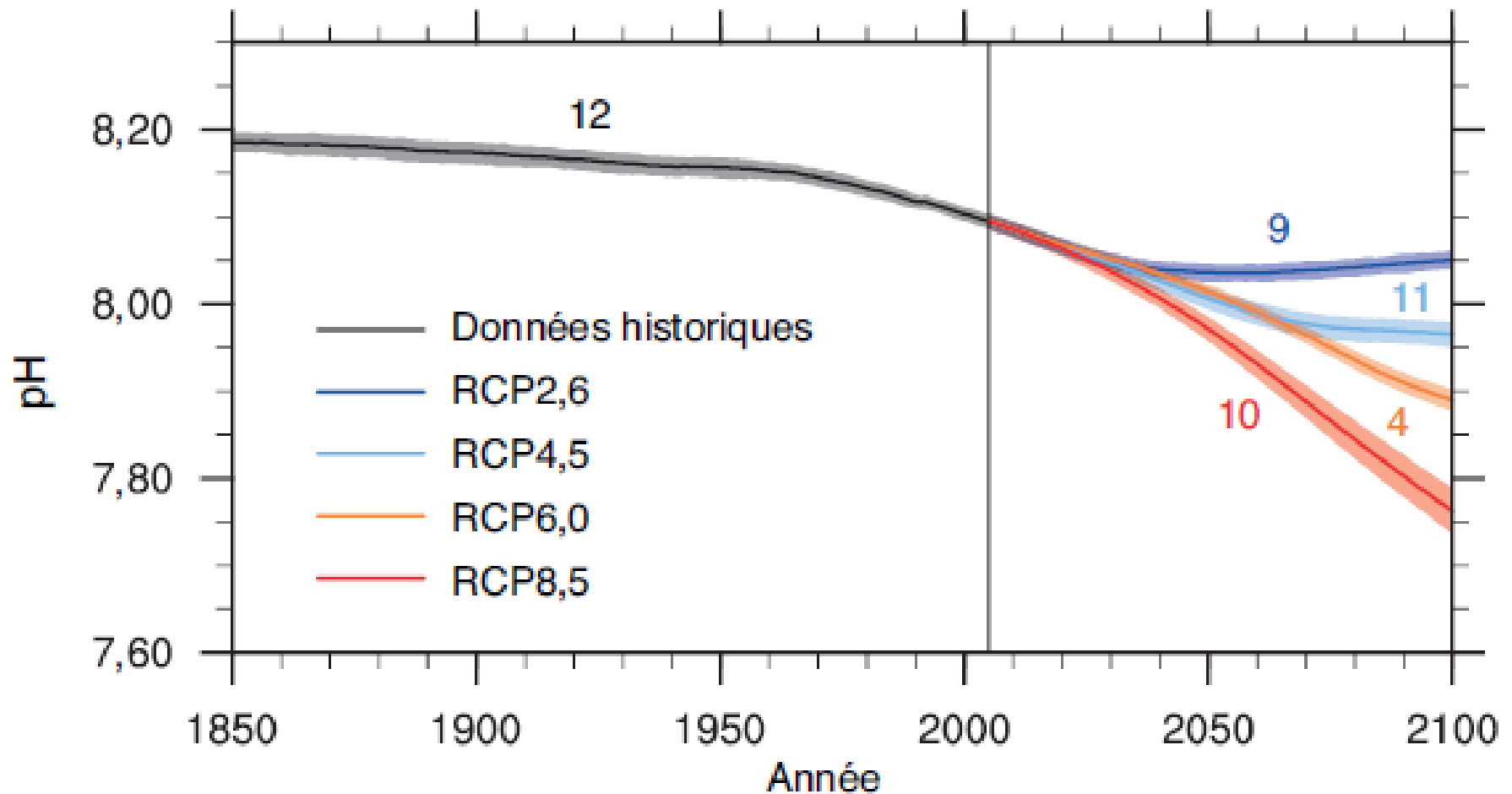
Noter : on part de 1986-2005

Echelle verticale
en m



Elévation du niveau des mers due au réchauffement des océans
et à la perte de masse des glaciers et des calottes glaciaires.

a) pH des océans en surface à l'échelle du globe



Dissolution du CO₂

Réchauffement → effets accentués (prévisions) :

- Montée des océans et conséquences pour zones littorales
- Fonte des glaciers, calottes glaciaires et glaces de mer
- Acidification des océans
- Canicules (santé, végétation, climatisation)
- Sécheresses (production végétale, manque d'eau, incendies)
- Inondations
- Ouragans, typhons
- Perte de biodiversité
- Perte (ou gain) de production agricole
- Luites pour les terres, migrations forcées
- etc.

Actuellement +1°C

+2° ou +5° en 2100 ?

Dans le rétroviseur

Energie, CO₂, réchauffement climatique

Se projeter dans l'avenir : le climat demain

Se projeter dans l'avenir : la transition énergétique

Objectif (politique) : limiter le réchauffement à +2°C

Au-delà : risques d'emballement (ex : glaces polaires)

Emission de GES limitée à 1,8 t CO₂éq/an/personne (monde)

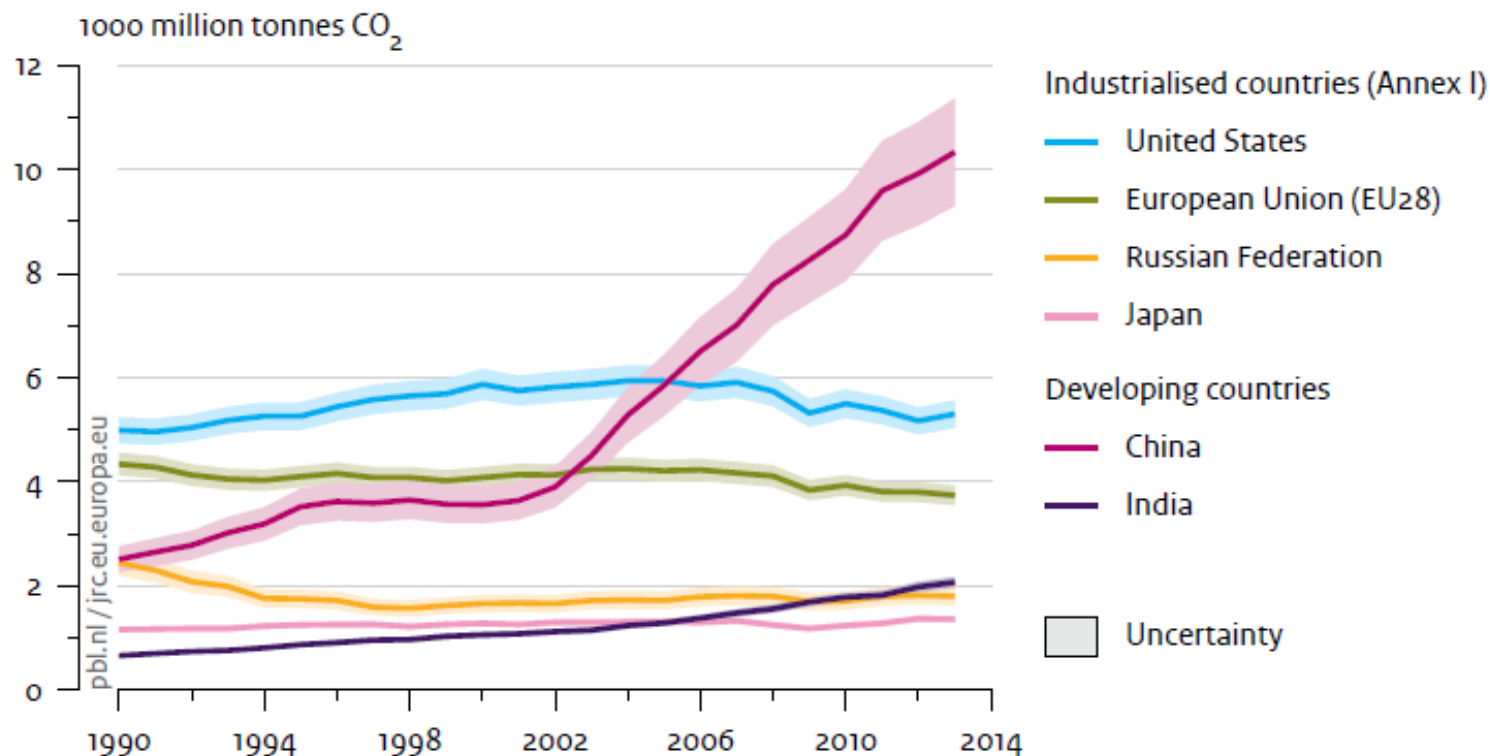
France : 7,2 actuellement →→

Réduction par rapport à 2010 (transition énergétique) :

Monde : facteur 2

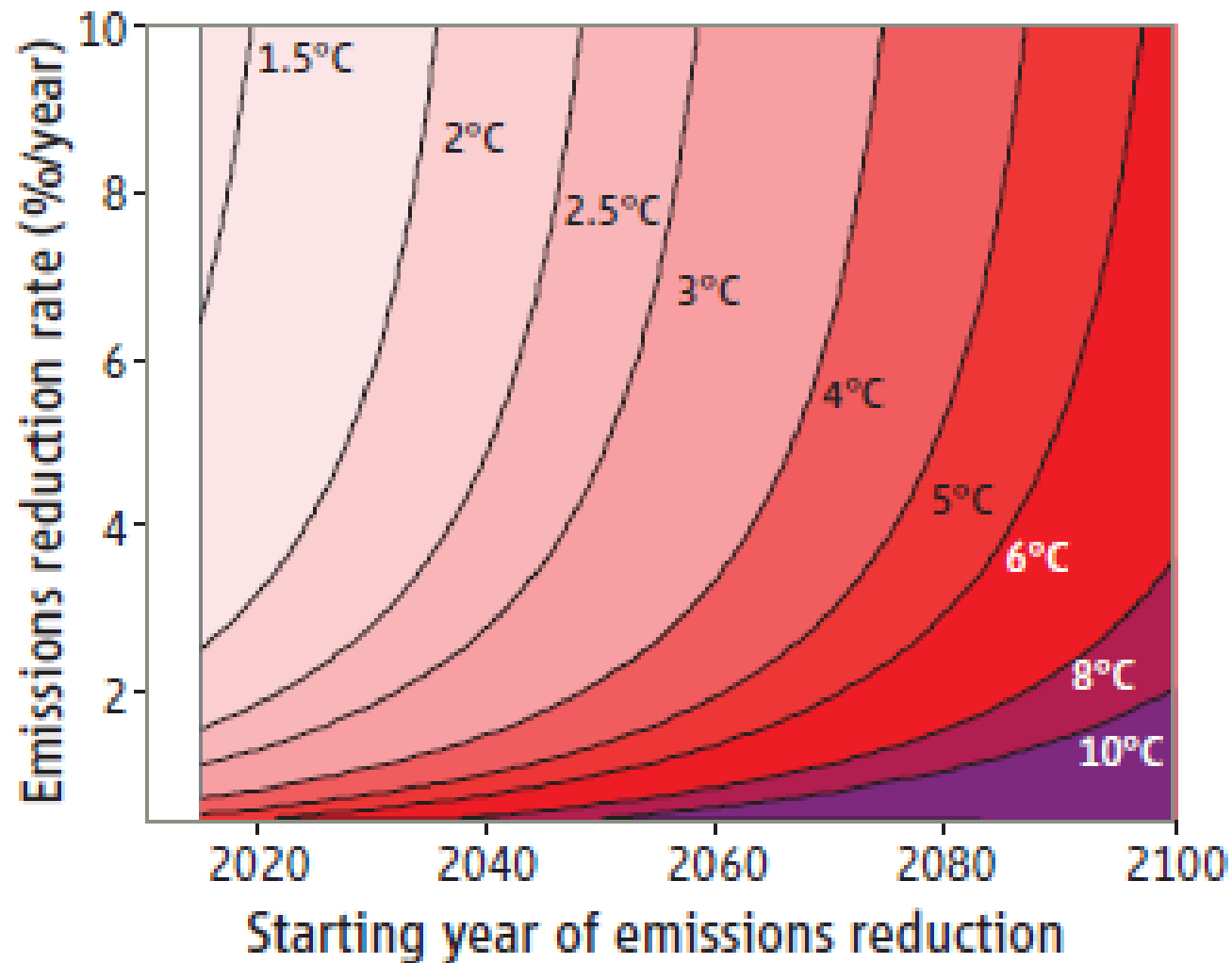
France : facteur 4

CO₂ emissions from fossil-fuel use and cement production in the top 5 emitting countries and the EU



Source: EDGAR 4.2FT2010 (JRC/PBL 2012); BP 2014; NBS 2014; USGS 2014; WSA 2014; NOAA 2012

Trends in global CO₂ emissions 2014 JRC



Démarrer rapidement !

« La transition énergétique, c'est sortir des combustibles fossiles »

Emissions de CO₂ par secteur
(France métropolitaine, hors UTCF)

Transports	35%	Pétrole
Résidentiel + Tertiaire	24%	Gaz (chauffage)
Industrie manufacturière	23%	Gaz et charbon
Transformation de l'énergie (dont production d'électricité : 10)	15%	Gaz et charbon (pointes)
Agriculture, sylviculture	3%	
Total hors UTCF	354 Mt	100%

Pour la transition énergétique :
Production d'électricité = faible enjeu : 10% du CO₂

[différent pour USA, Chine, Allemagne]

L'énergie, moteur du progrès ?

Pour le facteur 4, il y a des solutions !

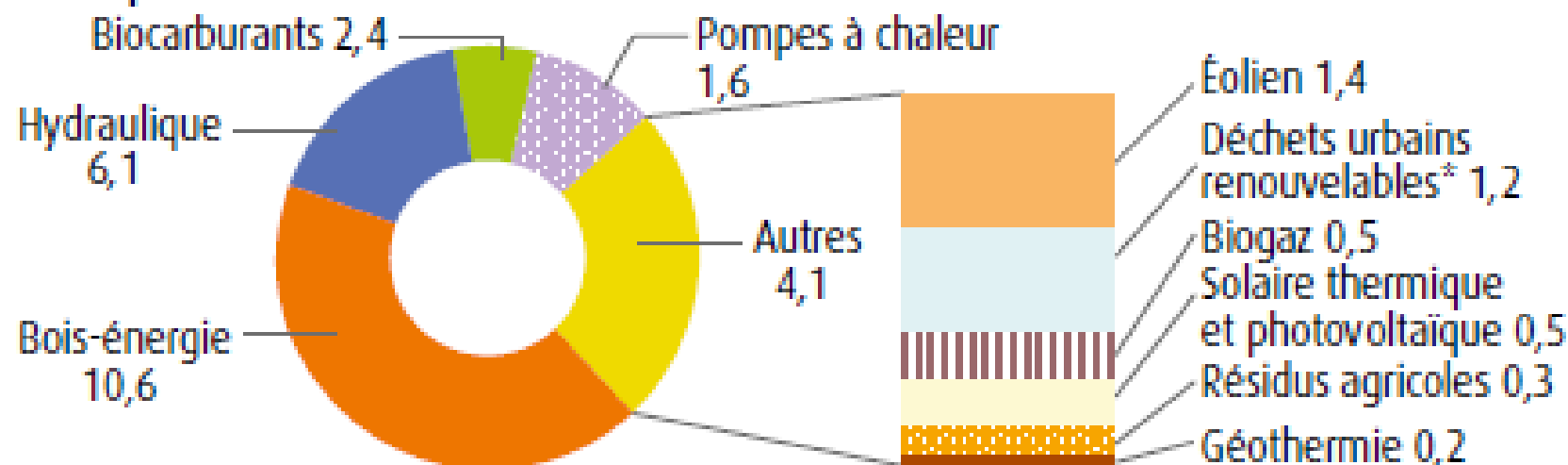
Les trois piliers de la transition énergétique :

- Efficacité énergétique et sobriété (moins de CO₂)
Il y a beaucoup à faire (bâtiments, transports, industrie)
- Les énergies renouvelables
- Électronucléaire
Transition avec filière actuelle ;
puis surgénérateurs, fusion ?

Energies non carbonées

Production primaire d'énergies renouvelables par filière : 24,8 Mtep en 2013

En Mtep¹



¹ Voir « Méthodologie – définitions » p. 43 * Voir définition p. 46

Champ : métropole.

Biomasse : 60%

Bois : 43%

Source : SOeS, d'après les sources par filière

Quelles EnR pour la TE en France ?

Les EnR thermiques :

Biomasse (et déchets) // Solaire thermique //

Géothermie pour chaleur (dont PAC)

EnR électriques : sans intérêt pour TE (sauf hydro : stockage)

Où va le monde (à long terme, au-delà de cent ans)

La consommation d'énergie aura augmenté (population ; développement)

Les combustibles fossiles seront chers (pour transports longue distance ?)

Le nucléaire actuel → réserves d'uranium largement entamées

Des possibilités : surgénérateurs, thorium, fusion contrôlée (mais ?)

Les énergies renouvelables : les seules dont on soit assuré.

Les EnR proviennent du soleil à 98%

Energie solaire reçue = 7000 x consommation actuelle d'énergie

Espoir ! L'énergie n'est pas rare !

EnR électriques : dans cette perspective.

Nécessité de progrès (recherche) :

Diminuer les coûts // Stockage massif de l'électricité //

Fusion contrôlée, surgénérateurs

**Question mondiale,
mais trajectoires nationales (régionales)**

Quelques questions

La question des transports (oubliée par la LTE)

Dépendent du pétrole à 97%

35 % de nos émissions de CO₂

En augmentation constante

Des solutions pour le facteur 4 ?

-- Moins de transports (aménagement du territoire ; payer les externalités : écotaxe, taxe carbone)

-- Des transports plus efficaces

Transports collectifs (train, tram, métro, autocar, ...)

Rail et voie d'eau pour le fret

Véhicules plus efficaces (automobile : → 2l/100 → 1l/100)

-- Des énergies à faible contenu de carbone :

Electricité ; (biométhane, H₂, biocarburants): à évaluer

Critère : coût du CO₂ évité

L'énergie, moteur du progrès ?

La biomasse-énergie, une énergie du passé ou de l'avenir ?

La modernité :

- Meilleur rendement de combustion du bois (chaudières, pellets, foyers améliorés)
- Nouveaux vecteurs énergétiques (biocarburants liquides, biométhane)
- Production améliorée (sélection de variétés, taillis à courte rotation)
et durable (agroécologie)

Le futur : deux options en débat

- la biomasse, énergie de référence
- utile, mais place marginale dans les bouquets énergétiques du futur

Usages de la biomasse :

Alimentation / Energie / Chimie / Matériaux

Concurrence et complémentarités

Deux façons de capter du CO₂

-- CSC (captage et stockage de carbone dans des cavités souterraines)
Des pilotes ; peu prometteurs ?

-- Bois sur pied 1 ha → 2 tep/an, soit 8 t CO₂

et bois d'œuvre 4 m³ = 1 tep = 4 tep de CO₂

(remplacement de : acier, aluminium, béton)

France : émission annuelle de CO₂ = 380 Mt

Forêts :

hypothèse de 10 Mha gérés → prise de 80 Mt CO₂/an (soit 20% de nos émissions)
(sans compter la biomasse du sol)

Géothermie : énergie renouvelable thermique

- Haute température (électricité)
- Température moyenne (chauffage)
- Basse température (avec PAC : chauffage)

Utile pour la transition énergétique : remplacement du gaz

Potentiel en France : 5 Mtep/an ?
Comparer à éolien (10 Mtep)
Mais pas intermittente

Le gaz (méthane) : des cartes à jouer

- Carburant véhicules : très peu de particules ;
- Moins de CO₂ par combustion [pour 1 tep :
Charbon 3 990 kg de CO₂ ; Gazole 3 150 kg ; Gaz naturel 2 394 kg]
- Energie stockée ;
- Possibilités de méthane « vert » (peu de CO₂) :
 - méthanisation de déchets organiques (*marche ; potentiel faible*)
 - traitement thermochimique de bois (*à l'étude*)
 - stockage de l'électricité (éolienne, PV: power to gas) (*à l'étude*)
électricité → H₂ → CH₄ par méthanation → électricité

Mais,

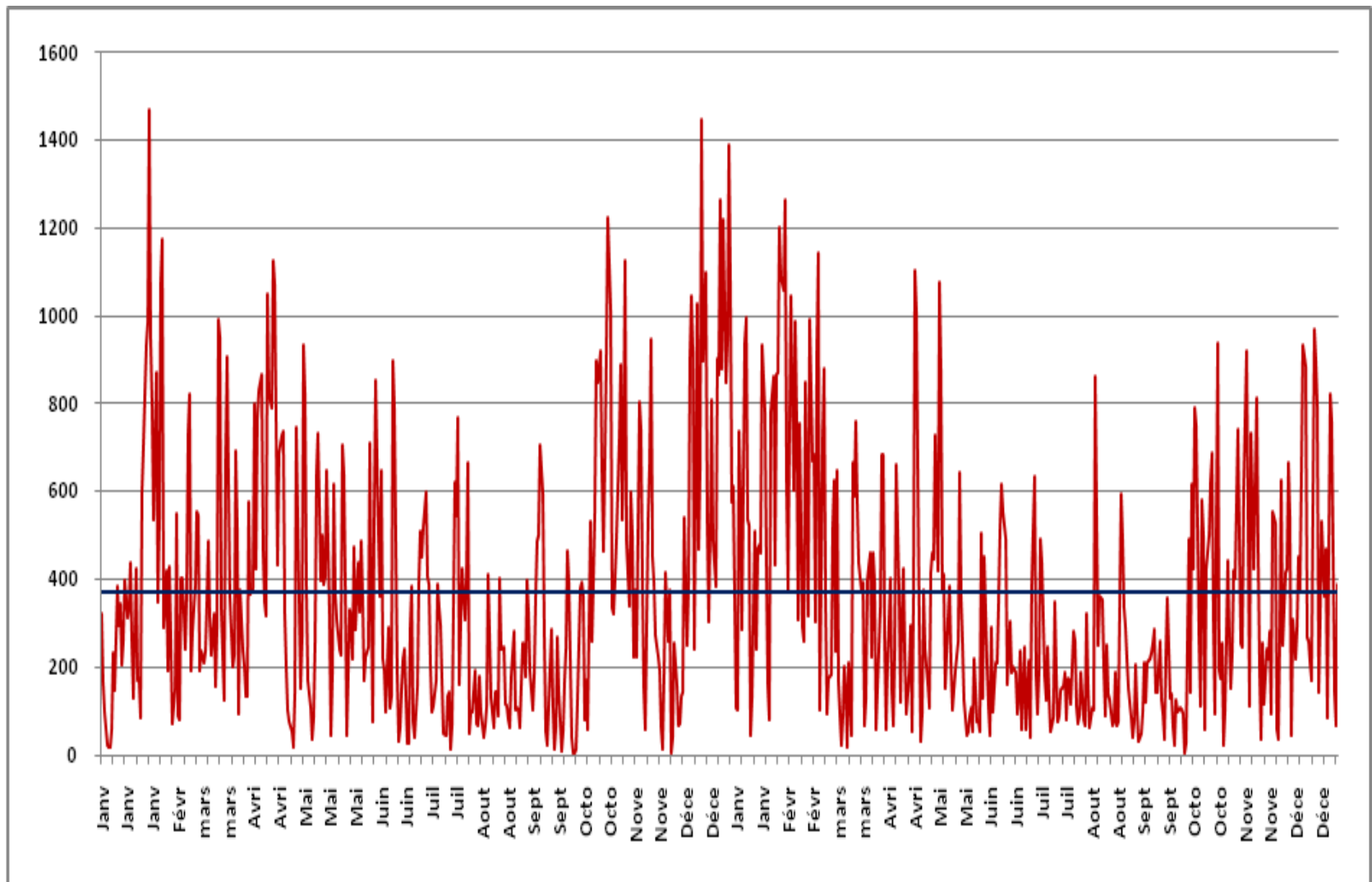
Pour la TE, il faut se sevrer de tous les combustibles fossiles,
y compris le gaz naturel.

Keep them in the ground ! (le plus possible)

C'est le cas du gaz de schiste

→→→→→ Keep it in the ground !

L'énergie, moteur du progrès ?



Production éolienne terrestre bretonne (2013 & 2014). Parc : 1800 MW.

Rouge : valeur moyenne journalière de la puissance livrée (MW).

Bleu : puissance moyenne sur les deux années. Efficacité moyenne : 20,6%

L'énergie, moteur du progrès ?

Dans les médias, les îles !

Canaries / El Hierro / « Autosuffisance en énergie grâce aux EnR »
France 2, Infos du 3 mars 2015

5 éoliennes de 2 MW ; vents forts et réguliers ;
quelques panneaux solaires ; stockage par STEP

Modèle sympathique mais :

Pas d'industrie / Peu de besoins de chaleur domestique /

Transports : toujours à l'essence /

On ne prend pas en compte les transports par bateau ou avion
(touristes : source de revenus de l'île)

On est loin d'un modèle extrapolable !

Et qui paye ?

C'est toujours vrai, mais :

-- On bute sur :

1. **GES** → **réchauffement**
2. Epuisement des fossiles bon marché
3. Peut-être : épuisement de matériaux rares

-- À l'avenir :

- un développement (progrès) différent, à inventer;
- pays en développement : des besoins importants en énergie ;
- efficacité et sobriété.

Nécessité n°1 :

Ne pas se tromper de transition énergétique !

Aujourd'hui : diminuer aussi vite que possible notre
dépendance (mondiale) envers les fossiles.

Il n'est pas trop tard.

et s'adapter à un climat plus chaud...

FIN



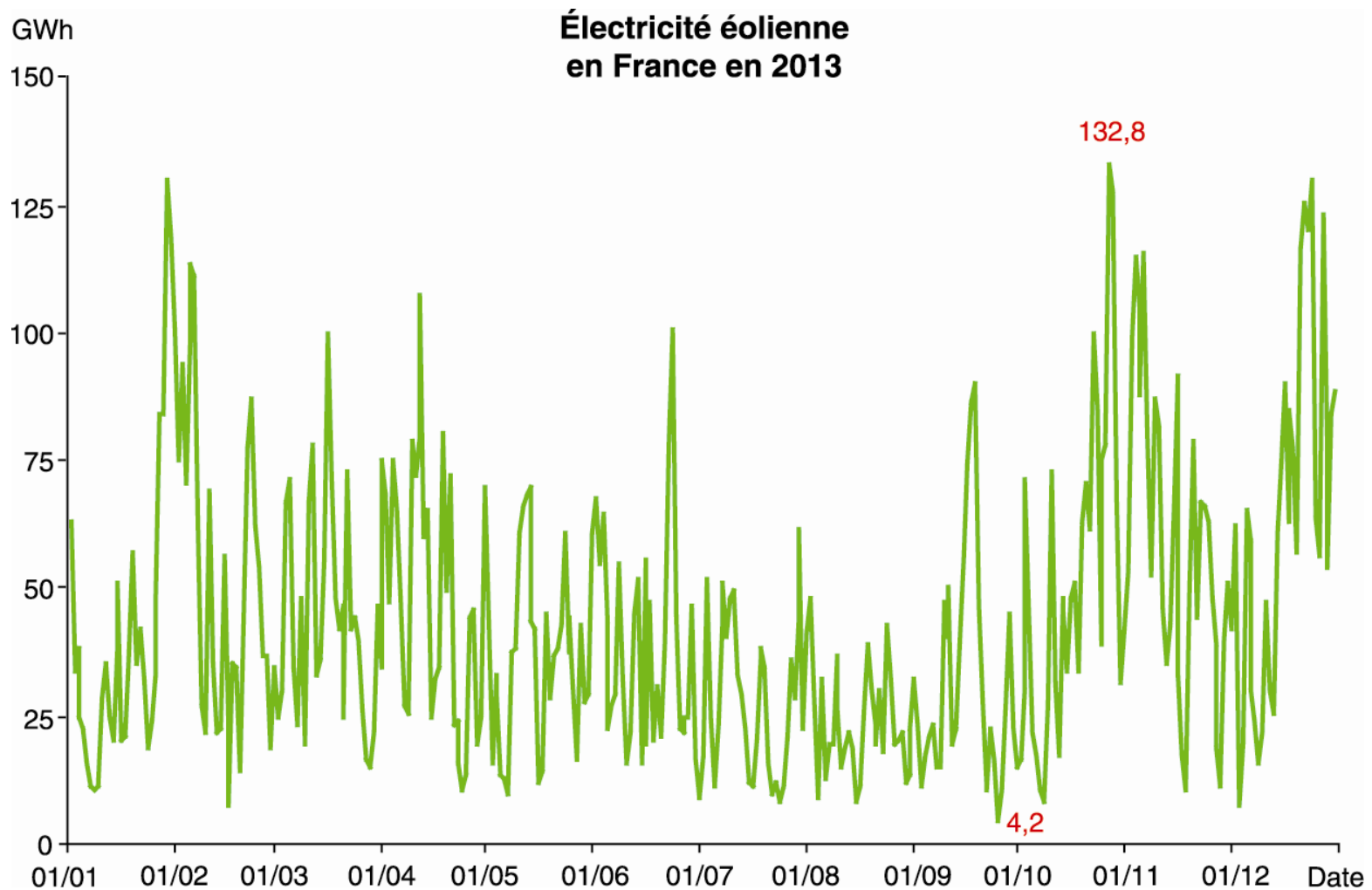
« Les marchands de doute »

Naomi Oreskes & Erik Conway, Le Pommier 2012

« Changements climatiques 2013, Les éléments scientifiques, Résumé à l'intention des décideurs »
GIEC, télécharger

« Le défi climatique » Jean Jouzel & Anne Debroise,
Dunod 2014

« Climat : le vrai et le faux » Valérie Masson-Delmotte,
Le Pommier 2011



Production journalière Données RTE France métropolitaine

L'énergie, moteur du progrès ?

Scénarios (AIE, UE) :

La transition énergétique reposera sur l'électricité décarbonée.

Comment la produire ?

- EnR électriques :

 - hydroélectricité, éolien, solaire PV et thermodynamique

- Nucléaire

Biomasse pour l'électricité : non ! Sauf :

- cogénération avec usage effectif de la chaleur
(incinération de déchets, déchets IAA)

- stockage et réponse à des besoins de pointe
(remplacement du charbon ou du gaz)

L'énergie, moteur du progrès ?

Risquons-nous de manquer d'énergie ?

L'énergie n'est pas rare : vent, soleil, nucléaire 4G,
énergies marines, biomasse

Quelques problèmes :

- Énergies renouvelables électriques (intermittence / stockage)
- Nucléaire surgénérateurs : encore des progrès à faire.
- Énergies marines : idem

A l'avenir, des énergies plus chères ?

- Prise en compte des externalités
- Pour énergies intermittentes : coût du stockage
- Besoin de recherches

L'énergie, moteur du progrès ?

Stratégie déchets

- Diminuer
- Trier
- Valoriser Matière (verre, papier,...)

Energie

déchets secs : incinération

déchets humides : méthanisation
(biogaz, biométhane)

- -Mettre en Décharge (gravats)

Valorisation énergie : utile pour la TE

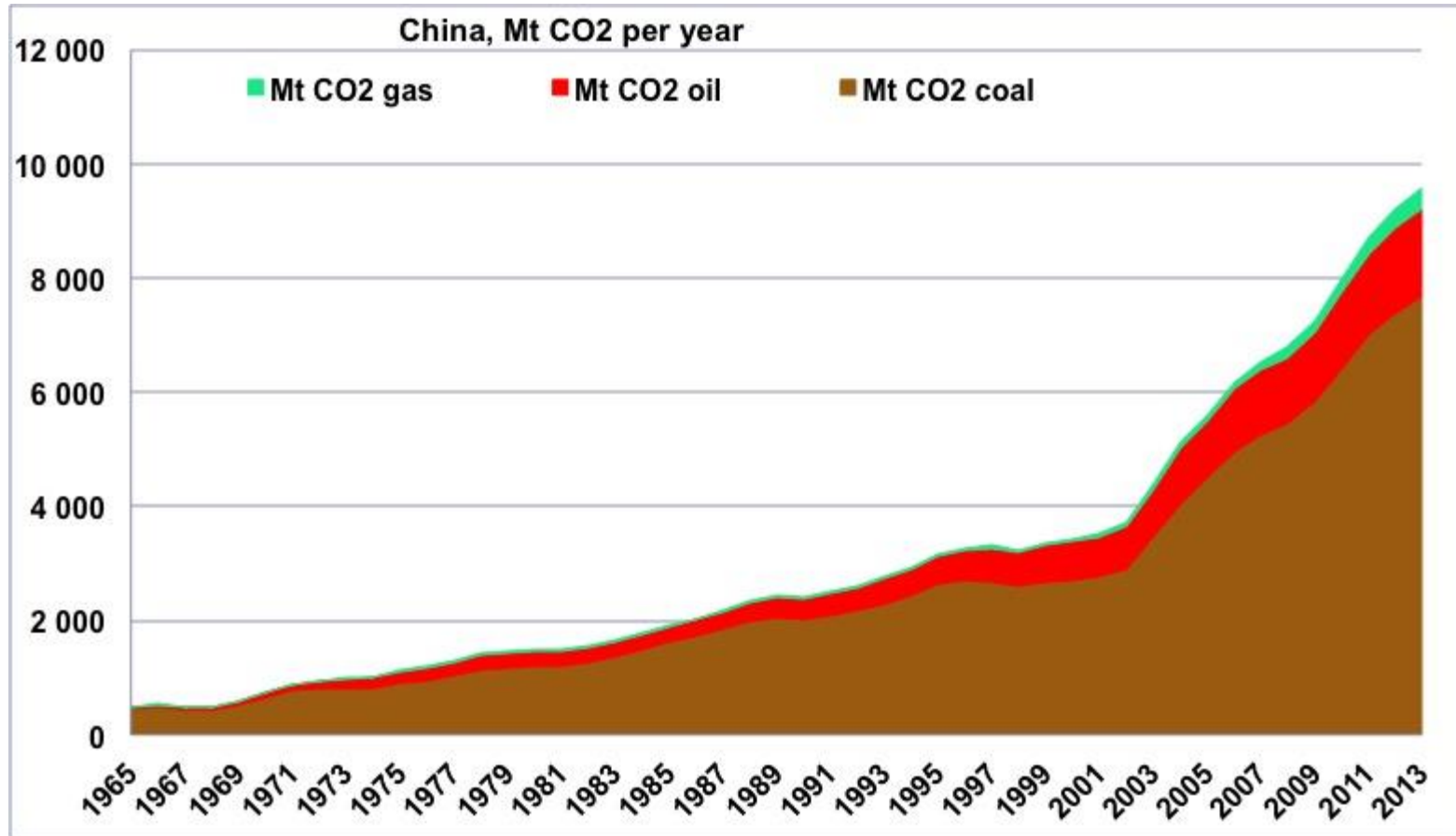
[sources variées :

Déchets ménagers et industriels (surtout IAA)

Effluents liquides (urbains, industriels)

Déchets agricoles (cultures, élevage)]

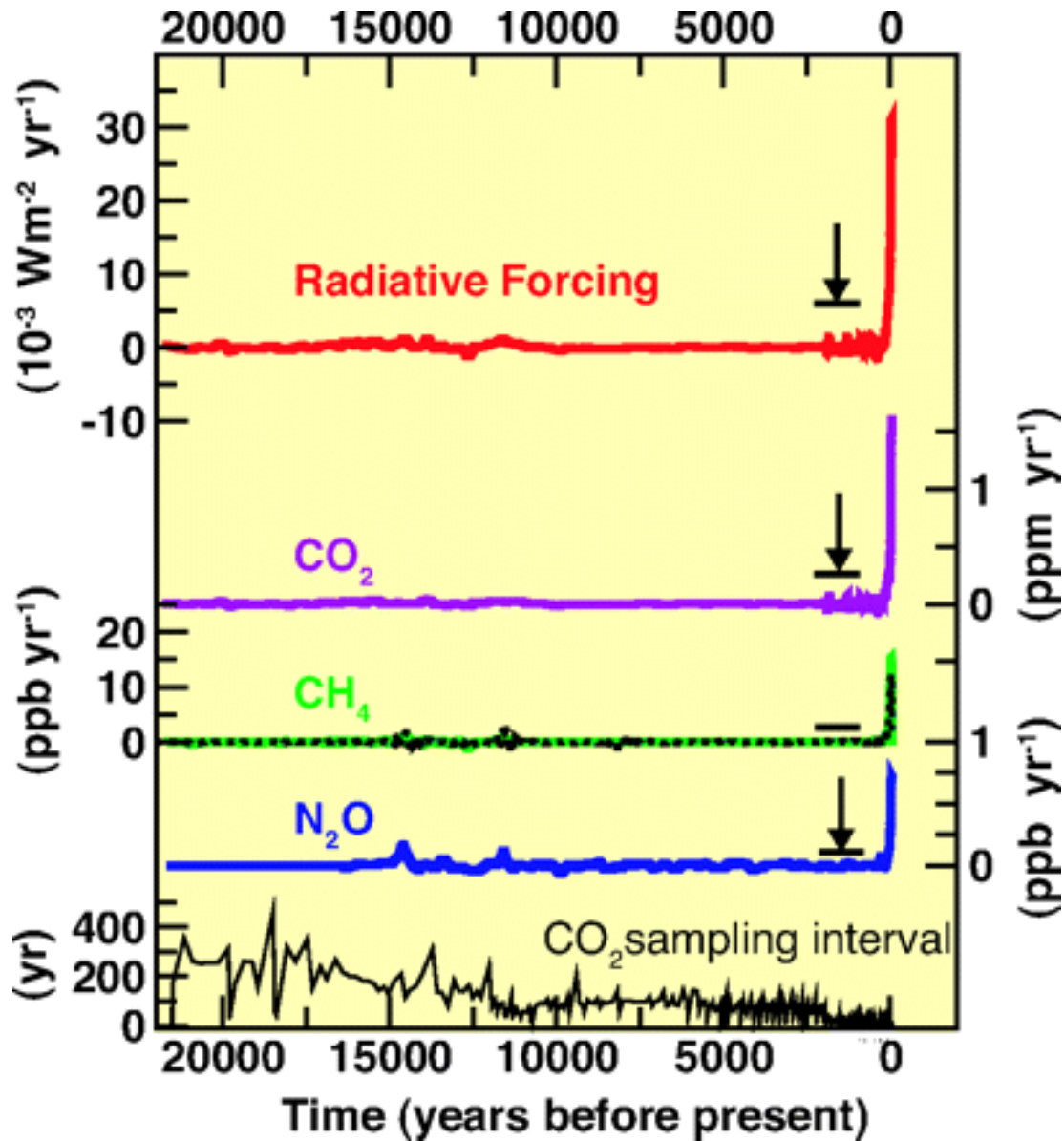
L'énergie, moteur du progrès ?



Evolution des émissions de CO2 d'origine fossile en Chine depuis 1965, discriminée par énergie, en millions de tonnes.

D'après BP Statistical Review 2014

L'énergie, moteur du progrès ?



Taux de variation des GES et du forçage radiatif

Pollution de l'air

Pollution locale

Origine : combustion du bois, du fioul, du gazole

Particules fines, SO_2 , NO_x (→ Ozone)

Effets sur la santé (problèmes cardiovasculaires et pulmonaires ; allergies)

Cela touche les gens (et donc les politiques)

Pollution globale

Origine : combustion de combustibles fossiles ; agriculture (rizières, élevage)

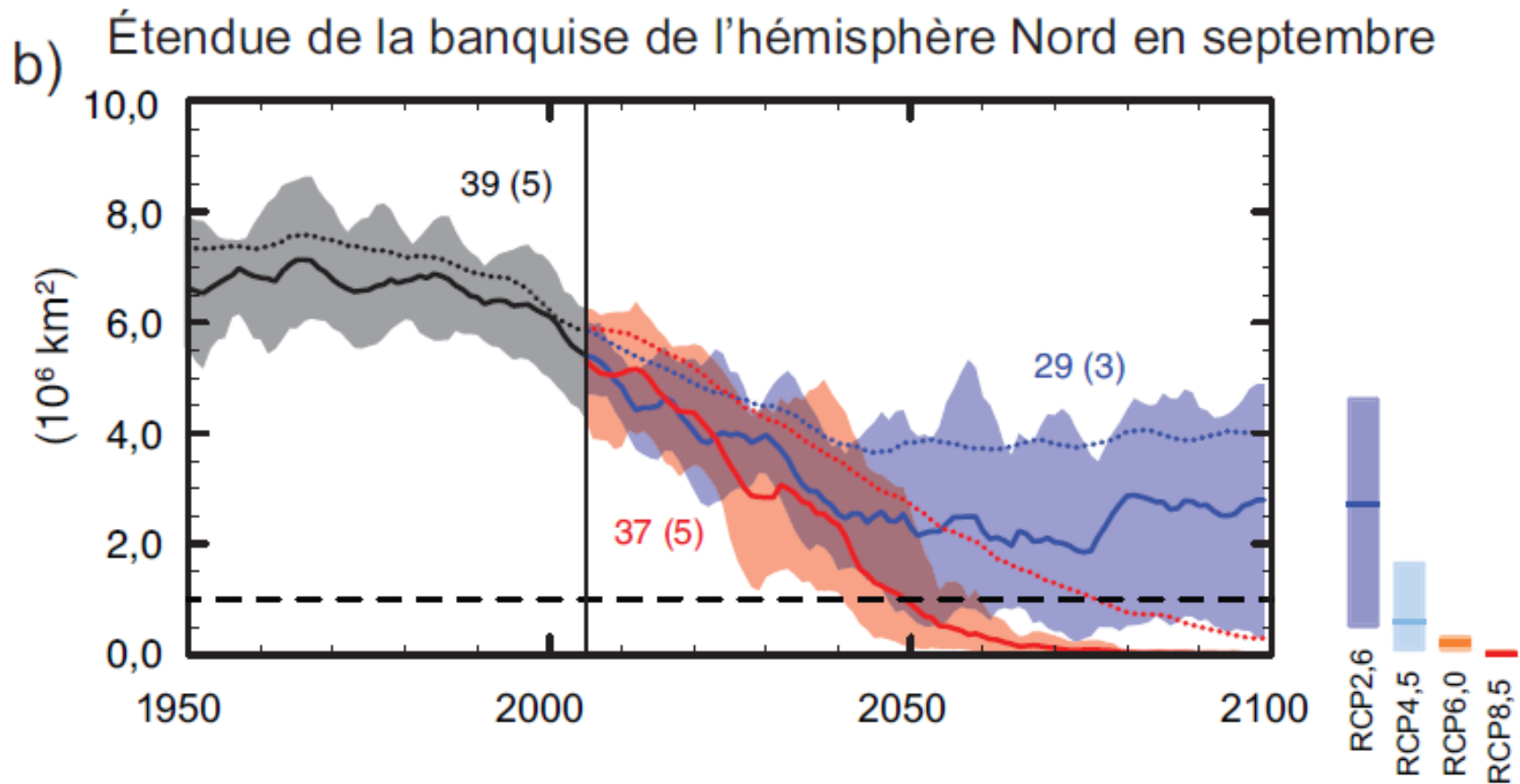
Polluants : CO_2 , CH_4 , N_2O , halogénocarbures, etc

Conséquences :

Effet de serre → Réchauffement

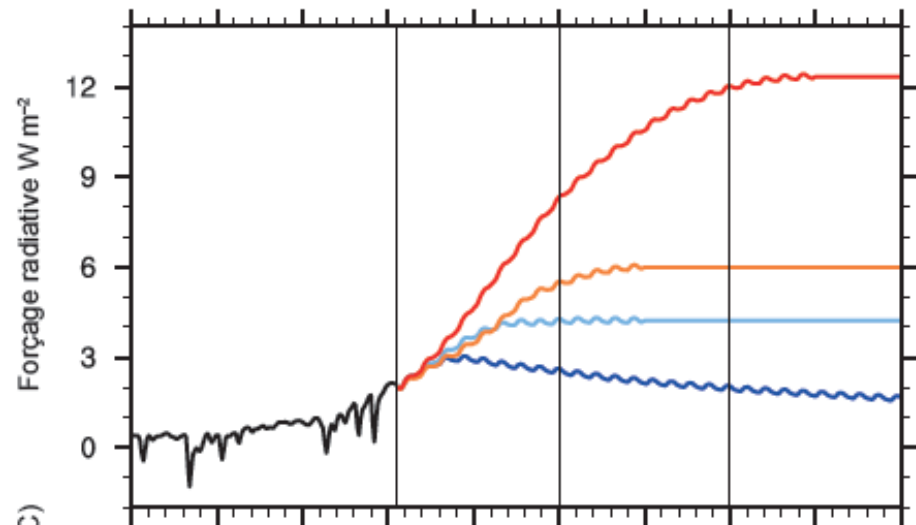
Destruction de la couche d'ozone

Cela ne touche pas les gens (les politiques)



L'énergie, moteur du progrès ?

Evolution du
Forçage radiatif



Evolution de la
température
moyenne

