

# Comment marche vraiment le monde

Qu'est-ce que le climat ?

Qu'est-ce que l'énergie ?

L'avenir : énergies de stock/énergies de flux

Jacques Treiner

[jtreiner@orange.fr](mailto:jtreiner@orange.fr)

LIED, Université de Paris

et

The Shift Project



# Le climat de la Terre

Jacques Treiner

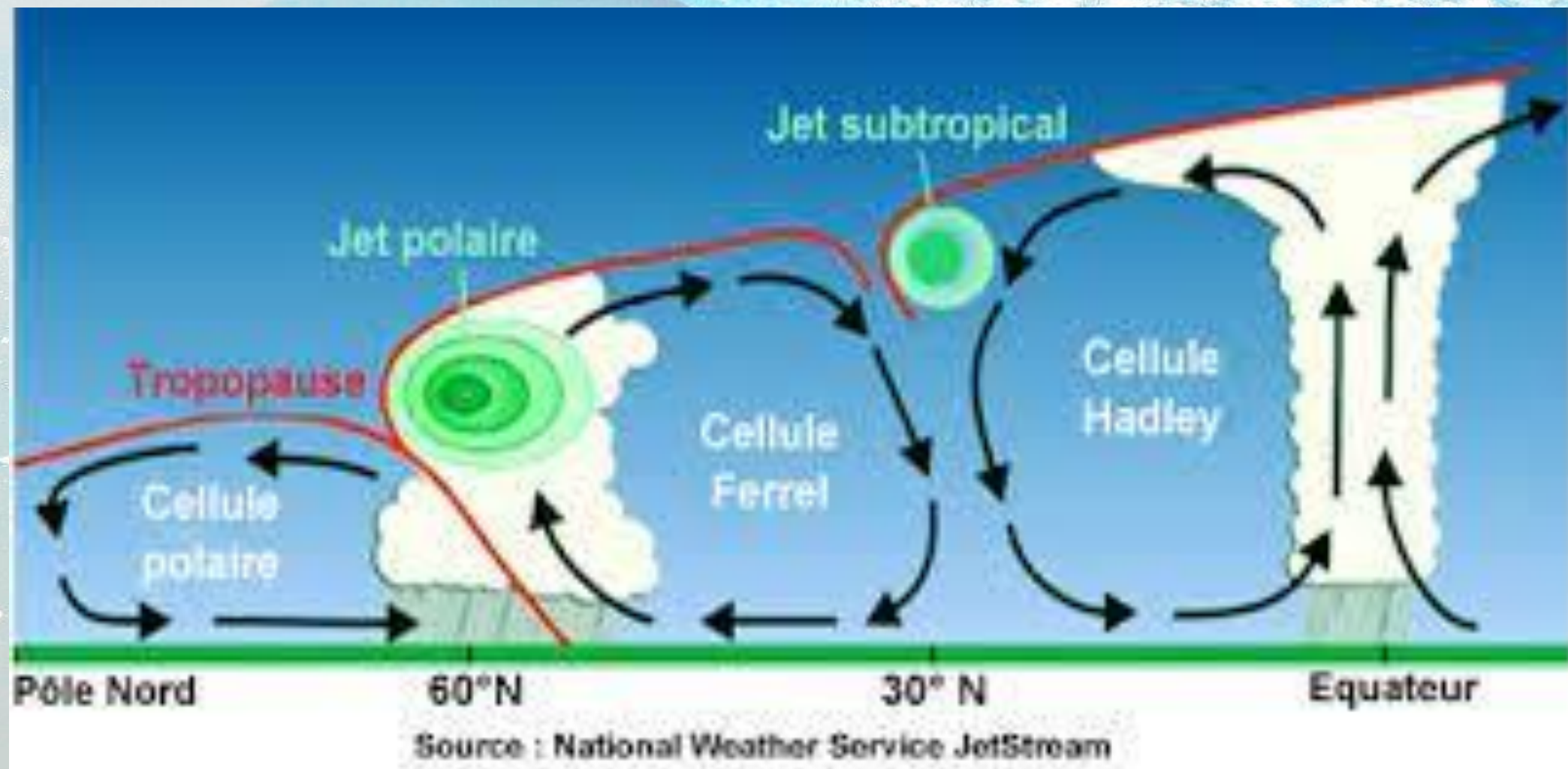
[jtreiner@orange.fr](mailto:jtreiner@orange.fr)

# La météorologie n'est pas la climatologie

**Météo** : prévoir l'évolution d'**UN** état de l'atmosphère terrestre  
or le système est tel que deux états voisins évoluent très  
différemment en quelques jours (chaos déterministe); des petites  
incertitudes sur les conditions initiales font perdre la prévisibilité

**Climatologie** : prévoir l'**ENSEMBLE** des états de l'atmosphère (valeur  
moyenne et variabilité), déterminisme « en moyenne »

Exemple : on ne sait pas le temps qu'il fera dans 15 jours, mais on sait que  
l'été est plus chaud que l'hiver (6 mois d'intervalle)



# Causes naturelles de la variabilité climatique

Evolution du Soleil à grande échelle de temps

à courte échelle de temps : cycle solaire de 11 ans

Tectonique des plaques

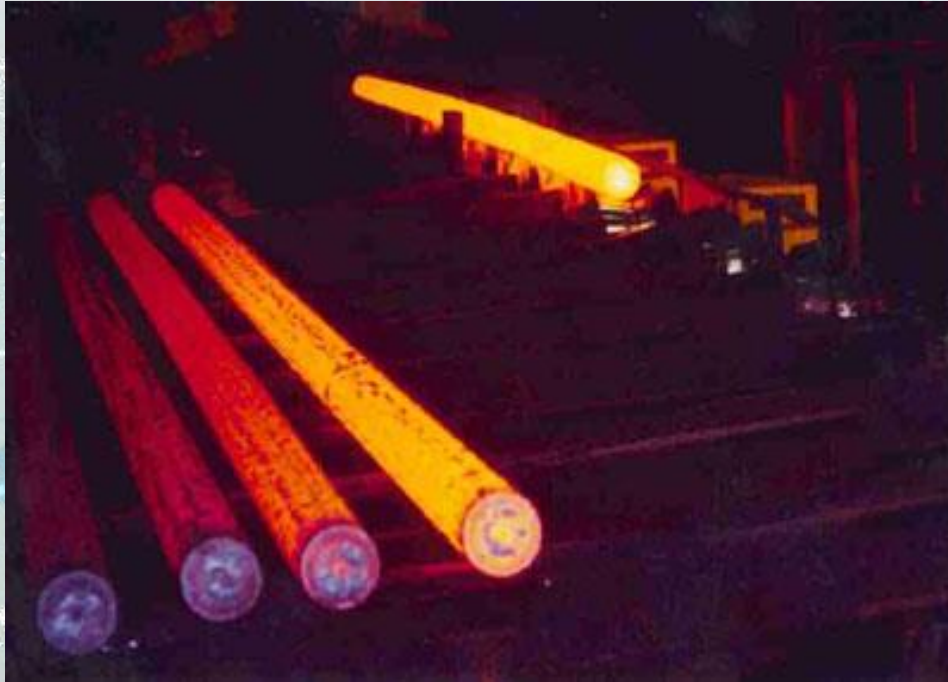
Variations de l'orbite terrestre : Milankovitch

Volcanisme

Météorites et comètes

**Gaz à effet de serre**

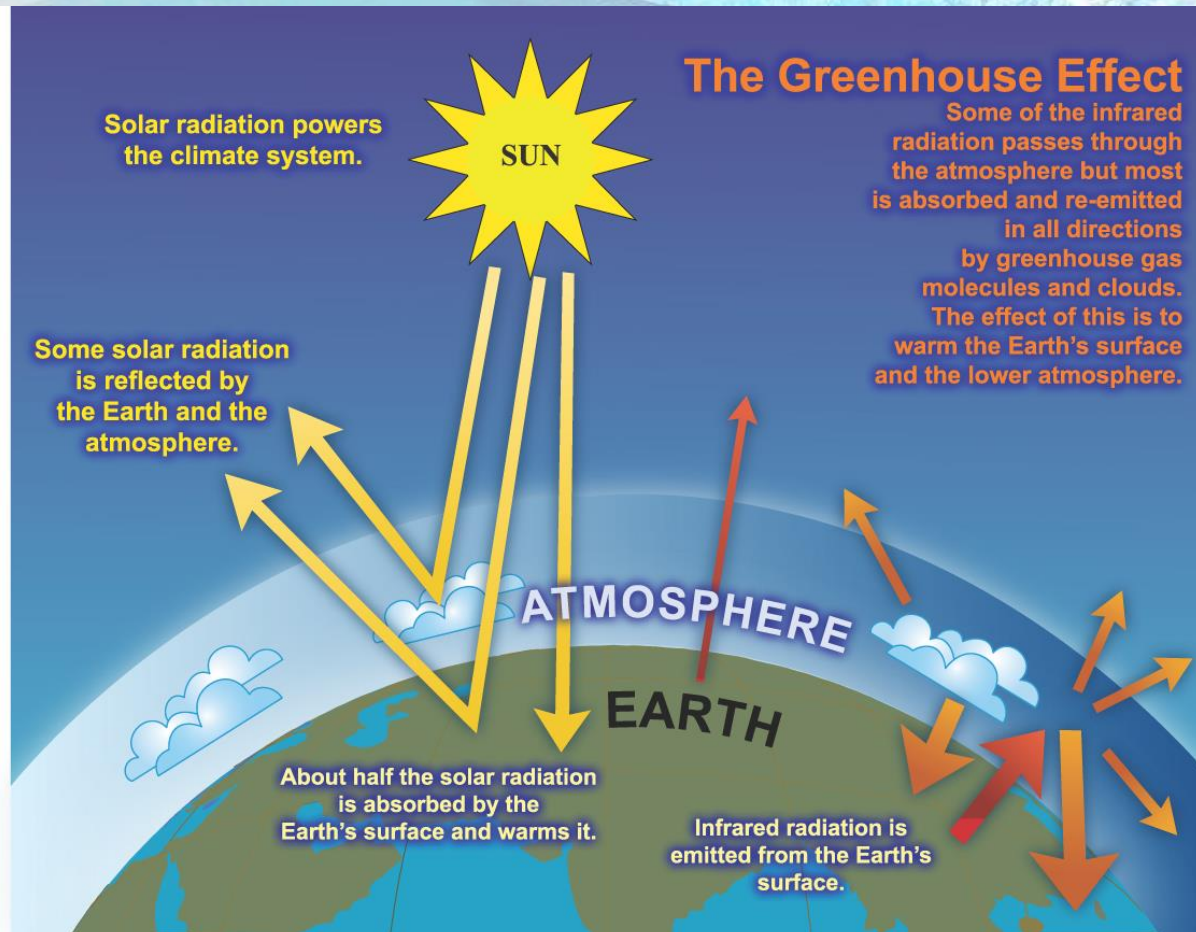
# Absorption et émission de rayonnement par la matière



## Clefs :

- Lorsqu'un matériau absorbe du rayonnement, sa température augmente
  - Toute matière émet un rayonnement dont les caractéristiques dépendent de sa température
  - Lumière visible et ultraviolette à haute température, infrarouge à basse température
- Lorsqu'une matière émet autant de rayonnement qu'elle en absorbe, sa température ne change pas : situation d'équilibre

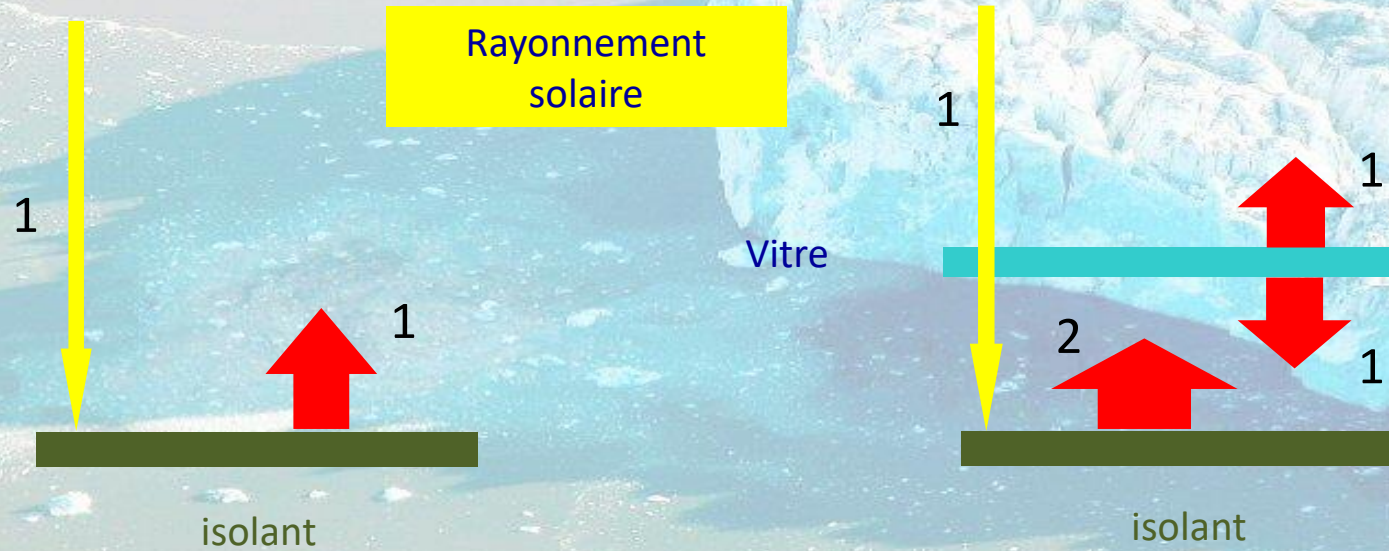
# L'effet de serre naturel



Voyons cela plus en détail...

# Bilan radiatif, modèle d'une vitre

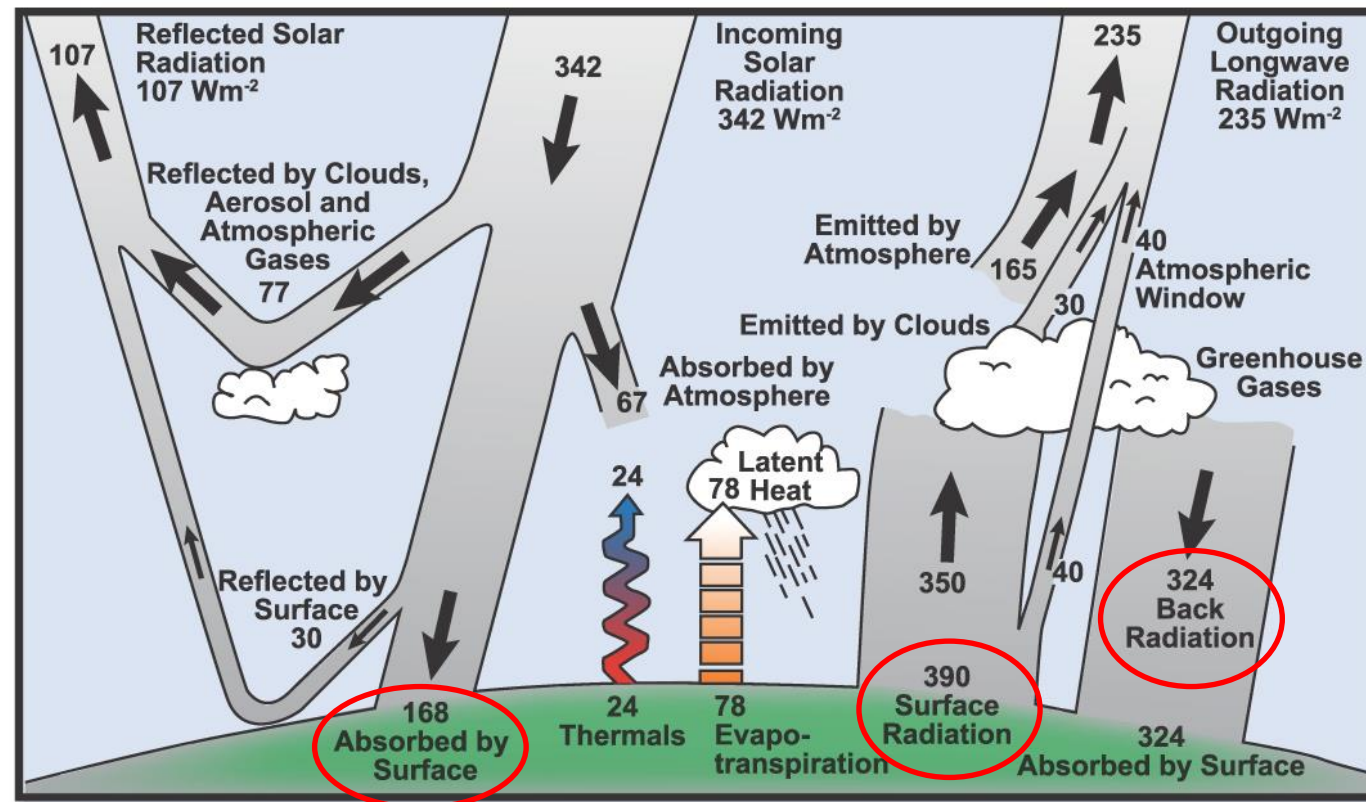
Vitre « parfaite » : transparente au rayonnement solaire incident  
opaque au rayonnement infrarouge terrestre





# Echanges Terre-atmosphère

C'est un petit peu plus compliqué, mais nous avons pris l'essentiel...



# Qu'est-ce que l'énergie ?

## Les mots et les choses

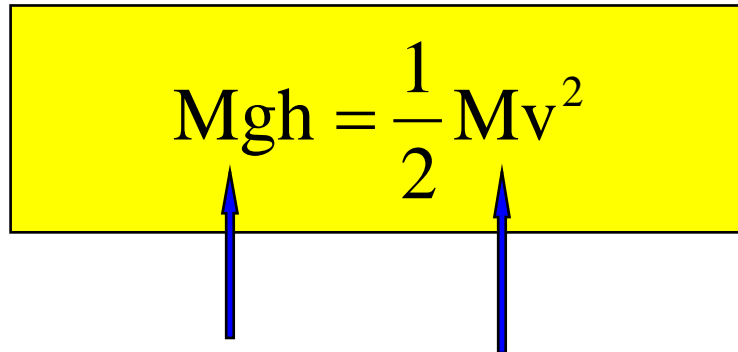
**Nous vivons de transformer la matière** autour de nous, quels que soient les usages : résidentiel/tertiaire, industrie/agriculture, transport, électricité...

L'énergie n'est pas une chose, **c'est la capacité à transformer la matière**, c'est une unité de compte des transformations de la matière.

# L'énergie, unité de compte des transformations de la matière

Un corps tombe : il perd de l'altitude, il gagne de la vitesse

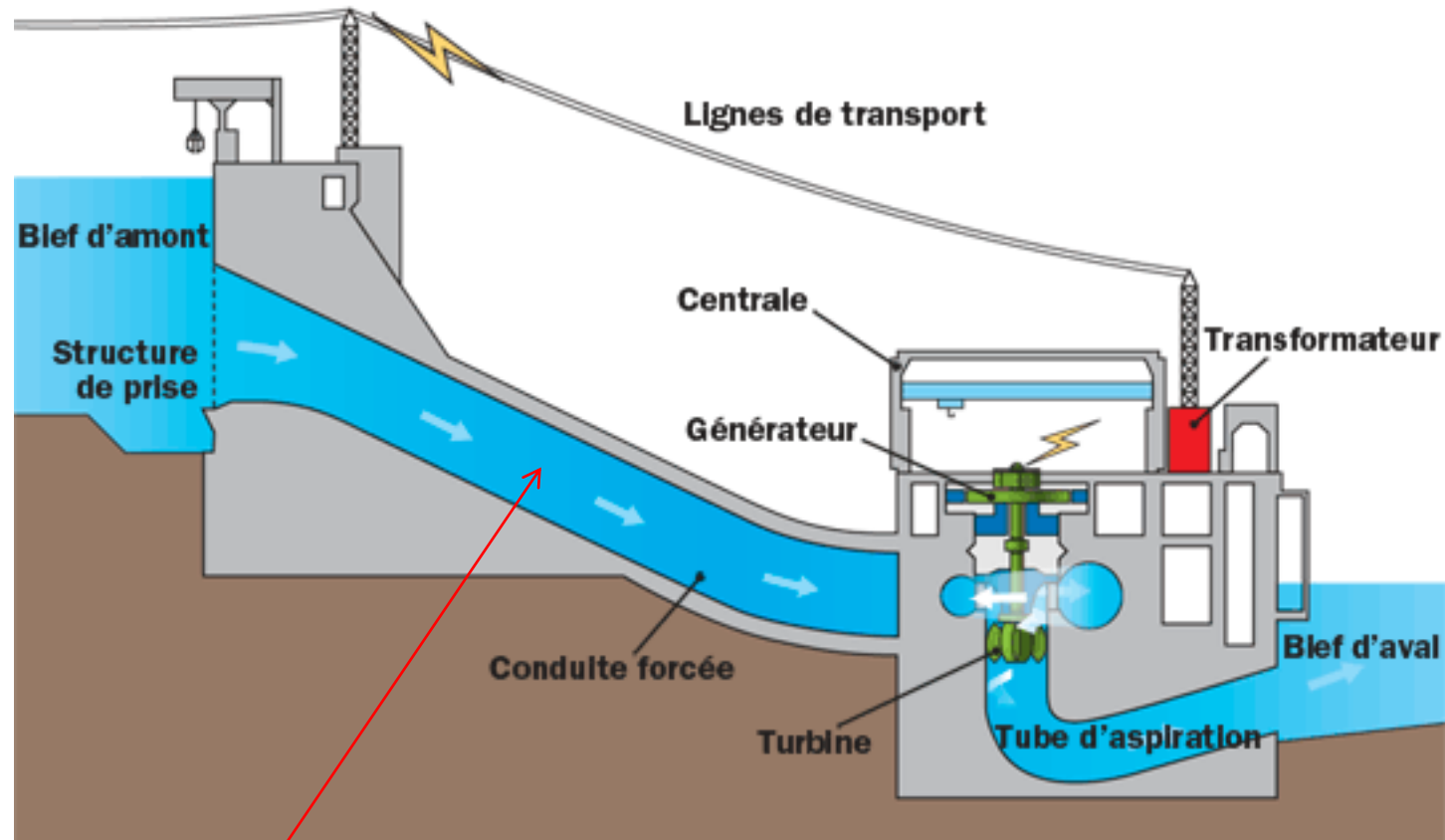
Question : y a-t-il un rapport entre cette perte et ce gain ?

$$Mgh = \frac{1}{2}Mv^2$$


*Énergie associée à la position relative de l'objet et de la Terre : énergie potentielle*

*Énergie associée au mouvement : énergie cinétique*

# Hydroélectricité



L'eau perd de l'altitude et gagne de la vitesse, elle perd de l'énergie potentielle et gagne de l'énergie cinétique

# Performances du corps humain

Promenade en montagne : 70 kg, 8 heures, 300 m/h

Energie :  $8 \times 70 \times 9,8 \times 300 = 1646400$  J, soit 0,457 kWh,

**0,5 kWh** d'énergie

ou 62,5 W de puissance

Avec un peu d'entraînement, disons **100 W** (**10 W** avec les bras)

Métabolisme de base : 2700 kcal/jour, soit environ 130 W

# L'homme produit avec la machine, ou la machine produit avec l'homme ?



= 100 W pour les jambes, 10 W pour les bras



=



=



= 60 kW  $\approx$  600 paires de jambes



= 100 kW  $\approx$  10.000 paires de bras



= 400 kW  $\approx$  4.000 paires de jambes



= 100 MW  $\approx$  10.000.000 paires de bras !

# Esclaves énergétiques

**Moyenne mondiale : 100 esclaves par individu**

**Moyenne française : 400**

**Moyenne américaine : 800**

# Relation PIB/énergie

**Nous vivons de transformer la matière pour produire des biens et des services.**

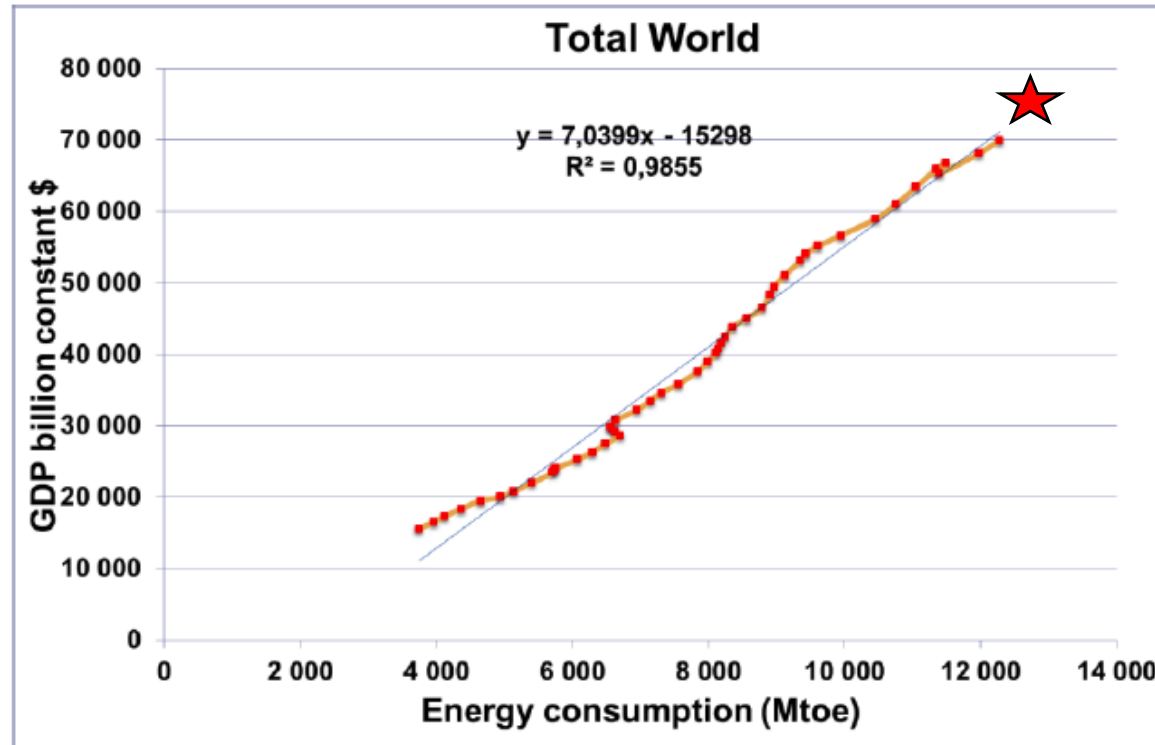
**Toute transformation donne naissance à un double comptabilité :**

- l'une, en termes énergétiques**
- l'autre, en termes monétaires**

**-Le passage de l'une à l'autre s'apparente à un **changement d'unité** : d'où une relation affine entre les deux mesures**



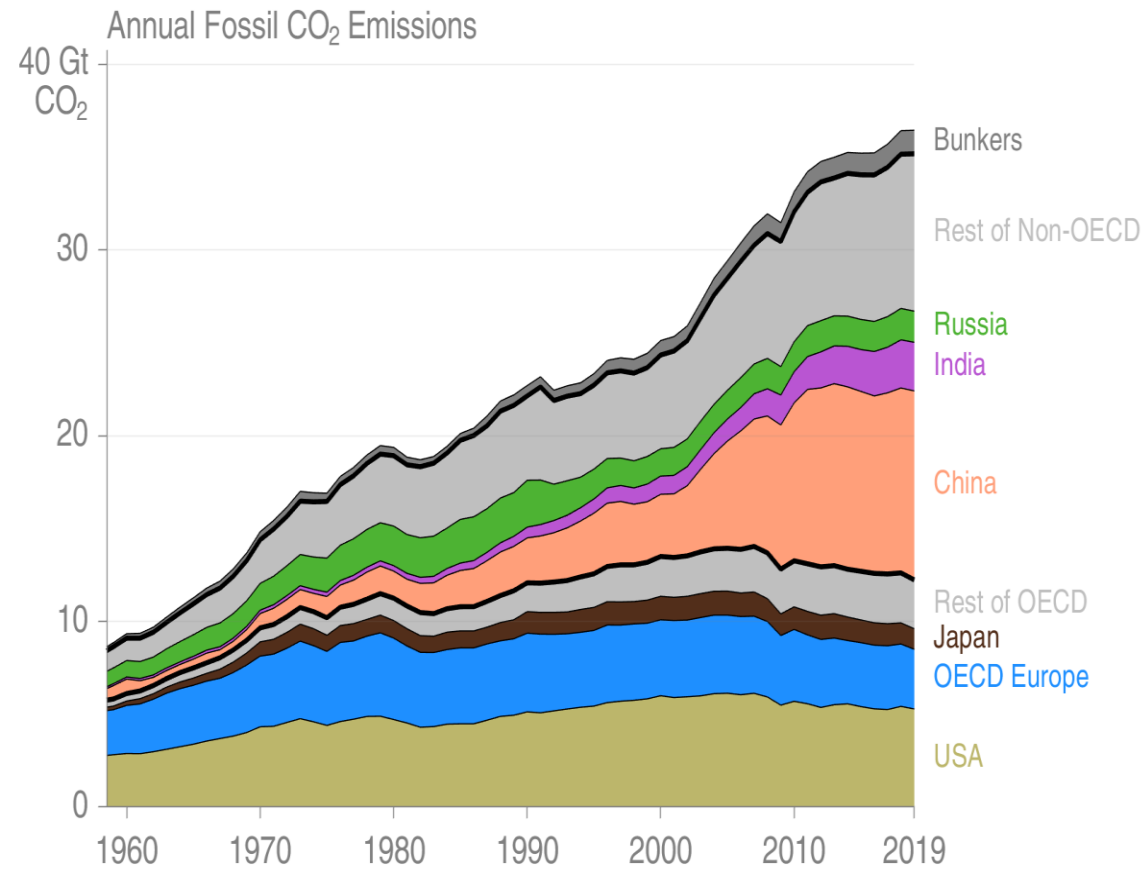
# Relation PIB/énergie : un simple changement d'unité !



Source : BP statistical review, 2012, Shilling et al. 1977, EIA, 2012, et Banque Mondiale (PIB), 2012.

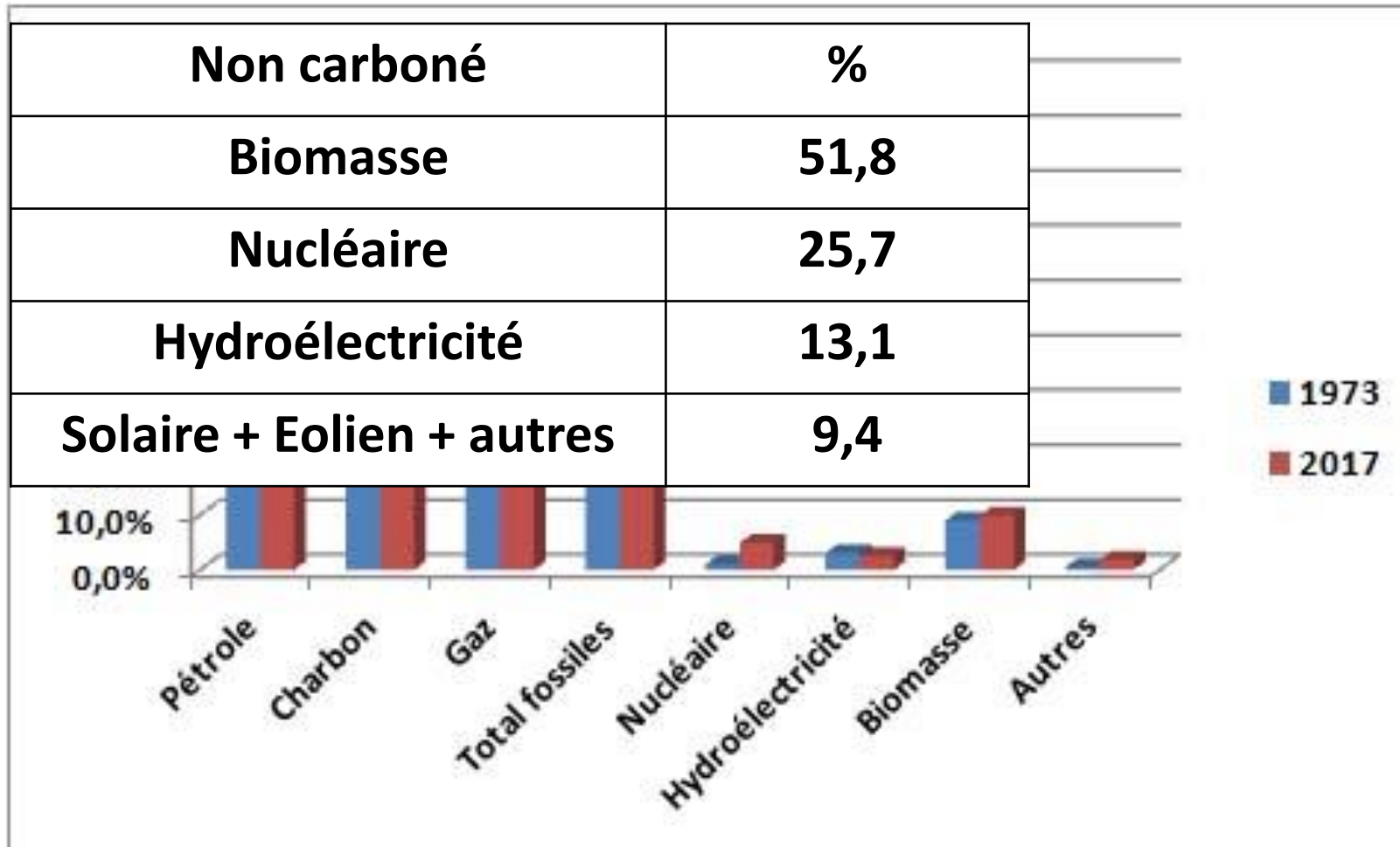
# Emissions de CO<sub>2</sub> par pays

**Emissions in OECD countries have increased by 1% since 1990, despite declining 13% from their maximum in 2007**  
**Emissions in non-OECD countries have more than doubled since 1990**

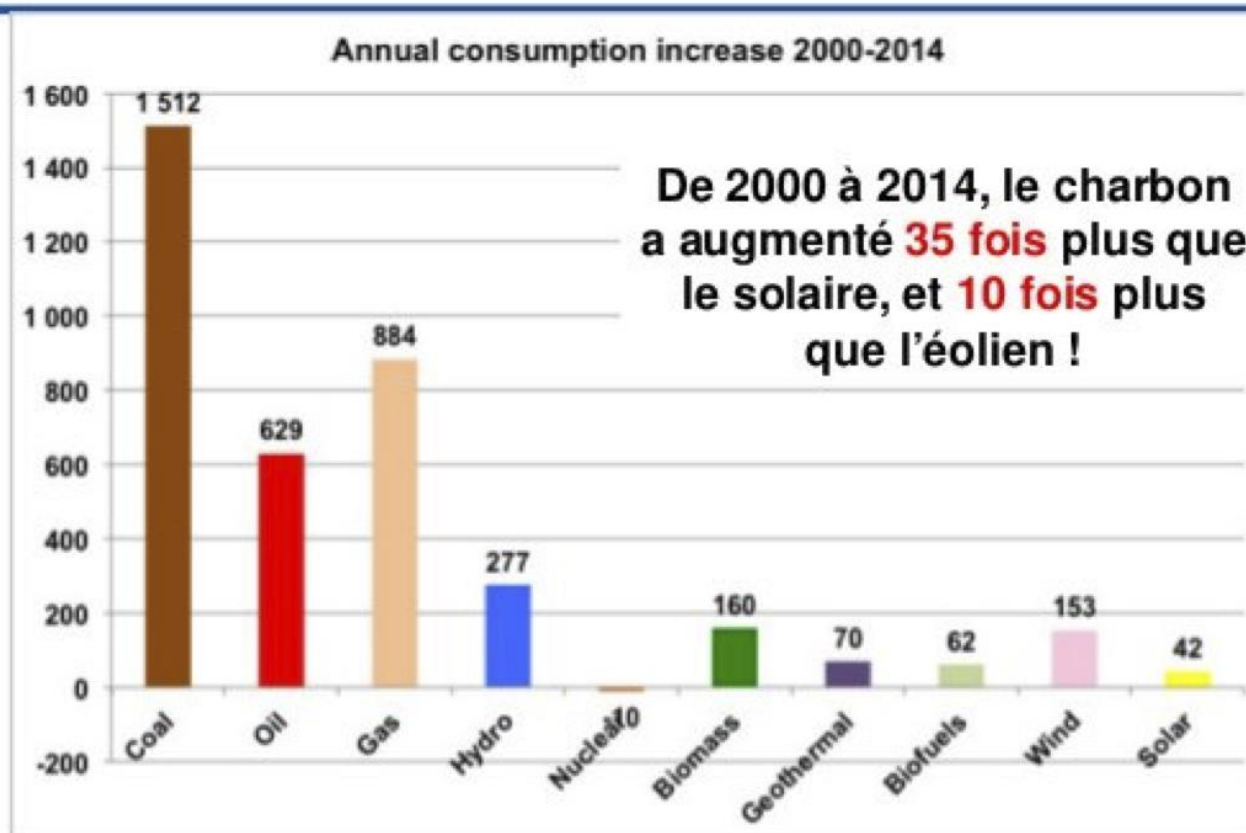


© Global Carbon Project • Data: CDIAC/UNFCCC/BP/USGS

# Consommation mondiale d'énergie primaire



## En route vers le tout renouvelable !



Surplus de consommation mondiale par énergie entre 2000 et 2014. Jancovici, sur données BP Statistical Review 2015 & divers

# Stocks/flux

**Energies de stock** (épuisables) : pétrole, gaz, charbon, nucléaire

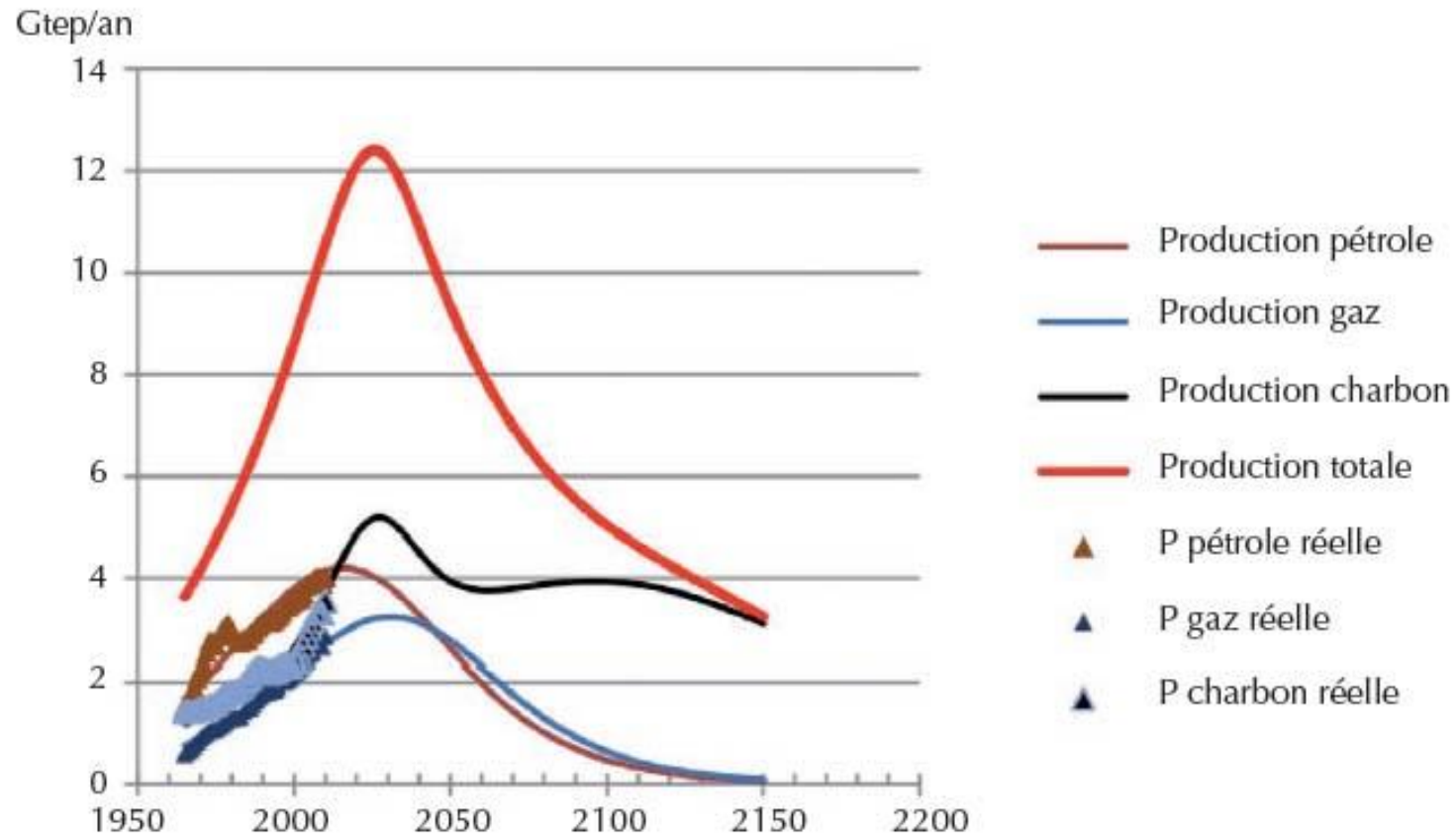
**Energies de flux** : solaire, éolien, hydraulique, géothermie, biomasse, marine

Energie de stock : évaluation des réserves/ressources, échelles de temps de leur épuisement, taux d'extraction annuel, nuances (?) entre géologues et politiques/économistes

Energie de flux : quel flux annuel peut-on mettre en œuvre, techniquement et économiquement ? Est-ce vraiment renouvelable ?

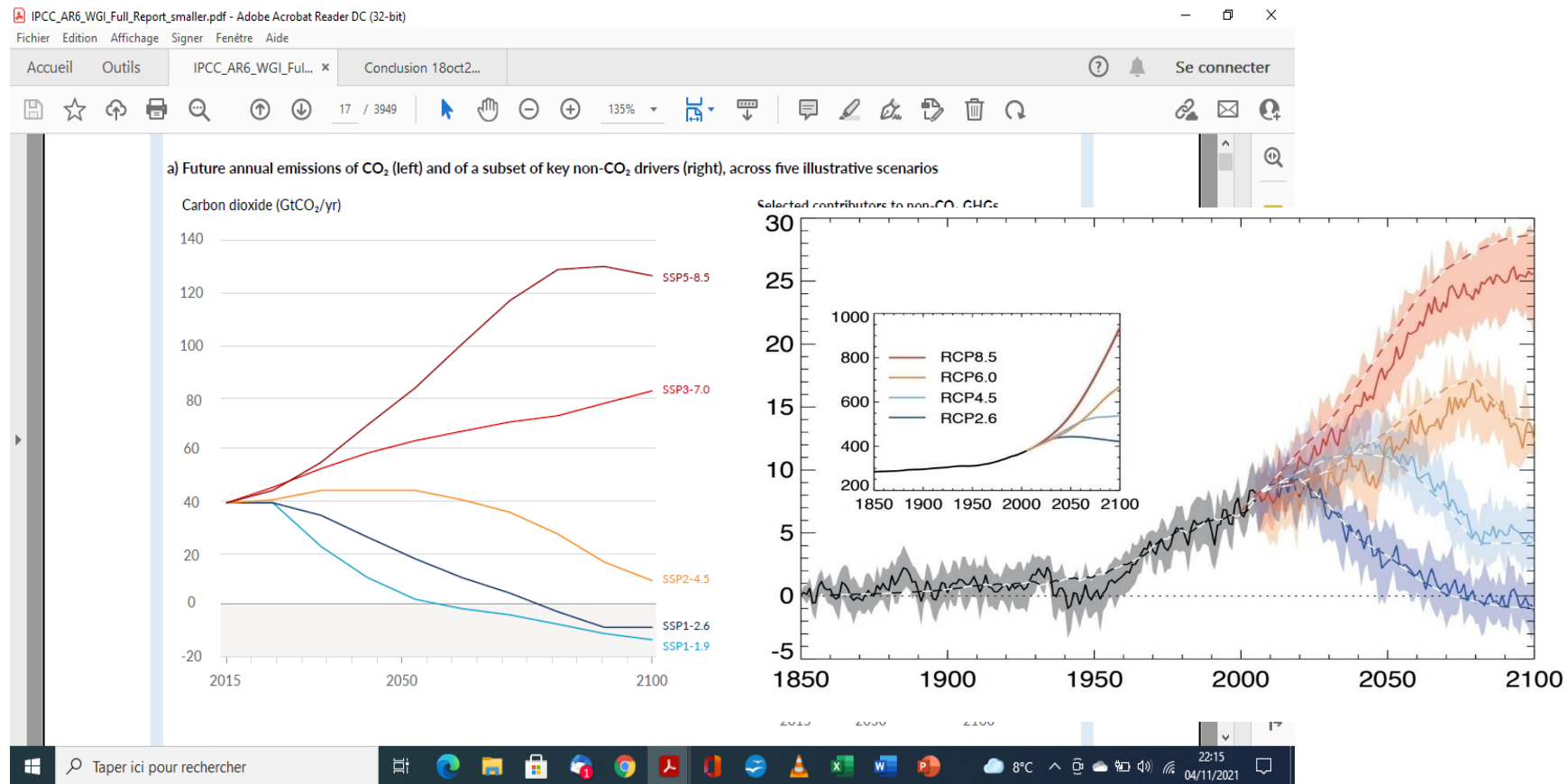
# Production annuelle de fossiles, données réelles et modèle d'Hubbert

900 Gtep charbon, 400 Gtep pétrole, 300 Gtep gaz



# Les scénarios du pire ne sont pas inévitables : bonne nouvelle ?

## Retour sur les trajectoires d'émissions



# Emissions de CO<sub>2</sub> associées aux réserves estimées (modèle d'Hubbert)

900 Gtep charbon, 400 Gtep pétrole, 300 Gtep gaz

Charbon : 4,1 tCO<sub>2</sub>/tep Pétrole : 3,1 tCO<sub>2</sub>/tep Gaz : 2,4 tCO<sub>2</sub>/tep

