

## Tour d'horizon sur les grands problèmes actuels en matière de climat et d'énergie

1. Pourquoi le CO<sub>2</sub> est-il au centre des problèmes climatiques actuels ?
2. Qu'est-ce qu'on sait au sujet des conséquences dues à nos rejets de CO<sub>2</sub> ?
3. La question de nos rejets de gaz carbonique est du domaine de la gestion des risques !

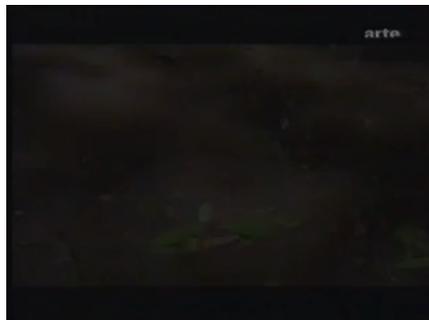
### 1<sup>ère</sup> partie : Pourquoi le CO<sub>2</sub> est-il au centre des problèmes climatiques actuels ?

Pour tout d'abord, le climat qu'est-ce que c'est ?

Le moteur du climat, c'est l'énergie solaire qui arrive sur la Terre.

Cette énergie chauffe la surface de la Terre de façon très inégale en fonction de la couverture nuageuse, de la latitude et de l'albedo.

Ce sont les différences de température entre l'air et le sol et entre l'air et la surface des océans qui sont à l'origine de tous les mouvements des masses d'air, des variations de pression et de l'évaporation de l'eau.



Extraits tirés d'un documentaire d'Yves Billy : « Luft Verschmutzung zu verkaufen »  
Documentaire présenté au cours de l'émission Thema diffusée sur Arte le 3 mai 2005

## Le climat : une question de bilan de l'énergie rayonnante !

- La Terre serait en équilibre thermique si le rayonnement entrant était égal au rayonnement sortant



[http://cm1cm2.ceyreste.free.fr/univers\\_fichiers/terre.jpg](http://cm1cm2.ceyreste.free.fr/univers_fichiers/terre.jpg)

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Les phénomènes qui perturbent l'équilibre :

- Les 2 flux d'énergie rayonnante doivent s'équilibrer, sinon la Terre chauffe ou refroidit.
- L'atmosphère agit sur le flux entrant.
- La nature du sol agit sur le flux entrant.
- Les nuages agissent sur le flux entrant et sur le flux sortant.
- L'intensité du rayonnement solaire entrant varie.

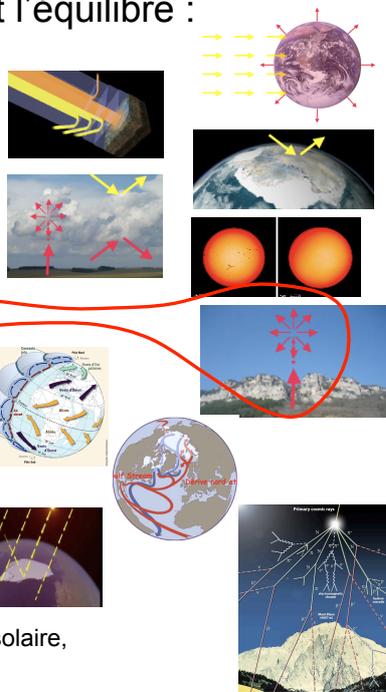
**Les gaz à effet de serre agissent sur le flux sortant.**

L'atmosphère redistribue la chaleur et a un effet indirect (échanges H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> avec océans + formation des nuages)

Les océans redistribuent la chaleur et ont un effet indirect (échanges H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> avec atmosphère)

Les boucles de rétroaction positives et négatives compliquent tout.

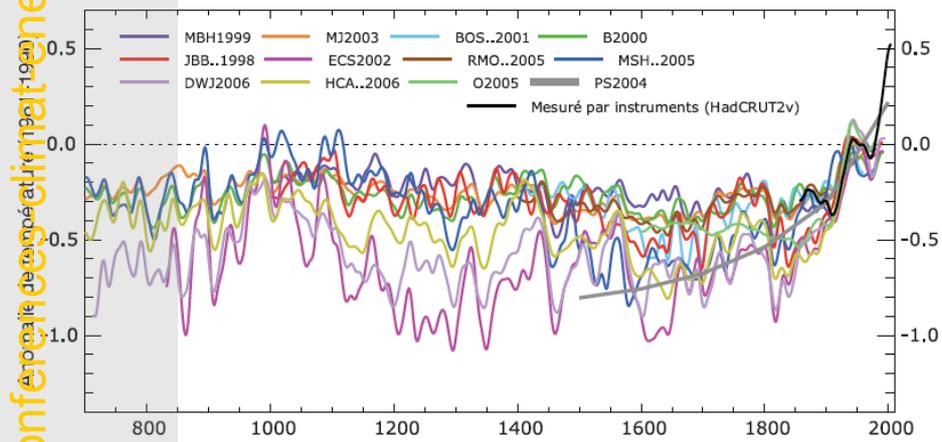
Et on soupçonne que les rayons cosmiques, qui eux-mêmes dépendent du flux solaire, influencent la formation des nuages !



Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## L'évolution des températures au cours du dernier millénaire

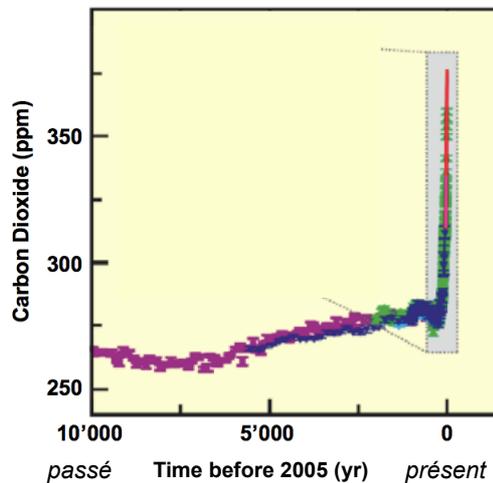
### RECONSTITUTIONS DES TEMPÉRATURES DE L'HÉMISPHERE NORD



[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/tssts-3-5.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/tssts-3-5.html)

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Le CO<sub>2</sub> a considérablement augmenté au cours des 2 derniers siècles !



Source : IPCC, Working Group I: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/figure-spm-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-spm-1.html)

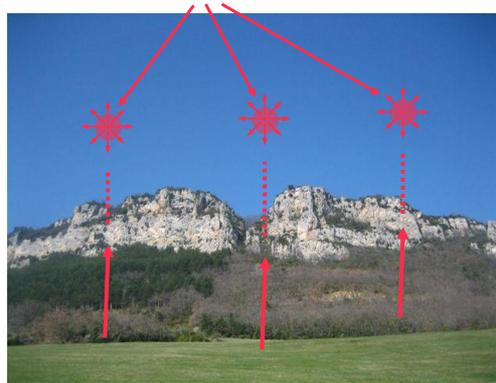
Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Qu'est-ce que l'effet de serre ?

- L'atmosphère est transparente à la lumière visible, mais partiellement transparente aux rayons infrarouges !  
Les molécules des gaz à effet de serre absorbent les photons des rayons infrarouges.

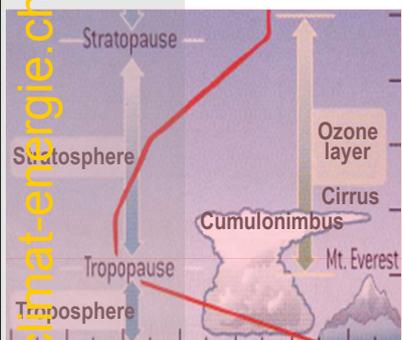
Et maintenant la question est :

« Que devient l'énergie qui est absorbée par ces molécules ? »



Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

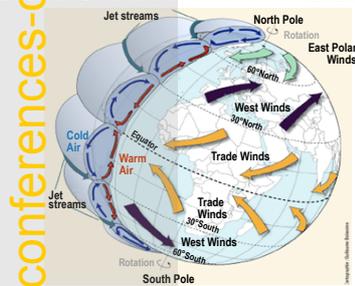
## Comment fonctionne l'effet de serre ?



L'énergie infrarouge est absorbée puis **réémise sous forme d'énergie infrarouge**.

Cette réémission se fait dans toutes les directions, donc aussi vers le bas !

L'énergie infrarouge est absorbée et **convertie en chaleur**



« Et que devient cette chaleur ? »

Au sein de la troposphère, il y a de grandes cellules de convection qui transfèrent une partie de cette chaleur vers le sol, ainsi que vers les hautes latitudes en direction des pôles.

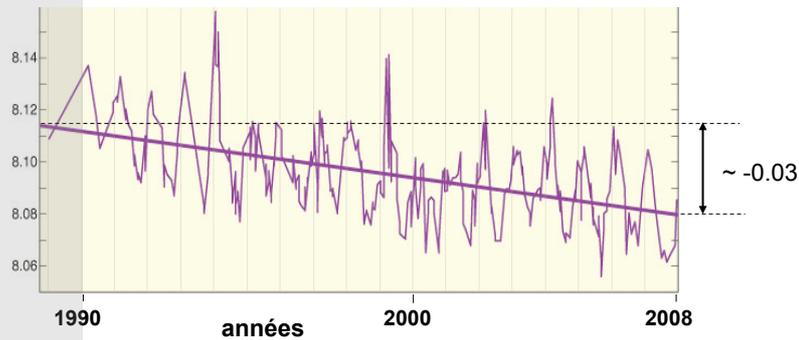
<http://www.sauvonsleclimat.org/new/spip/spip.php?auteur32>

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Il y a un second problème avec le CO<sub>2</sub> : c'est l'acidification des océans !

- Une partie du gaz carbonique présent dans l'atmosphère se dissout dans les eaux de surface des océans.
- Cette dissolution entraîne une augmentation de l'acidité des eaux. (rappel : lorsque le pH décroît, le niveau d'acidité augmente).

pH de l'eau de surface des océans (station Aloha située dans le centre de l'océan pacifique nord)



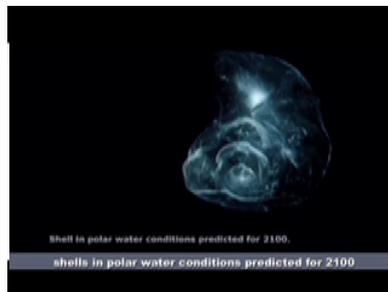
<http://www.ocean-acidification.net/>  
<http://scentofpine.org/gw101-4/>

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Cette augmentation de l'acidité des eaux est un problème très sérieux !

- Lorsque l'acidité augmente, la concentration en ions carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) diminue.
- Cela pourrait avoir de graves conséquences sur les coquilles de certains organismes marins, qui contiennent de l'aragonite (le calcaire CaCO<sub>3</sub> a 2 formes cristallines l'aragonite et la calcite) !
- Et si la concentration des ions CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> devient inférieure à **66 µmoles par kg**, l'eau n'est plus saturée en aragonite et celle-ci devient soluble dans l'eau.
- Or l'aragonite se trouve dans les coquilles de la plupart des mollusques et des ptéropodes (sorte de petits escargots planctoniques).

Exemple : Le ptéropode *Limacina helicina* vivant en Arctique- nourriture pour baleine (taille environ 1 cm)

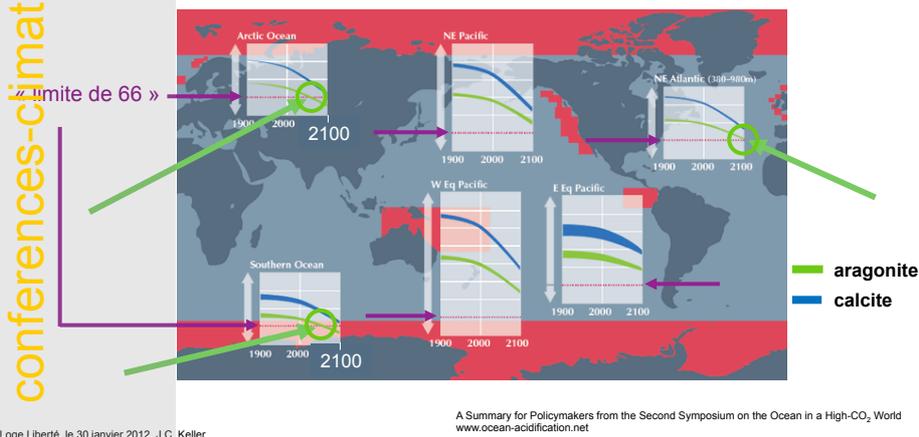


Source: ACID TEST, the global challenge of ocean acidification, A Naturel Resources Defence Council Production

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

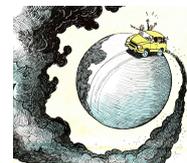
## Les prédictions de l'acidification pour le 21<sup>ème</sup> siècle

- Si le niveau d'acidité continue à augmenter au rythme actuel, la limite de 66  $\mu\text{moles/kg}$  sera atteinte avant la fin du 21<sup>ème</sup> siècle.
- Et cela pourrait causer la disparition des ptéropodes.
- Cette disparition pourrait avoir des conséquences dramatiques pour tous les animaux qui se nourrissent de ces micros-organismes (certaines espèces de zooplancton, saumons, harengs, maquereaux, baleines, etc.).

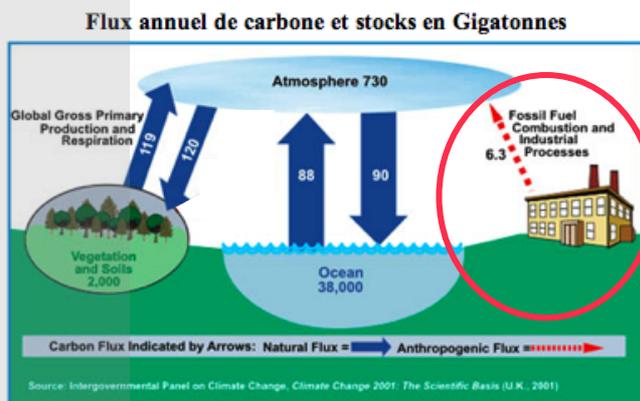


Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## 2<sup>ème</sup> partie : Qu'est-ce qu'on sait au sujet des conséquences dues à nos rejets de CO<sub>2</sub> ?



La quantité de nos rejets de CO<sub>2</sub> est très importante !



L'humanité injecte entre 6 et 7 Gigatonnes d'équivalent carbone dans l'atmosphère chaque année (dont la moitié est « fixée » par la photosynthèse).

Source : <http://earthtrends.wri.org/updates/node/245>

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Les conséquences du réchauffement climatique

- La diminution des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère est un des grands enjeux planétaires du XXI<sup>ème</sup> siècle !



Extraits tirés d'un documentaire de Mark Verkerk : « Climat, agir sans attendre »  
Documentaire présenté au cours de l'émission Thema diffusée sur Arte le 3 mai 2005

## Les conséquences du réchauffement climatique

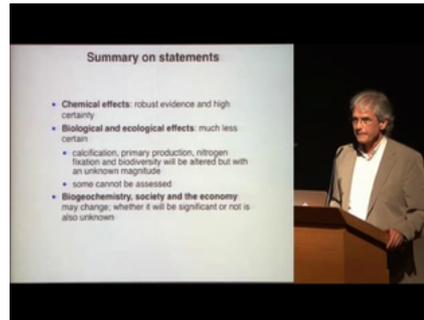
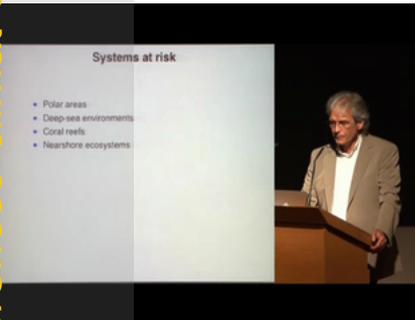
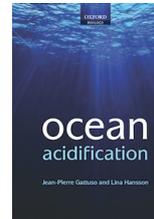
- Au cours de ces 100 dernières années, on a pu observer des changements dus au réchauffement climatique.



Extraits du document « Quel avenir pour la Terre? » diffusé sur  
Planète le 22 avril 2007 (HBO® Original Programming).

## Écoutons un spécialiste !

Jean-Pierre Gattuso est directeur de recherche au laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer. Il vient de publier, avec Lina Hansson, un livre sur l'acidification des océans.



Extrait d'une conférence donnée par Jean-Pierre Gattuso dans le cadre d'un séminaire organisé par la chaire du collège de France "Evolution du climat et de l'océan", le 27 mai 2011 à Paris

Téléchargeable sur :

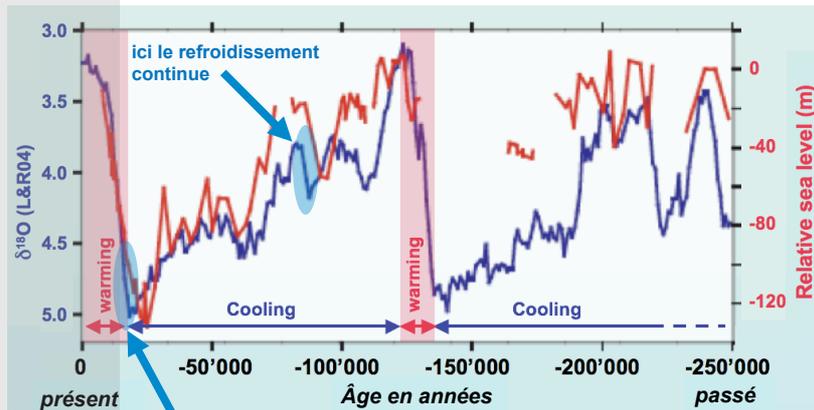
[http://www.college-de-france.fr/default/EN/all/evo\\_cli/Seminaire\\_du\\_27\\_mai\\_2011\\_Lo\\_4.htm](http://www.college-de-france.fr/default/EN/all/evo_cli/Seminaire_du_27_mai_2011_Lo_4.htm)

## Que peut-on apprendre du passé ?

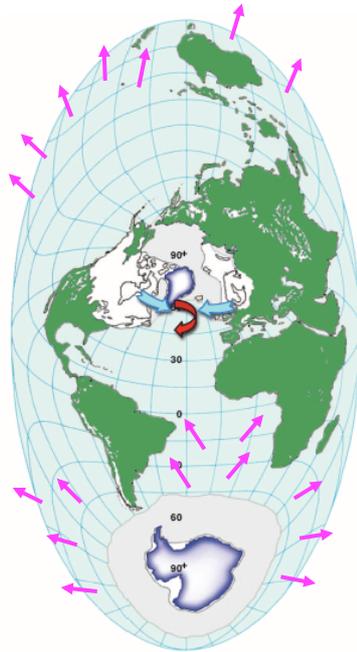
Dans le passé, l'effet de serre a joué un rôle primordial durant les périodes de réchauffement !

La courbe bleue représente les températures

La courbe rouge représente le niveau des océans



Reference: The Last Glaciation Termination  
G.H. Denton, and al.  
Science 328, 1652 (2010)



- De grandes quantités de gaz carbonique dissout dans les eaux sont relâchées dans l'atmosphère.
- Cela entraîne une augmentation importante des températures par effet de serre.

Reference :  
**The Last Glaciation Termination**  
 G.H. Denton, and al.  
 Science 328, 1652 (2010);  
 DOI: 10.1126/Science.1184119

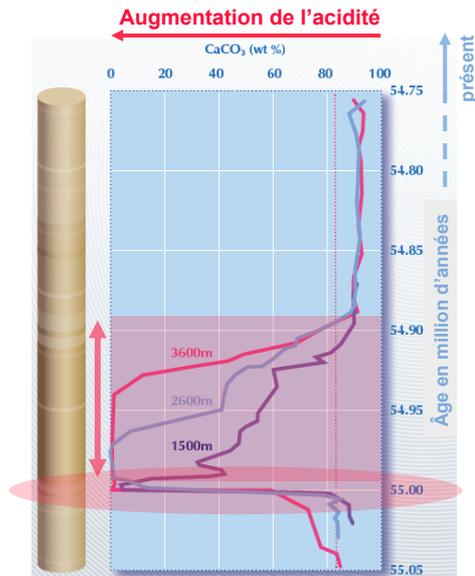
Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Que peut-on apprendre du passé ?

- Il y a 55 millions d'années, le niveau d'acidité des eaux a augmenté très rapidement (en quelques centaines d'années seulement).
- Plus de 100'000 ans ont été nécessaires pour retrouver les conditions antérieures.

avec pour résultat :

**la dernière extinction massive d'espèces vivantes !**



A Summary for Policymakers from the Second Symposium on the Ocean in a High-CO<sub>2</sub> World  
[www.ocean-acidification.net](http://www.ocean-acidification.net)

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

### 3<sup>ème</sup> partie : La question de nos rejets de CO<sub>2</sub> est du domaine de la gestion des risques !

Dans toute situation, où il y a un risque avec des conséquences très importantes, mais sans capacité de pouvoir les connaître exactement, à titre individuel chacun est prêt à payer pour une assurance risque !

Assurance incendie



Assurance maladie



Assurance vol



Assurance voyage



ou encore juridique, responsabilité civile, etc ...

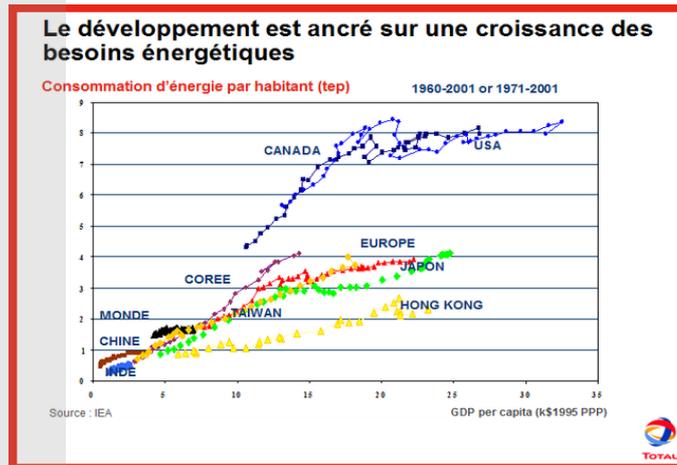
Pour s'assurer contre le risque de dérèglement climatique :

**Quel prix  
les nations sont-elles prêtes à payer ?**

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

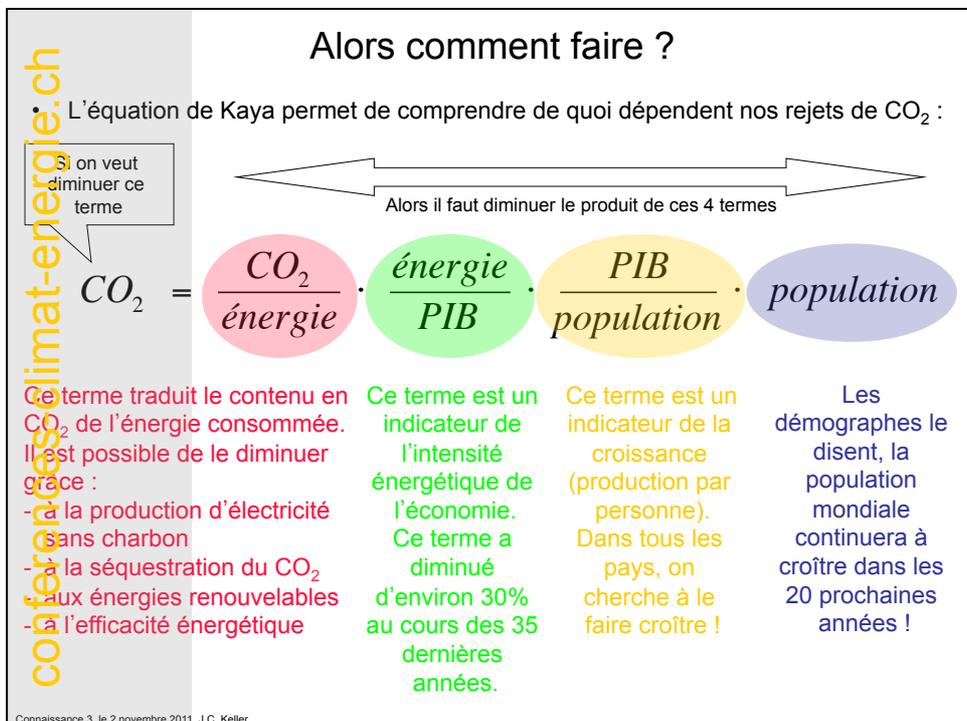
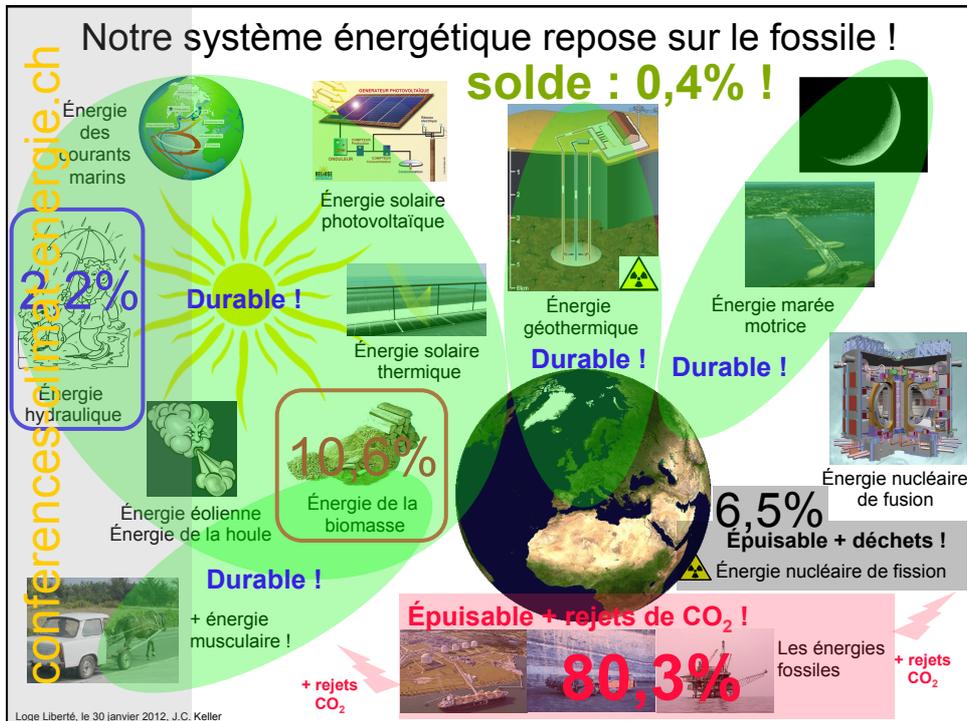
### Peut-on faire et doit-on faire quelque chose ?

- Nous avons besoin d'énergie !



Source : conférence donnée à Lyon le 24 février 2010 par J.F Minster, directeur scientifique chez Total <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-energies-futur-JF-Minster.xml>

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller



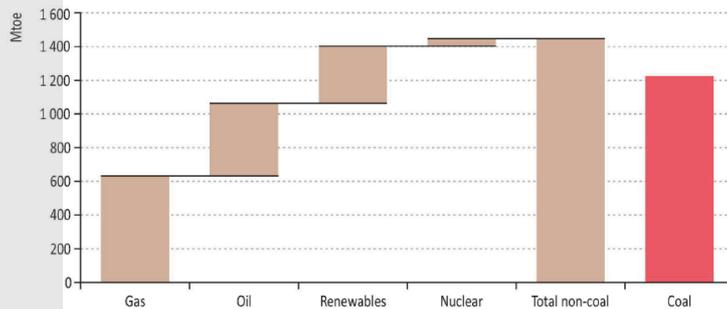
Augmentation de la consommation cumulée sur 10 ans (de 2000 à 2010)

## Le charbon un sacré problème !

*Coal won the energy race in the first decade of the 21<sup>st</sup> century*

**WORLD ENERGY OUTLOOK 2011**

Figure 10.1: Incremental world primary energy demand by fuel, 2000-2010



*Coal accounted for nearly half of the increase in global energy use over the past decade, with the bulk of the growth coming from the power sector in emerging economies*

© OECD/IEA 2011

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

Source : AIE Outlook 2011

## Les stratégies proposées par l'AIE

- Différents scénarios de demande annuelle d'énergie.



Demande mondiale actuelle : 12 300 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep)

Il y a eu une croissance de 2% par an pendant les 27 dernières années



Scénario 450 : demande en 2035 : 14 866 Mtep

Scénario +2°C correspond à une croissance de la demande de 0,7% par an



Scénario Nouvelles politiques : demande en 2035 : 16 700 Mtep

Scénario +3,5°C correspond à une croissance de la demande de 1,2% par an



Scénario Politiques Actuelles : demande en 2035 : 17 433 Mtep

Scénario > 4°C correspond à une croissance de la demande de 1,4% par an

[http://www.iea.org/weo/docs/weo2010/weo2010\\_es\\_french.pdf](http://www.iea.org/weo/docs/weo2010/weo2010_es_french.pdf)

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

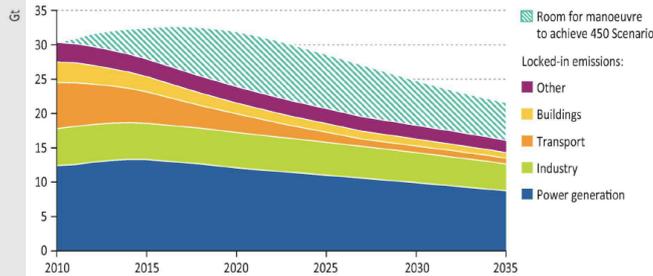
## Le scénario 450 ppm exige des mesures immédiates !

- L'objectif de 450 ppm permettrait de limiter le réchauffement à 2°C

*The door to 2°C is closing, but will we be "locked-in" ?*

**WORLD ENERGY OUTLOOK 2011**

Figure 6.12: World energy-related CO<sub>2</sub> emissions from locked-in infrastructure in 2010 and room for manoeuvre to achieve the 450 Scenario



*Without further action, by 2017 all CO<sub>2</sub> emissions permitted in the 450 Scenario will be "locked-in" by existing power plants, factories, buildings, etc*

© OECD/IEA 2011

Source : rapport World Energy Outlook 2011, OCDE / AIE, <http://www.iea.org/>

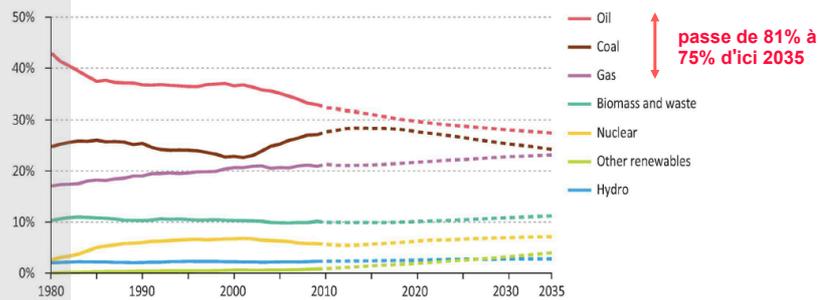
Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Le scénario « Nouvelles politiques »

*Natural gas & renewables become increasingly important*

**WORLD ENERGY OUTLOOK 2011**

Figure 2.7: Shares of energy sources in world primary energy demand in the New Policies Scenario



↑ passe de 81% à 75% d'ici 2035

*Global primary energy demand grows by 40% between 2009 & 2035, oil remains the leading fuel though natural gas demand rises the most in absolute terms*

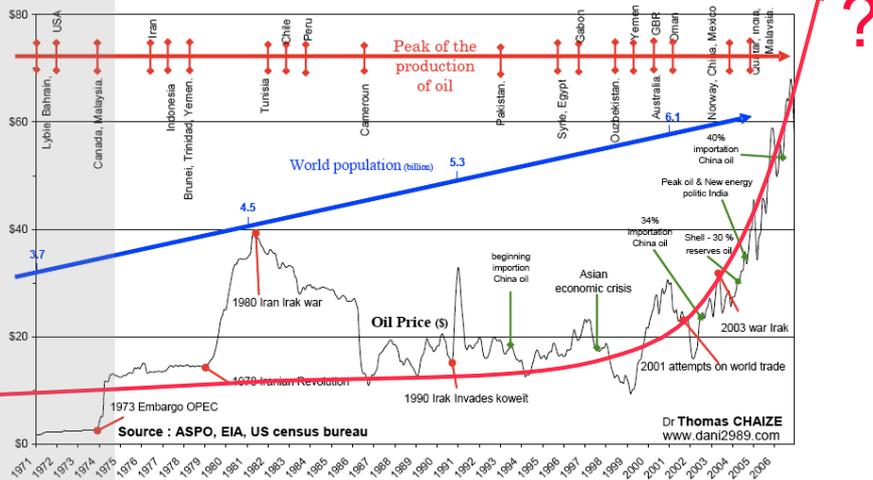
© OECD/IEA 2011

Source : rapport World Energy Outlook 2011, OCDE / AIE, <http://www.iea.org/>

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Il n'y a pas que des risques climatiques !

Les pics de production, l'augmentation de la demande et les tensions politiques entraînent une montée des prix ! Être ambitieux dans la diminution de nos rejets de CO<sub>2</sub>, cela permet aussi de se protéger contre un risque économique !



ASPO : Association for the Study of Peak Oil&Gas  
<http://www.peakoil.net/>

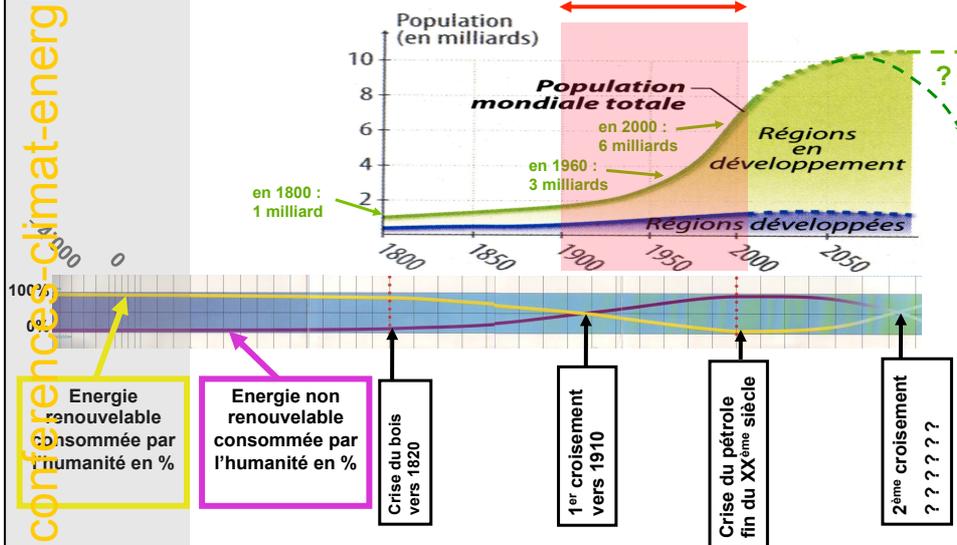
téléchargeable à : <http://www.dani2989.com/pdf/oilpoppeak.pdf>

Article : <http://www.dani2989.com/matiere1/oilpopulationprod26112006gb.htm>

Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

## Préparer le 2<sup>ème</sup> croisement : le défi du XXI<sup>ème</sup> siècle !

Entre 1900 et 2000, la consommation d'énergie moyenne par habitant a été multipliée environ par 5 ! Donc la pression de l'homme sur son environnement a été multipliée environ par 15 !!



Loge Liberté, le 30 janvier 2012, J.C. Keller

image de base tirée de : « évolution des énergies », document d'ELECTRICITE ROMANDE, édition 1996

« Nous vivons une époque aux défis extraordinaires -  
une époque où nous avons appris à marcher sur la lune,  
mais pas encore à marcher sur la Terre »

William S. Becker

Colorado Energy Research Institute at the Colorado School of Mines



Extrait du film documentaire « Nous resterons sur  
Terre », d'Olivier Bourgeois et de Pierre Barougier



Je vous remercie pour votre attention !

« Lever de Terre » observé depuis une orbite lunaire,  
photographié le 29/12/68 par Apollo 8, NASA