

*Le temps qui passe*

La bonne compréhension du « temps qui passe » va nous permettre de mettre en évidence ce qu'il va falloir faire en ce qui concerne notre transition énergétique. Ceci dans de nombreux domaines. Qui plus est en nous permettant de comprendre ce qui nous attend si nous ne faisons rien,



- tout d'abord dans le domaine de la consommation de l'énergie thermique dès lors que l'on prend en compte la chaleur spécifique des matériaux. Ceci pour une base de temps allant d'une fraction de seconde avec la douche à quelque 10 minutes pour le bain et pouvant atteindre une cinquantaine d'heures pour le système formé par un immeuble (ou une maison) et sa chaufferie.
- puis dans le domaine de la production d'énergie qu'il va falloir assurer pour satisfaire le besoin en permanence malgré les mouvements de la terre par rapport au soleil. Ceci dans un premier temps pour une base de temps de 12 h correspondant à l'alternance jour-nuit de la production solaire en raison de la rotation de la terre sur son axe. Puis dans un deuxième temps une base de temps de 8760h résultant cette fois de l'alternance été hiver résultant de la rotation de la terre autour du Soleil
- le temps qui passe c'est aussi le constat que les produits fossiles sont par nature non-renouvelable et qu'au rythme de consommation actuel c'est l'épuisement des ressources dans environ 10 ans avec la nécessité d'assurer notre besoin avec des chaînes énergétiques moins énergivores que les chaînes actuelles avant cette échéance
- le temps qui passe c'est enfin en raison des gaz à effet de serre générés par la combustion des produits fossiles le constat que même si nous arrêtons immédiatement la combustion de ces produits, c'est sensiblement +2° C par rapport à l'ère préindustrielle qui nous attend dans une centaine d'années.

# *Le temps et l'énergie*

L'énergie  $W$  est égale à la puissance  $P$  que multiplie le temps  $t$   
 $W = P t$  Si l'on exprime la puissance en kilowatt (kW) et le  
temps en heures l'énergie s'exprime en kilowattheure (kWh).



S'il faut par exemple 35 kW pour chauffer une maison en hiver l'énergie consommée en  
une journée de 24h est de  $W = P t = 35 \times 24 = 840$  kWh

On verra par la suite en étudiant la chaleur spécifique de l'eau qu'il faut 1,16 kWh pour  
augmenter un mètre cube d'eau de 1 degrés centigrade. Cela signifie que si l'on se fait  
couler un bain de 0,2 mètre cube à la température de  $35^{\circ}$  en utilisant une résistance  
électrique pour élever de  $25^{\circ}$  la température de l'eau froide initialement à  $10^{\circ}$ , il faut  
une quantité d'énergie électrique égale à  $1,16 \times 0,2 \times 25 = 5,8$  kWh. Cela signifiant  
également que si l'on souhaite que son bain soit prêt en 10 min (0,166 heure) la  
puissance requise pour obtenir ce résultat est de  $P = W/t = 5,8 / 0,166 = 35$  kW et égale  
à celle qui est proche du niveau de puissance pour chauffer une maison mal isolé en  
hiver.

## *Le temps qui passe et le potentiel énergétique de l'eau*

Il n'est pas possible de passer sous silence les 2 pages qui suivent sur *le temps qui passe*. Ceci en raison de leurs importances. Elles font en effet intervenir à la fois les notions de *temps* et de [potential énergétique des corps](#).

La puissance et l'énergie sont en effet deux notions proches l'une de l'autre .

La deuxième, l'énergie, est dépendante de la première et d'un 3ème paramètre: le temps qui passe.

- La première formule  $W = P t$  associe la puissance, l'énergie et le temps qui passe
- Les deux formules qui associent la notion de potentiel thermique de l'eau à la fin du chapitre 2 (1,16 kWh /m<sup>3</sup> et ° C)

# Le bain en... 10 mn



L'énergie  $W$  est égale à la puissance  $P$  que multiplie le temps  $t$  :  $W = P t$

Si l'on exprime la puissance  $P$  en kilowatt (kW) et le temps  $t$  en heures

l'énergie  $W$  s'exprime en kilowattheure (kWh)

S'il faut par exemple 30 kW pour chauffer une maison au plus froid de l'hiver,

l'énergie consommée en une journée de 24h est alors est égale à  $P t = 30 \times 24 = 720$  kWh

## L'ECS

Compte tenu de la chaleur spécifique de l'eau, il faut sensiblement\* un kWh pour augmenter un m<sup>3</sup> d'eau de 1 degré. (Voir page 32).

Cela signifie qu'il faut une quantité d'énergie égale à  $0,2 \times 25 = 5$  kWh si l'on se fait couler un bain de 0,2 m<sup>3</sup> à la température de 35 degrés en utilisant une résistance électrique pour élever de 25 degrés la température de l'eau froide initialement à 10 degrés. Cela signifiant également que si l'on souhaite que son bain soit prêt en 10 min (0,166 heure), la puissance thermique requise pour obtenir ce résultat est de  $P = W / t = 5 / 0,166 = 30$  kW et est égale à celle qui est nécessaire pour chauffer la maison au plus froid de l'hiver.

Ces chiffres signifiant que si l'on utilise une pompe à chaleur ayant un coefficient de performance (COP) de 5 pour produire l'eau chaude sanitaire et chauffer la maison en coupant le chauffage pendant 10 mn, la chute de température dans la maison n'est pas significative compte tenu de la constante de temps thermique du système logement-chaufferie voisine de plusieurs dizaines d'heures et l'énergie électrique requise pour assurer la fourniture de l'eau chaude du bain et le chauffage est limitée à  $720/5 = 145$  kWh\*\* la différence de 580 kWh étant prélevée dans l'environnement. Une fois installée, un tel dispositif de chauffage est capable d'assurer le besoin chauffage plus fourniture de l'eau chaude sanitaire dans les meilleures conditions sans faire appel au [solaire thermique](#).

\* En fait 1,16 kWh

\*\* Le besoin en électricité est nettement plus faible qu'avec la chaîne énergétiques existante du type effet joule. Ce qui réduit d'autant le besoin en stockage électrique. Un travail d'équipe guidé par la réflexion individuelle de quelques individus d'exception, des connaissances approfondis en électronique et en programmation vont être nécessaire pour assurer le besoin en période hivernale probablement au travers d'un compromis géothermie profonde, électrolyse de l'hydrogène



# *Le temps et la vitesse*

La vitesse  $V$  est la distance  $L$  que divise le temps  $t$  mis pour parcourir cette distance.

$$V = L / t$$

Si l'on exprime la distance en mètres (m) et le temps en secondes la vitesse s'exprime mètres par seconde m/s.

Les flux d'informations électrique de la ["toile mondiale internet"](#) circulent dans les conduits sous-marins à la vitesse de la lumière (200 000 km/s).

Cela signifie qu'il faut environ 30 millisecondes pour qu'une information émise de New York vers Paris distant de 5836 km parvienne à sa destination.

Il est regrettable que l'on ne puisse, en raison des pertes de puissance en ligne transporter l'énergie thermique contenue dans l'eau de la même façon sur de grandes distances. En effet en abaissant la température du fleuve Amazonie de 10 degrés centigrade à son embouchure, c'est avec son débit moyen de 200 000 m<sup>3</sup>/s et vu que nous sommes maintenant environ 8 milliards sur notre planète, un flux thermique de 1 kW qui serait disponible en hiver pour chauffer chacun d'entre nous.



*L'âge est le temps qui nous sépare de notre date de naissance*

## *L'alternance jour-nuit... 12 h*



L'alternance jour-nuit de la production solaire en raison de la rotation de la terre est de 12 h  
En raison de leur capacité à stocker l'électricité, les batteries pourraient bien malgré leur poids, devenir les composants électriques de demain pour assurer le besoin en électricité. Ceci pour les petites quantités d'énergie. Elles pourraient en palliant principalement à l'alternance jour-nuit de la production solaire dû à la rotation de la terre assurer notre besoin. Ceci préférentiellement au bio-gaz. Leur apparition dans les voitures hybrides rechargeable pourraient bien être le catalyseur de leur développement pour participer à l'alimentation du compresseur des pompes à chaleur dans l'habitat



[Bio-gaz](#) ? 30 kg de paille = 10 kWh elec

Le [bio-pétrole](#) à l'espagnole ?



## *L'alternance été-hiver..... 8760 h*



Est-t-il besoin de rappeler que l'alternance été-hiver de la production solaire en raison de la rotation de la terre autour du soleil est de 8760 h.

Pendant la période estivale la production est supérieure au besoin alors qu'elle est inférieure pendant la période hivernale. Il s'agit cette fois de quantités d'énergie très importantes

Dans l'état actuel des réalisations sur le plan mondial, les dispositifs de stockage de l'électricité pouvant emmagasiner les plus grosses quantités d'énergie sont à l'image de la [STEP française de Grandmaison](#) (*Figure 46*) les Station de Transfert d'Énergie par Pompage.

Ces STEP ayant des problèmes pour satisfaire le besoin sur le plan quantitatif, l'hydrogène et la pile à combustible pourrait bien, pour des raisons relevant de la protection de nos écosystèmes être les organes (*Figure 47*) qui vont se mettre en place dans les 2 décennies qui viennent pour solutionner le problème du stockage de masse de l'électricité.

# L'épuisement de nos ressources non renouvelables, 25 ans.

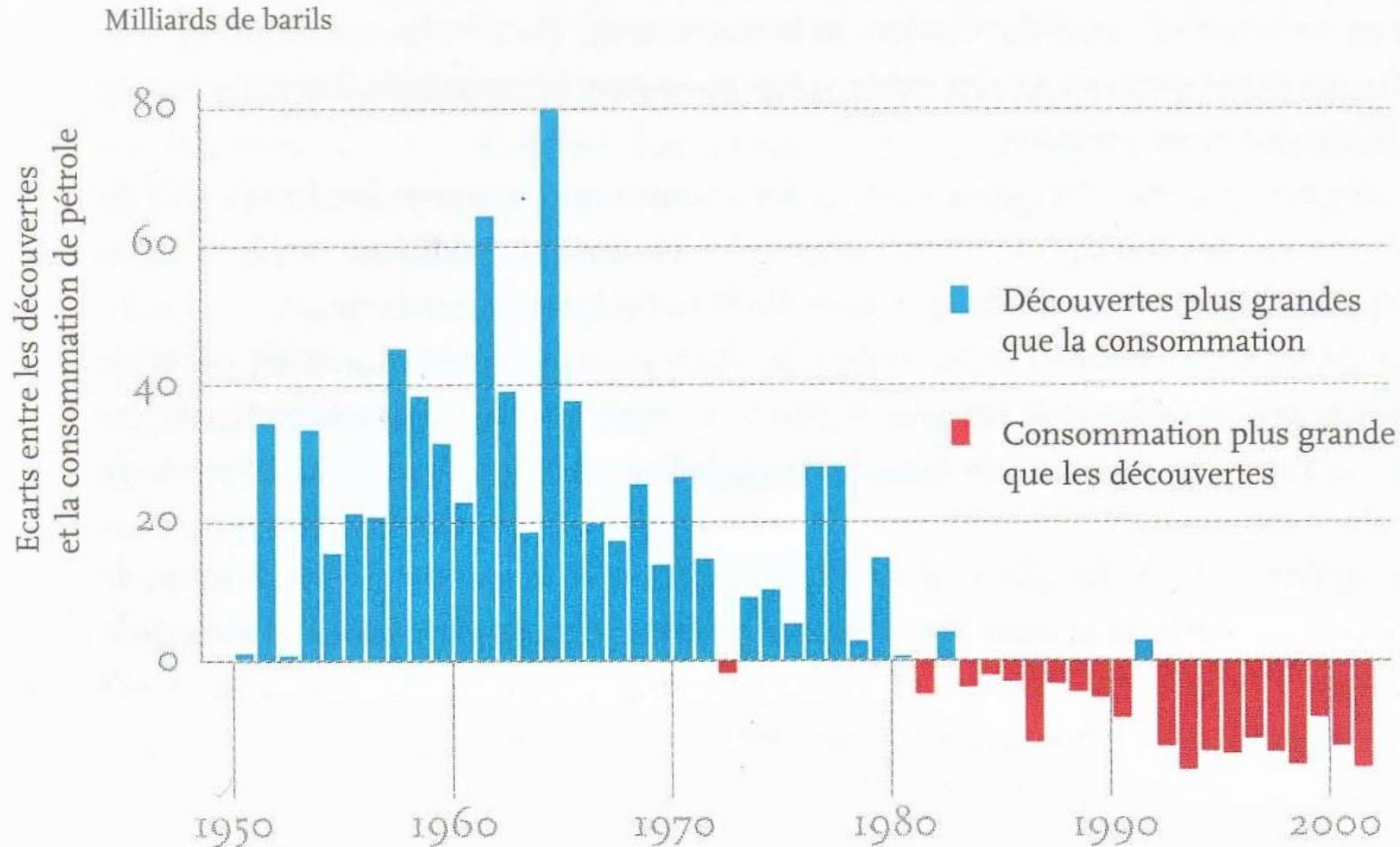


Figure 84

Le "pic pétrolier" est-il déjà derrière nous ?

[Selon l'OCDE](#)

## *Figure 84*

A l'échelle de la décennie c'est l'épuisement de nos ressources non renouvelable qui va devenir le paramètre essentiel. Ceci dans la mesure où il faudra bien satisfaire nos besoins en énergie autrement.

Concernant le pétrole et le gaz qui lui est associé on constate que les réserves sont en voie d'épuisement avec une consommation croissante et depuis 1985 des découvertes qui deviennent faibles en regard de la consommation. Cela au détriment des prix qui inévitablement augmentent lorsque la production devient inférieure au besoin.

# Le temps qui passe: 100 ans et les GES

La température sur terre augmente:  
avec la durée de vie du **CO2** dans l'atmosphère voisine de  
100 ans la machine est lancée !

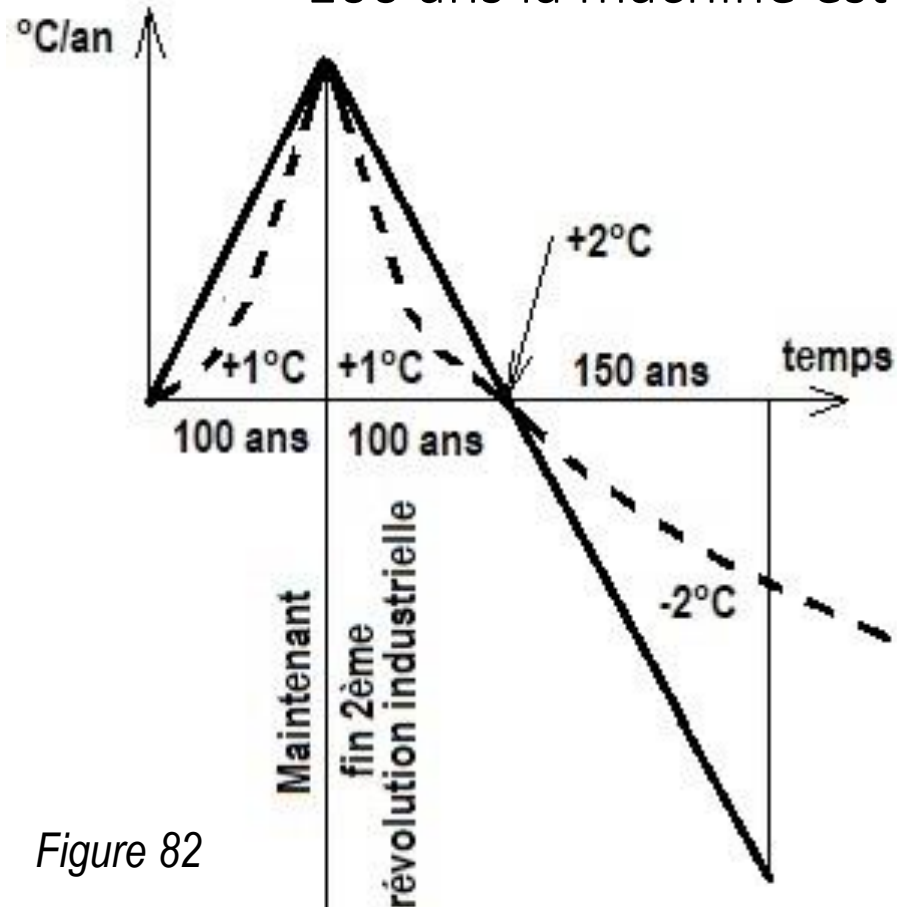


Figure 82

Quelques liens vers les Gaz à Effet de Serre (GES):

[Jancovici](#)

[WIKI](#)

[Les pompes à chaleur et leur environnement](#)

*La seule chose vraiment rare : le temps.*

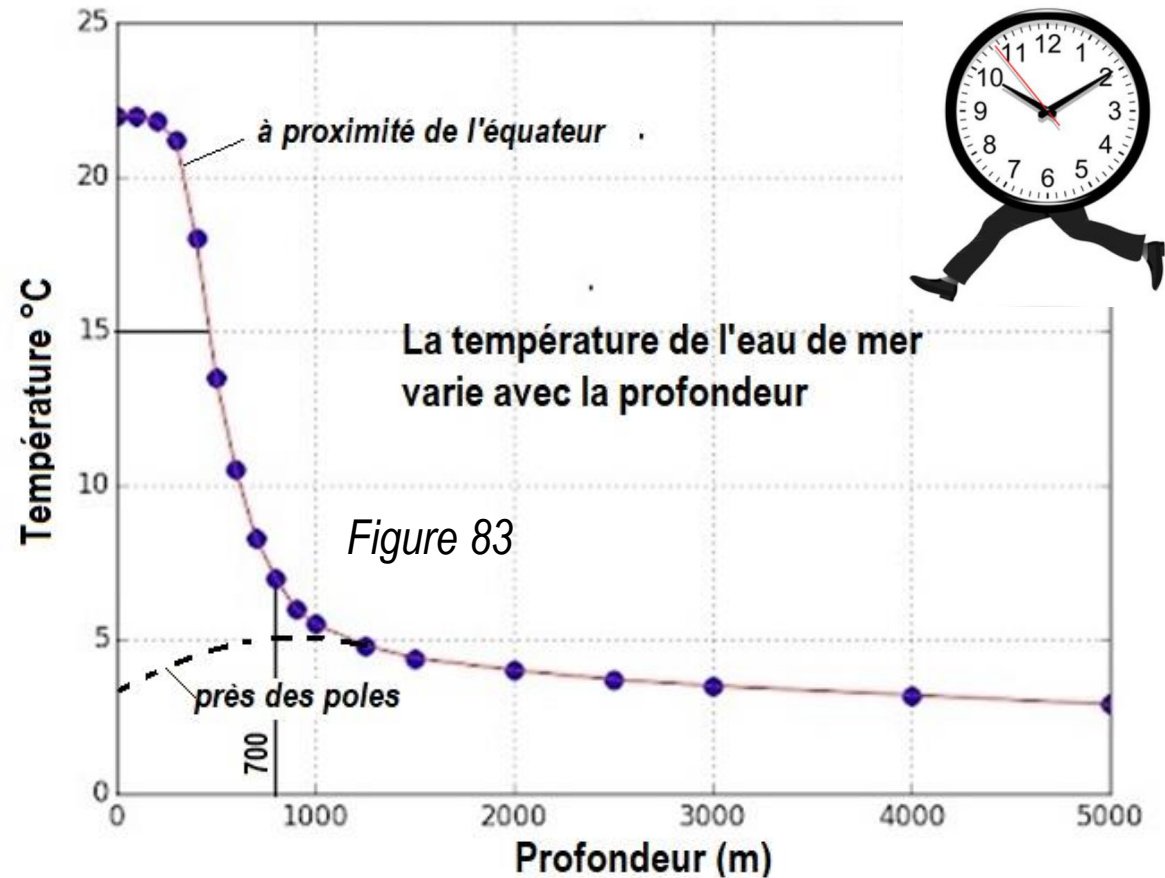
Jacques Attali

# Le temps qui passe...en siècles

## La montée des océans ?

Si l'on compare la quantité d'énergie thermique que l'homme émet sur terre pour assurer ses besoins à savoir 7 milliards d'habitants consommant en moyenne environ 20 000 kWh par habitant, à la quantité d'énergie thermique provenant du soleil reçue par les océans en une année de 8760 h compte tenu de leur surface (350 millions de km<sup>2</sup>) et de la puissance de radiation (0,3 kW/m<sup>2</sup>) à savoir :  $350\,000\,000 \times 1\,000\,000 \times 0,3 \times 8760$  kWh on s'aperçoit que ce que l'homme consomme est 6500 fois plus faible.

Une autre façon de raisonner, elle aussi rassurante, est le fait que si les 4 millions de km<sup>3</sup> de glace du Groenland (sa surface de 2 millions de km<sup>2</sup> que multiplie l'épaisseur moyenne de la glace) ~~temps qui passe~~ continuait à fondre au rythme annuel de 500 milliards de m<sup>3</sup> par an comme mentionné par Goodplanet, il y en a pour  $(4\,000\,000 \times 1\,000\,000\,000) / 500\,000\,000\,000 = 8\,000$  ans ceci dans la mesure où un million de km<sup>3</sup>, c'est un milliard de m<sup>3</sup>). En prenant connaissance de ce chiffre mettant en jeu une base de temps de plusieurs millénaires on ne peut que faire le rapprochement avec la [vidéo de Milutin Milankovic](#) traitant des mouvements relatifs de la terre par rapport au soleil. Quant aux 2 km d'épaisseur de glace emmagasinées sur les 2 millions de km<sup>2</sup> du Groenland, si toute cette glace fondaient complètement le niveau des mers monterait certes de quelque 11 m (le volume de glace que divise la surface des océans), on retrouve le niveau des océans devrait à nouveau monter de quelque 15 cm pendant le siècle qui vient. Ceci d'une façon comparable à ce qui s'est passé au XX<sup>ème</sup> siècle avec un niveau des océans qui se serait déjà élevé de quelque 17 cm pendant cette période



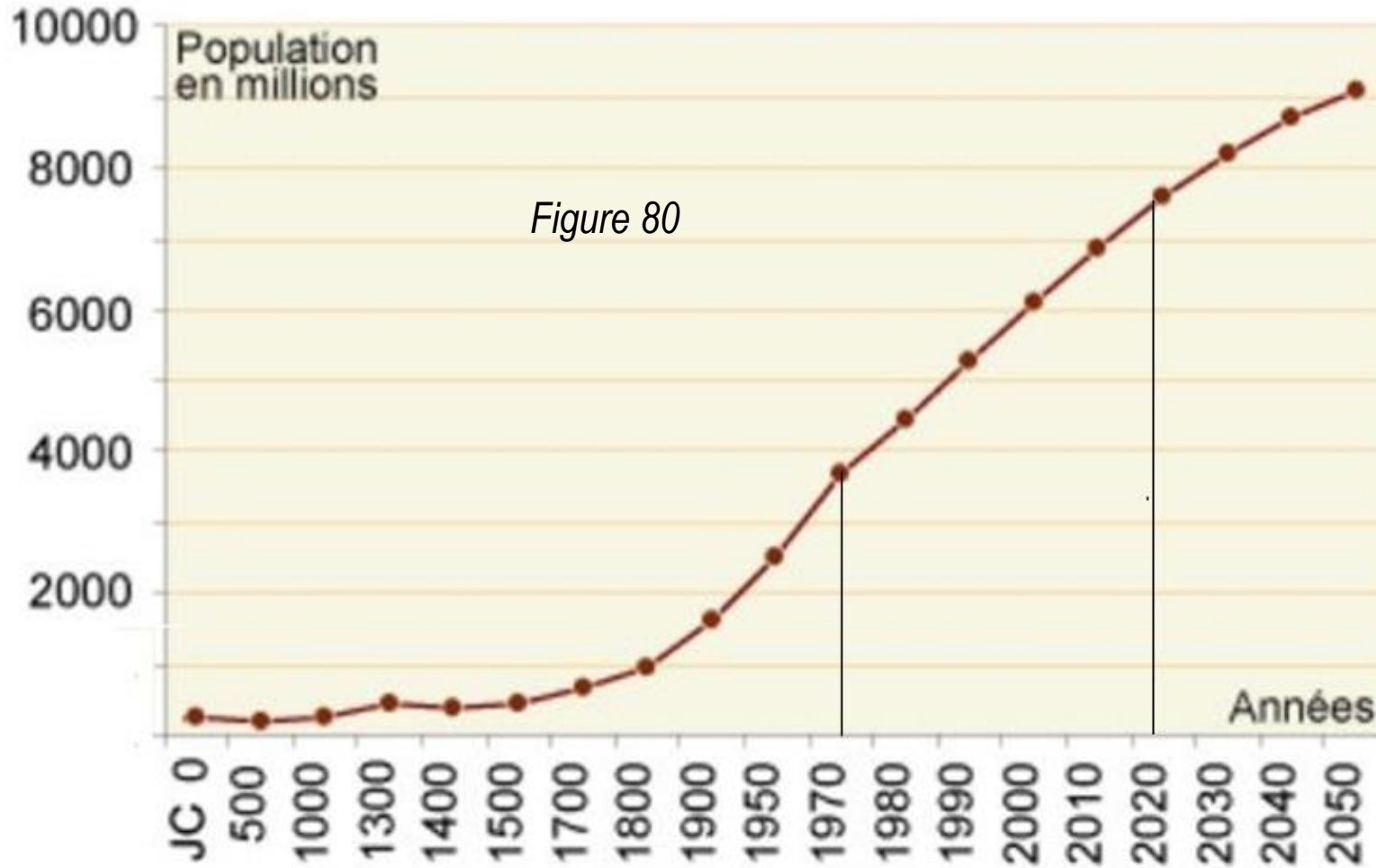
Il y a aussi la dilatation, augmentation de volume d'un corps quand sa température augmente qui s'explique par l'augmentation de l'agitation thermique des particules qui constituent le corps. (Voir Clausius chapitre 2 page 40). Ce facteur également à prendre en compte pourrait expliquer pourquoi le niveau des océans augmente [selon le GIEC](#) encore plus vite maintenant qu'au XX<sup>ème</sup> siècle.

Ceci compte tenu du  $\Delta V/V$  volumique de quelque 0,24 pour mille pour une augmentation de 4° lorsque l'eau de mer est à une température avoisinant les 14°



# *Le temps qui passe 1000 ans* et la population mondiale X par 20

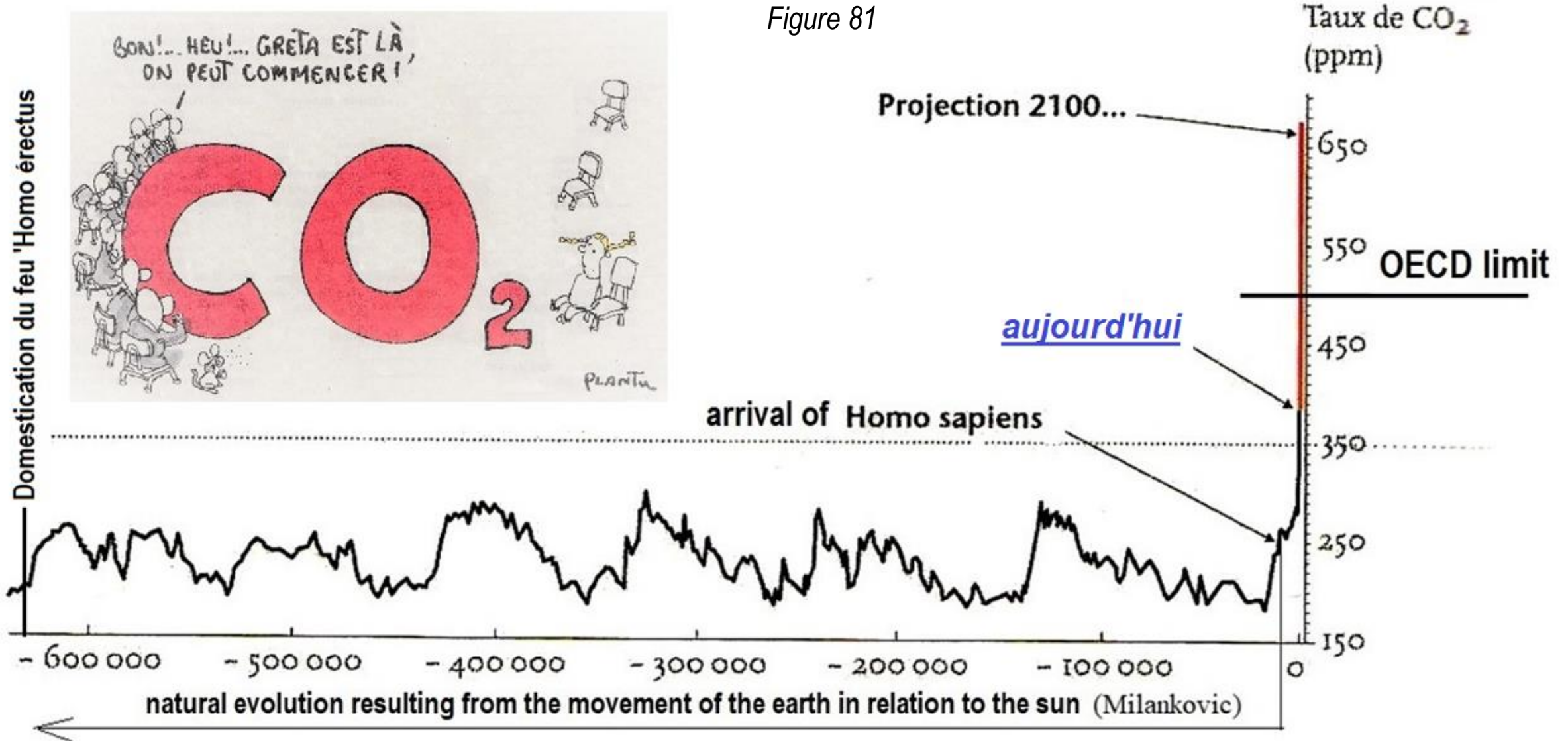
Population de JC à aujourd'hui



# Le temps qui passe

et 6 x 100 000 ans de variation climatique

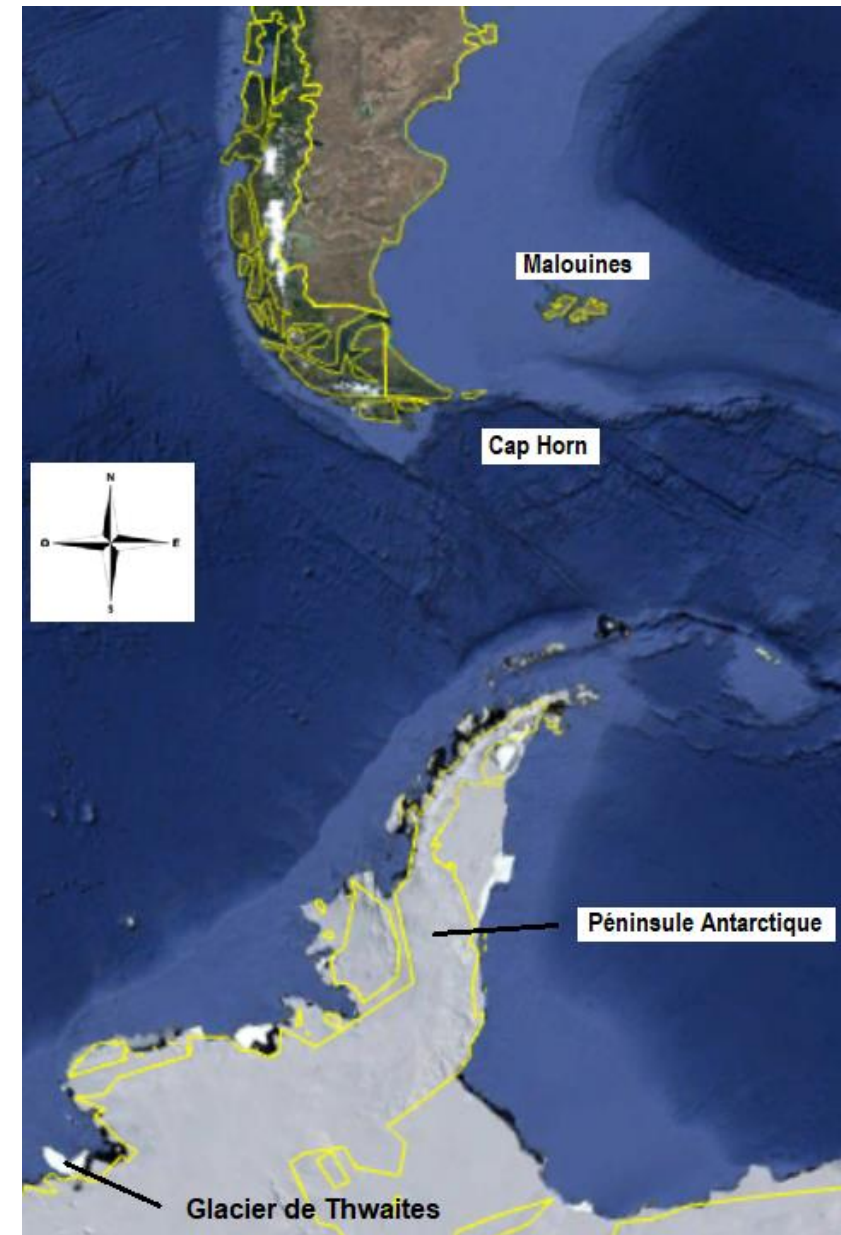
Figure 81



L'obliquité de la terre associée au 1er mouvement Milankovic est actuellement importante et va semble-t-il le rester encore longtemps.

La base de temps qui régit la variation de cet angle qui augmente puis diminue serait de l'ordre de 400 siècles. On constate que le pôle nord plus exposé que le pôle sud aux rayons solaires est plus soumis à la fonte des glaces. Une constatation: des glaciers de l'antarctique dont celui de [Thwaites](#) commencent à fondre

A cette période de glaciation et de fonte des glaces successives se superpose l'action de l'homme avec les gaz à effet de serre. Quelle est la plus importante des deux ? On va tenter d'apporter réponse à cette question page suivante. [Une étude récente](#) prouve que la fonte des glaciers de la planète qui s'est encore accélérée ces 20 dernières années, contribue désormais à plus de 20% de la hausse du niveau de la mer.





## *Le temps de formation du charbon :* plusieurs centaines de millions d'années



Le charbon, roche sédimentaire combustible riche en carbone, s'est formé extrêmement lentement à partir de la dégradation de la matière organique et des végétaux. Cela alors que l'homme (particulièrement les Indes et la Chine) est en train de "brûler" en une centaine d'années ce que la nature à mis des centaines de millions d'années à concevoir. Une exploitation qui représente encore en 2018 environ 27% des besoins énergétiques mondiaux juste derrière le pétrole 33% et devant le gaz.

Il ne faut donc pas s'étonner que que la combustion du charbon, matériaux riche en carbone soit la cause principale du réchauffement climatique

Une approche du temps qui passe sur le long terme, c'est-à-dire pour homo sapiens à l'échelle de 3 à 4 générations pourra-t-il apaiser les esprits ? : si les 4 millions de mètres cubes de glace qui recouvrent le Groenland devaient fondre complètement dans les océans, ces derniers pourraient certes monter de quelque 6 mètres compte tenu de leur surface, mais ce qui est tout de même rassurant est le fait qu'au rythme d'une fonte annuelle qui serait limitée à 500 milliards de mètre cube de glace selon Goodplanet, cela pourrait prendre 2 à 3 siècles. Concernant la montée des océans on peut tout de même en 2 générations humaines avoir le temps de réagir.

De plus si l'on compare la quantité d'énergie thermique qui nous provient du soleil par radiation à la quantité d'énergie que l'homme émet actuellement sur terre pour assurer ses besoins on s'aperçoit que cette dernière est plusieurs milliers de fois inférieure. Il y a de la réserve.

# *La compréhension de l'enthalpie*

Lorsque l'on parle de pompes à chaleur on ne peut ignorer ce qu'est l'enthalpie.

Une notion associée à l'agitation interne de la matière.

La matière contient en effet en son sein de l'énergie thermique par le fait de l'agitation des molécules de matière qui la constituent

- lorsque la température de la matière est à  $-273^{\circ}\text{C}$  l'agitation ainsi que la quantité d'énergie contenues dans celle-ci est nulle

- lorsque la température de la matière augmente l'agitation de celle-ci augmente ainsi que la quantité d'énergie contenue dans cette dernière

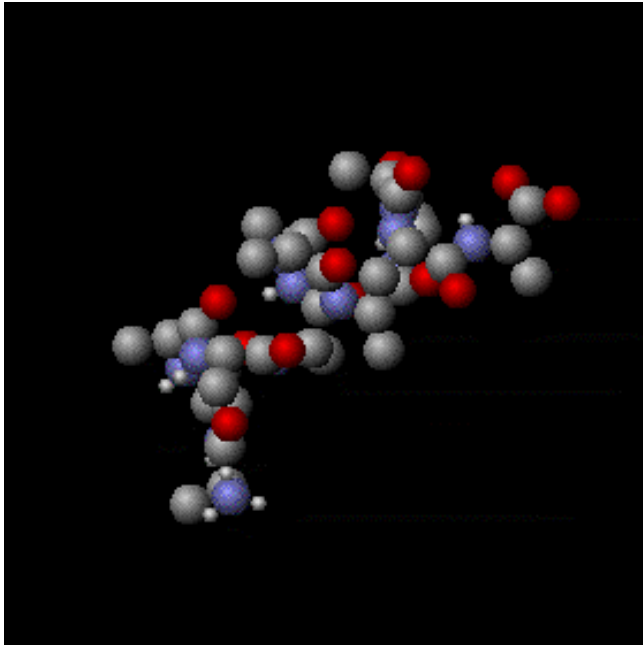
Je reviendrais sur cette notion très importante.



*“Il faut laisser le temps au temps” disait François Mitterrand. Pas trop tout de même estime le CSLT*

# Au cœur de la matière:

## L'égalité de Clausius



A  $-273^{\circ}\text{C}$  rien ne bouge

Pour voir ce qui se passe lorsque la température augmente cliquer [ici](#)

Et si elle augmente encore [ici](#)

*On ne peut évoquer les systèmes type pompe à chaleur sans introduire les études de Rudolf Clausius sur l'entropie de la matière et le fait que l'énergie contenue dans celle-ci ainsi que sa désorganisation augmente avec sa température. A la température de  $-273^{\circ}\text{C}$  soit  $0^{\circ}\text{Kelvin}$  la matière est figée comme représenté sur la figure de gauche. Par contre si la température augmente la désorganisation de la matière augmente en proportion.*

*Il y a beaucoup de paramètres qui caractérisent la qualité du fluide circulant dans le cœur d'une pompe à chaleur mais les 2 caractéristiques principales du fluide dit caloporteur d'une pompe à chaleur est sa capacité à générer du froid dans l'évaporateur à la sortie du détendeur et du chaud dans le condenseur (Ce que le thermodynamicien appelle son **enthalpie E** et qui s'exprime en kilojoule/kg) lorsqu'il vient d'être comprimé à l'état gazeux par le compresseur.*

Pour une pompe à chaleur décrivant un cycle thermodynamique (en principe réversible), l'application du second principe au système ditherme, permet d'écrire que  $E3 / Tc = E2 / Tf$  (Egalité de Clausius). Introduite par Rudolf Clausius dans ses études sur l'entropie de la matière, l'égalité de Clausius qui peut s'écrire  $E3 / E2 = Tc / Tf$  caractérise le degré de désorganisation des particules constituant cette dernière.

La quantité d'énergie contenue dans la matière étant d'autant plus grande que la température de celle-ci est élevée.

À la température de  $0^{\circ}\text{Kelvin}$  ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), la matière est figée et l'énergie contenue dans celle-ci est nulle.

Cette désorganisation ainsi que l'énergie contenue dans la matière prouve la potentialité du chauffage thermodynamique. En effet, lorsque la température de la source chaude est égale à la température de la source froide, par exemple lorsque l'on commence à chauffer l'eau froide sanitaire à  $10^{\circ}\text{C}$  en utilisant l'eau de la nappe phréatique également à  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $Tc$  étant égal à  $Tf$ , il en résulte que  $Tc / Tf$  est égal à 1 ainsi que  $E3 / E2$ . Cela signifiant que toute l'énergie thermique  $E3$  disponible à la source chaude est théoriquement de l'énergie renouvelable  $E2$  prélevée dans l'environnement, l'énergie électrique  $E2$  nécessaire pour entrainer le compresseur étant théoriquement nulle. Il y a bien sur des limites physiques à cela mais la page 119 du chapitre 2 illustre le potentiel thermodynamique de la Seine à Paris. Cette limite physique semble être actuellement un COP voisin de 6

(voir la revue CFP et le constructeur de PAC Carrier aux USA qui évoque des COP de 7)

[Une chaîne énergétique oubliée](#)

# *Le kWh cumac et le temps qui passe ?*



La notion de *kWh cumac* associée aux Certificats d'Economie d'Energie (CEE) est censé aider financièrement tous ceux qui par besoin doivent maintenir à moindre coût une température de confort dans leur logement.

Il s'agit d'une vision financière sur le long terme liée au retour sur investissement (RSI) qui aurait pour objectif de solutionner les problèmes financiers de la majorité d'entre nous. la formule ci-dessous permet de comprendre :

*Montant du CEE (exprimé en kWh cumac) = Gain annuel d'énergie (kWh) x Durée de vie du produit installé*  
(la plupart du temps plusieurs dizaine d'année)

Vis-à-vis de ceux qui ont du mal à joindre les deux bouts en fin de mois cette notion de *kWh cumac* tente d'instaurer l'idée selon laquelle nous pourrions vous et moi faire des économies financières grâce à ce dispositif ! La loi POPE associée à ces CEE qui aurait pour objectif principal de limiter la consommation énergétique des foyers serait la bienvenue vu que son application pourrait diminuer significativement les émissions de gaz à effet de serre.... Une diminution qui s'obtiendrait sans affecter notre confort et ceci sans que les températures de réglage ne soient trop basse en hiver....

[Voir aussi notre modèle économique selon le CSLT](#)

# COP 21

# et après?



# Faire

La France besogneuse et les [mots clés](#)



Après nous avoir prévenu [en septembre 2018](#), le secrétaire général de l'ONU a été récemment encore plus brutal à l'occasion de la présentation du rapport annuel de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) :

« L'humanité fait la guerre à la nature. C'est suicidaire, car la nature répond toujours coup pour coup, et elle le fait déjà avec une force et une fureur de plus en plus grandes ».

*Nous sommes dans un [monde à la dérive](#) et plus que jamais, la menace du dérèglement climatique commande d'investir dans l'efficacité énergétique et le renouvelable.*

*Anne Debregeas et David Garcia*

*Le GIEC, en complément des [travaux de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire](#) a établi la liaison entre la santé de l'homme et la concentration de gaz carbonique (CO2) dans l'atmosphère.*