

## Compte rendu de la réunion du 18 novembre 2015

### **DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU PARTAGE DES RESSOURCES VERS UNE ÉCOLOGIE INTÉGRALE DANS LA FOULÉE DE LAUDATO SI'**

**Présents :** Pierre-Alain AMIOT, Benoît-Michel AMOUSSOU, Georges ARMAND, Jacques AUGÉ, Jean-Paul BANQUET, Catherine BERRIAUD, Geneviève et Pierre BERRIER, Serge BIDOZO, Bernard BOURGEAT, Jean-Claude BRÉMAUD, Claire CHASTENET, Gérard CHEVALIER, Ba Pho DANG, Sabine DE LA VILLEHUCHET, Marie Odile DELCOURT, Claudie DUQUENNOY, Bernard et Bernadette FOURMANN, Michel GODRON, Dominique GRÉSILLON, Alexandre GYÉNÉS, Jean-Luc HOUVENAGEL, Marcelle L'HUILLIER, Marie Odile LAFOSSE-MARIN, Claudine LANSIART, Alain LARERE, Dominique et Olivier LE GAVRIAN, Marc LE MAIRE, Jean LEROY, Philippe LESTANG, Dominique et Françoise LEVESQUE, Hélène LOIRAT, Christian MALET, Françoise et Jean-Louis MASNOU, Judith NICOLAS, Monique NICOLAS, Jean OGIER, Patrick PAJOT, Marc PÉRINET-MARQUET, Roland POIRIER, Marcel POUCHELET, Jean RAGOT, Blandine RAX, Louis SANGOUARD, Bernard et Danielle SAUGIER, Philippe SUEL, Bertrand THIRION.

**Excusés :** Michèle GASPALOU, Marie-Christine PENET, Christian RAQUIN, Nathalie SAINT-CAST.

---

#### **EXPOSÉ**

par Bernard Saugier <sup>1</sup>

*La Terre est belle mais nous exploitons ses ressources (eau, carbone fossile) en négligeant les conséquences sur les écosystèmes et les populations fragiles tant humaines qu'animales. Le respect de la création nous invite à limiter notre consommation globale : les riches doivent la réduire au profit des pauvres. C'est l'enjeu de la COP21 pour le carbone et le climat. Plus généralement, le souci de la maison commune et du bien commun doit l'emporter sur le profit à court terme dans une écologie intégrale redonnant son sens à l'économie.*

#### **L'écologie, une science de synthèse.**

L'écologie étudie les relations des êtres vivants entre eux et avec leur milieu. Il existe en biologie divers niveaux d'organisation : molécules, cellules, organismes, populations, communautés, écosystèmes et biosphère. Le domaine d'étude de l'écologie va des organismes à la biosphère, mais elle utilise aussi les résultats obtenus aux niveaux moléculaire et cellulaire. L'écologie évolutive utilise la génétique et la démographie des populations ainsi que l'éthologie (science du comportement) pour comprendre les mécanismes déterminant la biodiversité et son évolution. L'écologie fonctionnelle utilise la physiologie, les sciences du sol et du climat pour comprendre les cycles de l'énergie et de la matière dans les écosystèmes.

Ainsi l'écologie est une partie de la biologie, mais elle est également en lien avec la physique, la chimie et la [géologie](#) pour l'étude du sol et du climat, et avec la [géographie humaine](#) et [physique](#). Les scientifiques pratiquant l'écologie sont appelés écologues pour les distinguer des écologistes militants. Ainsi en biologie on trouve aux deux extrêmes la biologie moléculaire, qui tente de réduire le fonctionnement des organismes aux niveaux cellulaires et moléculaire, et l'écologie qui considère les organismes comme des ensembles qui interagissent avec d'autres organismes et avec leur milieu.

---

<sup>1</sup> Professeur honoraire d'écologie à l'Université Paris Sud

## **L'écologie, une science du changement**

À tout moment, il existe une forme d'équilibre entre les diverses catégories d'organismes : les herbivores dépendent de la biomasse formée par la photosynthèse des plantes, les carnivores mangent les herbivores. Les animaux comme les plantes finissent par mourir et d'autres organismes décomposent la matière organique morte en éléments minéraux simples à base de carbone, azote, phosphore. Les plantes absorbent ces éléments minéraux, il y a donc formation de cycles de la matière, appelés cycles biogéochimiques. Un écosystème est défini comme l'ensemble des organismes vivant en un lieu donné, ainsi que du milieu avec lequel ils sont en interaction (sol, microclimat). À tout moment existe une forme d'équilibre entre ces organismes : les herbivores ne font pas disparaître les plantes qu'ils consomment, et les carnivores ne mangent pas tous les herbivores. Mais c'est un équilibre dynamique : naissances et morts font varier sans cesse les populations de ces organismes, et les espèces elles-mêmes peuvent varier à la suite de migrations.

Qu'est-ce que l'écologie apporte de neuf ? L'approche classique en sciences cherche à expliquer un niveau d'organisation à partir des processus du niveau inférieur (réductionnisme). Elle tend à effacer la frontière entre le vivant et le non-vivant. L'écologie remarque que la sélection par le milieu s'exerce sur les organismes et leurs populations. Elle étudie d'emblée des objets complexes ayant évolué au cours de millions d'années. Elle replace les organismes dans leur contexte : « tout est lié »...

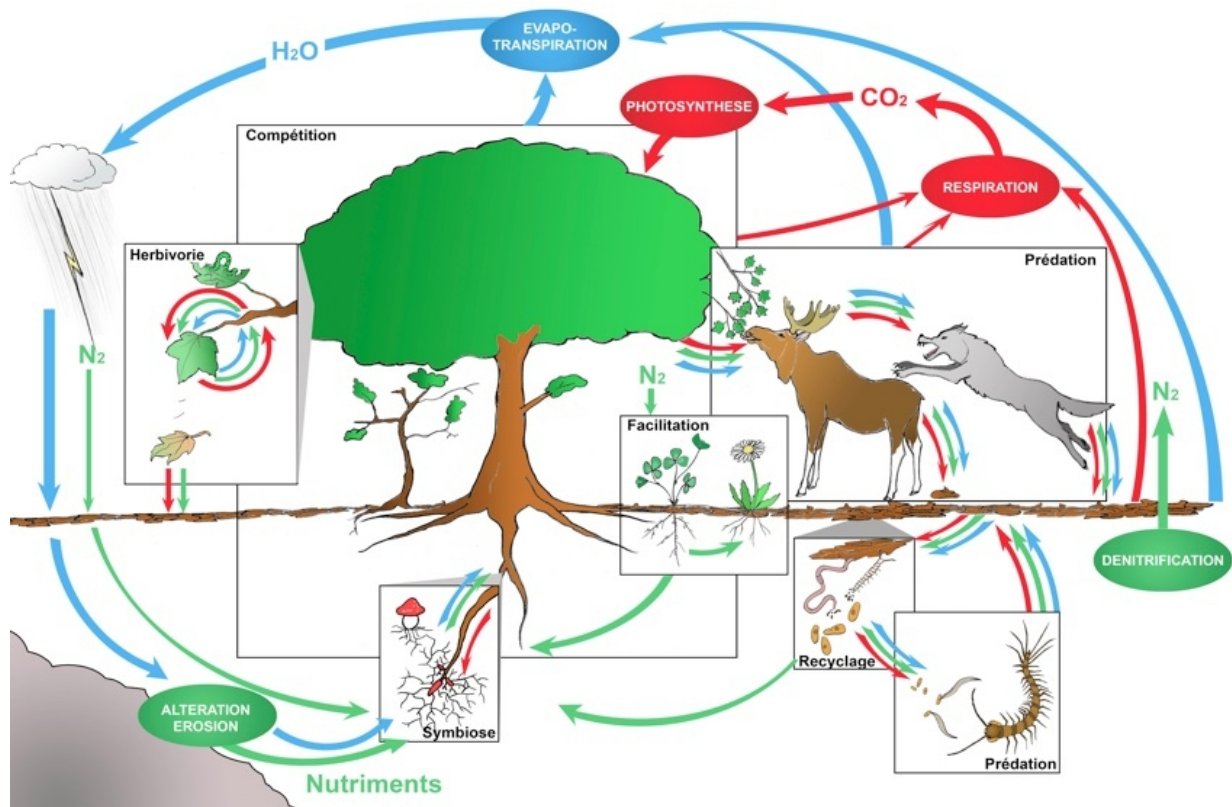
## **Biosphère et écosystème**

Les espèces vivantes dépendent de leur milieu, mais elles le transforment aussi en faisant circuler la matière et l'énergie. Un sol se constitue progressivement à partir d'une roche nue, la présence d'une forêt affecte le microclimat et l'écoulement des eaux, l'oxygène de l'atmosphère est renouvelé par la photosynthèse. Ainsi il existe une évolution parallèle du milieu et de la communauté des organismes. Le géologue autrichien Eduard Suess introduit le terme de biosphère (ensemble des êtres vivant sur Terre et de leur milieu) dans son ouvrage en 5 volumes *La face de la Terre* (1883-1900). Mais le concept est développé dans l'ouvrage *La biosphère* écrit en 1926 en russe puis en français par le géochimiste russe Wladimir Vernadsky. En Angleterre Arthur Tansley propose en 1935 d'appeler écosystème le système entier (au sens de la physique) incluant le complexe des organismes et les facteurs physiques de leur habitat. Les écosystèmes de Tansley sont de types et de tailles variées, allant du local au global. Ils sont plus ou moins autonomes, et tendent vers un état d'équilibre dynamique. Le moteur du fonctionnement de l'écosystème est la photosynthèse des plantes, qui permet la synthèse de matière organique à partir du CO<sub>2</sub> et de l'eau grâce à l'énergie solaire.

## **Cycle du carbone dans un écosystème**

Dans un écosystème, le carbone provenant du dioxyde de carbone (ou gaz carbonique) de l'atmosphère est fixé par la photosynthèse pour fabriquer la biomasse végétale. Ainsi toute la matière vivante sur Terre est fabriquée à partir du CO<sub>2</sub>, un gaz incolore et inodore constituant mineur de l'atmosphère puisqu'il n'en représente que 0,04 % soit 400 ppm en volume. Cette biomasse est broutée par les herbivores, eux-mêmes mangés par des carnivores (vue 1).

Tous ces organismes rejettent du CO<sub>2</sub> par leur respiration, ainsi que les décomposeurs de matière organique morte (notamment des bactéries et des champignons, mais aussi la faune du sol comme les vers de terre et les bousiers). On distingue ainsi la respiration autotrophe des plantes et la respiration hétérotrophe des animaux (principalement des décomposeurs). J'ai étudié ce cycle du carbone dans des prairies et des forêts en mesurant les faibles différences de teneur en CO<sub>2</sub> induites par la végétation et le sol. La teneur en CO<sub>2</sub> de l'air est légèrement appauvrie le jour au voisinage des feuilles à cause de la photosynthèse, et elle est enrichie au voisinage du sol à cause de la respiration des décomposeurs. Des mesures fines de ces différences permettent d'en déduire le flux vertical de CO<sub>2</sub> au dessus de la végétation et parfois au dessus du sol.



**vue 1 : Un écosystème vu par Nicolas Mouquet**

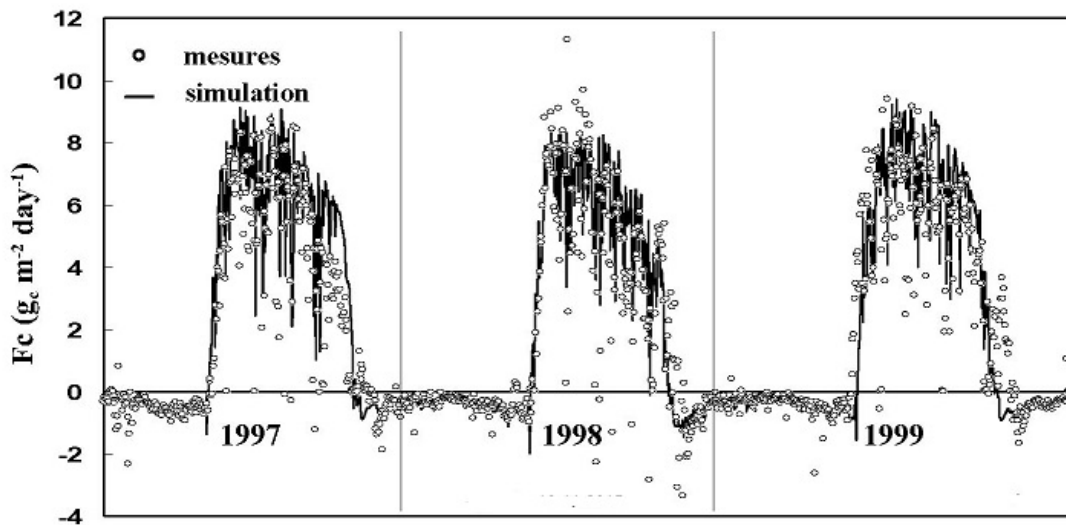
Producteurs (plantes), consommateurs (animaux) et décomposeurs (faune du sol) de matière organique. L'écosystème, partiellement autonome, engendre des cycles biogéochimiques (carbone, eau, azote, phosphore etc.). Le moteur de l'écosystème (et de la vie sur Terre) est la photosynthèse des plantes, qui utilise l'énergie solaire pour fixer le CO<sub>2</sub> et fabriquer de la biomasse.

On mesure aujourd'hui en continu les flux de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau des écosystèmes grâce à des tours à flux surmontant la végétation et équipées d'instruments permettant de mesurer le microclimat local : température, humidité, vitesse du vent, et aussi teneur en CO<sub>2</sub> de l'air et rayonnement solaire (ex. vue 2).



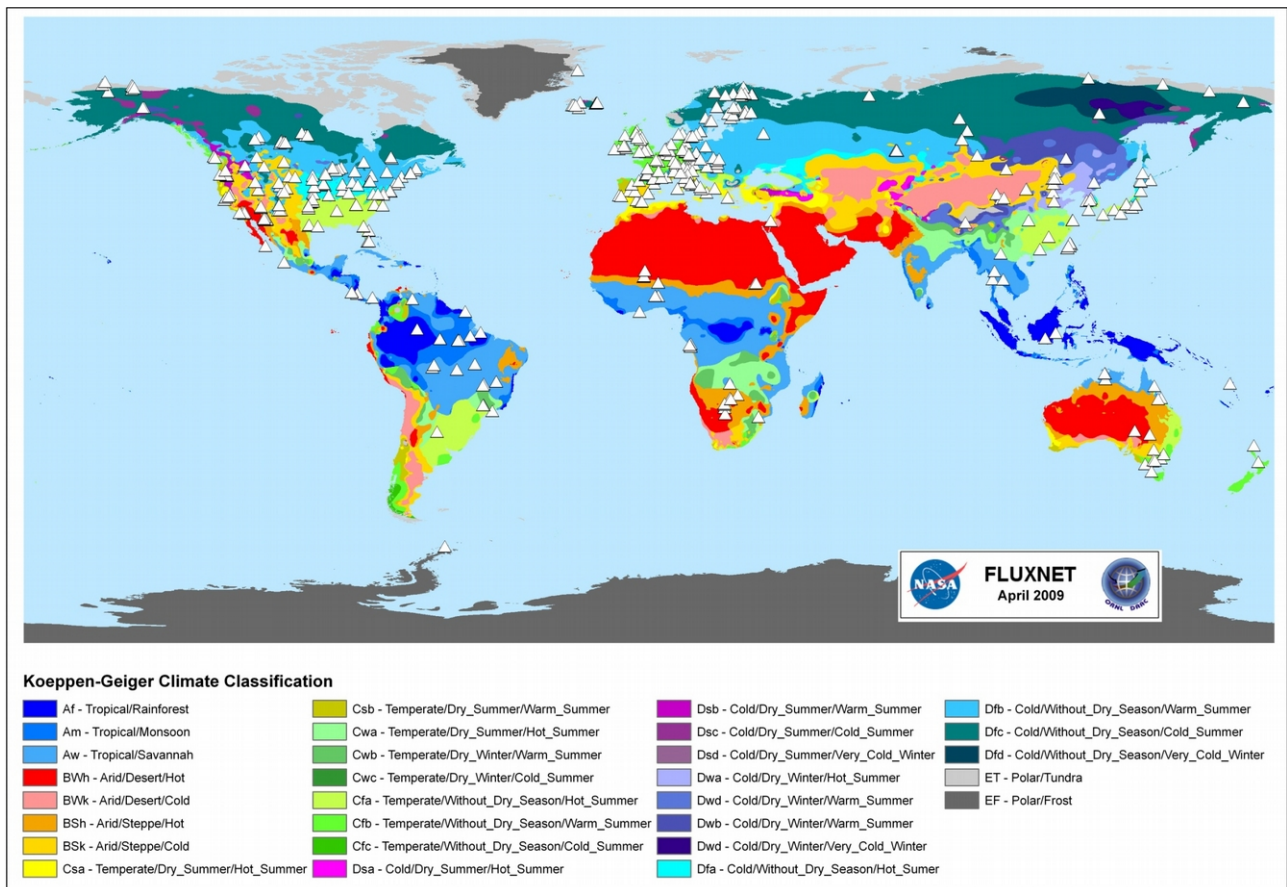
**Vue 2 : Tour à flux en forêt de Barbeau près de Fontainebleau**

La vue 3 représente la moyenne journalière du flux de CO<sub>2</sub> au dessus d'une jeune hêtraie en Alsace durant trois années. Par convention, les valeurs négatives correspondent à un dégagement de CO<sub>2</sub>, ce qui se produit en hiver.



**Vue 3 : Flux de carbone au dessus d'une hêtraie (Hesse, Vosges) (Granier, Le Dantec, Dufrêne)**

Le réseau international fluxnet compte plus de 600 tours mesurant ces flux réparties sur tous les continents et sur tous types de végétation (vue 4). En combinant ces mesures au sol avec un suivi par satellite de la couverture végétale, on en déduit le cycle du carbone pour la biosphère continentale. C'est l'aboutissement d'une série de programmes internationaux.



**Vue 4 : Plusieurs centaines de tours mesurent en continu les flux de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O**

## Programmes internationaux en écologie

Plusieurs programmes internationaux ont contribué au développement de l'écologie. De 1964 à 1974 le programme biologique international (PBI) lancé par l'Unesco, a entrepris d'étudier le fonctionnement des écosystèmes des divers biomes de la planète : production primaire (production de biomasse verte) et ses processus, production secondaire (herbivores), flux de carbone, d'eau et d'azote etc. Le programme *L'homme et la biosphère* lui a succédé dès 1971, incluant cette fois l'action de l'homme (et les sciences humaines) qui avait été négligée dans le PBI. Il se concentre sur certains écosystèmes (montagnes, forêts tropicales, systèmes urbains, terres humides, îles, zones côtières et marines) et œuvre pour un développement économique respectueux des valeurs sociales, culturelles et écologiques. Il prend appui sur un réseau mondial de réserves de biosphère. À partir de 1988 le programme international Géosphère-Biosphère a cherché à étudier globalement les grands cycles biogéochimiques sur notre planète, en associant les moyens au sol des écologues et des océanographes, les mesures satellitaires, et les modèles de fonctionnement des écosystèmes. J'ai personnellement participé à ces programmes sur divers types d'écosystèmes : prairie canadienne de 1969 à 1974, puis forêt tempérée à partir de 1978, avec une participation à une étude pluridisciplinaire de la forêt boréale canadienne menée par la NASA de 1994 à 1996.



L'avènement des satellites d'observation de la Terre a permis de renouveler l'étude des écosystèmes en apportant une vision globale de notre planète (vue 5).

## Comment détecter la vie sur une planète ?

Comme tout être vivant modifie son milieu, l'écosystème apparaît avec le premier organisme. On s'est donc aperçu progressivement qu'on ne pouvait pas séparer l'histoire de la Terre connue par les géologues, de l'histoire de la vie connue par les biologistes. Paradoxalement, c'est un chimiste anglais, Jim Lovelock, qui a beaucoup fait pour rapprocher ces deux mondes. Il avait gagné pas mal d'argent avec le brevet d'un détecteur utilisé en chromatographie, et était devenu un chercheur indépendant, c'est-à-dire non lié à une Université ou à un institut de recherche. Contacté dans les années 1960 par la NASA pour concevoir des détecteurs de vie sur d'autres planètes, il a suggéré que la composition de l'atmosphère d'une planète était le meilleur indicateur de la présence d'une vie. Pour lui, dans une planète sans vie, l'atmosphère est en équilibre chimique avec la surface de la planète, alors que la présence de la vie entraîne un déséquilibre. C'est

manifeste quand on compare les atmosphères de la Terre et de ses voisines, Vénus, un peu plus proche du soleil que nous, et Mars, un peu plus éloignée (vue 6).



Mercur	Vénus	La Terre	Mars
sans atmosphère	Atmosphère très dense (95 bars)	Atmosphère « normale » (1 bar)	Atmosphère ténue (0,006 bar)
	CO <sub>2</sub> 96 %	CO <sub>2</sub> 0,04 %	CO <sub>2</sub> 95 %
	O <sub>2</sub> traces	O <sub>2</sub> 21 %	O <sub>2</sub> traces
	N <sub>2</sub> 3,5 %	N <sub>2</sub> 78 %	N <sub>2</sub> 2,7 %

Vénus a une atmosphère très dense, et Mars une atmosphère très ténue, mais toutes deux sont dominées à plus de 95 % par le CO<sub>2</sub> et contiennent un peu d'azote et très peu d'oxygène, alors que l'atmosphère terrestre est dominée par l'azote (78 %) et l'oxygène (21 %) et contient très peu de CO<sub>2</sub> (0,04 %), même si ce gaz a tendance à augmenter. Il est très vraisemblable que ces trois planètes avaient à l'origine des atmosphères de composition comparable, mais sur Terre la photosynthèse a produit l'oxygène et des micro-organismes ont réduit les nitrates en azote moléculaire. Peut-on reconstituer cette histoire parallèle de la vie et de l'atmosphère ? Il y a évidemment beaucoup d'incertitude, d'autant plus qu'on remonte plus loin dans le passé et qu'on a moins de traces tangibles.

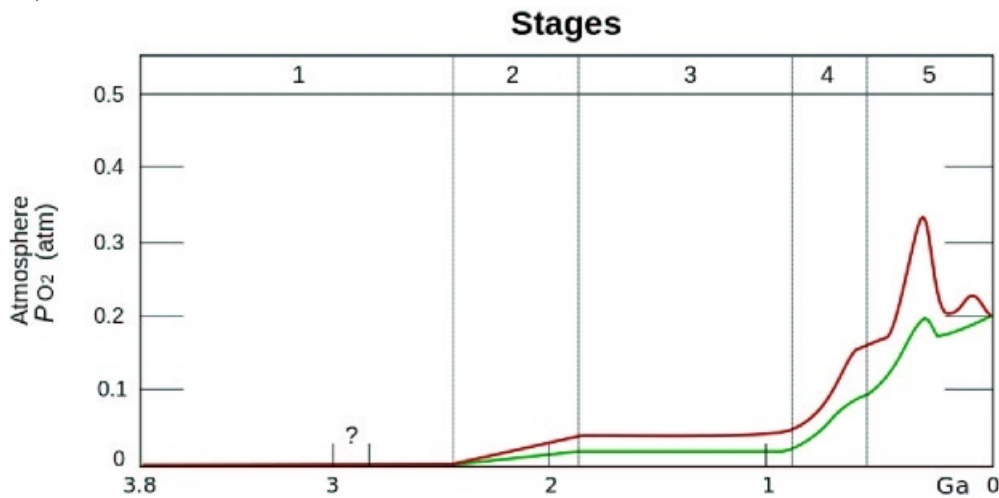
### Histoire de la vie et de l'atmosphère sur Terre

Une chose qui a frappé Lovelock, c'est le fait que depuis quelque 3,8 milliards d'années, la vie n'a pas cessé sur la Terre, et ceci en dépit de nombreux cataclysmes. En s'en tenant seulement aux âges géologiques (attestés par la présence de fossiles, soit depuis 600 millions d'années environ), il y a eu 5 extinctions massives d'espèces, les plus connues étant celles de la fin du Permien il y a 245 Ma, et celle de la fin du crétacé qui a vu l'extinction des dinosaures il y a 65 Ma. Lovelock a aussi remarqué que le rayonnement solaire à ses débuts devait être moins intense qu'actuellement, de 25 à 30 %, si on en croit les astronomes qui décrivent l'évolution des étoiles. La température de surface aurait donc dû être bien plus basse que l'actuelle, et sans doute en dessous de 0 °C. Comment penser l'apparition de la vie dans ces conditions ? Lovelock comme d'autres avait réfléchi aux conditions nécessaires à la présence de vie : de l'eau liquide en abondance, une source de carbone, une source d'énergie, une température pas trop basse ni trop forte. La température d'une planète dépend de divers facteurs : le rayonnement solaire incident, l'albédo planétaire (ou coefficient de réflexion, qui augmente avec la couverture nuageuse), l'effet de serre, qui piège le rayonnement infrarouge émis par la planète et le renvoie vers sa surface, au lieu de le laisser s'échapper vers l'espace. Un faible rayonnement solaire peut être compensé par un fort effet de serre. Quels sont les gaz absorbant dans les longueurs d'onde émises par les planètes (entre 4 et 30 μm) ? Leurs molécules doivent contenir au moins 3 atomes, on trouve la vapeur d'eau H<sub>2</sub>O, le CO<sub>2</sub>, le méthane CH<sub>4</sub>, l'oxyde nitreux N<sub>2</sub>O et quelques autres.

À la formation du système solaire il y a 4,5 Ga, il y a eu d'intenses bombardements météoriques, qui ont cessé seulement vers - 4 Ga, laissant une surface chaude avec une atmosphère très riche en vapeur d'eau et sans doute aussi en CO<sub>2</sub>. La Terre s'est ensuite refroidie mais le fort effet de serre a permis de maintenir des températures favorables à l'apparition des océans puis de la vie.

Les premières traces de vie sont très indirectes et résultent de la mesure du rapport isotopique <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C dans le carbone de roches sédimentaires vieilles de 3,8 Ga à Ishua sur la côte ouest du Groenland. D'après les chimistes, de tels rapports ne peuvent pas être produits par des réactions chimiques, et sont d'origine biochimique. Plus près de nous, on a trouvé des fossiles de stromatolithes (formations rocheuses du littoral formées par des cyanobactéries) datées de 3,4 Ga, et proches de formes contemporaines de ces formations. La photosynthèse a dû commencer vers cette époque, grâce à ces algues unicellulaires.

On pourrait penser que l'oxygène a commencé à augmenter dès cette époque dans l'atmosphère terrestre. Cela n'a pas été le cas, car la surface de la Terre, océans comme continents étaient très réducteurs. C'est seulement après l'oxydation complète de ces surfaces que l'oxygène a commencé à s'accumuler, il y a environ 800 Ma (vue 7).



**Vue 7 : Évolution reconstituée de la pression partielle en oxygène de l'atmosphère terrestre.**

Stade 1 : presque pas d'oxygène dans l'atmosphère

Stade 2 : l'oxygène produit est pour l'essentiel absorbé par les océans

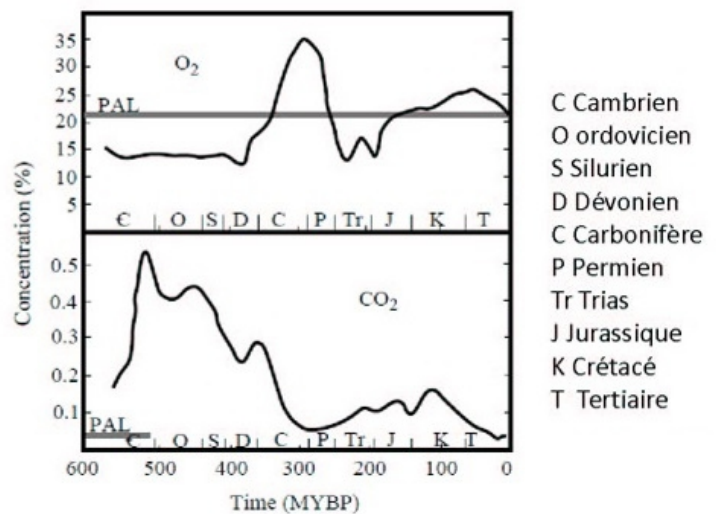
Stade 3 : l'oxygène dégazé par les océans est absorbé par les continents et la production d'ozone

Stades 4 et 5 : accumulation d'oxygène (puits océaniques et terrestres saturés)

Source: [http://en.wikipedia.org/wiki/Geological\\_history\\_of\\_oxygen](http://en.wikipedia.org/wiki/Geological_history_of_oxygen)

La diversification des formes de vie, ce que S. Gould a appelé l'explosion cambrienne, a commencé peu après. Un point important est que la production d'oxygène a été accompagnée d'une diminution du CO<sub>2</sub> atmosphérique (vue 8).

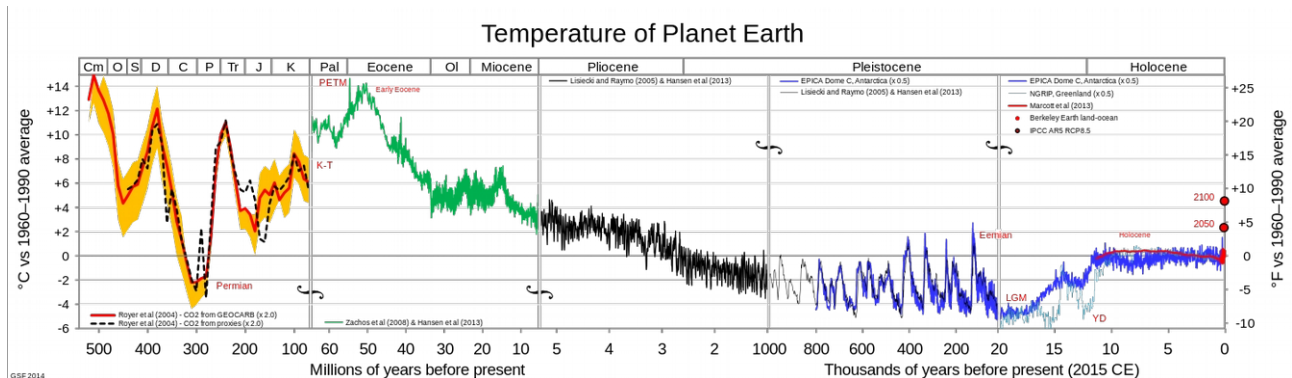
PAL = present atmospheric level  
(concentration actuelle CO<sub>2</sub> : 0,04 %, O<sub>2</sub> : 21%)



**Vue 8 : Reconstitution des concentrations en oxygène et CO<sub>2</sub> des 600 derniers millions d'années.**

Source : Dudley R, 1998. *J. of Exp. Biology* **201**, 1043–1050

Ainsi l'effet de serre a diminué au cours du temps pendant qu'augmentait le rayonnement solaire, contribuant à maintenir la température de surface dans une gamme acceptable pour le développement de la vie. Les tentatives de reconstruction de la température globale de la Terre (vue 9) indiquent une décroissance presque continue de -540 Ma à -3 Ma : pendant l'essentiel des temps géologiques, la Terre a été plus chaude qu'actuellement, avec une exception au carbonifère lorsque la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> s'est abaissée à des valeurs proches de la valeur actuelle préindustrielle (environ 280 ppm).



### Vue 9 : La Terre était plus chaude qu'actuellement jusqu'à - 10 Ma

(sauf un épisode froid au carbonifère à - 300 Ma).

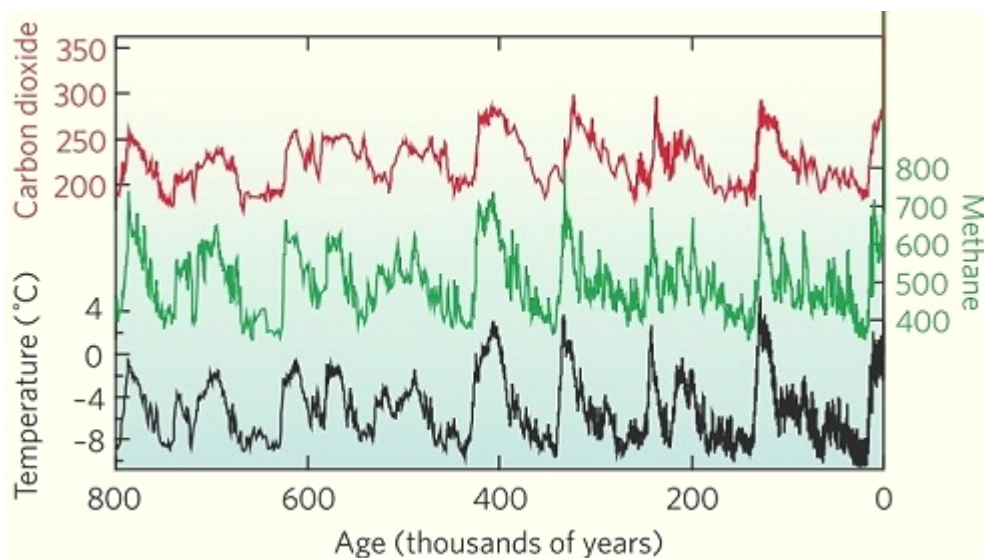
Elle s'est refroidie avec la diminution du CO<sub>2</sub> atmosphérique

Son réchauffement récent semble sans précédent depuis 130 000 ans

Source: [http://en.wikipedia.org/wiki/Geologic\\_temperature\\_record#/media/File:All\\_palaeotemps.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/Geologic_temperature_record#/media/File:All_palaeotemps.svg)

Lovelock a comparé la biosphère à un organisme vivant, baptisé Gaïa, qui modifie son milieu de façon à favoriser son développement, en régulant des variables comme la température, le pH marin, la teneur atmosphérique en oxygène, en azote etc. Ce point de vue finaliste a été sévèrement critiqué mais a fourni des hypothèses de travail à divers programmes internationaux après 1985.

### Les glaces et le climat des derniers 800 000 ans



Les teneurs actuelles en CO<sub>2</sub> (400 ppm) et en méthane (1820 ppb) dépassent toutes les valeurs observées depuis 800 000 ans. (Source : *Nature* 453 379-382, 15 mai 2008)

**Vue 10 : Teneur en CO<sub>2</sub> (rouge) et en méthane (vert) de l'air des bulles de glace à Vostok et à dôme C (Antarctique) sur les derniers 800 000 ans, et température de formation de la glace (écart à -56 °C) déduite du rapport isotopique 18O/16O de la glace.**

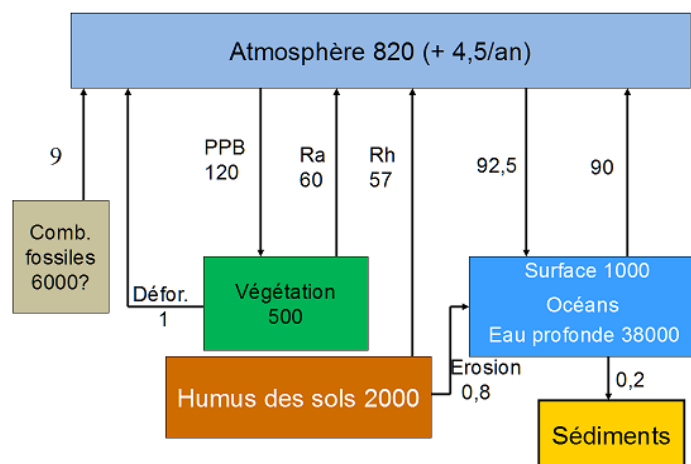


L'histoire récente de la composition de l'atmosphère et de la température terrestre nous est connue grâce aux travaux des glaciologues, et notamment de Claude Lorius qui a été un pionnier dans ce domaine, et de ses successeurs comme Dominique Raynaud ou Jean Jouzel. La glace se forme à partir de la neige qui se tasse progressivement en enfermant des bulles d'air qui s'isolent de l'air extérieur et constituent donc des archives de la composition de l'atmosphère. Plus on fore profond dans la glace et plus on remonte loin dans le passé. C'est ainsi que les glaciologues ont pu reconstituer la composition de l'atmosphère et la température des 400 000 dernières années à Vostok, et les ont étendues aux 800 000 dernières années grâce au forage Epica dôme C dans l'est de l'Antarctique. La température locale est obtenue à partir de la composition isotopique de la glace en  $^{18}\text{O}$  ou en deutérium. Les enregistrements (vue 10) révèlent un parallélisme étroit entre la composition des gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) et la température, avec des cycles glaciaire-interglaciaire plus marqués dans les derniers 400 000 ans.

Ces variations importantes de température ont été interprétées par Milankovitch puis Berger comme résultant de variations dans le rayonnement solaire reçu par les hautes latitudes de l'hémisphère nord, par suite de variations dans les paramètres de l'orbite de la Terre autour du soleil. On sait en effet que l'hémisphère nord contient en proportion beaucoup plus de surface de continents que l'hémisphère sud. Par suite, lorsque le rayonnement solaire diminue au nord (et augmente au sud), il en résulte au nord un refroidissement qui se traduit par des hivers plus longs, une couverture de neige et glace plus importante, un albédo plus fort et donc une moindre absorption du rayonnement solaire. On a donc un effet en cascade qui conduit progressivement à une glaciation, et c'est l'inverse lorsque le rayonnement solaire augmente aux hautes latitudes. Trois facteurs font varier non le rayonnement moyen reçu, mais sa répartition à la surface de la Terre : l'excentricité de l'orbite terrestre (périodes de 100 000 et 400 000 ans), l'obliquité (angle entre l'axe de rotation et la perpendiculaire au plan de l'orbite, période 40 000 ans), et la précession (période 21 000 ans). La précession positionne les saisons par rapport au périhélie, date où la Terre est la plus proche du soleil, et donc peut renforcer ou atténuer le contraste saisonnier ; actuellement le périhélie est vers le 5 janvier ce qui atténue ce contraste. Il semble ainsi que le signal déclenchant les changements climatiques récents soit astronomique, mais suivi de près par des variations de l'effet de serre qui amplifie les variations de température. Depuis 10 000 ans environ, la température est restée relativement stable, ainsi que la composition de l'atmosphère, et ceci jusqu'à une époque récente.

### Cycle global du carbone et sa perturbation par les activités humaines

Le cycle du carbone était globalement équilibré avant l'ère industrielle : l'émission de  $\text{CO}_2$  par la respiration des plantes et des animaux était compensée par l'absorption de  $\text{CO}_2$  par la photosynthèse terrestre et marine, et la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère restait constante à une valeur d'environ 280 ppm, correspondant à un stock d'environ 600 Gt de carbone. L'utilisation du charbon, puis du pétrole et du gaz naturel ont provoqué des émissions croissantes de  $\text{CO}_2$  et perturbé ce cycle (vues 11 et 12).



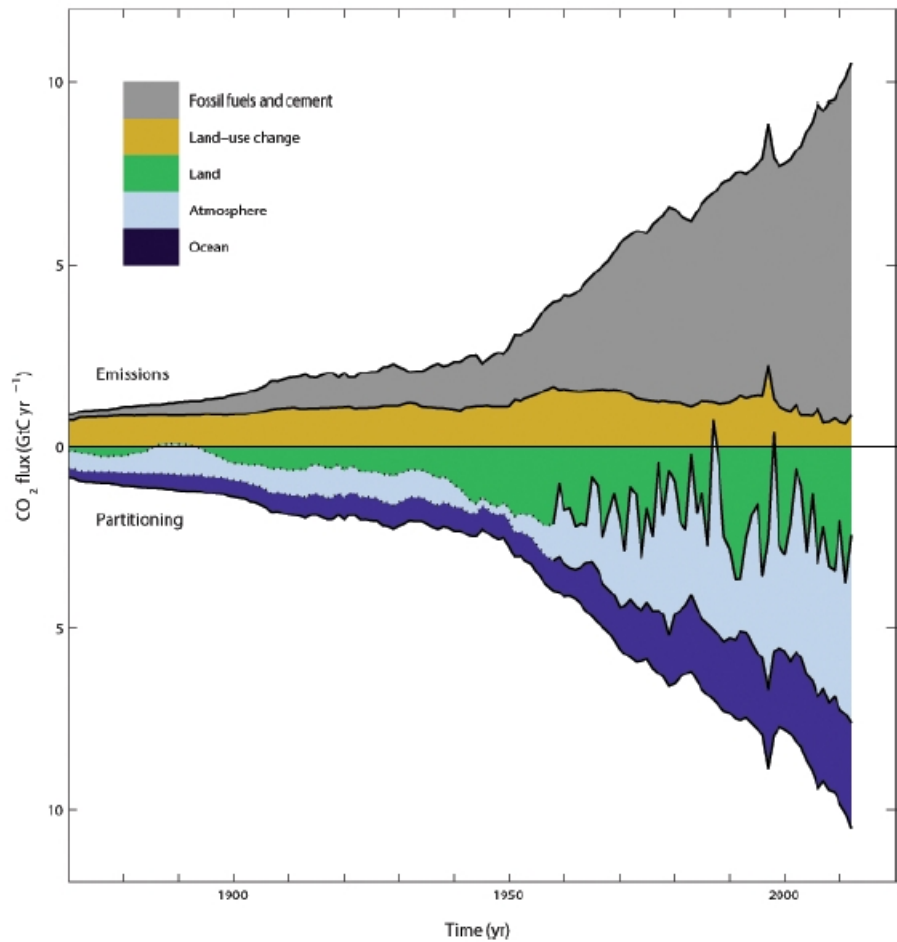
**Vue 11 : Cycle global du carbone vers 2010**  
stocks en Gt<sub>C</sub>, flux en Gt<sub>C</sub>/an

Une partie (45 % environ) s'accumule dans l'atmosphère (mesures directes), le reste est absorbé en parts à peu près égales par les océans (mesures directes) et les continents (estimations par différence), avec des fluctuations interannuelles considérables pour les continents, liées aux variations climatiques (phénomène El Nino en particulier). Le  $\text{CO}_2$  est un gaz à effet de serre, qui piège la chaleur émise par la Terre et la renvoie vers elle. Les émissions de  $\text{CO}_2$  liées à la combustion du charbon, puis du pétrole et du gaz naturel ont très fortement augmenté, surtout après 1950.

**Vue 12 : Bilan du carbone : les émissions atteignent 10 Gt C par an (ou 37 Gt CO<sub>2</sub>).**

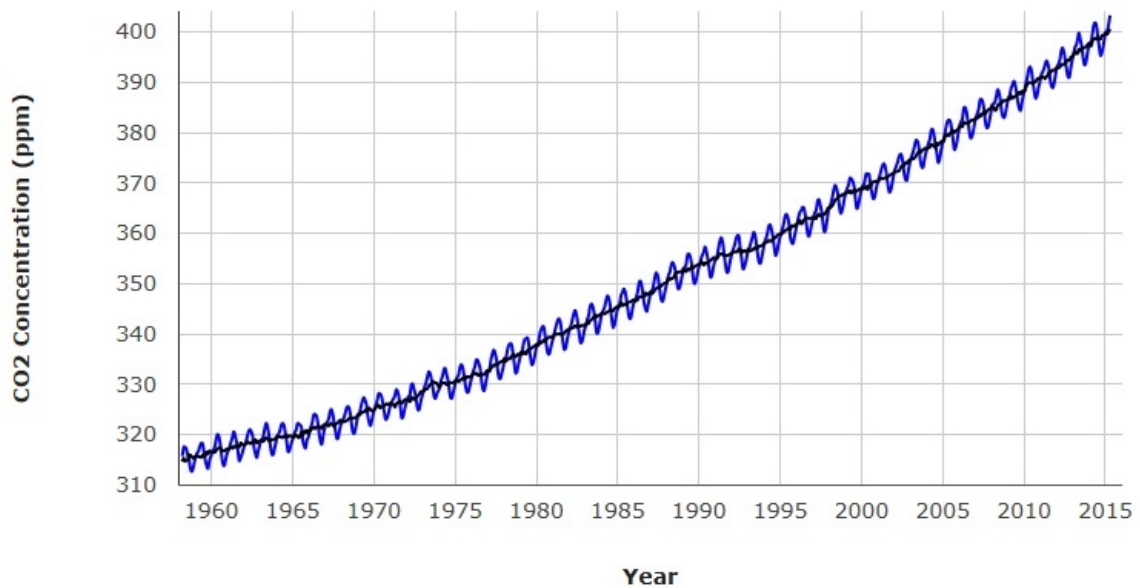
L'atmosphère en accumule environ 45 %, le reste se partage entre les océans (bleu foncé) et les continents (vert). Ce puits continental pourrait se saturer.

Source: Le Quéré et al., 2013. Earth Syst. Sci. Data Discuss., 6, 689–760



En conséquence, la concentration en CO<sub>2</sub> a augmenté de 40 % depuis 1750, passant de 280 à 400 ppm (vues 13 et 14), et provoquant un réchauffement global d'environ 0,8 degré Celsius.

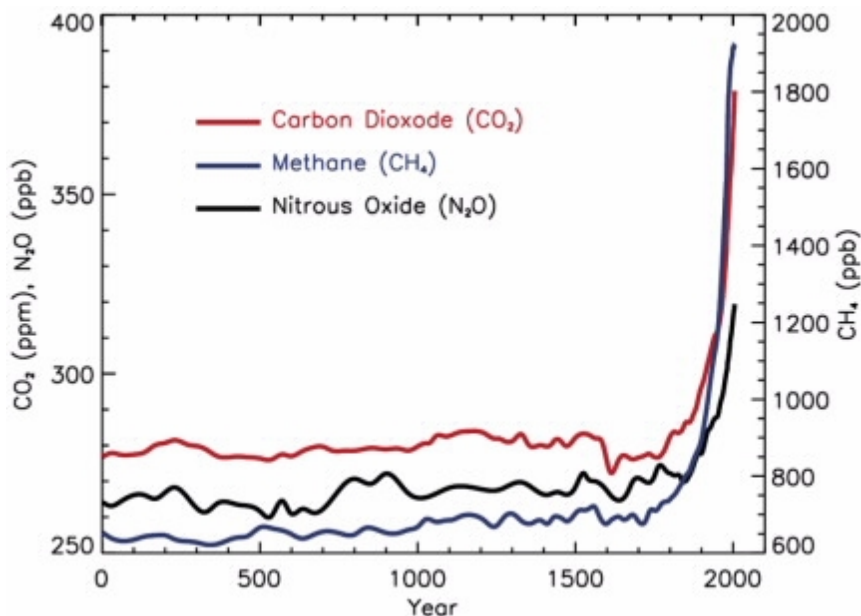
**Historical Monthly Mean Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa, Hawaii**



**Vue 13 : Concentration moyenne mensuelle en CO<sub>2</sub> à Mauna Loa, Hawaii**

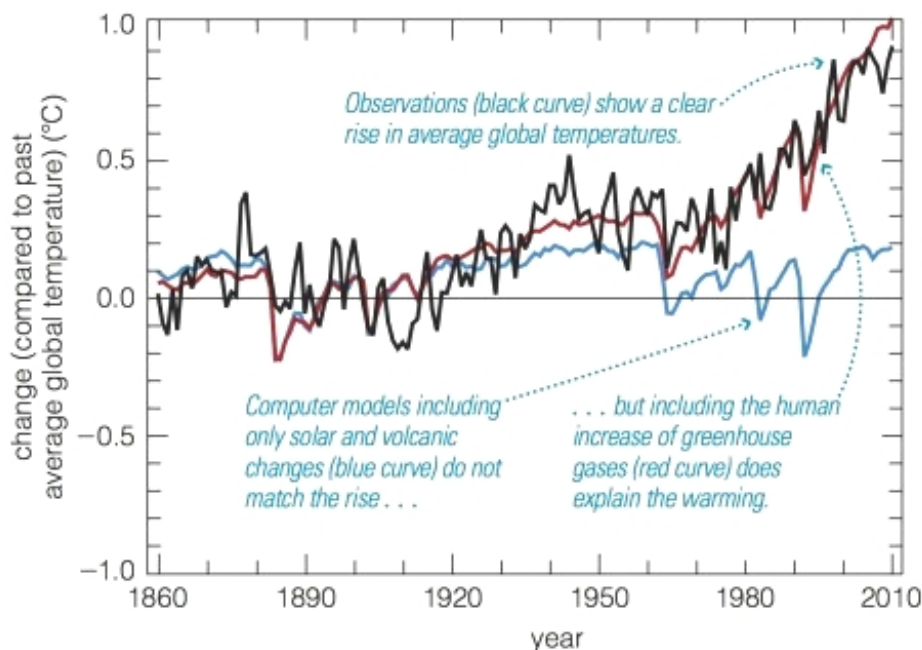
Source : Dr. Pieter Trans, NOAA/ESRL, and Dr. Ralph Keeling, Scripps Institute of Oceanography

Comment savoir si ce réchauffement est lié au CO<sub>2</sub> et autres GES<sup>2</sup> ou à d'autres facteurs comme le rayonnement solaire ? Les modélisateurs du climat introduisent dans leurs modèles tous les forçages connus : rayonnement solaire (mesuré depuis 30 ans environ par les satellites), paramètres de l'orbite terrestre, albédo de surface (lui aussi d'après des mesures satellitaires), aérosols volcaniques (qui diminuent temporairement le rayonnement solaire à la surface), composition de l'atmosphère en GES. Ils peuvent ainsi simuler le climat en maintenant constante la composition de l'atmosphère, ou en la faisant varier selon les mesures.



**Vue 14 : Les concentrations de 3 gaz à effet de serre, relativement stables jusqu'en 1800, augmentent fortement après.**

Source : Figure 1, FAQ 2.1, IPCC Fourth Assessment Report (2007), Chapter 2.



**Bleu** : température simulée par modèles incluant seulement les forçages naturels.

**Rouge** : température simulée par modèles incluant aussi l'accroissement des GES.

**Noir** : température moyenne globale observée.

**Vue 15 : Modification de la température moyenne globale depuis 1860**

Le résultat de ces simulations est clair : sans augmentation des GES il n'est pas possible de simuler le réchauffement constaté depuis 1970 (vue 15).

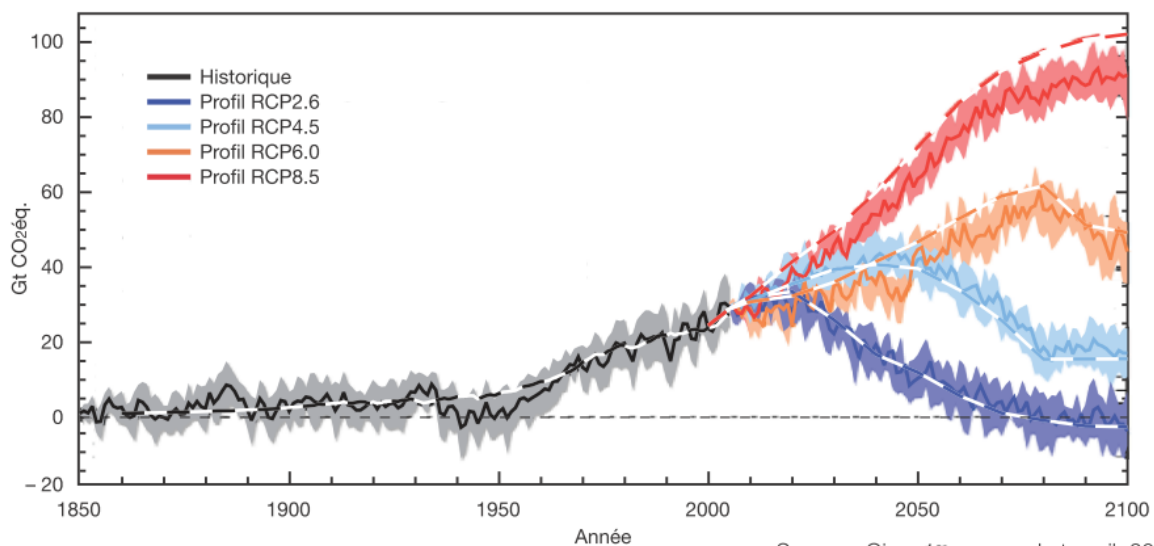
<sup>2</sup> GES : Gaz à effet de serre

## Conséquences du réchauffement

L'élévation de la température moyenne entraîne une fonte des glaces et une montée du niveau des mers préoccupantes, surtout pour les pays pauvres et de faible altitude qui n'ont pas les moyens de lutter contre cette avancée des mers. L'augmentation actuelle est d'environ 3 mm/an, et cumulé depuis 1850 pourrait atteindre 40 à 60 cm d'ici 2100, voire 1 m dans le pire des scénarios. Le réchauffement provoque aussi un changement important de régime hydrique, avec une tendance à des sécheresses aggravées dans les zones déjà sèches et des risques accrus d'inondation dans les zones plus arrosées. Il faut noter que les prévisions à ce sujet sont plus difficiles à faire que pour la température moyenne, à cause de la complexité de la circulation atmosphérique et de la difficulté à prédire les nuages et les précipitations. Les conséquences pour l'agriculture sont variables selon les régions, positives aux hautes latitudes, négatives aux basses latitudes, mais deviennent globalement négatives lorsque le réchauffement dépasse un certain seuil, de l'ordre de 2 °C selon plusieurs chercheurs.

L'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique est bien établie depuis 1970 (vue 13), et plusieurs climatologues soulignent alors son impact probable sur le climat. En 1979 a lieu à Genève la première conférence mondiale sur le climat, composée essentiellement de scientifiques. Elle donne naissance au GIEC<sup>3</sup>, qui depuis 1988 compile les articles scientifiques consacrés au changement climatique. Le GIEC publie tous les 5 à 6 ans une série de rapports résumant l'état des connaissances sur le changement climatique, l'impact des activités humaines et les moyens de les atténuer, avec des synthèses destinées aux décideurs et au grand public.

Projection des émissions liées aux énergies fossiles suivant les quatre profils d'évolution de GES (RCP) du Giec



Source : Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail, 2013

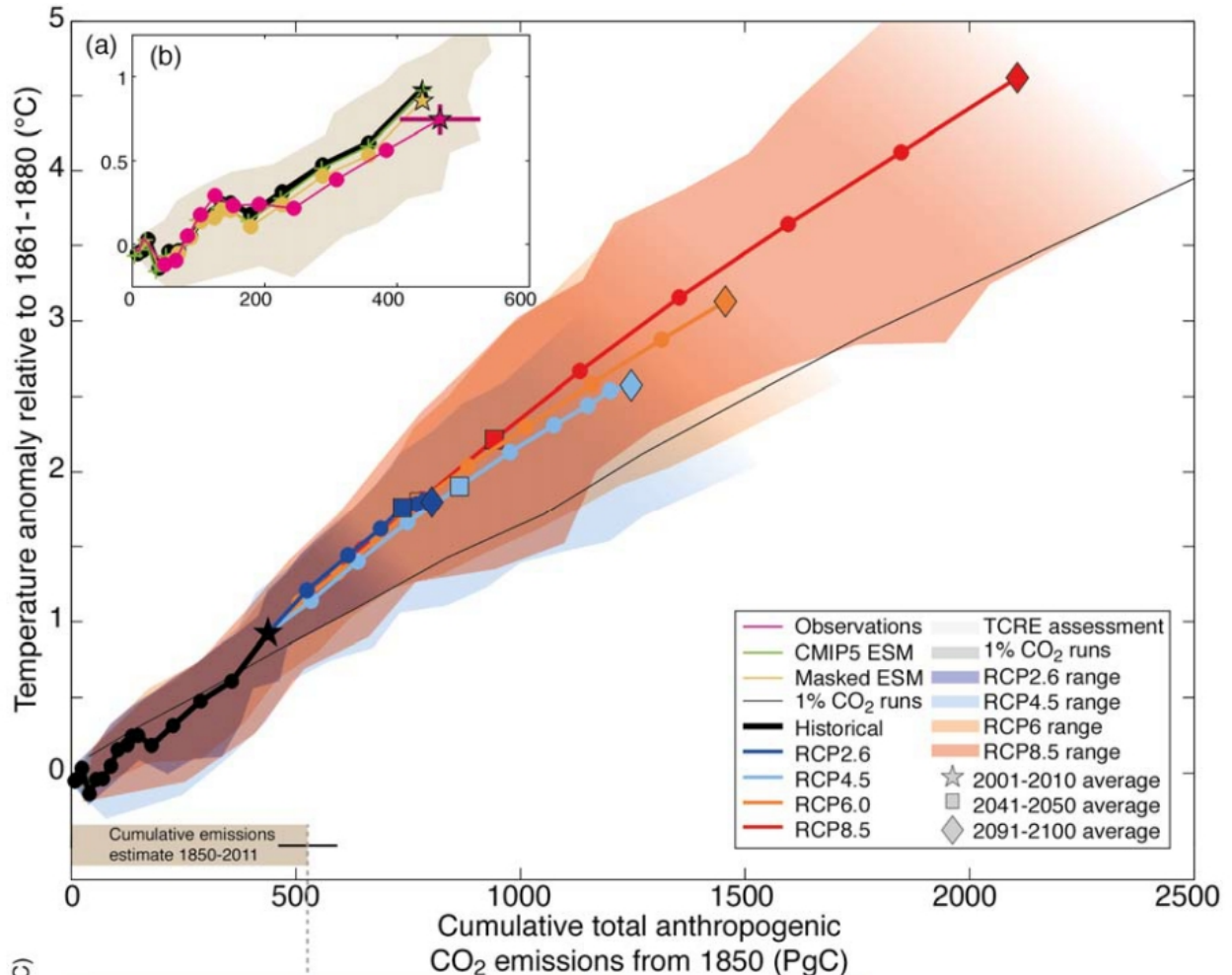
- Vue 16 :**
- Scénario **bleu foncé** : les émissions plafonnent vers 2020 et stoppent avant 2100
  - Scénario **bleu clair** : les émissions culminent vers 2050 puis diminuent
  - Scénario **orange** : les émissions culminent vers 2080 puis diminuent
  - Scénario **rouge** : les émissions augmentent jusque vers 2100

Ces rapports reflètent les idées dominantes de la communauté mais discutent aussi des points de vue minoritaires. L'enjeu devient politique en 1992 avec le sommet de la Terre à Rio qui ratifie une convention-cadre pour les États membres de l'ONU, mettant en place un système global d'observation du climat, et des réunions annuelles dites conférences de parties ou COP, visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre ; la première a eu lieu en 1995 après le second rapport du GIEC qui affirme l'origine humaine du réchauffement, celle de Paris sera la 21<sup>ème</sup>. L'enjeu économique et politique est énorme : remplacer les énergies fossiles (80% de l'énergie actuelle) par des renouvelables d'ici 2100. Les résultats concrets des COP sont peu nombreux et décevants, mais un mouvement se dessine malgré l'inertie des États. En 2010, sous la

<sup>3</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

pression des scientifiques, on tombe d'accord sur la nécessité de diminuer les émissions globales pour limiter à 2 degrés le réchauffement mais sans indiquer la méthode pour y parvenir. Il manque encore une volonté politique et citoyenne forte pour modifier en profondeur notre économie et nos modes de vie. Comment concilier un progrès technique qui a amélioré la vie de beaucoup de gens, avec le respect de la nature et des êtres vivants dont nous dépendons ? Qui doit fournir le plus d'efforts dans ce domaine ?

### Quelles perspectives pour le 21ème siècle ?



**Vue 17 : Réchauffement en fonction du cumul des émissions humaines de CO<sub>2</sub> ou équivalent.**

En noir et insert : de 1850 à 2011, en couleurs projections selon scénarios (GIEC, 2013)

Les chercheurs du GIEC ont élaboré divers scénarios d'émission de GES (vue 16). Le scénario très optimiste suppose que nous plafonnions sans tarder nos émissions et les arrêtions totalement avant la fin du siècle. Il aboutit à un réchauffement global à l'équilibre de 2 °C environ (vue 17). Le scénario suivant suppose un maximum d'émission vers 2040-2050 et une forte réduction (mais sans annulation) vers 2100, il est nettement plus réaliste et conduit à un réchauffement à l'équilibre de 2,7 °C.

Le scénario très pessimiste prévoit un maximum d'émission vers 2100, 2 à 3 fois l'actuel, et conduit à un réchauffement de 4,5 °C (vue 17). Le consensus actuel est que le scénario très optimiste est déjà hors de portée mais que tous les efforts doivent être faits pour réduire les émissions dès que possible et le plus fortement possible. On peut raisonner sur les émissions actuelles, mais il est éclairant de regarder le cumul de ces émissions depuis le début de l'ère industrielle. On voit alors que nous avons déjà émis 515 GtC (en équivalent carbone des émissions de GES) et qu'il ne nous reste que 400 GtC à émettre si nous voulons limiter le réchauffement à 2 °C (vue 17), soit 40 ans au rythme actuel (qui continue à augmenter). Dans le scénario 2, c'est environ 800 GtC qu'on peut encore émettre avant d'atteindre le réchauffement de 2,7 °C. Dans le scénario le plus pessimiste, nous émettons encore 1600 GtC d'ici 2100, soit plus de 3 fois ce qui a déjà été émis.

## Comment répartir les efforts ?

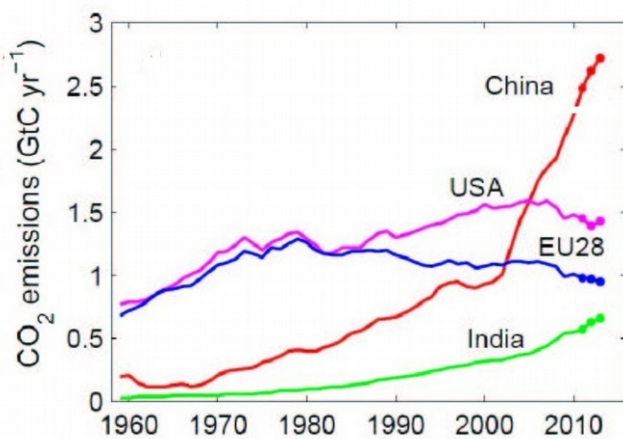


**Vue 18 : Émissions globales en tonnes de carbone par habitant et par an**

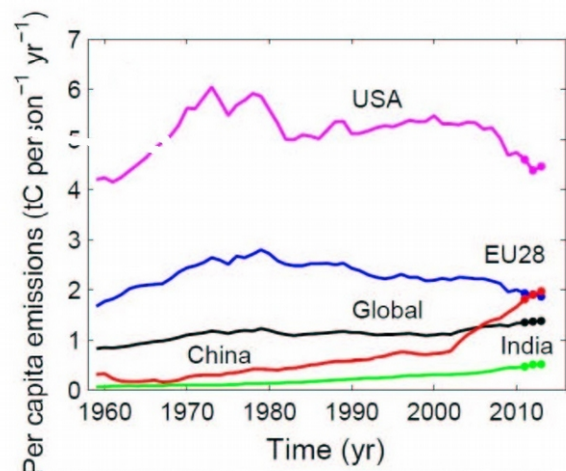
La forte croissance après 2000 vient des pays émergents (Chine +)

Si l'on regarde la croissance mondiale des émissions de GES par habitant, on observe trois phases distinctes (vue 18) : une forte augmentation de 1950 à 1980, suivie d'un plateau de 1980 à 2002, puis à nouveau une forte augmentation de 2002 à 2010.

La cause en est clairement l'industrialisation des pays émergents, la Chine en tout premier : ses émissions ont dépassé celles des USA en 2005 et sont maintenant presque le double des leurs (vue 19 gauche). Les émissions par habitant sont intéressantes à considérer (vue 19 droite) : alors que la moyenne mondiale est de 1,3 tC/an, celles des USA sont de 4,5, celles de l'UE de 1,9 et celles de la Chine de 2, dépassant donc les pays de l'UE dont le niveau de vie est globalement correct. On voit qu'il y a de la marge pour des réductions d'émissions sans diminution du niveau de vie.



**Emissions par pays (GtC/an)**



**Emissions par habitant tC/an)**

Les émissions de la Chine ont dépassé celles des USA dès 2005

### Vue 19 :

Par habitant, elles ont dépassé celles de l'UE mais restent bien en dessous des USA  
On peut bien vivre avec des émissions limitées, qu'il s'agit de réduire à zéro d'ici 2100

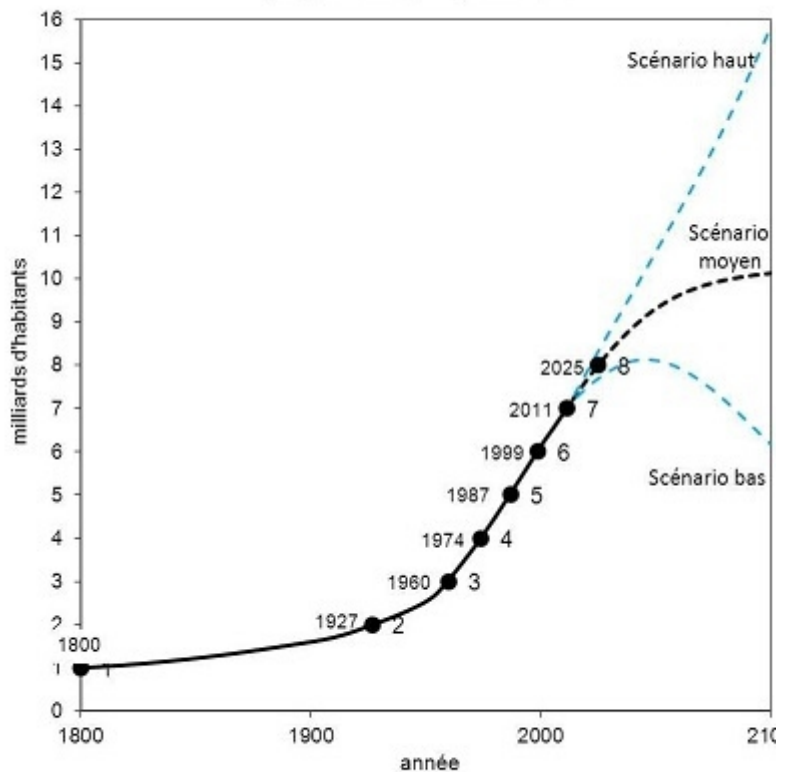
Mais il faut considérer le cumul des émissions depuis le début de l'ère industrielle pour établir de la justice entre les efforts à faire pour les divers pays (tableau ci-dessous, considérant le seul CO<sub>2</sub>, source CITEPA). Les pays développés représentent clairement l'essentiel des émissions passées.

	Gt CO <sub>2</sub>	Gt C	%
USA	367	100	27
UE	329	90	24
Chine	150	41	11
Russie	102	28	7,5
Autres	417	114	30,5
Monde	1365	372	100

Nous sommes passés d'un ère de conquête des ressources naturelles à une ère où il faudra gérer ces ressources de façon économe. L'augmentation des prélèvements tient pour partie à l'augmentation de la population humaine, qui est passée de 1,7 milliard en 1900 à 7,3 milliards en 2015 (vue 20).

Le taux de croissance relative a certes diminué depuis 1970, passant de 2 % à environ 1,1 %, mais cela représente encore 80 millions de nouveaux habitants chaque année. La plupart des pays ont réalisé une transition démographique : la natalité est d'abord forte pour compenser une forte mortalité liée aux maladies et aux mauvaises conditions de nutrition et d'hygiène. Puis la mortalité diminue grâce aux progrès médicaux et alimentaires et la natalité reste élevée, entraînant une forte croissance démographique. Enfin la natalité diminue et avec elle la croissance. Ce schéma s'est appliqué dans presque tous les pays, à l'exception de l'Afrique sub-saharienne qui conserve une forte natalité avec en moyenne 5 enfants par femme. Sans souhaiter une régulation autoritaire des naissances comme celles qui ont été pratiquées en Chine et en Inde, on peut espérer que l'éducation des femmes africaines conduise à une régulation souhaitée des naissances, ce qui n'est pas le cas actuellement.

**Vue 20 : Evolution de la population mondiale depuis 1800 et projections jusqu'en 2100**



G. Pison, Population et Sociétés, no. 482, Ined, octobre 2011 - [http://www.ined.fr/fr/ressources\\_documentation/publications/pop\\_soc/bdd/publication/15](http://www.ined.fr/fr/ressources_documentation/publications/pop_soc/bdd/publication/15)

### Comment pratiquement réduire nos émissions ?

Différentes suggestions ont été faites dans le journal La Croix du 5/10/2015 :

1. Changer d'énergie (éolien, solaire)
2. Faire la chasse au gaspillage (isolation des bâtiments anciens)
3. Se déplacer autrement
4. Planter ou replanter (stocke du C, gagne du temps)
5. Bâtir autrement
6. Se nourrir autrement
7. Se protéger (mais plus facile aux riches)

Certaines nous sont directement accessibles sur le plan personnel, d'autres nécessitent une intervention publique comme le changement de politique énergétique, le stockage de carbone par la plantation d'arbres (actuellement très développée en Chine).

## Que nous dit le pape François dans l'encyclique "*Laudato si'*" ?

L'encyclique commence avec le cantique des créatures de St-François, une hymne de louange à la gloire du Créateur qui a fait la Terre belle pour ses habitants. Chacun de nous peut témoigner de cette beauté, évidente quand on regarde un ciel étoilé, un beau paysage de montagne ou l'immensité de la mer. Elle se révèle aussi de façon plus discrète dans la beauté de nos campagnes, découverte au rythme lent de la marche. Mais tout de suite le texte insiste sur la nécessité de protéger les plus faibles de ces habitants. Cela concerne les humains les plus pauvres comme les animaux ou les plantes menacées par les activités humaines : tout est lié, on ne saurait réduire la nature à la protection de quelques espèces ou de quelques sites, c'est son ensemble qu'il faut considérer, les humains en font partie.

Pour que chacun des 7 milliards d'humains puisse satisfaire ses besoins vitaux en nourriture, eau, vêtements, logement, énergie, il faut une répartition des ressources naturelles plus juste que celle pratiquée jusqu'ici, qui a surtout profité au quart le plus riche de la population mondiale. Faire des économies d'énergie et favoriser le recyclage est déjà fort utile, mais clairement il nous faudra accepter un changement important de notre mode de vie si nous voulons que les ressources en énergie et matières premières soient réparties de façon équitable. Ainsi l'Union européenne souhaite diminuer ses émissions d'un facteur 4 d'ici 2050, pour les amener à zéro vers 2100. Mais actuellement notre monde est dirigé par des raisonnements économiques à court terme, qui ne prennent pas en compte les effets de l'économie sur les ressources naturelles. Le pape François souhaite que l'économie soit remise au service du bien commun, au lieu de profiter à quelques personnes en laissant les autres dans une profonde détresse.

Pour changer de mode de vie sans que cela soit vécu comme une régression, un retour au passé, il nous faut privilégier les activités peu consommatrices de matières premières ou d'énergie, comme la culture, l'éducation, les relations entre personnes qui créent du lien et développent un sentiment d'appartenance à une communauté. Beaucoup de personnes sont aujourd'hui en recherche de spiritualité sous des formes très diverses, souvent sans connaître la richesse de notre tradition religieuse. Il nous appartient de rendre cette tradition vivante et attrayante pour les plus jeunes, en l'associant au respect de la nature et de la création.

## Références

- *Laudato si'*, encyclique du pape François :  
texte [en ligne](#) sur le site du Vatican ; édition commentée réalisée par le Collège des Bernardins, cahier hors série, (oct. 2015), éditeur "Parole et silence" (Les Plans-sur-Bex, Suisse), 300 p.<sup>4</sup>
- *Les clés pour comprendre le changement climatique* (Journal La Croix 5/10/2015, pp. 13-16).
- *Stop au dérèglement climatique*. Bruno Lamour, 2015. Collectif Roosevelt. Éditions de l'Atelier, 110 p.  
Un petit livre plus militant (assorti de 15 propositions concrètes pour la transition écologique).
- *5e rapport du GIEC sur les changements climatiques et leurs évolutions futures* : <http://leclimatchange.fr/>

\* \* \*

---

<sup>4</sup> [http://www.paroleetsilence.com/Encyclique-sur-l-ecologie--Debats-reactions-presentation\\_oeuvre\\_11618.html](http://www.paroleetsilence.com/Encyclique-sur-l-ecologie--Debats-reactions-presentation_oeuvre_11618.html)

Les contributions ici réunies à la suite du texte intégral de *Laudato si'* expriment les réactions d'un certain nombre de spécialistes de la question écologique. Experts, responsables politiques et économiques, théologiens, chacun apporte un éclairage particulier. En réagissant aux propos du pape, ils aideront aussi le lecteur à approfondir sa réflexion personnelle. Deux index complémentaires font de ce livre un remarquable outil de travail et de réflexion.

*Auteurs* : Dominique Bourg, François Euvé, Alain Grandjean, Philippe Joubert, Jean Jouzel, Bruno Latour, Corinne Lepage, Gérard Payen, Bernard Perret, Pascal Roux, Bernard Saugier.



## DISCUSSION

*Judith NICOLAS* : Est-ce que lorsqu'on fait la guerre, cela augmente les émissions de gaz carbonique ?

*Bernard SAUGIER* : On peut le penser, mais les approvisionnement en pétrole et charbon sont peut-être affectés, je ne sais pas.

*Judith NICOLAS* : Et si l'on discute beaucoup pour éviter les conflits, comme le suggère le pape François, cela augmente les émissions de gaz carbonique ? (Rires)

*B.S.* : Je me rappelle avoir un jour calculé cela. Mais qu'on discute ou pas, l'on respire. Quand on est 7 milliards, c'est tout-à-fait mesurable et non nul. Cela fait partie de la respiration hétérotrophe que j'ai englobée dans la respiration animale et c'est inclus quand on fait le bilan du carbone. C'est environ 1 % de la respiration animale totale. À l'époque où je l'avais calculé cela correspondait à près de 10 % des émissions de gaz carbonique. Aujourd'hui cela doit faire un peu moins peut-être 5 à 6 %. Donc ce n'est pas nul, mais qu'on discute ou pas cela modifie peu.

*Jean OGIER* : Vous avez mentionné deux fois la vapeur d'eau, il semblerait que ce soit un gaz à effet de serre. Pourquoi n'en parle-t-on pas ? Et quel est le pourcentage que représente l'action de la vapeur d'eau dans les gaz à effet de serre ?

*B.S.* : Il faut distinguer ce qui est effet de serre naturel et l'effet de serre additionnel lié aux activités humaines. La vapeur d'eau est le principal gaz à effet de serre naturel 65 à 70 % de l'effet de serre, le CO<sub>2</sub> les 30 à 35 % restant.

*Jean OGIER* : Le méthane ?

*B.S.* : Son effet est relativement faible, à ce niveau-là.

Pour l'effet de serre additionnel, en général on ne parle pas de la vapeur d'eau parce que cette dernière est contrôlée par les processus du cycle de l'eau, l'évaporation et la condensation. Tout le cycle de l'eau est pris en compte dans les modèles de climat par la circulation générale de l'atmosphère. Les activités humaines rajoutent un peu de vapeur d'eau par rapport à ce cycle général, mais ce sont des quantités faibles par rapport à la très grosse évaporation au niveau des océans, c'est pourquoi on n'en parle pas.

*Jean OGIER* : La vapeur d'eau est un phénomène incontournable ?

*B.S.* : Absolument. Dans la vapeur d'eau les phénomènes naturels sont dominants, alors que pour le CO<sub>2</sub> qui est un constituant mineur de l'atmosphère la partie liée à l'homme est beaucoup plus importante en proportion. Dans l'effet de serre anthropogénique le CO<sub>2</sub> représente 60 à 65 %.

*Michel GODRON* : Sur la vapeur d'eau, il y a quelque chose qu'on ne réalise pas et qui est pourtant très évident. Il y a une élévation de la température mondiale en particulier sur les océans, donc une évaporation plus forte de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Bernard l'a très bien dit, ce qui régule la vapeur d'eau c'est le système des précipitations. À l'échelle du globe, les précipitation vont continuer à augmenter. Malheureusement, cela ne sera pas forcément bien réparti. Le Sahara ne va pas reverdir !

Il faut une véritable révolution de notre système économique qui doit être réorienté vers le bien commun. Ce qui m'a paru très remarquable dans *Laudato si'* c'est que le Pape s'adresse à tous les gens de bonne volonté, comme l'avait fait Jean XXIII. Deuxièmement, il parle des problèmes réels du monde actuel, problèmes écologiques, il a beaucoup insisté sur le climat, mais aussi sur les problèmes économiques.

J'en arrive à ma question. En France depuis *Laudato si'* et même avant, il y a plusieurs groupes de travail qui ont commencé à réfléchir aux problèmes écologique, en particulier à la Conférence des Évêques de France. Il serait nécessaire qu'une réflexion de fond soit reprise sur l'ensemble des problèmes abordés dans *Laudato si'*, non seulement le changement climatique, mais aussi la transition énergétique et les problèmes de l'alimentation. Le système de nourriture du monde est complètement déglingué. Nous subventionnons nos agriculteurs qui n'arrivent pas à vivre par la vente de leurs produits. Les exportations et dons de produits alimentaires des pays occidentaux ruinent les producteurs de sorgho et millet des Africains. La biodiversité est aussi un problème important.

Il y a donc quatre problèmes écologico-économiques pour lesquels doit se produire une conversion de nos mentalités. Il est nécessaire que les personnes qui en France s'intéressent à ces quatre problèmes et qui

pensent que cette révolution est possible, et essaient de réfléchir aux moyens pour l'obtenir, commencent à se regrouper. J'en ai parlé en particulier avec un des Pères des Bernardins. Ces derniers organisent des séminaires sur un ou deux ans. Ils pourraient partir des problèmes importants du moment et traiter à fond ces problèmes sur une période suffisamment longue pour dépasser l'actualité de l'instant. Il serait intéressant qu'un certain nombre de personnes comme vous demandent que, par exemple aux Bernardins, on entame cette réflexion de fond où les problèmes sont étudiés dans toutes leurs composantes. « Tout est lié », dit l'encyclique. On retrouve exactement cette problématique dans un très bon article du dernier N° de la revue *Études*,<sup>5</sup> où Madame Dominique Dron dit que les modèles économiques devraient s'inspirer des modèles biologiques. Troisièmement, il y a à l'Université Catholique de Lyon une chaire Jean Bastaire qui travaille aussi sur ces problèmes. J'arrive à ma question. Est-ce qu'un certain nombre d'entre vous seraient prêts à participer à cet effort de réflexion dans le long terme ?

*B.S.* : Il y a pas mal de groupes qui existent, avec des axes de réflexions différentes, je suis plutôt optimiste. On ne manque pas de réflexion, mais plutôt d'action, de moyens de pression sur nos hommes politiques pour chercher à les orienter dans la bonne direction. Peut-être s'y prend-on mal ?

*Michel GODRON* : Pour faire pression, il faut convaincre et pour convaincre il faut arriver avec des arguments extrêmement solides. Ceux que tu as présentés aujourd'hui sur le changement climatique, c'est parfait, c'est suffisant. Il faudrait arriver à la même chose pour les autres problèmes, pour arriver à cette conversion pour le bien commun.

*Jean LEROY* :<sup>6</sup> Dans *Laudato si'*, sont mentionnés le problème de la redistribution des biens et celui de la transition énergétique. Le système économique mondial est complètement dominé par la finance, il marche par les profits et la redistribution, il y a là aussi une révolution fondamentale à faire. Pour la transition énergétique - ce sera l'objectif de la COP21 - il faudrait arriver à rejeter moins de CO<sub>2</sub>. Cela suppose des modèles différents, il y a des tas de gens qui s'occupent de cela. Ce n'est pas tellement une affaire de connaissances, mais on se heurte à des conflits d'intérêts très puissants. Si on diminue les consommations de pétrole, les pétroliers vont réagir.

J'ai été très intéressé par la réflexion d'Yves Bréchet sur la perte d'intérêt dans le public pour la rationalité. Les décisions sont prises suite à des pressions. Je rejoins une réflexion que l'on avait amorcée avec Jean-Luc Marion qui nous a fait remarquer qu'il y a des phénomènes représentables en quantité et en qualité, les phénomènes qui relèvent de la démarche scientifique, et les phénomènes qui sont différents qu'il a appelés "phénomènes saturés" et qui ne sont pas représentables de cette façon, la beauté, l'amour, etc. Le problème est que souvent on traite par des sentiments, par des opinions, des choses qui relèvent en fait de la science. C'est très grave. La transition énergétique est justement un cas où l'on est confronté à ce genre de problèmes. Par exemple la malédiction qui est lancée sur le nucléaire. C'est une énergie sans CO<sub>2</sub>, on est en train en France et en Europe de la diminuer. On n'arrivera pas à la compenser avec les éoliennes et on va consommer plus de charbon. On marche sur la tête !

*Marc LE MAIRE* : Les médias, en général, ne présentent pas les thèmes de manière purement scientifique, ils souhaitent toujours avoir une personne scientifique et en face un climato-sceptique, en général non scientifique, qui sème le doute de telle manière que les hommes politiques, qui eux-mêmes ont des pressions par rapport aux intérêts économiques des uns et des autres, disent qu'ils n'arrivent pas à se décider, etc. Je serais partisan d'essayer que les thèmes scientifiques soient traités - qu'il y ait peut-être un scientifique pour et un scientifique contre, pourquoi pas ? - mais uniquement par les scientifiques, pas des personnes qui arrivent avec des sentiments, avec leur idéologie.

*B.S.* : On parlait du nucléaire, mais on a le même souci par exemple les OGM ou bien différentes formes d'agriculture. Il y a des faits, puis l'interprétation de ces faits. Une idéologie peut être mise derrière et qui va faire en sorte que c'est devenu des problèmes de société. On peut très bien avoir un discours de nature purement scientifique, mais cela ne parviendra pas à faire avancer le débat parce qu'il y a un certain nombre de gens qui s'appuient sur des arguments qui ne seront pas de cet ordre. Pour les nanotechnologies, il y a des

<sup>5</sup> [L'écologie, un modèle pour la finance](#) par Dominique Dron. Revue *Études*, novembre 2015.

<sup>6</sup> Jean Leroy a développé sa pensée dans une contribution écrite que nous reproduisons en dernière page de ce compte rendu.

choses de cette sorte. On a essayé de faire des débats sur les nanotechnologies et il y a eu des gens qui ont semé le trouble. On arrive à des blocages qui sont un peu inquiétants dans notre société. Ce qui devrait pouvoir être discuté de manière sereine, ne l'est plus. Est-ce qu'on a perdu le goût d'avancer des arguments de part et d'autre de façon courtoise ? Je ne sais pas. Mais il semble que l'on dérive assez vite vers des situations où l'on s'assène des vérités et on ne s'écoute plus les uns les autres.

*Marc LE MAIRE* : Depuis combien de temps les scientifiques sont-ils assez convaincus qu'il y a une augmentation de température et de CO<sub>2</sub> ? Cela fait facilement dix ans ?

*B.S.* : Oui bien 10 ans.

*Serge BIDOUZO* (prêtre étudiant béninois, en service à la paroisse de la vallée de Chevreuse) : Ce matin, j'étais à un forum, atelier-media, qui a réuni des associations qui travaillent à préparer la COP21. À la fin de votre exposé que j'ai trouvé très documenté, vous avez insisté sur la conversion écologique qui consiste à ce que chacun de nous ait la conviction que nous vivons dans une maison commune, comme l'a dit le Pape François. Vous avez souligné quelques points comme la nécessité de la décroissance.

Or, nous vivons dans une économie néo-libérale. Dans ce contexte, pourrait-on définir un droit qui serait contraignant pour les acteurs du monde économique ? Ne serait-il pas en contradiction avec le droit individuel selon lequel chacun a la liberté d'entreprendre comme il l'entend ? Ne toucherait-on pas ainsi au droit "sacro-saint" de la propriété privée ? Je me pose alors la question : l'écologie n'est-ce pas encore qu'une croyance ? Sommes-nous vraiment convaincus de la possibilité qu'un jour on va arriver à cette conversion ou conscience écologique ? La question de la réduction de la mobilité se pose en France. Elle se pose aussi en Afrique et au Bénin. Mais au Bénin par exemple, il devient de plus en plus nécessaire d'avoir une voiture. Il n'y a pas beaucoup de transports en commun. Cette question se pose parce que les besoins sont là et ils sont urgents. En même temps, il faut que chacun ait au moins la volonté de participer à cette diminution des émissions de gaz à effet de serre, mais en tenant compte aussi de toutes les problématiques économiques, sociales, politiques... Je crois que c'est un enjeu assez lourd, qui nécessite une discussion en profondeur.

L'encyclique du Pape, *Laudato si'* a été très bien reçue et est bienvenue juste avant la COP 21. Il ne faut pourtant pas s'arrêter à la COP21, mais penser l'après Conférence de Paris. D'ailleurs on n'est pas certain que celle-ci puisse répondre aux enjeux les plus importants de l'écologie.

Pensez-vous alors que l'écologie intégrale quand on l'intègre dans toutes ses dimensions politiques et économiques peut permettre vraiment de réduire les émissions des gaz à effet de serre ?

*B.S.* : Dans l'écologie intégrale, il y a d'abord l'écologie. Dans un écosystème, il y a des interactions étroites entre les organismes. L'avantage des systèmes écologiques est qu'ils ont une forme de stabilité. Cette stabilité n'est pas statique, il y a en permanence des évolutions dans les populations et les organismes, même des espèces qui arrivent et d'autres qui s'en vont. Mais le système garde son unité, sa viabilité, les cycles sont assurés, etc. Nous terriens, nous sommes, dans un système qui, je pense, n'est pas viable à long terme. Nous sommes obligés de nous inspirer des écosystèmes. N'importe quel écologue peut faire la même réflexion que le pape François, mais ce qu'il a rajouté dans son encyclique c'est l'insistance à mettre l'accent sur la catégorie des gens dont on ne parle finalement pas énormément, c'est-à-dire les plus pauvres. Quand on dit qu'il pourrait y avoir des choses contraignantes, cela ne veut pas dire que les gens qui ont absolument besoin d'une voiture dans le fin fond de l'Afrique vont devoir s'en passer. Dans mon esprit c'était que les gens qui peuvent se passer d'une voiture dans nos pays industrialisés devront peut-être s'en passer pour que certains autres puissent effectivement en bénéficier. Le partage, c'est plutôt dans ce sens que cela va.

*Marc PÉRINET-MARQUET* : Tu nous dis que les ressources naturelles vont manquer. Serais-tu devenu pessimiste avec les années ? Penses-tu qu'il y a un point de non retour ?

*B.S.* : Non, je ne suis pas d'un naturel pessimiste. Ce n'est pas du tout mon souhait. Simplement, si tu regardes les ressources naturelles par exemple la production des poissons de mer, actuellement elle plafonne et a tendance à légèrement diminuer bien qu'on ait multiplié l'effort de pêche par 3 ou 4 dans les vingt dernières années. Il n'y a pas de mystère, mais un vrai problème car on ne peut pas pêcher plus que ce que produisent les poissons. C'est un exemple de ressource qui est finie. On pourrait trouver d'autres exemples sur certains métaux, etc. On atteint les limites de certaines ressources. Les gens se sont peut-être trompés sur

le pic du pétrole, mais c'est quand même fini. J'étais déjà convaincu en 1972 par les gens du Club de Rome que c'était un problème de délai, si tu veux, mais qu'on avait des limites sur les ressources terrestres.

*Michel GODRON* : On est même plus inquiets aujourd'hui qu'en 1972 !

*B.S.* : Oui. En 1972, on ne parlait pas du changement climatique, on parlait de pollution comme pouvant être un problème, des ressources énergétiques déjà et des ressources en matières premières ; il y avait aussi la nourriture, l'eau...

*Jean-Paul BANQUET* : On arrivera à nourrir la population.

*B.S.* : J'en suis convaincu. On a la capacité de nourrir 9 ou 10 milliards d'habitants.

*Jacques AUGÉ* : J'étais étonné de ce chiffre : en France on consommerait 1,3 t/an d'équivalent carbone par habitant alors qu'en Europe c'est autour de 2 ? Voilà un chapitre où nous sommes spécialement vertueux ; il y a aussi la démographie.

*B.S.* : Je n'ai pas vérifié le chiffre de 1,3 mais c'est à peu près cela. Le nucléaire y est pour une bonne part.

*Jacques AUGÉ* : Hier, j'ai vu le très beau film « *La Glace et le Ciel* »<sup>7</sup> sur Claude Lorius qui a passé sa vie à faire des carottes glaciaires, à mesurer le taux de CO<sub>2</sub> et à fournir des données. Dans le film, on le voit dans les années 80 participant à des émissions pour expliquer cela. Il fait figure presque de zombie face à des gens incroyants face au réchauffement climatique. Et à la fin du film, il est dit que l'homme va savoir trouver un moyen de s'en tirer, car c'est quand il est au pied du mur que l'homme prend conscience des solutions... que les jeunes générations auront à trouver.

*B.S.* : Il faut faire attention. François dit dans l'encyclique qu'il y a des gens pour qui le développement technologique va résoudre les problèmes et à cause de cela sont dans le déni de la situation qui se présente aujourd'hui. Je crois à la science et à la technologie, mais je pense qu'elle ne peut pas tout.

*Dominique LEVESQUE* : Souvent les gens ignorent l'ordre de grandeur des problèmes. Ainsi on ne se rend pas compte aisément que perturber le système des échanges de carbone entre l'atmosphère, les océans et la biosphère au niveau de 5 % par an, ce n'est pas rien. C'est très difficile à faire percevoir.

L'autre problème est celui de l'intensité des investissements que la société doit faire pour faire évoluer les sources de production d'énergie, d'électricité en particulier. Les gens le réalisent assez mal. Par exemple, l'Allemagne a investi 340 milliards d'euros en 20 ans dans les énergies renouvelables et cela pour arriver à produire en électricité avec ces énergies le quart de ce que produisent nos centrales nucléaires. C'est ce genre de chiffres dont les gens doivent prendre conscience et pas uniquement de réduire l'usage de sa voiture même si ça compte bien sûr. Car, l'Allemagne qui a diminué simultanément sa production d'électricité d'origine nucléaire, n'a finalement pas réduit ses émissions de CO<sub>2</sub>, au moins pour l'électricité. C'est aussi ce type de point qui est difficile à faire percevoir, dans le débat sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

*B.S.* : Il y a des exemples plus positifs. La Suède qui a instauré une taxe.

*Dominique LEVESQUE* : C'est un pays de 8 millions d'habitants. J'ajoute une publicité personnelle : avec Christine Bénard, j'ai coécrit un livre<sup>8</sup> sur les grandes entreprises françaises et le changement climatique. Celles que nous avons interrogées, sont extrêmement conscientes de ce problème. Cela ne veut pas dire que les contraintes qu'elles ont, leur permettent d'atteindre la réduction requise des émissions de gaz à effet de serre pour limiter le changement climatique en cours.

*Roland POIRIER* : Quels sont les ordres de grandeur des émissions volcaniques par rapport à la pollution d'origine humaine ? Est-ce un phénomène qu'il est utile d'étudier ?

*Michel GODRON* : Un rôle très important des éruptions volcaniques c'est les nuages de poussières qu'elles envoient dans l'atmosphère. Au XIX<sup>e</sup> siècle une éruption du volcan Tambora en Indonésie a refroidi de 1 ou 2 degrés la température annuelle moyenne sur 1/3 de la planète. Les éruptions en Islande ont aussi un peu affecté nos régions. C'est étudié très sérieusement.

*Marie Odile DELCOURT* : Je voulais faire une petite remarque sur les ressources, qui ont déjà été évoquées. En effet au niveau alimentation, on a la capacité de nourrir 10 milliards d'habitants sur la planète. Le nombre

<sup>7</sup> film documentaire français, réalisé par Luc Jacquet et sorti en 2015.

<sup>8</sup> Voir en annexe. la présentation « *La poutre et la paille écologiques. L'industrie à la rescousse du climat* » Cerf 2015.

d'affamés diminue chaque année en valeur absolue malgré l'augmentation globale de population (à quelques exceptions près par exemple en 2008 lorsque les prix ont flambé). Ceci signifie qu'on combat la faim pas à pas de manière efficace. Mais il y a d'autres ressources sur lesquelles on peut s'inquiéter, en particulier les métaux. Philippe Bihoux<sup>9</sup>, un spécialiste français des métaux, est très alarmiste à ce sujet. Il dit que tout le progrès moderne va trouver là ses limites, en particulier en ce qui concerne les métaux rares.

Une autre remarque sur la transition démographique, j'ai lu récemment que la transition démographique, qui a lieu sur tous les continents, était largement entamée même en Afrique. Il semble que le continent africain soit décalé par rapport aux autres, mais qu'il prend le chemin de la transition.<sup>10</sup>

*B.S.* : J'ai entendu des sons de cloches différents, pour l'Afrique subsaharienne.

*Jean-Paul BANQUET* : Tu as souligné la responsabilité de l'Europe et des États-Unis, mais les pays émergents seraient mal inspirés de nous imiter car le contexte est tout-à-fait différent avec le changement climatique. Il faudrait les convaincre de ne pas suivre le chemin que nous avons suivi pour éviter une catastrophe.

*B.S.* : Tu prêches à un converti. Pour le protocole de Kyoto, il y avait un mécanisme de développement propre visé déjà à l'intérieur de chaque pays. On avait envisagé de dégrever de la taxation carbone les industries les moins polluantes, celles qui faisaient le plus d'efforts. Il y avait aussi un système de redistribution pour faire en sorte que les pays en développement adoptent des stratégies de développement qui soient les moins émettrices de gaz à effet de serre. Mais cela suppose des redistributions d'argent pour utiliser ces modes de production moins polluants. C'est actuellement en grosse discussion à la COP21. Il y a un fonds de 100 milliards de dollars qui est prévu pour faire ces redistributions des pays développés vers les pays en développement. Il est prévu, mais il n'est pas abondé.

*Marc LE MAIRE* : Il l'est à 62 %.

*Jean-Paul BANQUET* : Tu parles de respiration à propos de la photosynthèse. Les plantes renvoient du CO<sub>2</sub> ?

*B.S.* : Oui, il y a des mitochondries dans les cellules végétales.<sup>11</sup>

*Jean LEROY* : Les conséquences que tu as montrées, augmentation de la température, désertification du Sahara, montée des océans, inondations, vont poser des problèmes de mouvements de populations. Ce sont des problèmes géopolitiques majeurs. Je ne sais pas comment on pourra les traiter quand on voit déjà les difficultés que nous avons à accueillir les réfugiés de Syrie.

*Jean-Louis MASNOU* : D'où vient le plateau de stabilisation de 10 milliards pour le chiffre de la population mondiale ? Deuxième question, je ne comprends pas cette proposition que 1/4 de la population devrait diviser par quatre ses besoins énergétiques ? Est-ce cela qu'il faut comprendre et est-ce possible ?

*B.S.* : Les Nations Unies font régulièrement des scénarios d'évolution de la population. Je ne suis pas démographe, j'ai pris un scénario moyen, 10 milliards c'est l'ordre de grandeur estimé actuellement.

Deuxième question, c'est ce que semblent dire les chiffres. Je pense que le 1/4 le plus riche est amené à diminuer sa consommation, mais je ne dis pas à la réduire à 1/4 de ce qu'elle est actuellement, cela me semblerait trop violent. On fera forcément un compromis pour permettre, mais c'est dans cet esprit qu'il faut raisonner à terme.

## PROCHAINE RÉUNION

Mercredi 9/12 – 20h30 - Paroisse St-Rémi (Salle Teilhard de Chardin), 13 rue Amodru, 91190 Gif / Yvette.

**Ferdinand Gonseth, mathématicien et philosophe pleinement engagé dans la science de son siècle,**

invité *Gilles Cohen-Tannoudji*, chercheur émérite au LARSIM CEA-Saclay.

<sup>9</sup> *L'Âge des low-tech Vers une civilisation techniquement soutenable*. Éditions du Seuil, 2014.

<sup>10</sup> Information complémentaire à : <http://librairie.afd.fr/transition-demographique-et-emploi-en-afrique-subsaharienne/>

<sup>11</sup> Les mitochondries sont pourvues d'enzymes qui brisent les molécules organiques nutritives pour fabriquer de l'ATP (adénosine triphosphate) qui stockent l'énergie. La respiration cellulaire est, globalement, l'inverse de celle de la photosynthèse et peut s'écrire :  $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$ .

## ANNEXE BIBLIOGRAPHIQUE



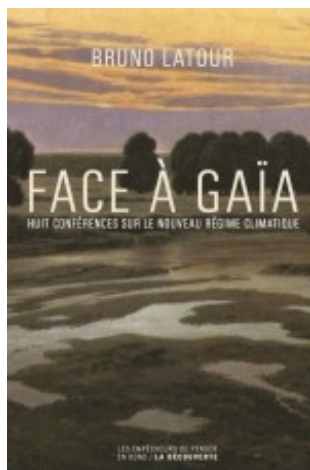
Changement climatique, développement durable : Que font les entreprises ? C'est à cette question que ce livre tente de répondre.

[www.editionsducerf.fr](http://www.editionsducerf.fr)

Ce livre s'adresse à un large public peu familier avec les grandes entreprises. Il met en lumière le comportement de grandes entreprises industrielles face aux enjeux du changement climatique et du développement durable. Le métier de ces entreprises consiste à manipuler la matière, leur taille leur impose une vision globale des problèmes. Pour ces deux raisons, ce sont des acteurs bien plus conscients des impacts de leur activité que la majeure partie des populations ou des responsables d'autres secteurs, numérique, financier ou politique, par exemple. Ce livre puise directement à deux sources : les entreprises que nous avons interviewées et les experts que nous avons consultés. En préambule, nous mettons en évidence l'incompatibilité entre les limites de la planète et la croissance tant en nombre qu'en niveau de vie, sur le modèle socio-économique actuel. En particulier, nos façons de nous loger et de nous déplacer ont un poids considérable dans les émissions de gaz à effet de serre. Une telle situation n'est pas tenable.

Le cœur de l'ouvrage est constitué par les interviews de responsables d'entreprises des secteurs du bâtiment, des transports et de la chimie : Lafarge, Saint-Gobain, Sncf, Alstom, Airbus, Renault, Michelin, PFA-Filière automobile et mobilités -, Arkema, Solvay et Air Liquide : Quelle place occupent le climat et le développement durable dans leur stratégie ? Quelle est leur vision sur ces enjeux et sur l'évolution de leurs activités ? Quels progrès ont-ils faits depuis 20 ? Quelles transformations ces enjeux ont-ils entraînés dans leurs entreprises ? Quels objectifs précis se sont-ils donnés, à court terme et à long terme ? Comment comptent-ils les atteindre ? En réponse, nos interlocuteurs nous expliquent leurs motivations, leurs contraintes, leurs politiques et leurs résultats. De nombreuses informations factuelles accompagnent ces interviews. Pour élargir notre vision, nous faisons appel à des connaisseurs des entreprises tels que PwC et à des experts du CNAM, de l'IFSSSTAR, du CSTB, du CEREMA et du CNRS, sur un vaste horizon allant du climat à l'économie, des réglementations aux politiques publiques territoriales, de la recherche à l'innovation. Faits et analyses convergent : rôle déterminant des réglementations, transformations de l'économie, évolutions des sujets de recherche et des façons d'innover. Tout bouge, mais trop lentement. Pour accélérer, les entreprises appellent de leurs vœux des réglementations consensuelles établies sur la durée, adaptées aux différentes régions du monde et aux différents secteurs, en particulier un vrai coût donné au CO<sub>2</sub> émis ou évité. Ce livre n'est ni une diatribe ni un plaidoyer, c'est une étude, un support à la réflexion.

\* \* \*



<http://www.bruno-latour.fr/fr/node/634>

**Face à Gaïa. Huit conférences sur le nouveau régime climatique**

Éditeur : La Découverte - Les Empêcheurs ( Octobre 2015)

**Table des matières - Face à Gaïa : Introduction** - écouter les débuts des chapitres 2, 3 et 7.

James Lovelock n'a vraiment pas eu de chance avec l'hypothèse Gaïa. En nommant par ce vieux mythe grec le système fragile et complexe par laquelle les phénomènes vivants modifient la Terre, on a cru qu'il parlait d'un organisme unique, d'un thermostat géant, voire d'une Providence divine. Rien n'était plus éloigné de sa tentative. Gaïa n'est pas le Globe, n'est pas la Terre-Mère, n'est pas une déesse païenne, mais elle n'est pas non plus la Nature, telle qu'on l'imagine depuis le 17<sup>ème</sup> siècle, cette Nature qui sert de pendant à la subjectivité humaine et de tas de sable pour l'ingénuité des hommes. La Nature constituait l'arrière-plan de nos actions. Elle obéissait à des lois mais ne se mêlait pas de nos histoires. Or, à cause des effets imprévus de l'histoire humaine, ce que nous regroupions sous le nom de Nature quitte l'arrière-plan et monte sur scène. L'air, les océans, les glaciers, le climat, les sols, tout ce que nous avons rendu instable, interagit

avec nous. Nous sommes entrés dans la géohistoire. C'est l'époque de l'Anthropocène. Avec le risque d'une guerre de tous contre tous.

L'ancienne Nature disparaît et laisse la place à un être dont il est difficile de prévoir les manifestations. Cet être, loin d'être stable et rassurant, semble constitué d'un ensemble de boucles de rétroactions en perpétuel bouleversement. Gaïa est le nom qui lui convient le mieux. En explorant les mille figures de Gaïa, on peut déplier rétrospectivement tout ce que la notion de Nature avait confondu : une éthique, une politique, une étrange conception des sciences et, surtout, une économie et même une théologie. Finalement la Nature était très peu terrestre et surtout très peu matérielle. Gaïa, c'est le nom du retour sur Terre de tout ce que nous avons un peu rapidement envoyé off shore.

Alors que les Modernes regardaient en l'air, les Terrestres regardent en bas. Les Modernes formaient un peuple sans territoire, les Terrestres recherchent sur quel sol poser leurs pieds. Ils reviennent sur une Terre dont ils acceptent enfin d'explorer les limites ; ils se définissent politiquement comme ceux qui se préparent à regarder Gaïa de face

## *Précisions apportées par Jean LEROY sur son intervention le 18/11/2015*

Dans *Laudato Si'*, sont mentionnés le problème de la redistribution des biens et celui de la transition énergétique.

Le système économique mondial est basé sur l'ultralibéralisme économique pour lequel le principe de base est la concurrence libre et non faussée. Cela entraîne la priorité absolue de la compétition sur la collaboration, c'est à dire la suprématie du plus fort (le plus riche) dont le seul souci est d'accumuler toujours plus de capitaux et de pouvoir, sans se soucier de ceux que ce système appauvrit irrémédiablement. Le dogme de l'action bénéfique de « la main invisible du marché » est contredit par l'expérience qui a montré des crises financières catastrophiques qui ont ruiné des pans entiers de l'économie productive et créé des millions de travailleurs pauvres, aussi bien aux USA qu'en Europe (et ailleurs). Cette situation est incompatible avec l'esprit évangélique qui implique au contraire de mettre en place des systèmes de régulation pour assurer une plus juste répartition des produits de l'activité économique.

La transition énergétique, qu'il est indispensable de faire, doit viser à limiter la production de gaz à effet de serre qui produisent une augmentation inquiétante de la température ; Il faut donc limiter le plus possible l'usage des combustibles fossiles accumulés dans la croûte terrestre pendant des millénaires. Tout cela a été très bien expliqué par Bernard, mais la difficulté que va devoir affronter la COP 21, c'est d'obtenir des engagements dans ce sens, alors que cela se heurte à de graves conflits d'intérêts entre les différents pays. Les moyens à utiliser par les différents pays dépendent de la situation de chacun du point de vue de sa situation climatique et de son stade de développement. Le cas de la France est particulier car elle a une contribution, carbone particulièrement faible grâce en particulier à son programme électronucléaire ; pour elle une diminution significative de l'usage des combustibles carbonés porterait sur le pétrole utilisé dans les transports, ce qui pourrait être obtenu par une plus grande électrification de ce secteur. Une certaine augmentation de la production électrique non carbonée est alors nécessaire. ; les éoliennes et les capteurs photovoltaïque ne semblent pas être la solution principale à cette nouvelle demande à cause de l'intermittence intrinsèque de ces sources. La tendance devrait alors être un développement modéré du nucléaire et pas la diminution qui nous est proposée dans le projet de notre gouvernement !

Il faut d'ailleurs noter que la question du l'usage mondial de l'électronucléaire ne sera pas discuté lors de la COP 21 ; les organisateurs l'ont exclu d'entrée de jeu sans aucun argument rationnel, c'est donc une position purement dogmatique. C'est d'autant plus surprenant qu'on sait par ailleurs qu'il existe de par le monde des programmes importants de construction de réacteurs, notamment en Angleterre, en Chine en Inde. Le président des USA a récemment fait une déclaration affirmant la continuation du parc nucléaire de son pays et que d'autre part le Japon a commencé à redémarrer certains réacteurs sur la côte ouest après des améliorations substantielles de leur sûreté.

J'ai été très intéressé par la réflexion d'Yves Bréchet sur la perte d'intérêt dans le public pour la rationalité. Conditionnée par une bonne partie des médias qui manipulent des peurs instinctives, l'opinion du public s'oriente souvent vers des choix surprenants par rapports à l'opportunité de certains développements technologiques qui, malgré leurs avantages, pourraient présenter des risques s'ils ne sont pas encadrés avec prudence. Par exemple les OGM ou l'électronucléaire mentionné ci-dessus. Et alors on ne s'interroge pas sur les causes majeures de mortalité actuelle comme (par exemple) l'influence énorme de la consommation de tabac sur la cancérisation qui justifieraient beaucoup plus d'attitudes de protestation.

Je rejoins ici une réflexion que nous avons amorcée avec Jean-Luc Marion lequel nous a fait distinguer d'une part, les phénomènes représentables en quantité et en qualité qui relèvent d'une démarche scientifique rationnelle, et d'autre part les phénomènes qu'il a appelés "phénomènes saturés" dont la richesse symbolique et existentielle est telle qu'on ne peut pas les représenter par des concepts simples, une autre approche est nécessaire pour penser des phénomènes comme l'amour, l'émotion éprouvée par la contemplation de la beauté, la moralité de telle ou telle attitude, etc.

Un discernement est nécessaire pour penser de manière pertinente ces deux types de phénomènes. Faute de quoi on risque de faire des erreurs graves comme croire qu'on pourra trouver une base scientifique à une morale laïque ou au contraire, croire qu'on peut orienter valablement des choix technologiques par une enquête d'opinion faite sans une véritable campagne d'information basée sur la réalité objective et comparative.

Jean Leroy (2/12/2015)