

# Changement climatique : points de repère

*Face au défi climatique, le rôle des économistes, des ingénieurs, des politiques et des citoyens est de construire des cadres d'action et trouver des solutions pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre, notamment celles liées à l'énergie, pour orienter efficacement l'utilisation des sols, et pour concevoir des politiques d'adaptation. En pratique, il faut cependant revenir souvent au diagnostic qui fonde cette action, qualifie ses enjeux et établit son urgence, qui doit être compris et partagé.*

*Ce diagnostic relève de la science, avec une histoire qui a commencé il y a près de deux siècles pour ce qui est de la compréhension de la température de notre planète, beaucoup plus récente pour ce qui concerne l'appréciation des risques associés au changement climatique. Le rôle du GIEC est de faire régulièrement le point sur son avancement, avec le souci d'en préciser la robustesse. En aval de son dernier rapport(2014), on se propose ici de donner les points de repère essentiels à tous ceux qui s'interrogent de bonne foi sur l'origine des informations qui permettent de fonder un diagnostic solide sur le changement climatique et ses causes<sup>1</sup>.*

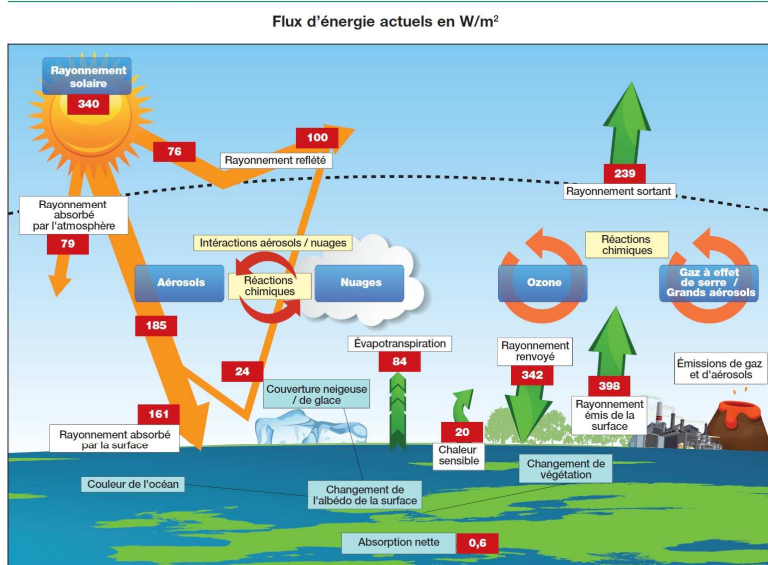
**Alain Grandjean**

## 1- Un diagnostic qui repose sur des bases et des sources solides

La physique de l'effet de serre est bien connue depuis les travaux précurseurs de Joseph Fourier en 1824. Il s'agit principalement de l'application des lois régissant les transferts de chaleur. Le rôle de l'atmosphère et de ses différents composants dans la température moyenne planétaire n'est plus discutable. Sans son atmosphère notre planète connaîtrait une température de -19°C. au lieu de 15°C, sa moyenne actuelle.

L'instrumentation qui permet d'analyser les phénomènes en jeu (température, niveau de la mer...) est de plus en plus fine et sophistiquée grâce notamment au recours aux satellites. Ses résultats

## Rôle de l'atmosphère dans l'effet de serre naturel



Les rayons solaires fournissent de l'énergie à la Terre. Une partie est directement ou indirectement reflétée vers l'espace tandis que la majorité est absorbée par l'atmosphère ou la surface du globe. La température actuelle à la surface de la Terre est due à la présence de GES qui renvoie vers le sol la majorité du rayonnement de surface.

Source : Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail, 2013  
Chiffres clés du climat en France et dans le monde (édition 2016)

sont de plus en plus convergents. Pour la température par exemple, les conclusions sur l'évidence de sa hausse depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle sont issues du recoupement des données fournies par quatre laboratoires de réputation mondiale<sup>2</sup> à partir de données de multiples agences (dont Météo France par exemple).

En ce qui concerne la modélisation du climat nécessaire pour projeter son avenir en fonction de divers scénarios, elle progresse régulièrement tant du fait de l'amélioration permanente des mesures que des capacités de calculs qui permettent d'affiner et d'enrichir les modèles. Ces modèles<sup>3</sup> intègrent la circulation de l'air dans l'atmosphère, et les transports d'eau qui y sont associés, la circulation océanique et les interactions entre l'océan et l'atmosphère, la formation et la fonte de la glace de mer les nuages, les échanges de carbone entre l'atmosphère et la planète, et certaines rétroactions du réchauffement sur les émissions "naturelles" de gaz à effet de serre, et notamment le comportement de la végétation. Ainsi au niveau mondial, on dénombre une vingtaine de modèles globaux<sup>4</sup>.

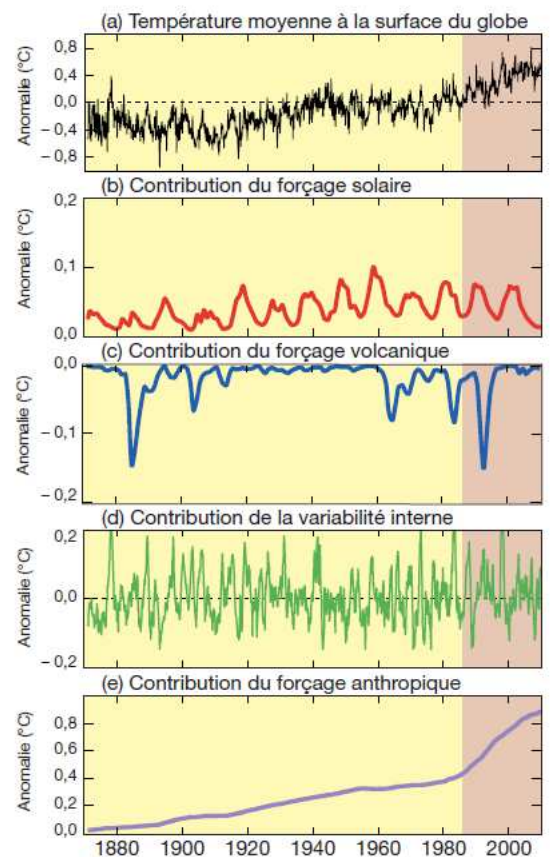
Même si, du fait de la complexité des phénomènes, les résultats des simulations font apparaître des écarts d'un modèle à l'autre, notamment au niveau régional, les principales conclusions s'avèrent robustes et mènent au même constat global. En particulier, les principaux arguments des « climatosceptiques » ont reçu des réponses documentées et convaincantes<sup>5</sup> sur lesquelles nous ne reviendrons pas ici.

Le GIEC<sup>6</sup> (groupement intergouvernemental d'experts sur le climat) réalise un travail de synthèse de très grande rigueur qui fait l'objet d'une publication environ tous les 5 ans depuis (1990, 1995, 2001, 2007, 2013-2014). Le dernier<sup>7</sup> a été rédigé par 831 experts<sup>8</sup> (les meilleurs spécialistes de leur discipline) qui ont bénéficié du travail de centaines de contributeurs et de milliers de relecteurs, issus de plus de cent pays, et ont passé plusieurs dizaines de milliers d'études au crible. De tels moyens n'ont jamais été mis en œuvre dans l'histoire des sciences pour vérifier une hypothèse. Comme le dit Dominique Raynaud<sup>9</sup> : « On peut difficilement imaginer que les 259 chercheurs en science du climat qui ont participé au groupe 1 du GIEC puissent être tous coupables de connivences, d'autant que le processus d'évaluation de ce document a rassemblé près de 50 000

commentaires d'experts de tous horizons auxquels les auteurs ont l'obligation de répondre ».

Les conclusions du GIEC sont partagées de manière quasi-consensuelle par les communautés scientifiques concernées<sup>10</sup>. Depuis 2001, de nombreuses académies des sciences nationales ont fait des déclarations (parfois conjointes) affirmant la réalité du réchauffement global anthropique et demandant aux nations de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Plusieurs études analysant le contenu des articles scientifiques sur le climat montrent que la quasi-totalité des articles qui prennent position sur les causes du réchauffement climatique appuient le consensus scientifique selon lequel ce réchauffement est attribuable à l'activité humaine.

### Variation de la température depuis 1900 et contribution des facteurs naturels et anthropiques



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

## 2- Le climat se réchauffe depuis 150 ans et les conséquences en sont visibles

Bien évidemment, à l'échelle de l'histoire de la planète (4,5 milliards d'années) le climat n'a cessé de changer sous l'influence de grands déterminants

(irradiance solaire, distance terre-soleil, variation de l'orbite terrestre, inclinaison de la Terre sur son axe de rotation, dérive des continents, volcanisme, émissions de méthane et d'oxygène par le vivant, capacité d'absorption des océans, etc.). Mais un changement climatique récent, peut s'observer depuis le milieu du siècle dernier, et il se caractérise par plusieurs éléments distincts et convergents.

Tout d'abord, la hausse de la température moyenne planétaire<sup>11</sup> est évaluée à 0,85°C [0,65 à 1,06] °C sur la période 1880-2012. Elle s'est accélérée au milieu du siècle dernier et son rythme de croissance est de l'ordre de 0,12 [0,08 à 0,14] °C par décennie sur la période 1951-2012.

En outre, le rythme d'élévation du niveau moyen des mers<sup>12</sup>, autre indicateur essentiel d'un réchauffement de la planète, se situe depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, à un niveau supérieur au rythme moyen des deux derniers millénaires. Entre 1901 et 2010, le niveau moyen des mers à l'échelle du globe s'est élevé de 0,19 m [de 0,17 à 0,21 m].

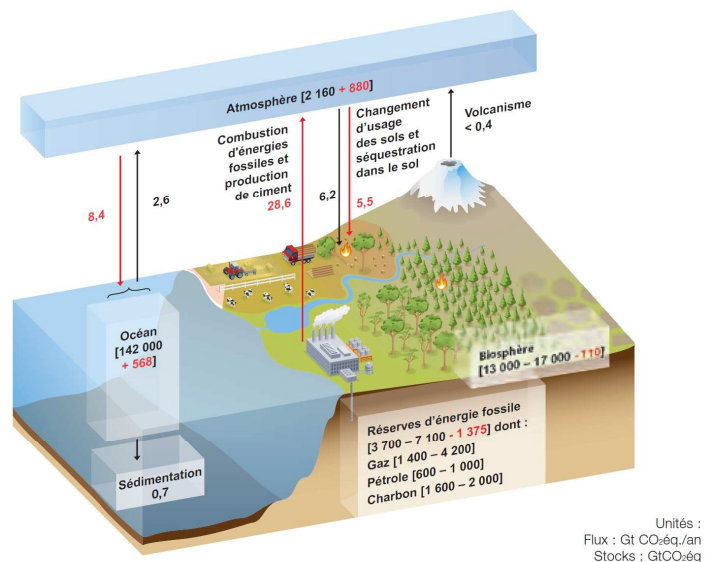
On relève par ailleurs un faisceau de signaux qui sont la signature du réchauffement et qui en traduisent déjà les premières conséquences<sup>13</sup>. Les températures ont plus augmenté la nuit que le jour au-dessus des continents. Les épisodes de précipitations intenses et d'inondation ont augmenté dans l'hémisphère nord. On a observé un plus grand nombre de vagues de chaleur extrême et ces vagues touchent un plus grand nombre de régions. Sur les deux dernières décennies, temps très bref à l'échelle de l'histoire, la masse des calottes glaciaires a diminué, les glaciers de pratiquement toutes les régions du globe ont continué à reculer et les étendues de la banquise arctique et du manteau neigeux de printemps de l'hémisphère nord ont diminué. Le réchauffement des eaux de surface fait sortir les cyclones tropicaux de leur route habituelle. C'est le cas de l'ouragan Sandy de l'automne 2012, qui a touché la Nouvelle Angleterre.

### 3- Les causes de ce changement climatique sont bien identifiées : la principale est l'émission anthropique de gaz à effet de serre

Sur très longue période, le climat obéit à de multiples paramètres. Mais, pour les dernières décennies, le réchauffement et sa structure spatiale s'expliquent principalement par l'évolution de la composition de

l'atmosphère et par l'augmentation des gaz à effet de serre d'origine anthropique; les autres facteurs sur cette période (volcanisme, émissions d'aérosols, cycle du soleil, variation climatique « naturelle », notamment oscillations ENSO<sup>14</sup>, changement d'albedo<sup>15</sup> dû au changement d'affectation de sols), jouent un rôle de second ordre<sup>16</sup>.

### Cycle simplifié du CO<sub>2</sub> au cours des années 2000



Ce graphique présente : (i) entre crochets, la taille des réservoirs aux temps préindustriels en milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> en noir et leur variation sur la période 1750-2011 en rouge ; (ii) sous forme de flèches, les flux de carbone entre les réservoirs en milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an. Les flux préindustriels sont en noir. Ceux qui sont liés au développement des activités anthropiques entre 2000 et 2009 sont en rouge.

Source : d'après Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail, 2013  
Chiffres clés du climat en France et dans le monde (édition 2016)

Les concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre que sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) ont toutes augmenté depuis 1750 en raison des activités humaines<sup>17</sup>, pour atteindre des niveaux sans précédent depuis au moins 800 000 ans. La concentration du dioxyde de carbone a augmenté de 40 % depuis l'époque préindustrielle. Cette augmentation s'explique en premier lieu par l'utilisation de combustibles fossiles et en second lieu par le bilan des émissions dues aux changements d'utilisation des sols. L'océan a absorbé environ 30 % des émissions anthropiques de dioxyde de carbone, ce qui a entraîné une acidification de ses eaux<sup>18</sup>.

### 4- L'humanité a une influence considérable sur la planète

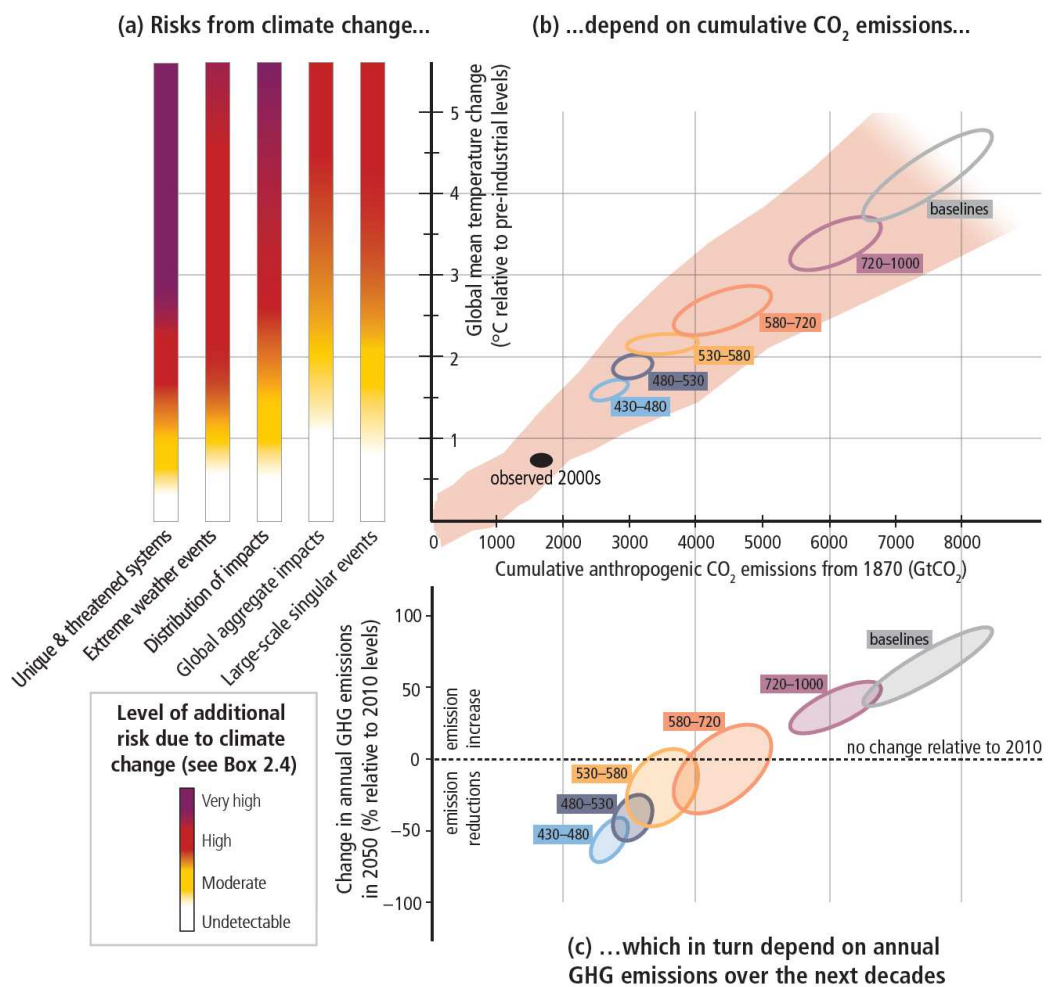
Que l'humanité puisse modifier le climat provoque généralement un mouvement d'incrédulité. Quelques éléments permettent néanmoins de comprendre que l'humanité est devenue une force « tectonique », qui peut faire jeu égal avec la nature.

L'énergie consommée par l'activité humaine est de l'ordre de 12 milliards de Tep<sup>19</sup>. Elle permet de déplacer annuellement des quantités de matériaux de l'ordre de grandeur de ce que les volcans du monde entier expulsent (30 à 40 milliards de tonnes par an) lors de leurs éruptions<sup>20</sup>.

L'empreinte de l'humanité sur l'ensemble des écosystèmes, sur les ressources naturelles est marquante (eau, aridification et épuisement des sols, déforestation, destruction des ressources halieutiques, destruction de la biodiversité<sup>21</sup>). A nouveau ces impacts sont malheureusement indiscutables<sup>22</sup> et en eux-mêmes ils sont sources de grandes difficultés pour les plus pauvres qui seront aggravées par le changement climatique.

### 5- Dans un scénario de prolongation des tendances actuelles, le changement climatique aura des conséquences lourdes

Le réchauffement climatique dépend principalement des émissions de GES, qui sont actuellement croissantes. Si nous poursuivons cette croissance, les modèles climatiques montrent que la hausse des températures moyennes sera comprise entre + 3,7 °C et + 4,8 °C, à horizon 2100 (et sa progression continuera après)<sup>23</sup>. Or nous savons que l'écart de températures entre une période glaciaire et une période interglaciaire - comme celle que nous vivons depuis environ 12 000 ans - est de 5°C environ.



Source : Climate Change 2014, SPM, GIEC

La hausse potentielle de la température est donc considérable ; un changement d'ère climatique se réaliserait en un siècle (contre des millénaires naturellement). Les impacts de ces changements sont l'objet d'études approfondies. On sait déjà qu'ils sont tragiques pour les pays du sud (accroissement de l'aridité et de la désertification dans les zones déjà sèches, bouleversement des moyens d'existence (approvisionnement alimentaire et en eau potable, risque d'effondrement des écosystèmes marins) des zones côtières, insécurité alimentaire, migrations climatiques...). Dans les pays développés, elles seront lourdes aussi (un été sur deux en 2050 en moyenne sera caniculaire comme 2003 en Europe de l'ouest avec des risques de mortalité et de morbidité, particulièrement pour les populations urbaines) ; elles nécessiteront d'entreprendre de très gros travaux d'adaptation, notamment pour les résidences, installations industrielles et infrastructures situées auprès des mers et océans. Ces impacts viennent ainsi se surajouter aux sources actuelles d'injustice et de dureté de la vie que connaissent des milliards d'êtres humains.

1- Merci à François-Marie Bréon (chercheur au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement) pour ses remarques et suggestions relatives à la première version.

2- NASA GISS, NOAA NCDC, HadCRUT4, Cowtan & Way. L'évaluation de la température mondiale planétaire suppose de disposer de nombreux capteurs bien placés, mais aussi de retraiter les informations fournies. C'est un travail scientifique délicat.

Voir :

<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2014/01/global-temperature-2013/#more-16736>

3- cf. par exemple "Le Climat à découvert", outils et méthodes en recherche climatique, CNRS, sous la direction de C.Jeandel et R.Mosseri, CNRS Editions, 2011

4- Voir par exemple :

<http://www.universcience.fr/climobs/rubrique/mecanismes-modeles-climatique/>

5- Voir par exemple le site <http://www.realclimate.org> une des références dans la communauté scientifique qui travaille sur les questions climatiques

6- Créé en 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme pour l'Environnement des Nations Unies (PNUE), il rassemble des membres de tous les pays appartenant à l'Organisation des Nations Unies. Voir <http://www.ipcc.ch/>

7- Voir : [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf)

8- Voir : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-auteurs.html>

9- Directeur de recherche émérite du CNRS, auteur principal puis réviseur du groupe 1 du GIEC ; citation extraite d'un article paru dans le Monde diplomatique de novembre 2015.

10- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Positionnement\\_de\\_la\\_communaut%C3%A9\\_scientifique\\_envers\\_le\\_r%C3%A9chauffement\\_climatique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Positionnement_de_la_communaut%C3%A9_scientifique_envers_le_r%C3%A9chauffement_climatique)

11- Depuis 1000 ans, la température moyenne n'a varié que de quelques dixièmes de degré par siècle.

12- Dû au réchauffement de l'eau, qui la dilate et à la fonte des glaciers et des banquises)

13- Voir par exemple :

<http://www.universcience.fr/climobs/2012/12/19/effets-deja-visibles-du-rechauffement/>

14- ENSO est un acronyme composé à partir des termes El Niño et Southern Oscillation (oscillation australe). C'est un phénomène climatique et océanographique reliant le phénomène El Niño et l'oscillation australe de la pression atmosphérique.

15- L'albedo est le pouvoir réfléchissant d'une surface qui verra selon le type de couverture : les glaces ont une albedo élevée au contraire de l'océan ou d'une forêt. L'albedo de la planète (égale à 0,30) diminue avec le réchauffement climatique, ce qui tend à l'accroître.

16- Le forçage radiatif anthropique total (qui mesure l'impact de certains facteurs affectant le climat sur l'équilibre énergétique du système couplé Terre/atmosphère) en 2011 par rapport à 1750 est de 2,29 [1,13 à 3,33] W m<sup>-2</sup>. Le forçage radiatif dû aux changements de concentration de ces gaz est de 2,83 [2,26 à 3,40] Wm<sup>-2</sup>.

17- En 2011, les concentrations respectives de ces gaz à effet de serre étaient de 391 ppm, 1803 ppb et 324 ppb, et dépassaient les niveaux préindustriels d'environ 40 %, 150 % et 20 %.

18- L'acidification de l'océan est quantifiée par la diminution du pH. Le pH de l'eau de mer a diminué de 0,1 depuis le début de l'ère industrielle, soit une augmentation de 26 % de la concentration en ions hydrogène. Les conséquences de cette acidification sur les écosystèmes marins sont graves en elles-mêmes.

19- Tonnes équivalent pétrole. Cette consommation a cru depuis 1900 de manière exponentielle (2,9% par an, soit une multiplication par 17)). Elle représente aujourd'hui 1,7 Tep ou 20 MWh par personne, avec des écarts considérables entre les pays.

20- Voir par exemple :

<http://www.planetoscope.com/environnement/sols>

21- Voir par exemple :

<http://www.millenniumassessment.org/fr/Reports.html> ou [http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodyv/?pid=decouv\\_cha\\_pA\\_p2\\_f1](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbiodyv/?pid=decouv_cha_pA_p2_f1)

22- Voir par exemple Anthony D.Barnosky et al. Approaching a state shift in Earth's biosphere, Nature 486,52-58 (07 June 2012)

23- Voir : <http://www.ipcc.ch/>

Placé auprès de la ministre chargée du développement durable, le Conseil économique pour le développement durable a pour mission de mobiliser des références économiques pour éclairer les politiques de développement durable.

Outre la déléguée interministérielle au développement durable et la présidente déléguée du Conseil d'analyse économique, membres de droit, ce Conseil est composé de trente membres reflétant la diversité de la recherche académique et de l'expertise des parties prenantes sur les thématiques économiques liées au développement durable.

Les services du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, notamment le Commissariat général au développement durable, sont étroitement associés aux travaux du Conseil.

Ces « références » établies dans le cadre de ses travaux, et diffusées pour stimuler le débat, n'engagent que leurs auteurs.

**Conseil économique  
pour le  
développement durable**  
Tour Sequoia  
92055 La Défense Cedex  
Tel. : 01.40.81.21.22

**Directeur de la  
publication**  
Dominique Bureau