



<http://www.clubdesargonautes.org>

Le changement climatique : histoire et enjeux

Jacques Merle, Bruno Voituriez, Yves Dandonneau,
Club des Argonautes

Décembre 2013

Chapitre VII : La biosphère entre en jeu

Dans les années 1980, au-delà de la physico-chimie de l'atmosphère et de l'hydrosphère incluant les océans, d'autres pièces du puzzle, appartenant aux **sciences de l'environnement**, vinrent se joindre aux canevas climatique. Comme on vient de le voir, c'est sans surprise que l'**OMM**, agence technique des Nations Unies pour la météorologie, a été l'organisation initiatrice du **Programme Mondial de Recherche sur le Climat – PMRC** ; celui-ci engendra les programmes de recherche dédiés à l'étude de la dynamique du climat. Mais d'autres organisations scientifiques internationales qui touchaient au climat existaient et elles sont aussi intervenues dans ces constructions. On a noté que l'**ICSU**, cette «**Organisation Non Gouvernementale**» dédiée à la science, était très présente dans les sciences de l'environnement ; elle était aux cotés de l'**OMM** pour la mise sur pied du PMRC.

À l'origine, le PMRC était censé couvrir **toutes les composantes du climat, y compris la biosphère**. Mais en fait les milieux vivants et leur rôle dans l'environnement terrestre étaient déjà traités dans d'autres programmes dont la finalité n'était pas centrée sur la question climatique. L'ICSU, grâce à son omni-compétence dans de multiples domaines scientifiques, a fait le lien entre les disciplines proprement climatiques et les autres sciences de l'environnement.

C'est ainsi que sous son impulsion un programme international, non spécifiquement dédié à l'étude du climat mais croisant plusieurs thèmes scientifiques de la question climatique, a vu le jour en 1987. Il s'agit de l'«**International Geosphere Biosphere Programme - IGBP**», (en français **PIGB pour «Programme International Géosphère Biosphère**»), dédié à l'étude interdisciplinaire de ce qui fut appelé le «**changement global**».

Autour de ces thèmes du «**changement global**» et du «**développement durable**» d'autres organisations internationales plus ou moins chapeautées par l'ONU, ont aussi proposé, à partir des années 1980, des programmes touchant à l'environnement terrestre. Plusieurs de ces organisations développèrent des programmes ayant, ou pouvant avoir, des relations avec la question climatique.

Mais l'**IGBP/PIGB** reste le principal grand programme de ce registre, bien qu'il y en eut d'autres, traitant des relations entre la biosphère, l'environnement et le climat. On reviendra plus en détail sur le contenu du **PIGB** et ses intersections avec la recherche sur le climat, mais avant cela, il paraît nécessaire, pour traiter dans toute sa diversité la relation du milieu vivant avec le climat, de tenter de faire le point sur le maquis des institutions, organisations, petits et grands programmes, dédiés à l'environnement terrestre et accessoirement au climat, en distinguant la recherche et les systèmes d'observations plus ou moins opérationnels.

1 - La galaxie des programmes dédiés à l'environnement et au climat



La biosphère nous projette dans la complexité, la vie est par nature plus difficilement réductible à des processus simples que la matière inerte ; mais, curieusement, les structures de la recherche qui en traitent sont également plus complexes et plus foisonnantes !

La question climatique, on l'a vu, s'est cristallisée au début au sein de l'**OMM** et autour de la physique et de la chimie des milieux constituants du climat, en commençant par ses deux enveloppes fluides, atmosphère et océans.

L'**OMM** avec son **PMRC** a voulu inclure le milieu vivant, la **biosphère**, dans ses domaines d'études du climat. On serait ainsi resté dans un contexte organisationnel centralisé et hiérarchisé, ce qui aurait facilité l'exposition des nombreux domaines attachés au vivant en relation avec le climat. **Mais la prise en compte de la biosphère ouvre la porte du domaine de l'environnement au sens large et de ses relations avec l'homme et ses activités.** Ce qui complique sérieusement les choses. Il devient alors indispensable de parcourir un grand nombre d'institutions et de programmes existant de longue date et plus ou moins bien coordonnés, qui, de près ou de loin, traitent de l'environnement, de la biosphère, du climat et de l'action de l'homme.

Dans le domaine des sciences de l'environnement, les organisations internationales destinées à coordonner la recherche ainsi que les réseaux d'observation à vocation opérationnelle, sont peu lisibles car elles résultent d'initiatives venues d'horizons divers, étalées dans le temps, qui s'empilent les unes sur les autres sans que les simplifications et les regroupements qui s'imposeraient au fil du temps aient toujours été pris en compte. Par ailleurs des systèmes d'observation plus ou moins opérationnels sont étroitement imbriqués dans la Recherche. Dans la plupart des pays, les observatoires dépendent toujours financièrement et structurellement de la Recherche et cela rejaillit sur la structure des organisations internationales. De ce fait il est difficile de distinguer les organisations internationales dédiées à la Recherche de celles dédiées plus spécifiquement à l'observation et ayant vocation à devenir opérationnelles. Cependant de nombreuses passerelles et comités plus ou moins communs et parfois redondants lient ces deux catégories d'activités, ce qui contribue à accroître encore un peu plus la complexité précédemment évoquée. À ces problèmes structuraux, s'ajoute, pour le lecteur non initié, une autre difficulté qui est liée à l'abondance des sigles d'origine anglo-saxonne souvent absconds, sensés désigner ces instances et ces programmes internationaux

Il y a au sommet, à l'initiative de l'**ICSU** depuis 2002, un assemblage de programmes appelé : «**Earth System Science Partnership – ESSP**» destiné à faciliter une étude intégrée du «**système Terre**» à travers ses composantes physiques, chimiques, biologiques et sociales.

Ce «**partnership**» ou partenariat inclut quatre grands programmes :

- dont l'un que l'on connaît déjà bien : le **PMRC**,
- auquel s'ajoutent le **IGPB/PIGB**,
- et deux programmes plus récents :
- l'un pour la biodiversité, «**Diversitas**»
- et l'autre pour la dimension humaine du changement global appelé «**International Human Dimension Programme - IHDP**».



Nous examineront brièvement ces deux nouveaux programmes sur la biodiversité et sur les impacts humains des désordres écologiques, y compris climatiques ; puis nous nous attarderons plus sur **IGPB** et un de ses principaux projets scientifiques qui a pour objet la biosphère océanique : le programme **JGOFS**.

1 - 1 La biodiversité et les facteurs humains dans le changement global

«*Diversitas*» est un programme international de recherche au statut d'organisation non-gouvernementale dédié aux **sciences de la biodiversité**, créé en 2002 sous les auspices principaux de l'*Unesco* et de l'*ICSU*.



Les objectifs de ce programme s'organisent autour de deux axes :

- promouvoir la science sur la biodiversité et particulièrement le lien entre les disciplines biologiques, écologiques et sociales, afin de répondre aux demandes sociétales ;
- et ensuite fournir les bases scientifiques de la conservation et de l'utilisation durable de la biodiversité.
- Ces objectifs, en lien avec les enjeux de la biodiversité, s'organisent autour de quatre domaines interconnectés :
- recherche,
- observations,
- évaluation scientifique
- et élaboration de politiques.



Plusieurs programmes scientifiques ont été mis sur pied sur des thèmes scientifiques spécifiques qui touchent de plus ou moins près au climat.

- Explorer et expliquer l'importante richesse biologique des montagnes «*Global Mountain Biodiversity Assessment – GMBA*».
- Fournir un cadre conceptuel unificateur pour les sciences de la biodiversité au sein des paysages agricoles «*Agro-BIODIVERSITY*».
- Fournir un cadre conceptuel pour les sciences de la biodiversité des eaux douces «*Freshwater-BIODIVERSITY*».
- Explorer et comprendre les relations entre biodiversité et santé «*Eco-HEALTH*».
- Conserver la biodiversité et maintenir les revenus des populations humaines en minimisant l'impact des espèces invasives «*Global Invasive Species Programme – GISP*».
- Explorer la biodiversité marine, comprendre son rôle dans le fonctionnement des océans et développer un cadre pour sa gestion afin de mieux la conserver «*Ocean-LIVE*».



L'«*International Human Dimension Programme – IHDP*» a pour objectif d'étudier les causes et les réponses humaines au changement global. Il est proche de l'*IGBP* dont il représente la composante humaine. Et à ce titre il relève, au moins partiellement, des sciences humaines. Il comporte six projets scientifiques dont certains sont communs avec ceux de l'*IGBP*.

- Gouvernance du système Terre «*Earth System Governance – ESG*»
- Changement environnemental global et sécurité humaine «*Global Environmental Change and Human Security – GECHS*».
- Transformation industrielle «*Industrial Transformation – IT*».
- Urbanisation et changement environnemental global «*Urbanization and Global Environment Change – UGES*».
- Les deux derniers projets sont communs avec *IGBP*, il s'agit de LOICZ «*Land-ocean Interactions in the Coastal Zone*» présenté plus en détail plus loin, et GLP «*Global Land Project*».

Si «**Diversitas**» et ce dernier programme IHDP sont encore assez loin du climat, il faudra cependant se souvenir d'eux lorsqu'on évoquera plus loin (chapitres XI et XII) les dimensions économiques, sociales et humaines de la question climatique. Cependant parmi les quatre grands programmes du partenariat «**Earth System Science Partnership –ESSP**», **IGBP** mérite une attention particulière car certains de ses programmes ont une intersection évidente et directe avec les programmes du **PMRC** ; de plus l'**IGBP** a contribué énormément à l'avancée des connaissances sur le climat pour presque toutes les questions touchant à la biosphère, notamment en ce qui concerne la biosphère océanique, avec le programme **JGOFS** que l'on présentera plus loin plus en détail.

2 - Le Programme International Géosphère Biosphère (**IGBP/PIGB**)



C'est au cours de sa 21^e assemblée générale que l'**ICSU** a décidé de créer, en 1986, le «**International Geosphere Biosphere Programme - IGBP**», **Programme International Géosphère-Biosphère – PIGB** en français.

Le besoin d'un tel programme se faisait sentir depuis le début des années 1980 par la **prise de conscience progressive que l'emprise croissante de l'espèce humaine sur la nature pouvait se faire au détriment de l'Homme lui-même.**

Ceci se reflétait, par exemple, dans les changements de la

composition chimique de l'atmosphère et dans l'instabilité croissante des écosystèmes naturels continentaux, côtiers et marins. C'est ce qu'il fut bientôt convenu d'appeler le «**changement global**», terme encore mystérieux mais déjà inquiétant auprès des médias et du public.

Il convenait de mieux comprendre les mécanismes complexes à l'origine de ces changements subtils affectant notre environnement, et de **fournir aux décideurs politiques les informations leur permettant de prendre les mesures appropriées à cette situation inédite depuis des millénaires.**

Il fallait aussi prendre conscience que la Terre constitue un système global unique dans lesquels l'atmosphère, les océans, la biosphère, la cryosphère et la lithosphère sont intimement liés, au-delà même des seules manifestations climatiques qui se font sentir dans l'atmosphère.

Les objectifs d'**IGBP** sont donc orientés vers l'étude des processus physiques et bio-géo-chimiques qui régulent le système Terre pour en prévoir l'évolution à l'aide de modèles appropriés. Il est nécessaire pour cela d'identifier les changements susceptibles d'affecter ce système et d'apprécier le rôle de l'action humaine dans ces changements. Ces objectifs recouvrent partiellement ceux du **PMRC**, dédié au seul climat, mais ils sont plus étendus et mettent l'accent sur l'ensemble de la biosphère et le rôle central du carbone dont le cycle traverse tous ces milieux et conditionne la vie. De plus le **IGBP** distingue le fonctionnement naturel du système de sa perturbation anthropique. Les variations passées des cycles bio-géo-chimiques naturels sont prises en compte et confrontées aux changements actuels induits par les activités humaines. L'**IGBP** s'est organisé en différents programmes dédiés aux milieux composant le système terrestre et à leurs interfaces. L'intitulé de ces programmes annonce leur contenu. Certains, tel que **JGOFS**, le plus directement en relation avec le climat, seront présentés en détail plus loin dans ce chapitre.

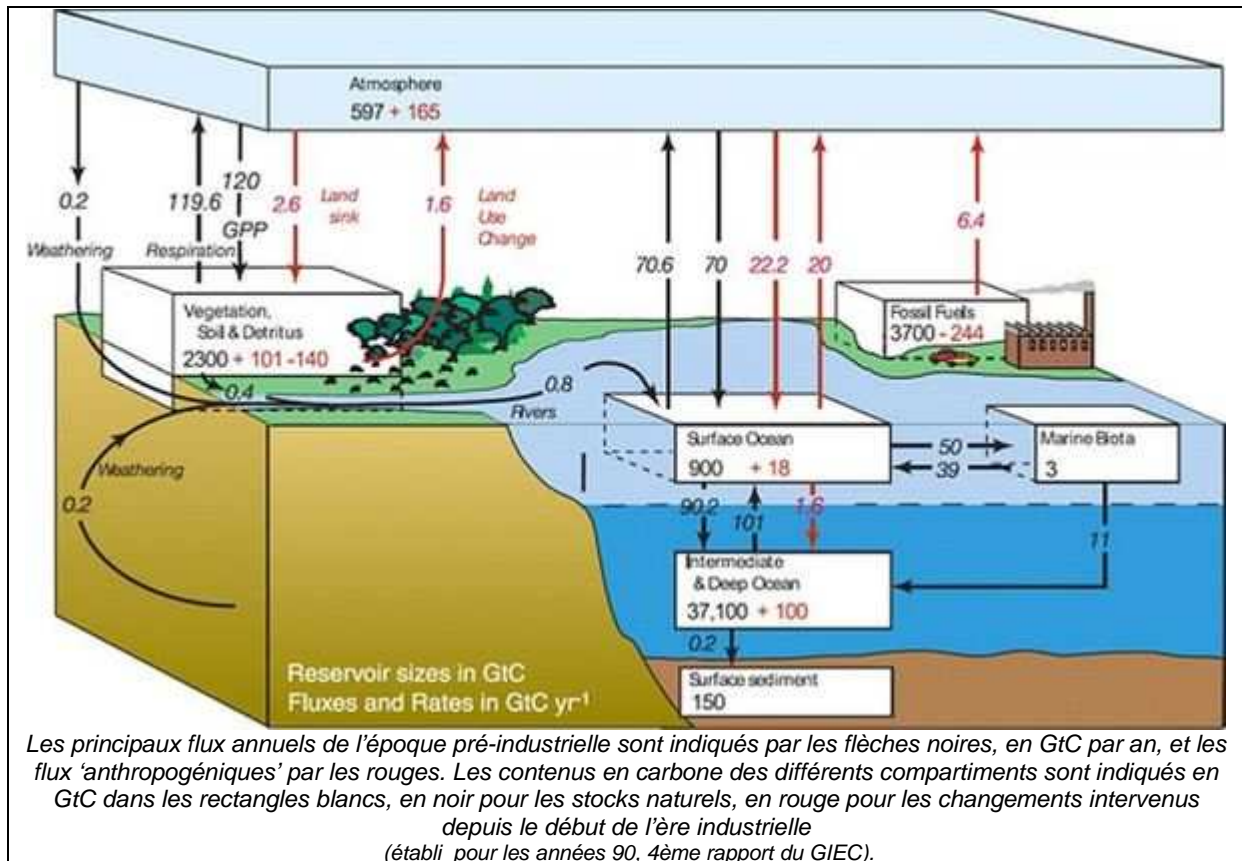
- La chimie de l'atmosphère est traitée dans le programme «**International Global Atmospheric Chemistry - IGAC**» ;
- les continents dans : «**Global Land Project – GLP**» ;
- l'océan dans : «**Global Ocean Ecosystem Dynamics – GLOBEC**» et : «**Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research – IMBER**» ;
- L'interface atmosphère-continent dans : «**Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Process Study – iLEAPS**» ;
- l'interface continent-océan dans : «**Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone – LOICZ**» ;
- l'interface physique océan-atmosphère dans «**Surface Ocean-Lower Atmosphere Study –SOLAS**»
- L'interface chimique océan-atmosphère dans «**Joint Global Ocean Flux Study – JGOFS**».
- Enfin deux programmes plus généraux concernent la modélisation et les paléoenvironnements :
- «**Analysis, Integration, and Modelling of the Earth System – AIMES**»
- «**Past Global Changes – PAGES**»

Le plus important de ces programmes initiés par l'**IGBP** pour la question climatique est incontestablement **JGOFS** qui concerne principalement les océanographes et plus particulièrement les chimistes impliqués dans la difficile question des flux d'échange de gaz carbonique à l'interface mer-atmosphère et de la capacité de l'océan de réabsorber ce gaz émis en excès dans l'atmosphère par l'activité humaine.

3 - Le rôle de la biosphère océanique : Programme JGOFS

On n'a pas oublié les péripéties des premières interrogations sur le devenir du gaz carbonique émis dans l'atmosphère du fait de l'activité humaine formulée par les pionniers du XIXème siècle : **Tyndall, Arrhenius, Chamberlin** et plus près de nous par **Callendar**, puis par **Plass, Revelle et Suess** dans les années 1950....

Après ces premières spéculations sur le rôle de l'océan dans le cycle du carbone, une communauté scientifique de chimistes et de géochimistes se constitua autour de ces questions. Mais dans les années 1980 les géochimistes et les biologistes marins déploraient que les modèles océaniques de l'époque ne fussent pas adaptés à l'étude du rôle de l'océan dans le bilan du gaz carbonique échangé entre l'atmosphère et l'océan. Or ce point est central dans la question du changement climatique causé par les émissions de gaz carbonique anthropiques. Il faut se souvenir aussi que l'océan contient environ 50 fois plus de gaz carbonique que l'atmosphère et que donc de faibles perturbations dans le cycle du carbone océanique peuvent avoir des conséquences considérables sur sa teneur dans l'atmosphère.



Des processus à la fois physico-chimiques et biologiques sont en œuvre pour déterminer l'échange de carbone entre les deux milieux fluides à leur interface. Des boucles de rétroaction, affectant surtout les processus biologiques, ont des impacts possibles susceptibles d'amplifier les mécanismes d'absorption physiques et chimiques. Toutes ces interrogations scientifiques, de la plus haute importance pour la question climatique, furent à l'origine du programme **JGOFS**.

3 - 1 La biogéochimie de l'océan prend son essor avec le programme international JGOFS

Comme souvent tout a commencé aux États-Unis. Les premières discussions sur l'étude des flux biogéochimiques furent amorcées en mars 1983 au sein de l'«**Ocean Science Board**» américain entre **Jim Baker, Wally Broecker, John Steele, Jim Mc Carthy et Carl Wunsch**. Les géochimistes, comme **Broecker**, pensaient que les objectifs de **WOCE** étaient incomplets, il fallait lui ajouter un volet sur les flux bio-géo-chimiques non conservatifs ou créer un nouveau programme pour traiter cette question. Cette idée d'un programme sur les flux bio-géo-chimiques associé à **WOCE** prit corps et les cinq scientifiques susnommés se constituèrent en un groupe de travail, agréé par le "Board" dont ils étaient membres, chargé d'étudier la faisabilité d'une étude des cycles bio-géo-chimiques océaniques.

En août 1983, au cours d'une réunion **WOCE** à Woods Hole, les participants reconnurent que ce nouveau programme principalement axé sur le gaz carbonique océanique associé à **WOCE**, serait un défi difficile à relever. Il existait une certaine tension entre **Carl Wunsch**, le principal promoteur du programme **WOCE**,

déjà sur les rails, et le leader naturel des géochimistes, **Wally Broecker**, qui craignait que la mobilisation des navires de recherche autour de **WOCE** fasse de l'ombre à ses projets de bio-géo-chimie. Cependant l'organisation d'une réunion de programmation d'un «**Global Ocean Flux Study – GOFS**» à Woods Hole en septembre 1984 calma les esprits et ouvrit le chemin à des projets de bio-géo-chimie. Rapidement les américains s'organisèrent autour de ce nouveau concept de **GOFS** pour entreprendre des programmes de campagnes de mesures sur le terrain, dans l'Atlantique Nord notamment. En France les choses évoluèrent plus lentement. On peut rappeler que **Pierre Morel** s'opposait vigoureusement à ce que le cycle du carbone soit pris en compte dans le **PNEDC**.

Roger Revelle, président du **CCCO**, suivait évidemment avec attention ces développements américains sur un sujet qui lui était cher. Au cours de la sixième session du **CCCO** à Washington en décembre 1984, il invita plusieurs personnalités scientifiques du domaine, dont **David Keeling**, **Peter Brewer** et **Jim Mc Carthy**, à présenter les progrès récents réalisés autour de cette importante question relative aux phénomènes physiques et biologiques qui déterminent les flux de gaz carbonique entre l'océan et l'atmosphère. Depuis 1978 l'instrument **CZCS** embarqué sur le **satellite Nimbus 7** mesurait les teneurs en chlorophylle de la surface de l'océan et fournissait ainsi des informations globales sur la photosynthèse océanique. Des perspectives favorables existaient pour lui donner un successeur, projet de la **NASA** d'un «**Ocean Color Imager – OCI qui ne se concrétisera finalement qu'en 1997 sous le nom de SeaWiFS**».

Par ailleurs des avancées récentes dans les techniques de mesure du carbone inorganique dissous, notamment à l'aide de dispositifs embarqués sur des navires de commerce (**C. S. Wong** au Canada, **Y. Dandonneau** en France), ainsi que de nouvelles «**trappes à sédiments**» performantes, avaient été obtenues. Ces résultats convainquirent le **CCCO**, et **Roger Revelle**, que le moment était venu de proposer la construction d'un programme de dimension internationale destiné à mieux comprendre le cycle du carbone dans l'océan.

Un tel programme aurait deux objectifs :

- mesurer les différents composants dans lesquels entrait le gaz carbonique en surface et en subsurface ;
- et étudier les interactions entre l'activité biologique et le gaz carbonique atmosphérique et océanique.

Pour la première fois le terme de «**pompe biologique**» était employé par **Roger Revelle**. C'est à la suite de cette recommandation du **CCCO** qu'un groupe de travail international, sous la présidence de **Roger Revelle** lui-même, se constitua avec notamment **David Keeling**, **Jim Mc Carthy** et un français, **André Morel**, dans la perspective de mettre sur pied un programme international sur la question.



Différentes péripéties émaillèrent encore la naissance de ce programme. Son association avec **WOCE** fut discutée à l'automne 1986 à l'occasion d'une réunion du **SCOR** à Hobart en Australie. Puis le projet se concrétisa au cours d'une réunion de l'**ICSU** à Paris en février 1987 durant laquelle le **SCOR**, sous la

présidence de l'allemand **Gerold Siedler**, proposa qu'il soit appelé **JGOFS** (l'ajout du J pour «Joint» indiquant bien que ce programme était une fédération internationale de projets de type **GOFS**) car les américains voulaient garder la main sur cette construction bien qu'au départ **GOFS** réunissait déjà une dizaine de nations dont la France, l'Allemagne, l'Angleterre, la Hollande.... En octobre 1987 la création du programme fut officiellement annoncée au cours d'une réunion du **SCOR** à Zurich. La première réunion de son comité de planification se tint à Miami en janvier 1988. Deux ans plus tard, **JGOFS** fut incorporé dans **IGBP** et en devint un des programmes phare.

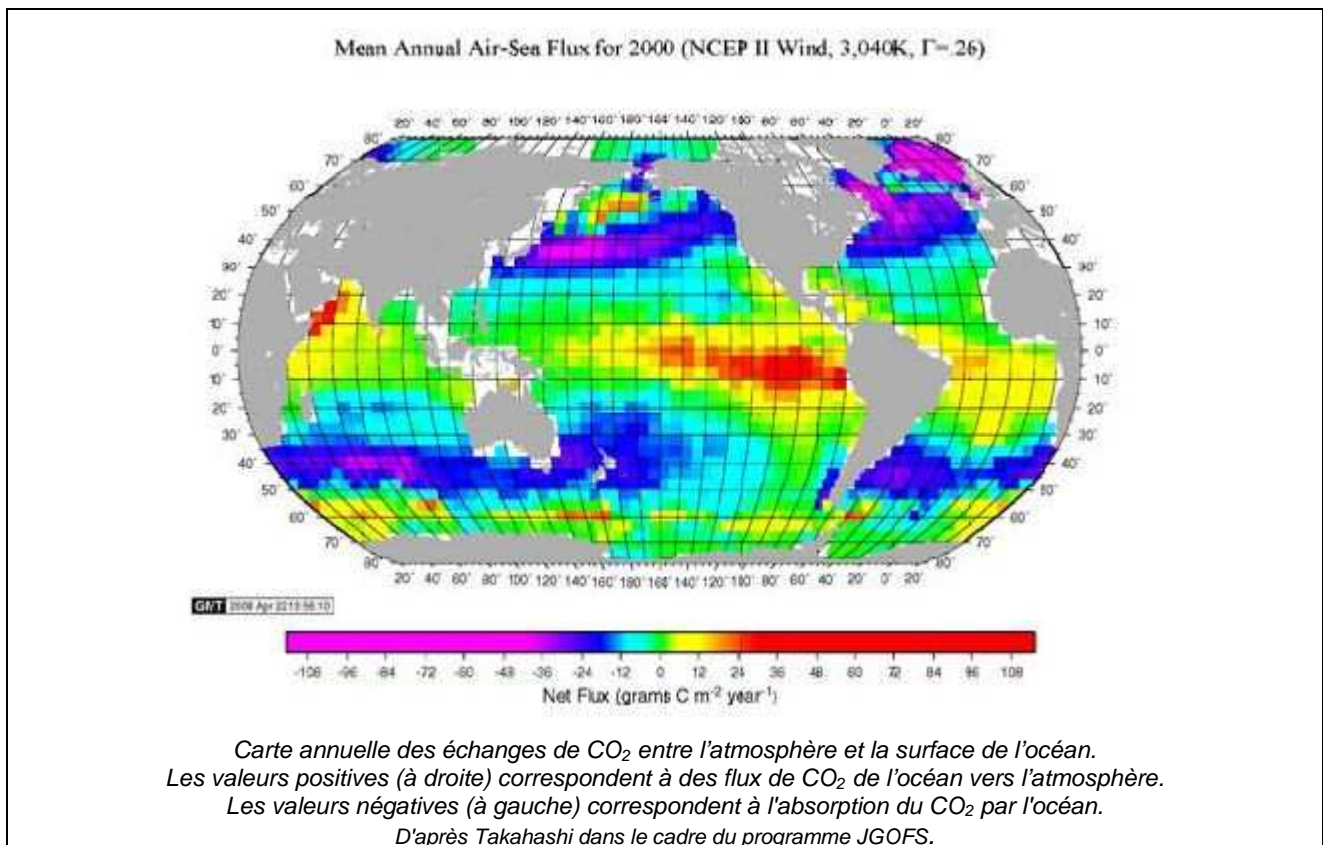
3-2 Objectifs et résultats du programme JGOFS

Les objectifs de **JGOFS** s'organisaient autour de deux thèmes principaux :

- i. Comprendre dans l'océan les processus contrôlant à l'échelle globale la variabilité des flux de carbone, et leurs composés organiques associés, ainsi qu'évaluer leurs échanges aux interfaces :
 - atmosphère,
 - continent
 - et plancher océanique
- ii. Mettre au point des outils de prévision, à l'échelle globale, de la réponse biogéochimiques de l'océan aux perturbations anthropogéniques, en particulier le changement climatique.

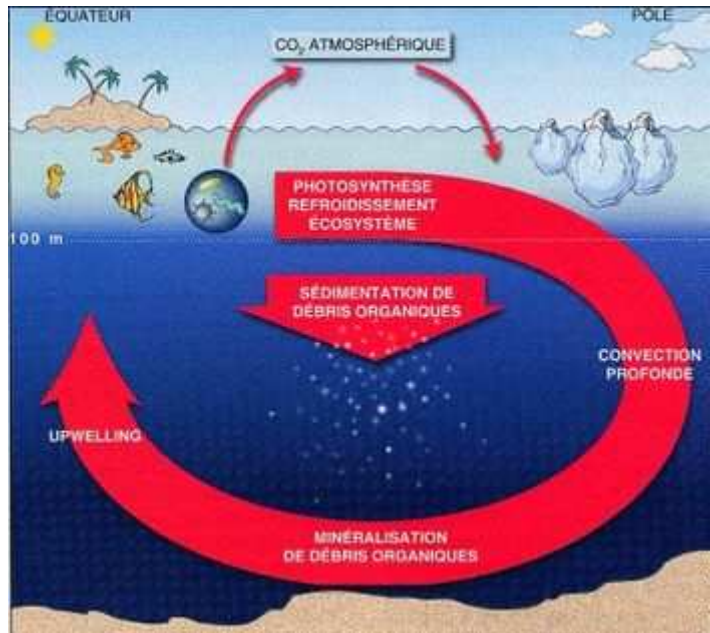
La stratégie déployée pour atteindre ces objectifs incluait une série d'études de processus dans des régions océaniques dont on pensait qu'elles constituaient un échantillon représentatif des processus qui déterminent les flux d'échanges de carbone entre l'océan et l'atmosphère. **JGOFS** avait aussi pour mission le développement de modèles susceptibles de rendre compte des observations, de fournir des images réalistes et à grande échelle des phénomènes bio-géo-chimiques et de faire des prévisions de la réponse océanique aux changements environnementaux.

JGOFS a considérablement amélioré les estimations du flux global de gaz carbonique à l'interface océan atmosphère, et de sa variabilité, grâce à un réseau performant de mesures de surface. Ce résultat a permis d'obtenir une image précise de ce qui est appelé la «**respiration de l'océan**» ; c'est-à-dire où et combien l'océan est capable d'absorber ou de rejeter du gaz carbonique dans l'atmosphère.

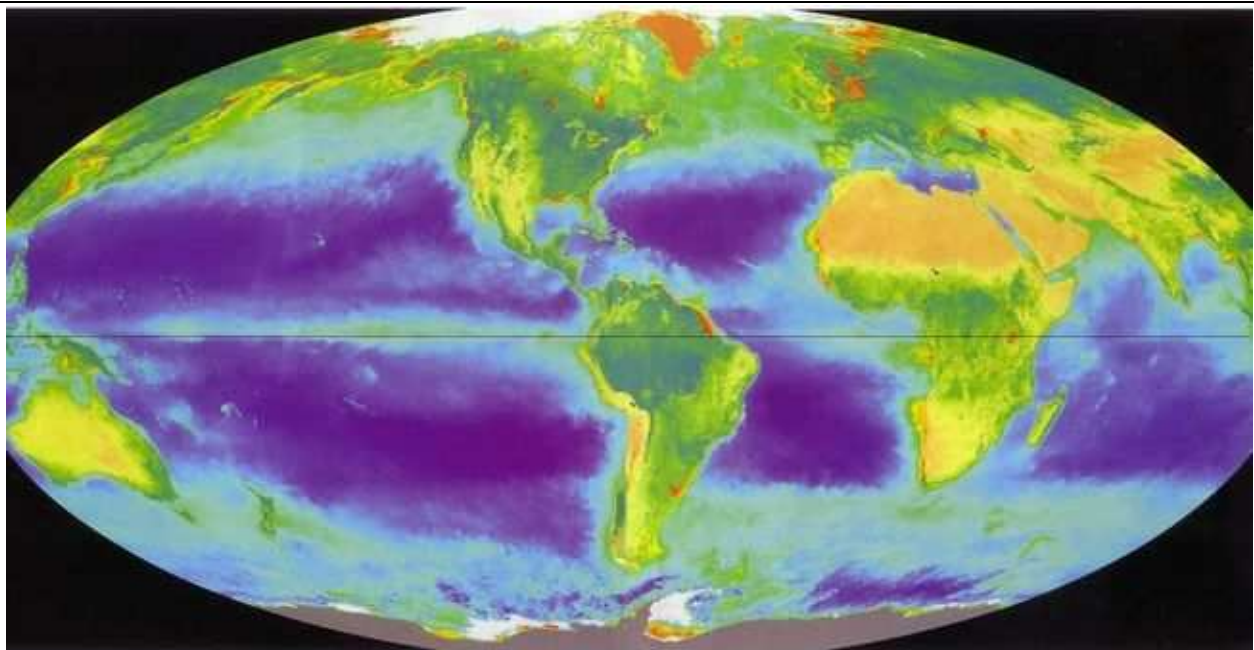


C'est ainsi que l'on a pu observer que l'Océan Pacifique équatorial était un pourvoyeur permanent de gaz carbonique pour l'atmosphère. En effet, la sédimentation de débris organiques produits dans la couche éclairée de l'océan a enrichi en carbone pendant leur long transit en profondeur les eaux qui remontent en surface dans cette région. À l'opposé, l'Antarctique était la région du monde qui absorbe le plus de gaz carbonique, et l'Atlantique nord était le bassin où s'opéraient les transferts les plus intenses de carbone du système superficiel jusqu'au sédiment, sous la forme de particules organiques. **JGOFS** a également mis en évidence des relations étroites entre les taux d'échanges de gaz carbonique avec l'atmosphère et des événements climatiques interannuels, tels que El Niño. **JGOFS** a permis aussi de quantifier la force de la «**pompe biologique**» dans des régions clé de l'océan. Ainsi, dans l'Atlantique nord au printemps, une intense photosynthèse consomme du carbone et fait souvent décroître la pression partielle de gaz carbonique de plus de 100 μ atm, faisant de cette région un puits très efficace pour le gaz carbonique atmosphérique. Ses investigations dans le rôle du milieu vivant océanique sur ces échanges de gaz carbonique ont été poussées jusqu'à identifier des changements d'espèces dans le phytoplancton qui pourraient avoir un impact sur la structure de l'écosystème et ainsi modifier la capacité de l'océan d'absorber le gaz carbonique.

Bien qu'actuellement l'océan absorbe près du quart (en 2012, 2,2 Gt absorbé sur 9,5 Gt émis) du gaz carbonique anthropique émis dans l'atmosphère, l'avenir n'est pas garanti si le réchauffement climatique se poursuit. Des modèles développés dans le cadre de **JGOFS** tendent à montrer qu'un océan superficiel plus chaud, outre le fait que physiquement il se dégazera en émettant du gaz carbonique dans l'atmosphère – sa solubilité étant une fonction inverse de sa température – il freinera la remontée des eaux profondes riches en sels nutritifs (upwelling) et sa «**pompe biologique**» en sera d'autant ralentie faute de carburant. Le fonctionnement de la «**pompe biologique**» océanique est un point critique de notre avenir climatique, peut-être le plus dramatiquement décisif. Selon certains auteurs, on pourrait atteindre rapidement un état de l'océan où son acidité accrue par l'absorption continue de gaz carbonique, amoindrirait sa capacité d'absorption du gaz carbonique, ce qui tendrait à augmenter d'autant son taux dans l'atmosphère et en conséquence ferait exploser le réchauffement. Lorsque l'on a bien présent à l'esprit que les variations naturelles des taux de gaz carbonique de l'atmosphère, corrélés avec les températures, ont seulement varié, depuis le dernier million d'années, entre des valeurs minimales de 180 ppm pour les périodes glaciaires et de 280 ppm pour les interglaciaires chauds, on ne peut qu'être inquiet en observant que le taux actuel vient, en 2013, de dépasser 400 ppm ; ce qui montre clairement que l'on est sorti de l'enveloppe des variations naturelles caractérisant les oscillations climatiques depuis l'émergence de l'espèce humaine il y a plus d'un million d'années.



Longtemps minimisé, le rôle de la biosphère océanique est fondamental : des simulations de modèles toujours dans le cadre de **JGOFS** indiquent que s'il n'y avait pas eu de photosynthèse océanique, et par conséquent pas d'accumulation de carbone dans les sédiments marins depuis ce million d'années on serait actuellement à un taux de gaz carbonique dans l'atmosphère de 1 000 ppm ! Actuellement, la pompe biologique n'exporte jusqu'au sédiment que 1% environ de la photosynthèse océanique, du fait de la chute très lente des particules et de leur prédation par la faune et les bactéries profondes, et du fait de la carence fréquente de l'océan en certains éléments. Or, si cette pompe biologique fonctionnait avec un maximum d'efficacité, le taux de gaz carbonique dans l'atmosphère pourrait descendre aussi bas que 110 ppm ! On perçoit, à travers ces chiffres, la sensibilité potentielle extrême du climat à la biosphère océanique et les énormes inconnues qui demeurent encore.



4 - Le rôle de la biosphère continentale – D'autres programmes entrent en jeu

Mais la biosphère marine n'est pas la seule à intervenir dans le climat. La biosphère continentale, soumise à l'atmosphère et à l'action de l'homme, réabsorberait à son tour plus du quart du gaz carbonique atmosphérique anthropique (Quatrième rapport du **GIEC**) presque à égalité avec l'océan, soit environ 2,6 Gt de carbone par an.

On se souviendra aussi ([chapitre IV](#)) qu'historiquement le premier modèle décrivant une relation entre la biosphère continentale et le climat, fut formulée en 1975 par le météorologue américain, **Jules Charney**, qui montra que la sécheresse persistante du Sahel africain depuis une quarantaine d'années autour des années 1960, pouvait avoir pour origine le cercle vicieux de rétroactions positives (effet d'emballage) entre une réduction progressive du couvert végétal engendré par des populations en croissance démographique rapide entraînant une extension du désert, ayant pour effet de modifier le climat et de réduire les précipitations accentuant encore plus la désertification. **Charney** étudia ce cas concret, de dimension régionale, mais ayant valeur d'exemple pour formuler des modèles interactifs entre la biosphère continentale et le climat. On rappellera aussi que des géologues tels que l'américain **Thomas Chamberlin** cherchant à expliquer l'amplitude thermique et l'étendue spatiale considérable des alternances d'épisodes glaciaires et interglaciaires chauds générées par de faibles variations du flux radiatif solaire, invoquaient l'extension ou la régression de la forêt boréale comme amplificateur possible de ces variations.

4 - 1 Le rôle de la biosphère continentale sur l'environnement et le climat

Les processus bio-géo-chimiques qui régissent les échanges de carbone et d'eau entre l'atmosphère et les continents, en impliquant leur biosphère, sont très variés et lient entre eux les cycles de l'eau et du carbone. On peut mettre en premier les processus attachés à l'albédo, qui conditionnent la fraction de l'énergie solaire réfléchi par le milieu et donc renvoyée dans l'atmosphère et qui peuvent être régis par des modifications de la nature physique et biologique du milieu, tels que la répartition des forêts, des zones cultivées, des sols nus, et d'une façon générale de tous les aménagements d'origine humaine. Ensuite, en second, il y a les échanges d'eau et de carbone avec l'atmosphère qui sont régis par l'évapotranspiration, la photosynthèse et la décomposition de la matière vivante. L'évapotranspiration assure la répartition de l'eau entre les sols, les plantes ou les arbres et l'atmosphère. La photosynthèse crée la matière organique à partir du gaz carbonique atmosphérique, la vapeur d'eau et la lumière et ainsi absorbe une partie du gaz carbonique anthropique. Mais cette matière organique meurt en se décomposant ou en brûlant et restitue ainsi à terme la vapeur d'eau, l'énergie et le gaz carbonique, à l'atmosphère. Le bilan net de l'échange de carbone entre l'atmosphère et la biosphère continentale est actuellement positif pour la biosphère ce qui implique que le réservoir de carbone constitué par l'ensemble de la biosphère continentale, y compris les forêts, s'accroît.

Cet accroissement est dû principalement à l'accroissement de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère qui suractive la photosynthèse. Cependant l'agriculture et l'aménagement des sols constituent ce qu'on appelle un «**changement d'utilisation des sols**», qui au contraire est une source de CO₂ vers l'atmosphère. L'accroissement du réservoir continental de carbone ne peut être que transitoire et ne constitue pas un «**remède**» aux émissions anthropiques de gaz carbonique dans l'atmosphère et dans l'océan, les continents et leurs biosphères.

Contrairement à ce qui est souvent rapporté par les media, les forêts naturelles, notamment l'Amazonie, ne sont pas «le poumon de la planète» et des machines à produire de l'oxygène. Les forêts naturelles, non exploitées par l'homme, sont approximativement à l'équilibre, il y a autant d'arbres qui naissent et prospèrent en absorbant du gaz carbonique que d'arbres qui meurent ou brûlent en émettant du gaz carbonique en quantités égales.

4 - 2 Des programmes pour l'étude de la biosphère continentale et ses rapports avec l'environnement et le climat



À partir des années 1990 plusieurs programmes de l'IGBP se sont attachés à l'étude des continents et de leurs milieux vivants dans le cadre des préoccupations liées au «changement global» ou au «développement durable». Ces programmes ont eu une intersection active avec l'objectif climatique en précisant les mécanismes d'interaction entre l'atmosphère et les continents, soumis à différents types de couverts végétaux et à des aménagements pour l'agriculture et les autres activités humaines.

Le premier de ces programmes : «**Global Change and Terrestrial Ecosystems – GCTE**» fut lancé en 1992 pour tenter de répondre à une question fondamentale :

«**Comment le changement global affecte l'écosystème terrestre et quelle est son action en retour sur le système climatique ?**».

Les objectifs de **GCTE** visaient à prévoir les effets du changement global sur le climat, la composition chimique de l'atmosphère, les écosystèmes terrestres, incluant l'agriculture, les forêts et les sols ainsi que la complexité écologique qui en découlait. L'objectif s'attachait également à déterminer comment ces effets sur l'environnement pouvaient conduire à des rétroactions sur l'atmosphère et la physique du système climatique.

Ce programme **GCTE** s'est concentré sur le cycle du carbone et son devenir, sur les processus régulant la dynamique de la végétation, sur les impacts du changement global dans la production de nourriture, sur les liens entre le fonctionnement des écosystèmes et la biodiversité. **GCTE** s'est formellement terminé en 2003, il se poursuit avec des objectifs semblables à travers un nouveau programme de l'IGBP : «**Global Land Project - GLP**», lancé en 2005.

Un autre programme de l'IGBP : «**Land-Use and Land-Cover Change – LUCC**», lancé en 1994 et terminé en 2005, devait répondre à la question :

«**Comment les forces biophysiques et humaines affectent l'utilisation des sols et donc leur couverture végétale, et quels sont les impacts sociétaux et environnementaux de ces changements ?**».

Pour répondre à ces questions ce programme avait plusieurs objectifs :

- mieux comprendre la dynamique humaine et biophysique des changements dans l'utilisation des terres et leur impact sur leur couverture.
- développer des modèles de l'utilisation des sols et de leur couverture.
- prendre en compte et classer différents types d'utilisation des sols et de leur couverture.



Ces objectifs du programme **LUCC**, comme pour le précédent **GCTE**, se poursuivent, depuis 2005, dans un nouveau programme, appelé «**Global Land Project – GLP**» qui rassemble les objectifs des deux programmes précédents et en fait la synthèse en y intégrant la dimension humaine. La biosphère continentale a un rôle à la fois passif et actif vis-à-vis du climat. Elle est impactée par le changement climatique, mais, subissant les transformations par l'homme des écosystèmes et des paysages, principaux changements affectant actuellement la Terre soumise à la nouvelle force géologique que représente l'espèce humaine, cette biosphère continentale a aussi un impact sur le climat. Cet impact est

complexe et étroitement dépendant de cette action humaine qui modifie en permanence le couvert biologique continental en interaction avec des dimensions économiques et politiques. Ainsi l'intensification et la diversification de l'usage des terres de même que les avancées technologiques ont favorisé des changements rapides dans les cycles biogéochimiques, les processus hydrologiques et la dynamique des paysages. Ces changements dans l'usage des terres affectent les propriétés des écosystèmes qui en retour affectent les services que ces écosystèmes sont susceptibles de fournir aux hommes.

Généralement, l'affectation de terres inexploitées à l'agriculture se traduit par un transfert de carbone de ces terres vers l'atmosphère. Il existe donc des liens et des processus interactifs complexes avec des rétroactions multiples entre les décisions politiques, les bénéfices attendus de l'exploitation des écosystèmes et les changements globaux plus ou moins nocifs qu'ils imposent à l'environnement. Les programmes d'étude de la biosphère continentale font donc le lien entre des données environnementales, l'économie et la politique et de ce fait ils contribuent à placer ce milieu au centre du système climatique et à le privilégier vis-à-vis des autres milieux en le positionnant comme une pièce centrale du puzzle climatique agglomérant les autres depuis des processus physico-bio-chimiques jusqu'aux facteurs humains en incluant la gestion des espaces, l'agriculture, l'économie et la politique.

