

# Le changement climatique, incertitude majeure pour la gestion de l'environnement au XXI<sup>e</sup> siècle

*Annick Douguédroit\**

Le changement climatique constaté depuis les années 70 à l'échelle mondiale sous l'aspect, entre autres, d'un réchauffement moyen de la basse atmosphère a une origine humaine « très probable » (90 à 99 % de chance) d'après l'IPCC (2001). Il est associé à l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Dans un tel contexte, il doit se prolonger pendant tout le XXI<sup>e</sup> siècle et même au-delà mais dans une mesure que personne ne peut préciser aujourd'hui (IPCC, 2007). L'environnement que nous prenons ici dans son sens restreint d'équivalent de « milieu physique » ou « milieu naturel » plus ou moins artificialisé présente un certain nombre de traits caractéristiques associés au climat. Les écosystèmes et paysages dépendent avant tout pour la photosynthèse des conditions radiatives dont découle la température et, éventuellement, du stress hydrique. Ils ne peuvent alors qu'être confrontés aux effets de tout changement climatique, qu'il s'agisse d'un réchauffement ou de variations des disponibilités en eau, qui entraînent des modifications des contraintes et des potentialités régionales ou locales du climat.

Nous allons ici voir quelles difficultés peut introduire la prise en compte des incertitudes contenues dans les connaissances actuelles sur changement climatique au XXI<sup>e</sup> siècle pour la gestion de l'environnement qui implique des prises de décisions pour un futur immédiat et d'une certaine durée.

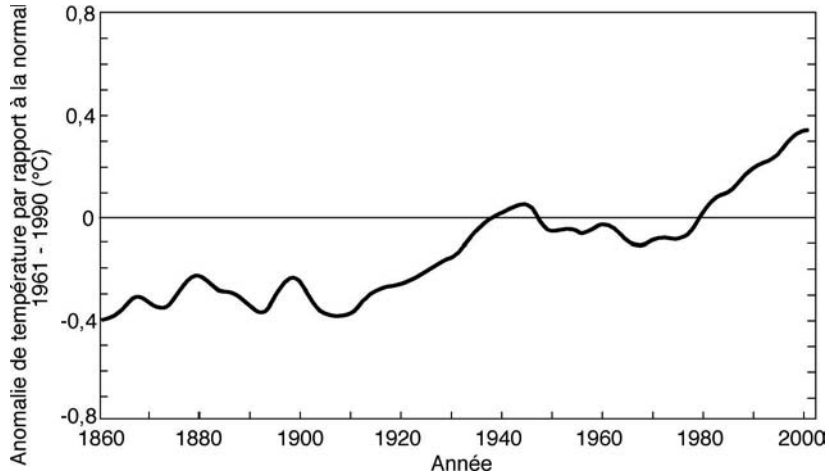
## **Dialectique certitude/incertitudes relative au changement climatique**

Le réchauffement de la planète a commencé au XX<sup>e</sup> siècle (Fig. 1). Comme on le voit sur la figure 1, il s'est produit en deux périodes, l'une commençant au début du siècle jusque vers 1940 et une seconde depuis les années 70 jusqu'à 2000 et même maintenant. Pour l'ensemble du siècle il est estimé de l'ordre de 0.6°C à 0.2°C près. De telles marges d'erreur dont les causes n'ont pas à être développées ici sont bien moindres pour la fin du siècle pendant lequel la température monte plus rapidement qu'au début.

---

\* Institut de Géographie, UMR ESPACE, Université Aix-Marseille I, 29 av. Robert-Schuman, 13621 Aix-en-Provence, France

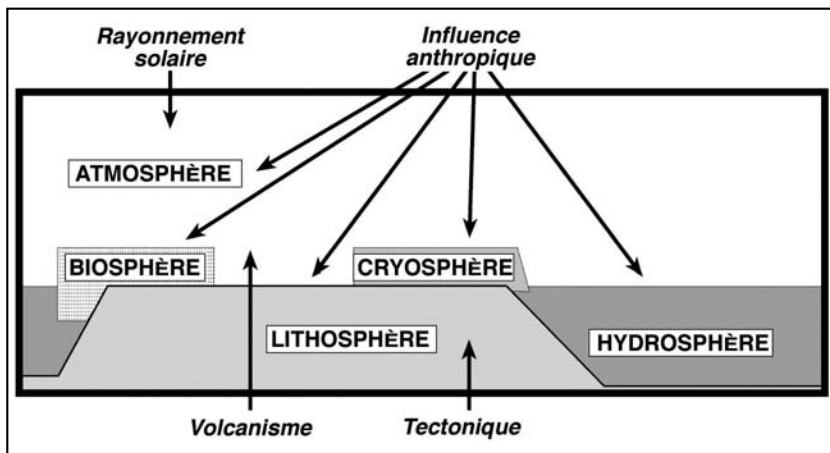
Figure 1 : Le réchauffement climatique au *xxe* siècle (d'après IPCC, 2001).



**Une certitude : le réchauffement va continuer**

Un point fondamental pour les hypothèses sur le futur du réchauffement est d'en cerner l'origine. Il convient pour ce faire de déterminer lequel (lesquels) des facteurs susceptibles de provoquer des changements climatiques entre (nt) en jeu actuellement. À l'échelle humaine deux des influences extérieures subies par le système climatique peuvent être retenues. Il s'agit de la radiation solaire et de l'influence anthropique qui sont susceptibles de provoquer des variations l'une de la quantité d'énergie reçue du soleil, l'autre de l'importance des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (fig. 2).

Figure 2 : Le système climatique



Une réponse essentielle provient de résultats obtenus par l'emploi de la modélisation, en l'occurrence par la réalisation de simulations faites à l'aide de modèles climatiques. Les tentatives de reconstitution des températures de 1860 à 2000 fondées sur les variations des seuls paramètres naturels, radiation solaire et volcanisme, montrent une tendance à la stagnation voir à la diminution à la fin du <sup>XX</sup><sup>e</sup> siècle au moment où la température augmente. Au contraire celles qui s'appuient sur l'évolution de la quantité de GES dans l'atmosphère présente une coïncidence satisfaisante pour la même période. C'est pourquoi l'IPCC (2001) a pu conclure à la « haute probabilité » signalée plus haut de l'origine anthropique du réchauffement de la fin du siècle dernier. Une telle conclusion est essentielle pour toutes les hypothèses relatives à la poursuite du changement climatique, à commencer pour son aspect de réchauffement. Ces dernières doivent être fondées sur la relation entre les variations de la température et des quantités de GES d'origine humaine dans l'atmosphère. C'est la raison pour laquelle le réchauffement se poursuivra pendant tout ce siècle, voir au-delà.

En effet, d'après les connaissances actuelles sur la durée de vie des molécules des GES, leur quantité dans l'atmosphère ne peut pratiquement pas diminuer d'ici 2100. Le CO<sub>2</sub> qui représente plus de la moitié de leur total est lié à un cycle complexe du carbone dont la résultante moyenne est d'ordre au moins centenaire (IPCC, 2007). La concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ne pouvant pas diminuer d'ici la fin de ce siècle, elle entraîne automatiquement une augmentation de la température pendant la même période. Nous sommes donc face à une certitude: le réchauffement de la basse atmosphère va continuer jusqu'à la fin de ce siècle, et même au-delà comme nous le verrons plus tard.

### *Une incertitude: la température à la fin du siècle*

Les hypothèses actuelles sur la température moyenne de la basse atmosphère se présentent sous forme de différentes fourchettes de valeurs qui dépendent elles-mêmes d'hypothèses sur les concentrations de GES, en particulier de CO<sub>2</sub>, dans l'atmosphère. Mais ces dernières sont à leur tour dépendantes des rejets. L'estimation de la température est ainsi déduite d'un enchaînement de trois étapes allant des émissions de GES aux températures en passant par les concentrations dans l'atmosphère (IPCC, 2007). Nous allons voir que chacune présente des incertitudes dans leurs ordres de grandeur (fig. 3).

La première étape concerne les émissions. Celles-ci sont issues des multiples sources de combustions, aussi bien des combustibles fossiles que du bois etc. Elles dépendent d'un grand nombre de facteurs dont les principaux sont, en particulier, représentés par l'évolution de la population, la place des différents secteurs d'activité, la part respective des types de tech-

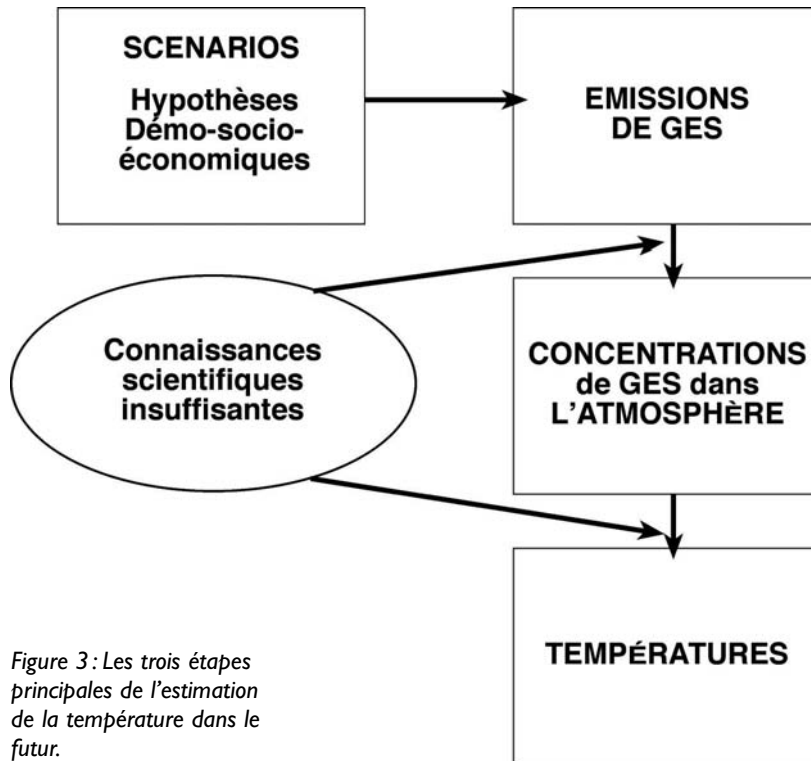


Figure 3 : Les trois étapes principales de l'estimation de la température dans le futur.

nologies, et des combinaisons possibles entre ces facteurs. Elles ont ainsi donné naissance à un certain nombre de « scénarios » c'est-à-dire combinaisons d'hypothèses relatives à l'évolution de la population et des systèmes socio-économiques d'ici 2100. 40 d'entre eux ont été retenus par l'IPCC (2001) pour une synthèse.

Le passage à l'estimation des concentrations dans une seconde étape est rendu délicat par des connaissances insuffisantes dans les domaines concernés. Actuellement c'est à peine la moitié du CO<sub>2</sub> qui reste au final dans l'atmosphère ; le reste du carbone est capturé par des « puits » dont le plus important est l'océan. Mais une telle proportion va-t-elle se maintenir dans le temps alors que les quantités disponibles vont s'accroître ? Nul ne peut répondre. La chimie du carbone est encore largement à découvrir.

Les taux de concentrations commandent la température mais là aussi avec une certaine marge d'incertitudes sur les valeurs finales due à l'insuffisance des connaissances. L'augmentation brute du nombre de watts fonction de l'augmentation des concentrations des GES dans l'atmosphère pose peu de problèmes par rapport aux incertitudes entraînées par les boucles de rétroaction provoquées par la méconnaissance actuelle de la

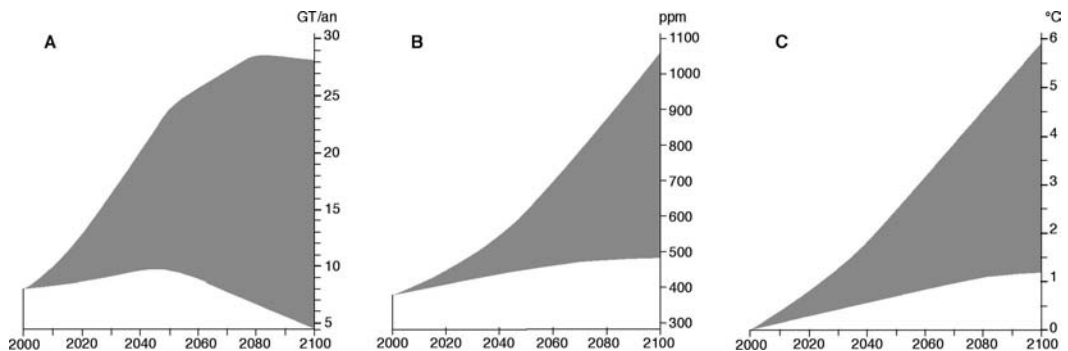
physique des nuages. L'ignorance relative à la chimie du carbone et à la physique des nuages se réduit mais on est certes encore loin de maîtriser leur complexité.

Ainsi les scénarios d'émissions vont-ils de modèles socio-économiques supposant une faible augmentation des GES dans l'atmosphère au début du XXI<sup>e</sup> siècle suivi d'une décroissance rapide plus tard menant à des taux inférieurs de moitié aux chiffres actuels jusqu'à des modèles supposant un accroissement continu plus ou moins important (fig. 4 A). À partir des 8 GigaTonnes de CO<sub>2</sub> estimées en 2000 on passe à une fourchette dont les valeurs vont de l'ordre de 4 à 28 à la fin du siècle en tenant compte de tous les scénarios, sachant que chacun d'entre eux est lui-même représenté par une marge d'erreur (IPCC, 2007).

La fourchette correspondante des concentrations de CO<sub>2</sub> s'échelonne en 2100 de 450 à 1250 ppm (parties par million) mais avec un point de départ de 380 en 2000 (fig. 4 B). On retrouve ici les conséquences de la résultante moyenne du cycle du carbone sur la « durée de vie » apparente d'une molécule de carbone : même un scénario supposant une diminution des moitié des émissions de carbone en 2100 par rapport à 2000 provoquera une élévation du montant des concentrations dans l'atmosphère. Et, par voie de conséquence des températures. C'est pourquoi ces dernières ne peuvent qu'augmenter d'ici la fin de ce siècle (IPCC, 2007)...

Le réchauffement ainsi induit pour 2100 serait un minimum de 1.2°C (fig. 4 C) ; il pourrait atteindre 5.8 pour les hypothèses les plus pessimistes en émissions de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007).

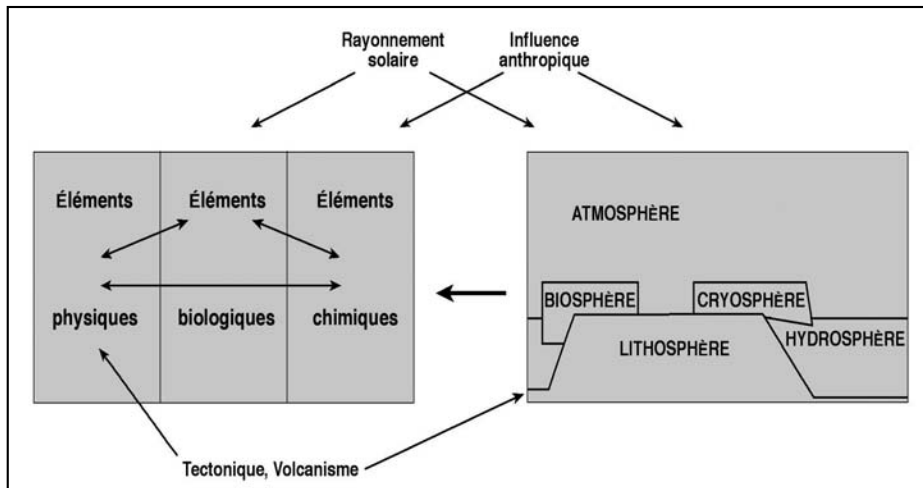
Figure 4 : Marges extrêmes d'incertitude des scénarios retenus par l'IPCC (2001) pour 2100. A : Emissions de CO<sub>2</sub>, B : Concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et C : Températures moyenne mondiale.



## Conséquences du réchauffement sur l'environnement

Récemment des tentatives de renouvellement de la définition de l'environnement ont été tentées (par exemple dans Theys, 1993). Nous retiendrons celle de l'« Ensemble de données physiques, chimiques, biologiques, spontanés (naturelles) ou générées par les activités humaines avec lesquelles interagit un groupe humain ». Cet ensemble peut être considéré comme un système, le système environnemental, ouvert sur des influences extérieures, en particulier l'influence anthropique, tout comme le système climatique. L'influence climatique est fréquente sur l'ensemble des « données » mentionnées dans la définition de l'environnement. Les « données physiques » comme la sensibilité des roches ou des sols à l'érosion par exemple, les « données chimiques » comme les cycles des éléments minéraux, les « données biologiques » présentes dans les végétaux, les animaux et les êtres humains présentes dans l'environnement donnent naissance à un interface entre les deux systèmes (fig. 5), d'où l'irruption inévitable du changement climatique dans les questions environnementales et donc dans leur gestion.

Figure 5 : Interface climatique entre les systèmes climatique (à droite) et environnemental (à gauche)



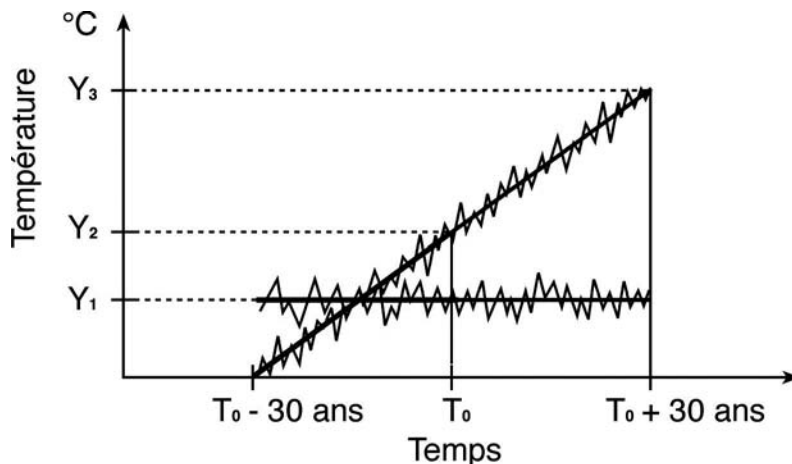
L'environnement doit maintenant être géré en passant de l'hypothèse, dans le domaine climatique, d'un système considéré de fait comme stationnaire dans la gestion à un autre non-stationnaire à cause de l'inéluctabilité du changement climatique, en particulier du réchauffement auquel nous allons nous limiter ici. L'abandon de la stationnarité climatique du point de vue thermique a, pour l'environnement, deux grandes catégories de consé-

quences, les unes impliquent des variations de température sur un espace déterminé, les autres de déplacement dans l'espace en cas de recherche de températures constantes.

### Variations de température sur un espace déterminé

En règle générale les températures des continents vont augmenter d'ici la fin du siècle et, dans une certaine mesure, plus que la moyenne générale du globe à cause de l'inertie thermique des océans (IPCC, 2007). Dans un espace donné il va falloir prendre en compte le passage de conditions thermiques à moyenne susceptible d'être considérée comme constante à d'autres en situation de réchauffement. Sinon on se trouve en décalage grandissant entre la situation thermique estimée prise en compte pour la gestion et celle actuelle de l'environnement. La figure 6 présente un schéma de ce décalage. Supposons que, sur l'axe du temps,  $T$  corresponde à l'année 2006. Une gestion reposant sur l'hypothèse d'un climat stable, c'est-à-dire ne présentant que des variations autour de la moyenne des températures, et défini par une moyenne trentenaire conformément aux normes de l'Organisation Météorologique Mondiale va reposer sur l'emploi de la valeur moyenne  $Y_1$  des 30 ans précédant la date  $T$  alors qu'une augmentation des températures place la valeur actuelle en  $Y_2$ , valeur tendancielle de la fin de la période trentenaire, qui est supérieure à  $Y_1$ . Et le décalage entre températures effectives et de référence va s'accroître au fur et à mesure que l'on s'éloigne de  $T$  dans le futur si la même période de référence est conservée, ce qui est fréquent à cause des délais de calcul des normes trentenaires.

Figure 6: Variations des températures in situ en cas de climat stationnaire ( $Y_1$ ) et de réchauffement ( $Y_1$  puis  $Y_2$  et  $Y_3$ ) durant 60 ans.



Et avoir occulté la réalité du réchauffement nous met déjà aujourd'hui, en 2006, dans une telle situation en matière de gestion de l'environnement. Ainsi les besoins en énergie de l'habitat dans la Région du Grand Londres en 1995 pouvaient-ils être surestimés de 17 % à cause de l'augmentation de la température entre 1981 et 1995 (Pretlove and Oreszczyn, 1998). La persistance du réchauffement ne peut que provoquer un accroissement du décalage entre la température effective et la température de référence. L'existence même de conséquences du changement climatique sur l'environnement et encore moins la nécessité de leur prise en compte n'ayant que peu, voir même pas, pénétré certains des milieux concernés, un tel décalage est peu ou pas perçu, en particulier en France, et encore moins estimé.

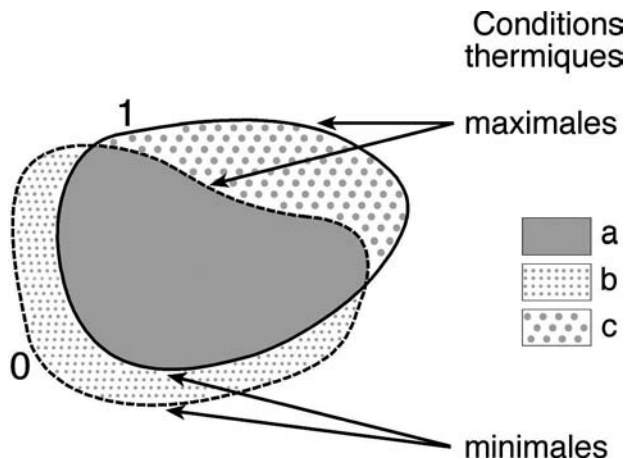
### **Déplacement dans l'espace des aires à température constante**

Limitons-nous ici au cas de la zone extra-tropicale de l'hémisphère nord, celle dans laquelle nous nous trouvons. Au-delà du 30° parallèle la température décroît en direction du pôle. Aussi toute aire correspondant à des conditions thermiques définies d'une espèce végétale ou animale ou d'une activité quelconque représentée par l'espace A sur la figure 7 doit-elle obligatoirement glisser vers le nord en cas de réchauffement.

Trois régions se distinguent les unes des autres sur la figure 7. Au centre la plus large est commune aux deux aires: pas ou peu de changement dans les conditions thermiques. En revanche la situation est différente

Figure 7. Cas théorique d'un glissement d'aire dans la zone extra-tropicale de l'hémisphère nord en période de réchauffement.

0 : aire initiale, 1 : glissement de l'aire en cas de réchauffement  
A : portion commune aux deux aires, b : avancée de l'aire vers le nord et c : disparition de l'aire au sud.





de part et d'autre de cette zone. Au sud les conditions initiales ne sont plus remplies, il fait trop chaud. L'espèce animale abandonne l'aire et l'espèce végétale dépérit sur place. L'activité économique que représente une production agricole, sous l'hypothèse que toutes les autres conditions sont maintenues, n'est plus rentable; elle doit être, en toute logique, abandonnée. Au contraire au nord des espaces auparavant trop froids présentent maintenant des conditions thermiques correspondant aux besoins, d'où de nouvelles possibilités. Il y a ainsi des gagnants et des perdants en période de réchauffement.

Ceci n'est pas une pure hypothèse d'école; de tels déplacements ont déjà été observés dès la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Une récente étude de synthèse a montré que les limites des aires du plancton ont glissé dans l'Atlantique du nord-est d'une dizaine de degrés vers le nord pendant les dernières décennies (Edwards and Richardson, 2004). Ces changements ont des répercussions sur les bancs de poissons auxquels le plancton sert de nourriture... Et ce n'est pas le seul cas de glissements d'aires signalé: c'est la même chose pour certains animaux, oiseaux, papillons, insectes... Et le phénomène ne peut que s'accroître en cas de persistance du réchauffement.

Nous sommes déjà entrés dans une période de nécessaire adaptation à des conditions climatiques évolutives. Ces modifications des conditions environnementales vont s'accroître proportionnellement à l'ampleur du réchauffement qui ne peut être prévu actuellement à long terme puisqu'il dépend des variations encore impossible à prédire à l'échelle de plusieurs décennies des émissions des GES. Les scénarios donnent des indications sur différentes hypothèses relatives à son importance, sans que l'on puisse dire lequel d'entre eux, voire un autre encore inconnu, se réalisera.

## Conclusion

Le réchauffement de la planète, dès *maintenant et à l'échelle de temps humaine*, impose pour la gestion de l'environnement:

- la prise en compte d'un nouveau facteur de l'évolution de la planète en rompant avec l'hypothèse de la stationnarité du climat habituellement retenue de façon plus ou moins implicite,
- de retenir, dans les décisions de gestion qui engagent un avenir d'une certaine durée, la certitude d'un réchauffement régulier au cours de ce siècle, même si sa valeur finale est actuellement inconnue, sans oublier qu'il est actuellement représenté par un fourchette de valeurs qui se rétrécira probablement au cours de l'évolution du temps en fonction de l'élimination de scénarios devenus irréalistes,
- d'adopter dès maintenant des stratégies d'adaptation au réchauffement minimal actuel de la planète

- de prévoir des stratégies d'action visant les facteurs à l'origine de l'amplification du changement climatique et les impacts à venir possibles sur l'environnement.

## **Bibliographie**

EDWARDS, M. AND RICHARDSON A. J., 2004, Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch, *Nature*, 430, 881-884.

SALOMON S., QIN D., MANNING M., MARQUIS M., AVERYT K., TIGNOR M., LE ROY MILLER H., CHEN Z., 2007. *Climate Change 2007. Impact, adaptation and vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge, 996 p.

IPCC 2007, *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge.

PRETLOVE S. E. C. AND ORESZCZYN T., 1998, Climate change: impact on the environmental design on buildings, *Building Services Engineering Research and Technology*, 19, 55-58.

THEYS J., 1993, *L'environnement à la recherche d'une définition. Notes de méthode*, I, IFEN, Orléans.