



Impacts des changements climatiques en Belgique

UCL Université catholique de Louvain

GREENPEACE

Avant-propos

Les changements climatiques – en grande partie la conséquence de l'utilisation massive des combustibles fossiles – représentent la plus grande menace environnementale pour l'humanité. Bien que les impacts touchent déjà, et toucheront de manière disproportionnée les populations pauvres des pays en développement, les pays développés ne seront pas épargnés. Ce rapport souligne quelques-uns des impacts attendus en Belgique.

Pour empêcher des changements climatiques dangereux, des réductions d'émissions de gaz à effet de serre de l'ordre de 80% sont nécessaires dans les pays industrialisés d'ici la moitié du 21^{ème} siècle. Au Royaume-Uni, en Allemagne et aux Pays-Bas, les autorités ont déjà fait preuve de leadership en mettant leur pays sur la voie de réductions d'émissions comprises entre 40% d'ici 2020 et 60% d'ici 2050. Au-delà du premier objectif du protocole de Kyoto, la Belgique doit également développer d'urgence une vision politique à long terme lui permettant de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 80% d'ici 2050. Cette politique à long terme doit inclure des efforts dans tous les secteurs (industrie, production d'électricité, ménages et transport). A défaut, la Belgique ne pourra remplir ses obligations dans le cadre de la Convention des Nations Unies sur le climat, à savoir empêcher des changements climatiques dangereux. Avec tous les impacts négatifs que cela implique, tant en Belgique qu'à l'étranger, pour les générations actuelles et futures...

La lutte contre les changements climatiques nécessite une refonte profonde du système énergétique belge. Elle doit dès lors également être perçue comme une occasion pour la Belgique de diminuer sa dépendance énergétique et d'augmenter la sécurité de ses approvisionnements. La Belgique importe actuellement la quasi totalité de ses sources d'énergie primaire (pétrole, gaz, charbon et uranium), ce qui met l'économie belge à la merci tant des variations des prix mondiaux des matières premières que de l'augmentation prévisible des coûts des combustibles suite à leur raréfaction. La dépendance du pétrole et les tensions géopolitiques qui y sont liées sont bien connues. Le charbon est le combustible fossile le plus polluant et n'a pas sa place dans une économie sobre en carbone. Quant à l'énergie nucléaire, elle s'est avérée une source de problèmes insolubles (en matière de déchets notamment), peu fiable, très chère et dangereuse. Les menaces terroristes ne font qu'accroître les risques. Le nucléaire est également incapable de concurrencer les autres sources d'énergie sans le renfort d'énormes subsides.

Combinées à l'efficacité énergétique, les diverses sources d'énergies renouvelables offrent une réponse immédiate, respectueuse de l'environnement, sûre et performante, tant à la problématique des changements climatiques qu'à la sécurité des approvisionnements en énergie. Les énergies renouvelables fournissent déjà de l'électricité à des millions de personnes de par le monde. En Europe, elles ont permis la création de centaines de milliers d'emplois et offrent la perspective d'un marché en pleine croissance de plusieurs milliards d'euros. L'éolien offshore est particulièrement adapté à la fourniture d'énergie à grande échelle pour la Belgique.

Sans des actions urgentes afin de réduire rapidement nos émissions de gaz à effet de serre, la possibilité de limiter l'augmentation de température en deçà d'un niveau dangereux aura disparu d'ici une dizaine d'années. Certains secteurs grands consommateurs d'énergie devront sans doute revoir leurs cycles de production mais, au fur et à mesure que le monde se dirige vers une économie sobre en carbone, des entreprises auront l'occasion de se développer et de créer des emplois en fournissant les technologies du futur, notamment dans les secteurs des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. La Belgique et ses entreprises ne peuvent manquer le coche. Une chose est sûre: si la lutte contre les changements climatiques a un prix, les coûts de l'inaction sont potentiellement bien plus élevés.



STEVE SAWYER

*Directeur politique
Greenpeace International*

Remerciements

Nous n'aurions pu faire ce travail sans la collaboration efficace des collègues ci-dessous, et nous les remercions vivement pour les documents transmis, des éléments de texte, une relecture attentive ou un travail de synthèse (selon le cas). Celles et ceux qui ont rédigé des parties significatives des chapitres de ce rapport sont mentionnés comme auteurs au début de chaque chapitre.

Administratie Waterwegen en Zeewezen:
Ir M. Berteloot, Ir Wim Dauwe et Ir Peter De Wolf

Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois, Observatoire de la Faune, de la Flore et des Habitats (OFFH):
Dr Philippe Goffart

Finnish Environment Institute (Helsinki):
Pr Timothy Carter

Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique:
Dr Francis Kerckhof (Unité de gestion du modèle mathématique de la Mer du Nord)

Institut Royal Météorologique:
Dr Daniel Gellens et Dr Christian Tricot

Institut Scientifique de Santé Publique:
Geneviève Ducoffre, Dr Francis Sartor, Dr René Snacken (Département Epidémiologie – Toxicologie)

Natuurpunt:
Marc Herremans

Réserve naturelle du Zwin:
Guido Burggraeve (ancien conservateur)
et Kris Struyf (conservateur)

Université catholique de Louvain:
Nicolas Dendoncker, Dr Isabelle Reginster et
Pr Mark Rounsevell (Département de Géographie)
Xavier Fettweis, Wouter Lefebvre, Nicole Materne
et Emilie Vanvyve (Institut d'Astronomie et de
Géophysique G. Lemaître, Département de Physique)

Université de Liège:
Dr Alain Hambuckers (Institut de Zoologie,
Département des Sciences et de Gestion
de l'Environnement)
Dr Louis Leclercq (directeur de la Station
scientifique des Hautes-Fagnes)
Pr René Schumacker (émérite)

Vrije Universiteit Brussel:
Dr Philippe Huybrechts (Département Geografie)

Les talents de Daniel Tanuro, journaliste et scientifique, nous ont aidés à rendre le texte plus compréhensible.

Enfin, nous ne pourrions assez remercier Jean-François Fauconnier (Greenpeace), pour ses encouragements et sa patience tout au long de l'élaboration de ce rapport.

Des impacts des changements climatiques en Belgique?

Bruxelles, 2 août 2044, 7h du matin. La chaleur écrasante est toujours là. L'ozone aussi. Le comité de crise s'est encore réuni cette nuit. L'armée devra aider la Protection civile et les pompiers. L'état d'urgence est prolongé. La sécheresse dure depuis la fin mai, les cultures irriguées depuis une vingtaine d'années ne le sont plus. Cinq agriculteurs se sont suicidés devant le 16 rue de la Loi avant-hier. La puissance de la centrale électrique au gaz-vapeur de Tihange a dû être réduite car la Meuse est trop basse, et les éoliennes tournent au ralenti, faute de vent. Il n'a pas encore été possible de réparer les voies du TGV Paris-Berlin qui a déraillé près de Louvain il y a une semaine, faisant 52 morts et 234 blessés à cause de rails déformés par la chaleur. Les scouts aident à hydrater les personnes âgées dans les homes, dont les climatiseurs ne fonctionnent que 3 heures par jour, faute d'électricité. Il ne reste plus de place que dans la morgue improvisée dans les entrepôts frigorifiques d'Anvers.

Ceux qui sont partis en vacances en Norvège n'osent pas revenir, malgré l'appel de la FEB à reprendre le travail pour sauvegarder la compétitivité des entreprises belges. La Banque centrale européenne a dû soutenir massivement l'euro face au yuan chinois, car les prévisions économiques sont sombres pour tout l'ouest de l'Europe suite à la crise climatique. L'Office des étrangers est débordé par l'afflux d'Égyptiens suite à l'invasion de la moitié du Delta du Nil par la Méditerranée, dont le niveau continue à monter. Et la guerre de l'eau entre la Turquie et la Syrie s'est encore aggravée. Il y a tout de même une bonne nouvelle: GlaxoSmithKline-Novartis-Nestlé-Suez vient d'annoncer la mise au point d'un vaccin contre le virus du Nil occidental, qui avait emporté le roi William d'Angleterre il y a cinq ans. Mais tout devrait bientôt aller mieux: lors de la réunion spéciale du G15 de la semaine prochaine, la présidente américaine devrait annoncer que 12 sous-marins sont prêts à aller ensemercer l'Océan austral avec du fer pour essayer d'accroître d'urgence l'absorption de CO₂. Elle a aussi annoncé que les 4X4 urbains ne pourraient plus consommer plus de 18 litres aux cent.

Je l'admets, le tableau est un peu forcé, même si chacun des faits évoqués est possible si des mesures sérieuses ne sont pas prises pour protéger le climat. Mais je me demande parfois s'il faudra attendre qu'un cataclysme climatique s'abatte sur la Maison blanche, comme dans "Colère", le passionnant roman de Denis Marquet (Albin Michel, 2001), pour que le problème soit pris au sérieux par les décideurs de tout niveau (politique, économique, jusqu'au citoyen). Savoir que l'intensité des cyclones tropicaux va s'accroître au Bangladesh et que l'agriculture

africaine risque de s'effondrer ne suffit pas à mobiliser l'opinion chez nous. Je rêvais depuis longtemps de faire un état des lieux à propos des impacts potentiels des changements climatiques en Belgique, comme cela a été fait pour l'Europe ou chez plusieurs de nos voisins (voir références générales de la bibliographie, page 40). La demande de Greenpeace m'a donné l'occasion de commencer. Les informations scientifiques sur le sujet sont très dispersées, et les chercheurs qui les détiennent ne voient pas toujours dans quel contexte d'évolution du climat elles s'inscrivent.

Mon collègue Philippe Marbaix et moi avons pu obtenir la collaboration d'un certain nombre de spécialistes belges pour ce projet (voir nos remerciements ci-contre). Nous avons essayé, avec leur aide précieuse, de faire en sorte que chaque fait, chaque affirmation soient solidement étayés. Parfois, il a fallu se limiter à adapter l'information disponible pour des pays voisins ou dans les rapports du GIEC. Nous assumons l'entière responsabilité scientifique du résultat, et voudrions au passage remercier Greenpeace de n'avoir en rien interféré dans le contenu de notre texte. Merci de nous envoyer toute suggestion* à l'adresse impactbe@climate.be.

J'espère que ce rapport contribuera à faire réfléchir. Nous n'avons pas de planète de rechange.



JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

Professeur de climatologie et de sciences de l'environnement à l'UCL

* Ce travail n'est qu'une ébauche. Nous n'avons matériellement pu consulter toutes les sources ni tous les experts dans le délai imparti. Il reste sans doute des imprécisions et des domaines non ou mal couverts. Des références scientifiques appropriées et parfois des matériaux supplémentaires seront disponibles sur la toile (www.astr.ucl.ac.be et www.greenpeace.be). Nous serions très heureux de pouvoir prolonger et compléter ce travail avec votre aide.

Synthèse

Changements climatiques

Déchet inévitable de la combustion des combustibles fossiles, le dioxyde de carbone (CO₂) émis dans l'atmosphère en quantité croissante depuis la révolution industrielle renforce significativement l'effet de serre naturel, réchauffe la température moyenne et modifie le climat⁵. Environ trente milliards de tonnes de CO₂ sont émises dans l'atmosphère par an, soit en moyenne 5 tonnes par personne (et 12 tonnes par Belge!). La concentration de CO₂ a augmenté de 30% en quelque 250 ans.

Pour comprendre les mécanismes climatiques, tenter de savoir ce que l'intensification de l'effet de serre pourrait avoir comme conséquences et évaluer les stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre, les Nations Unies ont créé en 1988 le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, IPCC en anglais), lequel rassemble la plupart des spécialistes mondiaux dans un processus rigoureux d'expertise. Le GIEC fait des projections sur les changements climatiques à partir de différents scénarios de développement socio-économique, des résultats de différents modèles climatiques, et d'autres recherches qu'il analyse et synthétise.

Bien que de nombreuses incertitudes subsistent encore, les travaux du GIEC^{6,7} ont abouti à un certain nombre de conclusions fortes. Notamment quant à l'impact de l'homme sur le climat: *"l'essentiel du réchauffement observé ces 50 dernières années est probablement dû à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre"*. Le GIEC affirme également avoir une confiance accrue dans la capacité des modèles à projeter l'évolution future du climat. En considérant les résultats de tous les modèles et de tous les scénarios, le GIEC projette un accroissement de température de 1,4 à 5,8°C en moyenne mondiale pour la période 1990-2100. Au cours des 10.000 dernières années au moins, la température n'a jamais augmenté aussi vite, et les températures qu'on craint pour 2100 n'ont probablement jamais été atteintes depuis plusieurs centaines de milliers d'années.

La hausse des températures n'est pas la seule manifestation des changements climatiques. Les projections du GIEC montrent une tendance à l'augmentation des précipitations, avec d'importantes disparités selon les saisons et les régions. Une autre conséquence est la hausse du niveau des océans, par suite de la dilatation thermique des masses d'eau, d'une part, et de la fonte des glaciers ainsi que des glaces du Groenland et de l'Antarctique, d'autre part. L'incertitude à ce sujet reste importante, ce qui donne une gamme d'élévation du niveau des océans de 9 à 88 cm pour la période 1990-2100.

Le surplus de CO₂ dans l'atmosphère persiste longtemps et le réchauffement des masses d'eau océaniques est très lent. C'est pourquoi, même en stabilisant la concentration de CO₂ – ce qui requiert une forte diminution des émissions – la température continuera d'augmenter lentement avec de fortes chances d'entraîner la fonte d'une part significative des calottes glaciaires. Ensemble, le réchauffement et la fonte des glaces continentales pourraient rehausser le niveau moyen des mers de 5 à 8 m (!) sur les 1000 prochaines années dans un scénario "moyen". Enfin, le réchauffement pourrait provoquer des "surprises" majeures, telles qu'un changement de la circulation océanique avec un éventuel arrêt du Gulf Stream, ce qui atténuerait le réchauffement à nos latitudes et pourrait éventuellement conduire à un refroidissement en Europe du Nord. L'arrêt du Gulf Stream n'apparaît pas dans les projections d'ici 2100, mais les connaissances actuelles ne permettent pas d'en exclure la possibilité à plus long terme. On estime aussi qu'un arrêt du Gulf Stream provoquerait une élévation supplémentaire du niveau de la Mer du Nord.

Projections pour la Belgique

Si l'élévation attendue de la température en moyenne globale est relativement bien connue, il n'en va pas de même pour la distribution régionale des changements climatiques, en particulier en ce qui concerne le cycle de l'eau. De plus, la Belgique est petite à l'échelle des zones climatiques et les modèles planétaires ont une résolution de quelques centaines de kilomètres. Néanmoins, selon les scénarios et les modèles, des tendances se dégagent:

- les températures augmentent, dans tous les cas considérés, d'une façon qui est déjà importante à l'horizon 2050, et ce aussi bien en été qu'en hiver. A la fin du 21^{ème} siècle, l'élévation de température par rapport à la fin du 20^{ème} siècle serait de 1,7 à 4,9°C l'hiver et de 2,4 à 6,6°C l'été;
- les projections pour l'évolution des précipitations d'ici la fin du 21^{ème} siècle montrent une augmentation comprise entre 6 et 23% pour l'hiver et une évolution en été comprise entre le statu quo et une baisse allant jusqu'à 50%.

D'autres changements en découlent. Les hivers froids disparaîtraient progressivement. La couverture nuageuse pourrait augmenter. La probabilité de vagues de chaleur sévères, comme celle de l'été 2003, augmenterait significativement. Il est très probable que nous assisterons à des épisodes de pluies intenses plus fréquents. En ce qui

concerne les tempêtes, les incertitudes sont importantes, mais il est possible que leur intensité et/ou leur fréquence augmentent.

Risques d'inondation

Etant donnée l'augmentation projetée des précipitations hivernales, le niveau des nappes aquifères et le débit des cours d'eau devraient augmenter à la mauvaise saison. Des études menées sur différents bassins hydrographiques de notre pays concluent à une augmentation du risque d'inondation jusqu'en 2100 pour tous les bassins étudiés.

L'impact hydrologique des changements climatiques en Belgique a été relativement peu étudié jusqu'ici. Récemment, une étude concernant la Grande-Bretagne a pourtant conclu que les changements climatiques conduiraient les risques d'inondation à atteindre des niveaux "inacceptables", avec des conséquences socio-économiques sérieuses.

La baisse des pluies en été et l'augmentation de l'évaporation pourraient s'accompagner de pénuries d'eau à la belle saison, ainsi que d'une diminution de la qualité des eaux de surface.

Région côtière

Les changements climatiques exposent les régions côtières à trois types d'impacts principaux: inondations lors des tempêtes, érosion de la côte et perte ou recul vers l'intérieur des terres des zones naturelles humides. D'autres impacts attendus sont l'élévation du niveau des nappes aquifères et la salinisation des sols et des nappes¹.

En Belgique, une hausse de 1 mètre du niveau moyen de la mer aurait pour résultat que près de 63000 hectares se retrouveraient à une altitude négative. Dans 1000 ans, avec une hausse possible de 8 m, c'est plus du dixième du territoire belge (près de 3700 km²) qui serait sous le niveau de la mer. On pourra essayer de gérer cette situation comme aux Pays-Bas par des protections appropriées, mais elle accroît de toute façon le risque d'inondation à grande échelle. Suite aux inondations de janvier 1976 dans le bassin inférieur de l'Escaut, provoquées par une tempête en Mer du Nord, les autorités avaient mis en œuvre le Plan Sigma. Ce plan est actuellement en cours d'actualisation, notamment pour tenir compte d'une élévation du niveau de la mer jusqu'à 60 cm.

La côte est actuellement touchée par l'érosion de façon variable selon les plages, et des ajouts de sable ont souvent dû être réalisés. L'élévation du niveau de la mer, et probablement l'augmentation de fréquence des tempêtes, pourraient aggraver ce phénomène.

Sur le plan environnemental, le Zwin donne un exemple des conséquences complexes que les changements climatiques pourraient avoir dans la zone côtière. A court terme, et hors changement climatique, ce biotope de grande valeur paysagère et écologique est menacé d'ensablement. La gestion du Zwin peut donc probablement s'adapter à une hausse modérée du niveau des mers. Mais à plus long terme, la hausse du niveau de la mer pourrait poser de graves problèmes, le déplacement de la zone humide vers l'intérieur des terres pour répondre à l'inondation étant impossible.

Biodiversité

Dans son document "*Les changements climatiques et la biodiversité*", le GIEC⁰ conclut que les changements climatiques, qui ont déjà commencé à influencer sur la diversité biologique, exercent une pression supplémentaire sur celle-ci, et que les risques d'extinction augmenteront pour de nombreuses espèces déjà vulnérables. Le GIEC¹ estime aussi qu'il est bien établi que l'ampleur géographique des dommages ou des pertes et le nombre des systèmes affectés augmenteront proportionnellement à l'ampleur et à la rapidité des changements climatiques.

Certains effets des changements climatiques sur la biodiversité sont d'ores et déjà observables en Europe, donc dans notre pays. On note la progression vers le nord de nombreuses espèces des régions chaudes¹. Ce changement est bien établi pour certaines espèces animales (mollusques, libellules, fourmis, papillons, etc.) et végétales (mousses, algues, lichens, etc.). Pour le moment, la régression d'espèces de zones froides est moins évidente.

A l'échelle de la Belgique, nous avons tenté d'estimer la proportion d'espèces qui risquent de disparaître ou dont la fréquence risque de s'accroître suite au réchauffement du climat. Pour cela, nous avons d'abord classé les espèces en fonction de leur appartenance à un type biogéographique ou climatique (boréal, continental, océanique, etc.). Les espèces vivant en Belgique ont ainsi pu être réparties en 3 catégories: espèces de zones tempérées, espèces de zones chaudes et espèces de zones froides. La distribution actuelle des espèces indique en effet les conditions nécessaires pour leur survie et leur croissance (c'est-à-dire leur niche écologique). Les espèces de zones froides seront menacées les premières. On y trouve par exemple des poissons d'eau douce comme l'ablette ou le gardon. Les espèces d'arbres à longue durée de vie (chênes, hêtres et charmes) pourraient ne plus trouver chez nous un climat favorable à leur développement. Ils pourraient de plus souffrir de problèmes liés aux parasites et maladies, notamment s'ils sont affaiblis par des vagues de chaleur.

Au cours du 21^{ème} siècle, il semble que les changements climatiques provoqueront la disparition d'une partie des espèces présentes en Belgique. De plus, les changements climatiques peuvent provoquer des décalages entre certains processus biologiques; par exemple, certaines populations de chenilles éclosent plus tôt quand le printemps est précoce, ne trouvent pas assez à manger car les arbres n'ont pas encore formé suffisamment de feuilles, et sont donc décimées, ce qui nuit ensuite aux mésanges... En ce qui concerne la Mer du Nord, on observe déjà l'implantation d'espèces d'eaux chaudes, dont certaines entrent en compétition avec les espèces locales, telles que les moules. La structure des écosystèmes, c'est-à-dire la répartition et l'abondance relative des différentes espèces, ainsi que leurs relations, pourrait de ce fait être profondément altérée.

Au terme de quelques décennies, les changements climatiques auront un impact significatif, qui se combinera avec ces autres facteurs. En effet, les changements climatiques s'ajoutent à la destruction des habitats, la pollution de l'air, des eaux et des sols, ainsi qu'à une gestion encore trop économique et technocratique de l'environnement. Ces derniers facteurs constituent certainement les menaces les plus sérieuses, actuellement, pour la biodiversité et pour les rares écosystèmes naturels ou semi-naturels d'intérêt qui subsistent dans notre pays. Il est toutefois possible qu'à long terme, les changements climatiques dépassent ces facteurs en importance.

Les Hautes-Fagnes fournissent un exemple des impacts combinés des changements climatiques et des autres facteurs. Les tourbières se dégradent depuis longtemps, pour de multiples raisons: assèchement, pollution et tourisme. Si cette dégradation se poursuit et qu'en plus les changements climatiques prennent de l'ampleur, le scénario le plus probable est que les restes de tourbières encore quasi intactes disparaîtront dans les 20 à 50 années à venir. Mais les changements climatiques feraient à eux seuls disparaître les tourbières à terme, parce qu'ils entraîneraient un assèchement important.

Agriculture et occupation du territoire

Au-dessous de trois degrés de hausse de la température locale, les effets sur l'agriculture des changements climatiques attendus en Belgique au cours du 21^{ème} siècle semblent modestes, dans tous les scénarios. La hausse de la température a tendance à faire baisser les rendements de la plupart des cultures, mais la concentration accrue en CO₂ a tendance à les augmenter. La compensation entre les deux effets varie selon les espèces. En Belgique, l'impact global devrait être limité et même positif pour certaines cultures (dont le blé), au moins tant que l'augmentation de température ne dépasse pas environ 3°C. D'une manière générale, dans la limite des 3°C, l'agricul-

ture en Belgique dispose de larges possibilités d'adaptation qui permettent de faire face aux changements climatiques.

Il est intéressant de noter que selon des projections de l'utilisation des sols (agricole, forestière, urbaine...) au 21^{ème} siècle, le facteur déterminant principal de l'évolution dans ce domaine reste le cadre socio-économique et les décisions de politique agricole, l'impact du climat étant comparativement moindre tant que le réchauffement est modéré.

Effets sur la santé

Les effets des changements climatiques sur la santé seront nettement plus graves dans les pays en développement que chez nous. Par exemple, l'augmentation du risque de contracter la malaria pourrait affecter la santé de plus de 200 millions de personnes supplémentaires d'ici la fin du siècle dans ces pays.

Il ne faut pas pour autant sous-estimer les impacts chez nous. Les changements climatiques peuvent affecter la santé humaine de multiples manières. Une augmentation de la fréquence ou de l'intensité des vagues de chaleur accroît la mortalité et la morbidité; inversement, la baisse hivernale du nombre de jours très froids diminue la mortalité d'origine cardio-vasculaire. La qualité de l'air est également affectée: la chaleur va souvent de pair avec plus d'ozone, allonge la saison d'émission des pollens allergisants ... Les événements extrêmes comme les inondations et tempêtes causent aussi leur lot de décès et blessés.

L'impact réel des changements climatiques sur la santé d'une population dépend largement de sa vulnérabilité, qui dépend elle-même beaucoup du niveau de vie, de l'accès aux soins, et de la capacité de cette population à s'adapter à des nouvelles conditions climatiques. En Belgique, une étude de l'Institut Scientifique de Santé Publique a montré que la vague de chaleur de l'été 1994, associée à des valeurs élevées d'ozone troposphérique, avait causé en six semaines 1226 décès supplémentaires (dont 236 dans le groupe d'âge 0-64 ans). La canicule de l'été 2003 a causé en Belgique une surmortalité de près de 1300 cas parmi les personnes de 65 ans et plus. Quand la température moyenne journalière est supérieure à une vingtaine de degrés, c'est surtout la chaleur qui explique l'augmentation de mortalité, l'ozone ayant un rôle moindre mais additionnel. Or, pour les scénarios climatiques "élevés", il faut s'attendre à une forte augmentation de la fréquence des étés particulièrement chauds. Les étés comme celui de 2003 pourraient devenir la norme avant la fin du siècle. Il serait sans doute possible de prévenir une partie des effets sanitaires par des moyens techniques et par l'hygiène (boire de l'eau, etc...). Une certaine adapta-

tion physiologique peut également se faire, mais seulement si le changement est progressif et ne dépasse pas certaines limites.

Un autre phénomène connu en Belgique est l'augmentation du nombre de cas de maladie de Lyme depuis le début des années 1990. Cette augmentation peut avoir plusieurs causes, mais des chercheurs suédois ont montré que la progression des tiques, vecteurs de cette maladie, entre 1960 et 1998, était corrélée à l'augmentation des minima journaliers de température. Ceci suggère que les changements climatiques pourraient à l'avenir contribuer à l'augmentation du nombre de cas en Belgique.

Impacts sur le tourisme

L'élévation du niveau des mers et l'augmentation de la température pourraient occasionner de sérieuses difficultés à certaines destinations prisées des touristes. Les côtes basses ou les îles telles que les Maldives risqueraient d'être en partie submergées et l'érosion de leurs plages accentuée. De nombreux petits Etats insulaires pourraient être ruinés par la perte du revenu du tourisme.

En Europe également, des impacts négatifs sont à craindre. L'ensoleillement est considéré comme essentiel pour le tourisme... mais une température moyenne plus élevée associée à plus de vagues de chaleur nuit à l'attractivité des pays méditerranéens. A nos latitudes, un accroissement modéré des températures associé à un temps sec pourrait favoriser le tourisme. Il faut toutefois compter avec la nécessité d'entretenir plus fréquemment les plages en raison de l'érosion accrue, et avec la baisse de débit des rivières en été.

Suivant l'ampleur du changement, les stations de sports d'hiver des Alpes pourraient connaître un sérieux manque de neige, surtout à basse altitude. Chez nous, la neige au sol serait de plus en plus rare, mais ciel gris et pluies ne feraient pas défaut en hiver...

Coût des impacts climatiques

L'évaluation des coûts liés aux changements climatiques est un problème délicat, notamment parce que beaucoup d'effets n'ont pas une valeur monétaire évidente. La capacité d'adaptation est un paramètre important. Elle est très variable, ce qui contribue à la difficulté de documenter les effets socio-économiques à l'échelle régionale.

Pour un problème aussi mondial par définition que celui des changements climatiques, réfléchir à l'échelle de la seule Belgique n'a qu'un intérêt limité. Une partie des impacts peut être monétisée, dans une certaine mesure.

Quelques pour cent de consommation de chauffage en moins en hiver, une augmentation de la consommation d'électricité pour le conditionnement d'air en été, la réparation de dégâts dus aux inondations ... Le coût total de ces impacts "monétisables" est apparemment assez faible au niveau mondial: de l'ordre de 1 à 2% du PNB pour une augmentation moyenne de la température de 2,5 °C, mais les incertitudes sont grandes.

D'autres impacts posent problème quand il s'agit de les monétiser: que dire du coût des vies humaines, des espèces végétales menacées...? Le dernier rapport du GIEC résume les risques liés aux changements climatiques projetés sous forme de cinq "motifs d'inquiétude". Le GIEC estime notamment que même pour un réchauffement inférieur à environ 2,5 °C, la majorité des populations seront affectées négativement.

Conclusion

A l'échelle du 21^{ème} siècle et pour la Belgique, les premiers effets des changements climatiques seront probablement d'ampleur relativement limitée, surtout si l'on tient compte des mesures d'adaptation qui peuvent être prises tant que les changements ne sont pas trop importants. Mais il ne faut pas se leurrer: l'adaptation a également un coût, et ses limites. Certains de ces impacts pourraient être très significatifs, et deviendraient de plus en plus visibles si le réchauffement n'était pas maîtrisé: effets des vagues de chaleur sur la santé et la mortalité, perturbation des écosystèmes et perte d'espèces et milieux fragiles, contribution au risque d'inondations et érosion des plages. Dans un premier temps, l'agriculture ne serait pas mise à mal, et certaines cultures pourraient même profiter d'un petit supplément de chaleur. Au-delà d'environ 3°C d'augmentation moyenne en Belgique, beaucoup de cultures commenceront à souffrir et les rendements diminueront. De même, s'adapter à une élévation du niveau de la mer de 50 cm ou d'un mètre n'est sans doute pas trop difficile dans un pays riche. Mais quand on sait qu'un réchauffement ininterrompu pourrait nous conduire, dans un scénario moyen, à une hausse de 8 m d'ici 1000 ans, on peut se demander quelles sont les villes et localités qui fêteront leur 1500^{ème} ou 2000^{ème} anniversaire les pieds dans l'eau.

De plus, le monde est aujourd'hui interdépendant. Pour un problème aussi global que celui des changements climatiques, ce serait une grave erreur d'imaginer que nous pourrions nous limiter aux seuls impacts qui affecteraient notre petit territoire. Sans même invoquer les préoccupations éthiques, il faut bien se rendre compte que les prix de l'alimentation dépendent aujourd'hui de la santé de l'ensemble du système agricole mondial. Les virus ne restent pas non plus confinés dans des zones lointaines. Des sécheresses à répétition affectant le pourtour méditerranéen...

néen auraient évidemment des conséquences chez nous en termes d'afflux de réfugiés, pour ne citer que ces exemples.

La dernière figure de ce rapport (*figure 15, page 39*), extraite des travaux du GIEC, montre bien que pour circonscrire les risques climatiques à certains écosystèmes et limiter le risque lié aux événements extrêmes, il est nécessaire de maintenir l'accroissement de température sous la barre de 1,5°C environ par rapport à 1990, ce qui représente 2°C de plus que la température préindustrielle. Cela nécessite une stabilisation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère à un niveau tel que, pour ne pas le dépasser, il faut diviser les émissions mondiales par un facteur trois à quatre d'ici à 2100, et plus encore au-delà*. Un défi à la mesure des immenses connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques d'aujourd'hui. Ce qui manque surtout, c'est la volonté de s'y mettre sérieusement. Peut-être ce rapport aura-t-il apporté sa modeste contribution à cet égard.

* Les lecteurs curieux sont invités à expérimenter eux-mêmes les conséquences de divers choix de stabilisation de la température pour les émissions de gaz à effet de serre avec le modèle climatique interactif du Dr Ben Matthews (UCL), disponible sur jcm.chooseclimate.org.

Table des matières

AVANT-PROPOS	3
REMERCIEMENTS	4
DES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN BELGIQUE?	5
SYNTHÈSE	7
Changements climatiques	7
Projections pour la Belgique	7
Risques d'inondation	8
Région côtière	8
Biodiversité	8
Agriculture et occupation du territoire	9
Effets sur la santé	9
Impacts sur le tourisme	10
Coût des impacts climatiques	10
Conclusion	10
TABLE DES MATIÈRES	13
CHANGEMENTS CLIMATIQUES	15
Introduction	15
Projections climatiques pour le 21^{ème} siècle	15
Scénarios	16
Résultats à l'échelle globale	16
Niveau de la mer	17
Au-delà du 21 ^{ème} siècle	17
Possibilité de "surprises" majeures	17
Projections climatiques pour la Belgique	18
Températures et précipitations	18
D'autres changements	19
Phénomènes extrêmes	19
IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN BELGIQUE	21
Biodiversité	21
Introduction	21
Effets déjà observables	21
Effets à long terme (21 ^{ème} siècle)	22
CADRE: les Hautes-Fagnes	26
Flore et faune de la Mer du Nord	28
Agriculture et occupation du territoire	30
Rendements agricoles	30
Scénarios d'utilisation des sols au 21 ^{ème} siècle	31
Ressources en eau et inondations	32
Région côtière	33
CADRE: le Zwin	35
Impacts sur la santé	36
Introduction	36
Impacts observés en Belgique	37
Et demain?	37
Tourisme	38
Coût des impacts climatiques	38
BIBLIOGRAPHIE	40

Changements climatiques

JEAN-PASCAL VAN YPERSELE, PHILIPPE MARBAIX
ET EMILIE VANVYVE

Introduction

Le système climatique est alimenté en énergie par le rayonnement solaire. La planète, comme tout corps chaud, réémet de la chaleur vers l'espace par rayonnement infrarouge. La composition de l'atmosphère influence la transparence de l'atmosphère aux rayonnements solaires et infrarouges, et donc le climat, qui résulte de l'équilibre entre quantités de chaleur gagnées et perdues⁵. Certains gaz, appelés "gaz à effet de serre", ont la propriété de piéger la chaleur dans le système climatique en laissant pénétrer facilement le rayonnement solaire, mais en étant peu transparents au rayonnement infrarouge réémis vers l'espace. Ces gaz jouent en quelque sorte le rôle des vitrages qui retiennent la chaleur dans les serres. Le mécanisme de l'effet de serre naturel, qui permet au climat de la Terre d'avoir une température moyenne globale de +15°C au lieu des -18°C qu'il aurait en son absence, est dû principalement à la vapeur d'eau.

Mais un autre gaz contribue à renforcer significativement l'effet de serre depuis la révolution industrielle: le CO₂ ou dioxyde de carbone. Ce gaz est un déchet inévitable de la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz, par ordre décroissant d'importance) ou de matières organiques (végétation et forêts). Environ 30 milliards de tonnes de CO₂ sont émises dans l'atmosphère par an, soit en moyenne 5 tonnes de CO₂ par personne (et 12 tonnes par Belge!). Seule environ la moitié du carbone émis est réabsorbée par la biomasse et les océans, l'autre moitié s'accumule dans l'atmosphère et y séjourne de 50 à 200 ans, contribuant ainsi à l'augmentation observée de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère (30% de plus depuis l'ère préindustrielle). Les activités humaines induisent également une augmentation de la concentra-

tion atmosphérique d'autres gaz, dont le méthane, qui contribuent aussi à l'effet de serre.

Il est donc clair que la température moyenne de la Terre va augmenter en surface. Mais de combien? Avec quels effets? Ces questions sont principalement étudiées à l'aide de modèles numériques du climat. Similaires aux modèles développés pour la prévision du temps, ils sont cependant raffinés pour tenir compte de phénomènes lents comme la circulation océanique ou la dynamique des glaciers.

Le climat belge¹ s'inscrit évidemment dans un contexte climatique mondial, aussi est-il nécessaire de commencer par décrire brièvement les scénarios possibles d'évolution du climat à l'échelle planétaire.

Projections climatiques pour le 21^{ème} siècle

Les Nations Unies ont créé en 1988 le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC en anglais). Cet organisme fait à présent autorité à propos des questions climatiques, car il a réussi à rassembler la plupart des spécialistes mondiaux dans un processus rigoureux d'expertise. Pour répondre aux questions sur le devenir du climat mondial, le GIEC fait le point sur les recherches existantes, notamment en matière de modélisation climatique, et a aussi un rôle d'impulsion de recherches spécifiques. Les principales publications du GIEC sont les rapports d'évaluation, dont le dernier est paru en 2001^{9,10,11}.

TABLE 1

Scénarios SRES: "vues du monde" construites pour définir les 4 "familles" de scénarios d'émissions de gaz ayant un impact sur le climat. Source: GIEC².

	Plus de développement "à court terme" ("économique")	Plus de "développement durable"
Politique plus "globale"	A1: Croissance économique rapide, convergence dans le développement des régions, croissance de la population faible, innovation technologique.	B1: Solutions globales "durables" aux niveaux social, économique et environnemental: efficacité énergétique, économie de ressources..., croissance de la population faible.
Politique plus "régionale"	A2: Monde très hétérogène (+ d'intérêts régionaux), croissance économique modérée, croissance de la population rapide, disparités technologiques.	B2: Solutions à l'échelle locale pour un développement durable. Croissance économique et de la population modérées, disparités technologiques.

Scénarios

Pour modéliser les changements du climat au 21^{ème} siècle, il est nécessaire de faire des hypothèses quant aux émissions de gazⁱ dans l'atmosphère. Ces émissions dépendront évidemment de beaucoup de facteurs, tels que l'évolution de la population, le développement économique, l'utilisation des ressources énergétiques...

L'évolution future de ces facteurs étant largement inconnue, différents scénarios basés sur des "vues du monde" et de son évolution ont été élaborés, et les émissions qui en résultent ont été estimées. L'élaboration de ces scénarios a été coordonnée par le GIEC (rapport SRES^{ii,2}); ils sont répartis en 4 "familles" dont les principes sont brièvement résumés par la table 1. Chaque famille regroupe de nombreux scénarios, dont aucun n'a la prétention de représenter le futur le plus probable: ce sont plutôt des "caricatures" comportant à chaque fois un ensemble cohérent d'hypothèses visant à explorer une large gamme de futurs possibles. Dans les scénarios des deux familles "B", une plus grande attention a notamment été accordée à la protection de l'environnementⁱⁱⁱ.

Résultats à l'échelle globale

Une fois choisi le scénario d'émission, le problème reste complexe: il faut entre autres déterminer la concentration de gaz dans l'atmosphère à un moment donné, qui résulte de phénomènes tels que les échanges de carbone entre l'atmosphère, la biosphère et les océans. La partie proprement climatique des modèles comprend elle-même de nombreux éléments, comme la représentation des nuages, qui ne peuvent être qu'une image simplifiée de la réalité: il y a une incertitude liée à la modélisation et chaque modèle a ses forces et ses faiblesses. Dès lors, les projections pour le climat futur sont faites en tenant compte non seulement de plusieurs scénarios, mais également de plusieurs modèles.

Les températures en moyenne globale ainsi obtenues sont présentées dans la partie droite de la figure 1. En considérant les résultats de tous les modèles étudiés et de tous les scénarios, on obtient un accroissement de température pour la période 1990-2100 situé entre 1,4 et 5,8°C. En prenant un scénario modérément "optimiste" en matière d'émissions de gaz à effet de serre (de type B2), et un

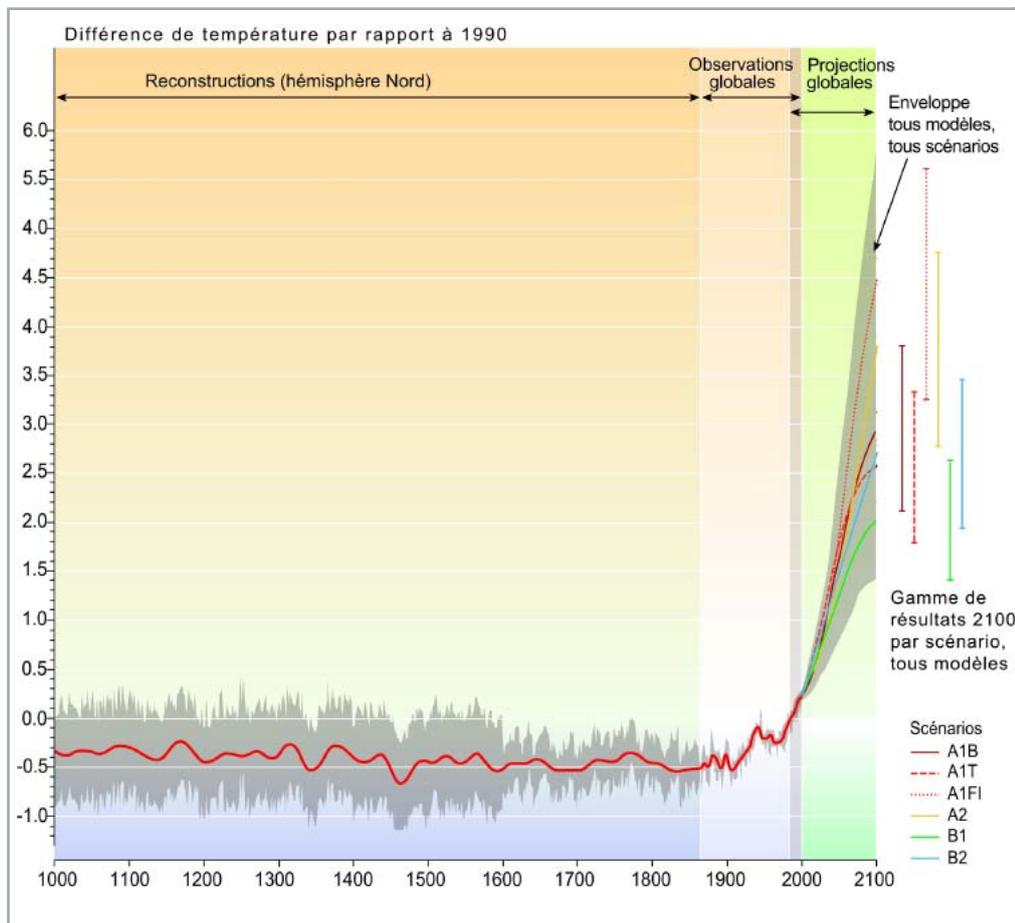


FIGURE 1

Variations de la température (°C) en surface, années 1000 à 2100.

De 1000 à 1860: reconstruction (basée sur les arbres, coraux, glaces...), pour l'hémisphère Nord; la ligne rouge représente une moyenne sur 50 ans et la partie grisée l'incertitude (95% de probabilité de se trouver dans cet intervalle).

De 1860 à 2000: observations instrumentales, moyenne globale; la ligne donne la moyenne décennale.

Pour le futur: projections pour 6 scénarios d'émission (traits colorés) et gamme de résultats pour tous les scénarios et tous les modèles (zone grisée). Source: GIECⁱ.

ⁱ Gaz à effet de serre et d'autres gaz ayant un impact sur le climat comme le dioxyde de soufre.

ⁱⁱ *Special Report on Emission Scenarios*, qui concerne aussi les scénarios socio-économiques cohérents avec les scénarios d'émission.

ⁱⁱⁱ Il faut noter qu'aucun de ces scénarios n'inclut explicitement une politique climatique: certains scénarios supposent par exemple une utilisation plus rationnelle de l'énergie, mais aucun ne comporte explicitement la mise en œuvre de la Convention des Nations Unies sur les changements climatiques ou celle du Protocole de Kyoto.

modèle moyennement sensible à cette augmentation, on obtient une augmentation de température en surface de 3°C pour la période 1990-2100. Les observations montrent par ailleurs que la température globale a augmenté de 0,6 (+/- 0,2) °C entre la fin du 19^{ème} et la fin du 20^{ème} siècle. Au cours des 10.000 dernières années au moins, la température n'a jamais augmenté aussi vite que ce qui est projeté pour le futur, et les températures qu'on craint d'atteindre en 2100 n'ont vraisemblablement pas été atteintes depuis plusieurs centaines de milliers d'années.

Une telle évolution ne se limite bien sûr pas aux températures, mais touche l'ensemble du système climatique. La tendance pour les précipitations est à l'augmentation en moyenne globale, avec d'importantes disparités selon les saisons et régions.

Niveau de la mer

Le niveau des océans est influencé par deux mécanismes: la dilatation de l'eau de mer par réchauffement et le bilan de l'accumulation de neige et de la fonte pour les glaciers de montagne, ainsi que les glaces du Groenland et de l'Antarctique. Pour le 21^{ème} siècle, la contribution principale sera vraisemblablement celle du réchauffement océanique. L'incertitude liée aux modèles est importante; pour l'ensemble des modèles et scénarios SRES, on obtient une large gamme d'élévations possibles du niveau moyen des mers: de 9 à 88 cm pour la période 1990-2100. L'augmentation ne serait pas la même dans toutes les régions du monde, mais ces disparités semblent modérées et ne peuvent être estimées de façon fiable pour l'instant.

Au-delà du 21^{ème} siècle

Ce qui se passera après 2100 dépendra largement des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à cette échéance et au-delà, en particulier pour le CO₂, dont le surplus introduit dans l'atmosphère persiste longtemps: même après plusieurs siècles, on trouve encore environ un quart de cet "excès" de concentration dans l'atmosphère. En admettant que les concentrations se stabilisent, ce qui requiert une forte réduction des émissions, la température continuera d'augmenter lentement en raison du temps nécessaire au réchauffement en profondeur des océans.

Cette augmentation de température a de fortes chances de causer la fonte d'une part significative des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique. Selon un scénario à long terme qualifié de "moyen" dans le dernier rapport du GIEC, ceci représenterait une hausse du niveau moyen des mers de 3 à 6 m sur les 1000 prochaines années. Si l'on y ajoute 0,5 m pour l'effet des petits glaciers continentaux, qui auront pratiquement tous disparu à ce moment, et environ 1,5 m d'élévation due à la dilatation thermique de l'eau de mer, l'augmentation atteindrait jusqu'à 8 m en l'an 3000. Et ce n'est pas un scénario extrême.

Possibilité de "surprises" majeures

On pense principalement à un changement de la circulation océanique à l'échelle planétaire, aussi appelée circulation thermohaline^{iv}. Le Gulf Stream fait partie de cette circulation et amène des eaux plus chaudes dans l'Atlan-

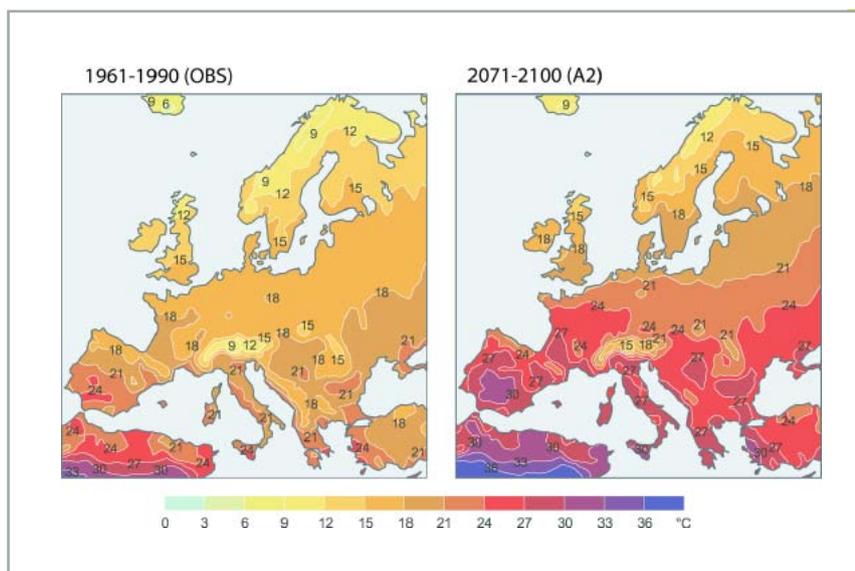


FIGURE 2

Températures observées l'été en Europe pour la période 1961-1990 (à gauche); températures simulées par des modèles climatiques régionaux pour la période 2071-2100 (à droite), scénario A2, à titre d'exemple (moyenne pour 2 modèles, qui pourraient surestimer les températures au sud de l'Europe, bien que d'autres modèles aient produit des résultats similaires). Source: programme de recherche SWECLIM, cité par Bernes⁸.

^{iv} Liée aux différences géographiques de température (thermo) et de salinité (haline), donc de densité de l'eau.

tique Nord. Or, dans cette région, la circulation thermohaline pourrait être freinée par les apports d'eau douce en surface, dont celles qui proviennent de la fonte de la glace issue du Groenland.

Pour le 21^{ème} siècle, la plupart des modèles montrent effectivement un ralentissement de la circulation océanique, mais aucune des projections actuelles ne montre un arrêt du Gulf Stream avant 2100. L'arrêt de la circulation pourrait paradoxalement atténuer le réchauffement à nos latitudes et éventuellement conduire à un refroidissement en Europe du Nord. On estime aussi qu'un arrêt du Gulf Stream provoquerait une élévation supplémentaire du niveau de la Mer du Nord. Le ralentissement projeté n'y suffit pas, du moins en présence d'un réchauffement à l'échelle planétaire³. A terme de quelques siècles, les connaissances actuelles ne permettent pas de quantifier la probabilité d'arrêt de la circulation thermohaline, mais ceci pourrait dépendre fortement de l'ampleur et du rythme d'évolution de nos émissions de gaz à effet de serre.

Projections climatiques pour la Belgique

Si l'élévation attendue de la température en moyenne globale est relativement bien connue, il n'en est pas encore de même pour la distribution régionale des changements climatiques, en particulier pour ce qui concerne le cycle hydrologique (pluies et humidité du sol). Toutefois, de grandes tendances apparaissent pour nos régions.

Températures et précipitations

La Belgique étant petite à l'échelle des zones climatiques, il est utile de regarder d'abord l'Europe. La figure 2 compare les températures moyennes en été pour la fin du 20^{ème} siècle à celles que donne un modèle régional^v pour la fin du 21^{ème} siècle, dans le cas du scénario A2, lequel suppose des émissions assez élevées. Pour obtenir une image de la gamme des futurs possibles pour la fin du siècle, il faudrait analyser un ensemble de modèles et de scénarios, comme exposé précédemment. Il s'agit donc ici d'un exemple, qui représente toutefois une des situations

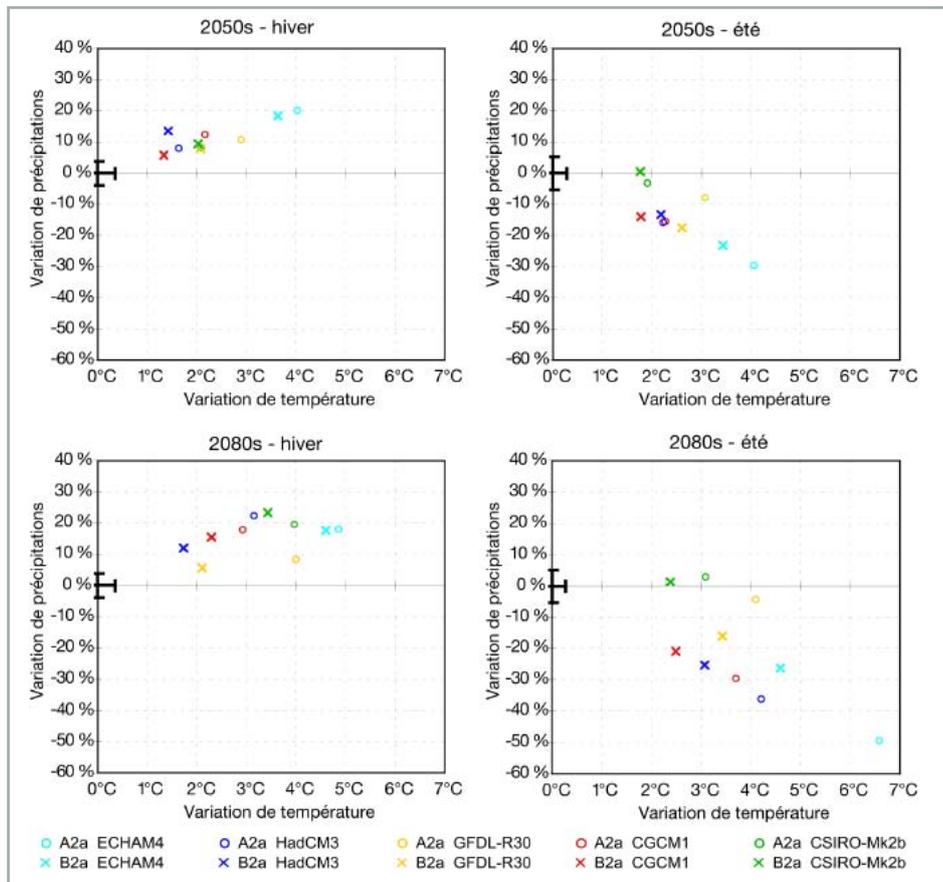


FIGURE 3

Moyenne sur un territoire correspondant approximativement à la Belgique des résultats de 5 modèles climatiques de circulation générale^{vi} et 2 scénarios SRES (A2 et B2; simulations réalisées par les grands centres mondiaux de modélisation et distribuées par le GIEC). Valeurs pour la période 2040-2069 (haut) ou 2070-2099 (bas), par rapport à la période 1960-1989. Hiver (à gauche) et été (à droite). Axe horizontal: variation de température sur la période; axe vertical: variation de précipitation, en pourcentage de la valeur pour la période de référence. Demi-croix en trait gras: écart-type associé à la variabilité naturelle d'une période de 30 ans à une autre (approximation). Source: UCL, Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaître⁴.

^v Modèle à plus haute résolution spatiale, spécifique à la région d'intérêt, toujours utilisé en complément de modèles à l'échelle planétaire (dont la résolution est de quelques centaines de kilomètres).

^{vi} Modèles à l'échelle du globe pour l'ensemble du système climatique (atmosphère, océan, ...).

plausibles. Si un tel changement se réalisait, la Belgique connaîtrait d'ici moins d'un siècle des températures moyennes semblables à celles de l'Espagne à la fin du 20^{ème} siècle! Même sans aller jusqu'à cette situation qu'on peut qualifier d'extrême, on voit que les conséquences du changement climatique pour l'Europe peuvent être importantes.

Pour obtenir une image plus complète de ce qui pourrait se passer en Belgique, les changements de température et de précipitation sur un domaine correspondant approximativement au pays sont présentés à la figure 3. Il s'agit de résultats de modèles à l'échelle du globe, qui ne traitent l'information qu'avec une résolution géographique de quelques centaines de kilomètres. Malgré cette résolution limitée, ce type de modèle est indispensable: l'atmosphère et l'océan mettent en interaction toutes les régions du globe, qu'il faut donc traiter ensemble, même si un raffinement régional sélectif serait ensuite possible. Avec 5 modèles et 2 scénarios (A2 et B2), nous avons ici un aperçu des projections climatiques pour la Belgique au cours du 21^{ème} siècle, bien qu'une analyse complète devrait s'appuyer sur un plus grand nombre de scénarios et de simulations. Ces résultats font clairement apparaître l'existence de larges incertitudes dans les projections climatiques à l'échelle régionale: les modèles produisent des résultats assez différents les uns des autres.

Néanmoins, des tendances se dégagent:

- les températures augmentent, dans tous les cas considérés, d'une façon qui est déjà importante à l'horizon 2050, et ce aussi bien en été qu'en hiver. Entre la fin du 20^{ème} et la fin du 21^{ème} siècle, l'élévation de la température hivernale va de 1,7°C à 4,6°C (selon le modèle considéré) pour le scénario B2 et de 2,9°C à 4,9°C pour le scénario A2. Pour l'été, l'élévation de température va de 2,4°C à 4,6°C (B2) et de 3,1 à 6,6°C (A2).
- les précipitations augmentent modérément en hiver (entre 6 et 23% à la fin du siècle). Elles semblent diminuer en été, mais les résultats quantitatifs divergent (allant du statu quo à une baisse de 50%), probablement en raison à la fois des limitations actuelles des modèles et de la plus grande variabilité naturelle en cette saison^{vii}.

D'autres changements

Au vu de l'augmentation des températures moyennes en hiver, il est évident que le nombre de jours de gel et de neige persistante au sol va diminuer. Pour l'Europe, les modèles montrent une disparition progressive au cours du siècle des hivers froids du type de ceux qui survenaient en

moyenne une fois par décennie à la fin du 20^{ème} siècle. D'autres changements pourraient également se produire: ainsi, au cours des dernières décennies, on a déjà observé une réduction de l'écart de température diurne (la température minimale, de nuit, augmente plus que la température maximale en journée) et il est fort probable qu'une des causes en soit l'augmentation de la couverture nuageuse. Selon certains modèles, la nébulosité pourrait continuer à augmenter en hiver dans le futur.

Phénomènes extrêmes

Les vagues de chaleur, comme celles de l'été 2003, pourraient-elles devenir plus fréquentes? Si les variations de température observées d'une année à l'autre restent semblables à ce qu'elles ont été au 20^{ème} siècle, l'augmentation de la température moyenne accroîtra significativement la probabilité d'avoir des étés particulièrement chauds, avec plus de vagues de chaleur sévères. De plus, des chercheurs ont récemment suggéré que la variabilité inter-annuelle des températures pourrait également augmenter. A la fin du 21^{ème} siècle, un été sur deux serait au moins aussi chaud que l'été 2003^{5,6}. Le détail de ces résultats doit encore être confirmé par d'autres équipes, mais des conclusions similaires avaient déjà été tirées précédemment^a, surtout pour les scénarios à fortes émissions.

L'évolution des précipitations moyennes étant encore mal connue à l'échelle régionale, il faut aussi être prudent en ce qui concerne les périodes de fortes pluies. Le GIEC considère une augmentation des événements de pluie intense comme très probable dans beaucoup de régions. Une augmentation des précipitations moyennes (en hiver) serait probablement associée à une augmentation de la variabilité inter-annuelle^q.

En ce qui concerne les tempêtes, les modèles ont donné certaines indications, mais il reste difficile de tirer une conclusion définitive. Plusieurs modèles ont montré une diminution du nombre de dépressions de faible intensité sur l'Atlantique Nord et l'Europe, tout en produisant davantage de fortes dépressions, lesquelles sont associées aux vents de tempête^q. Des mécanismes explicatifs en lien avec l'augmentation des températures ont été proposés, mais sans qu'un consensus se dégage. L'usage plus fréquent de modèles à résolution élevée, potentiellement plus aptes à représenter les dépressions, devrait aider à préciser ces résultats dans le futur.

^{vii} Un des modèles, le GFDL-R30, a même un comportement paradoxal: il produit une plus grande réduction de précipitations pour le scénario B2 correspondant aux émissions les plus faibles (par rapport à A2). Ceci est en cours d'investigation.

Impacts des changements climatiques en Belgique

Biodiversité

ALAIN HAMBUCKERS

Introduction

Le travail collectif *Biodiversity in Belgium*, coordonné par l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique⁷, fait la somme des connaissances sur la biodiversité en Belgique. On dénombre à ce jour quelque 36.654 espèces d'organismes eucaryotiques et de Cyanobactéries. Alors même que cet inventaire reste incomplet, particulièrement en ce qui concerne certains groupes microscopiques, il semble certain aujourd'hui que les changements climatiques induits par l'intensification de l'effet de serre provoqueront la disparition d'une partie des espèces présentes en Belgique. D'une part, l'adaptation au milieu est souvent très étroite; toute modification de l'environnement biotique ou abiotique peut s'avérer fatale, chaque espèce permettant généralement la survie d'un cortège d'autres espèces. D'autre part, les modifications de la répartition des espèces végétales au cours de la période de réchauffement qui a suivi la dernière glaciation (13.000 à 9.000 B.P.^{viii}) donnent à penser que les limites de répartition de certaines espèces pourraient être déplacées de plusieurs centaines de kilomètres dans l'hypothèse d'un réchauffement de quelques °C.

Evaluer le risque de disparition d'une espèce d'une aire géographique fragmentée, comme c'est souvent le cas en Belgique, revient au même problème que celui d'évaluer le risque d'extinction d'une espèce. Il est nécessaire de prendre en compte plusieurs facteurs, par ailleurs susceptibles d'interactions.

En Belgique, l'altération de la biodiversité résulte surtout de la pollution de l'air, des eaux et des sols, de la fragmentation et de la destruction des habitats, de l'évolution des pratiques agricoles et sylvicoles et de la compétition avec des espèces exogènes. Ces phénomènes ont provoqué la disparition d'espèces qui n'étaient généralement connues que dans un nombre très restreint de localités. Par exemple, l'ensemble des espèces de Bryophytes^{ix} disparues ou menacées représente plus de 20% du groupe taxonomique, qui compte environ 732 espèces.

L'impact des changements climatiques risque de ne pas se résumer à la seule disparition d'espèces: les nouvelles conditions climatiques vont permettre l'arrivée d'espèces

autrefois incapables de survivre dans notre pays; elles vont aussi modifier les relations entre espèces (relations de compétition, alimentaires, chorologiques^{ixbis}, etc.) et donc la structure même de certains écosystèmes. L'évaluation de l'impact des changements climatiques sur la biodiversité est donc un problème hautement complexe.

Une chaîne alimentaire récemment étudiée en Europe du Nord-ouest permet d'illustrer cette complexité⁸. Lorsque le printemps est précoce, les chenilles des papillons de nuit ne trouvent pas suffisamment de jeunes feuilles de chênes, car ces conditions avancent fortement leur éclosion; ceci a pour conséquence que peu d'entre elles subsistent. Ensuite, ce sont les jeunes mésanges qui ratent leurs conditions optimales de nutrition car le pic d'abondance des chenilles, déjà réduit, survient trop tôt. Un événement climatique banal influe donc directement sur la densité des populations. Si cela perdure, les populations peuvent réagir: par exemple, si la diversité génétique est suffisante en ce qui concerne l'étalement dans les dates d'éclosion des chenilles, les individus qui éclosent trop tôt ne laissent pas de descendance et cela favorise la transmission dans la population de chenilles d'une éclosion plus tardive. Le risque existe cependant que des populations déclinent inexorablement.

Effets déjà observables

● Modification de la phénologie

En général, les auteurs sont extrêmement prudents à imputer des modifications de la biodiversité ou de l'activité biologique aux changements climatiques, compte tenu de leur lenteur et de leur faible ampleur jusqu'à présent. Les changements de la phénologie (répartition dans le temps des phénomènes périodiques saisonniers des êtres vivants) constituent toutefois des indicateurs fiables et facilement observables^{9,10}. L'IRM ayant malheureusement arrêté ses observations phénologiques au cours des années 1980, on ne dispose pas de longue série d'observations en Belgique. Des observations réalisées en Europe sur une période de 30 ans montrent que les événements printaniers tels l'éclosion des bourgeons, se produisent 6 jours plus tôt, et que les événements automnaux, tels le jaunissement des feuilles, sont retardés de 4,8 jours¹¹. Ces changements peuvent être attribués à l'augmentation de la température de l'air.

viii Années dans le passé (*Before Present*).

ix Plantes terrestres qui ne portent pas de fleurs et ne sont pas vasculaires, c.-à-d. les mousses, hépatiques, etc..

ixbis Qui ont trait à l'occupation de l'espace.

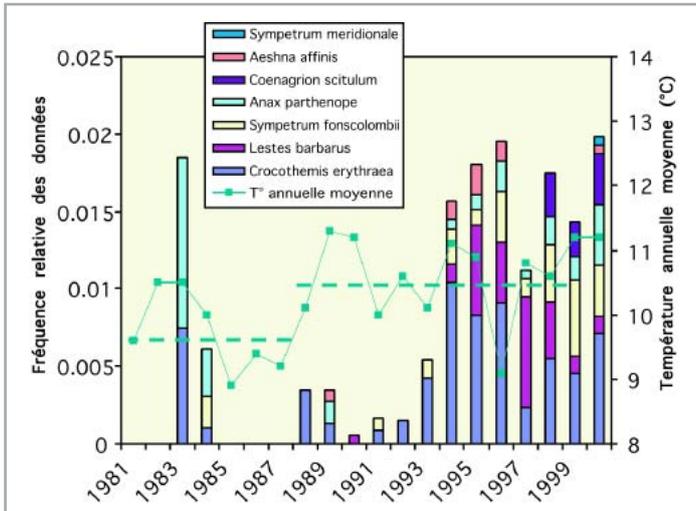


FIGURE 4.

Evolution de la température moyenne et de la fréquence d'espèces méridionales de libellules en Région wallonne. Source: P. Goffart et R. de Schaetzen¹⁴.

● En Belgique

L'analyse des données disponibles depuis 1985 en Flandre montre que les oiseaux migrateurs arrivent généralement plus tôt¹². Ce résultat pourrait s'expliquer par des facteurs climatiques: quelques hivers rudes dans le milieu des années 1980, puis une augmentation de la fréquence des hivers doux dans les années 1990, peut-être à mettre en relation avec l'intensification de l'effet de serre. Par ailleurs, un lien a été établi entre l'augmentation de la fréquence des secondes couvées chez différentes populations de mésanges et l'augmentation des températures printanières depuis 20 ans, pour six pays européens dont la Belgique¹³.

● Densité et répartition des espèces

Sept espèces méridionales de libellules (sur un total de 66) ont été recensées de plus en plus régulièrement en Wallonie (voir figure 4). Aux Pays-Bas et en Grande-Bretagne, on note également une progression vers le nord de nombreuses espèces d'invertébrés (mollusques, libellules, fourmis, papillons, etc.). Des observations similaires ont été faites pour certains oiseaux.

Pour les espèces botaniques, la présence d'une espèce de cyanobactérie tropicale a été rapportée en Europe tempérée¹⁵; elle pourrait être favorisée par les nouvelles conditions climatiques. Aux Pays-Bas, une progression marquée d'espèces de plantes à fleurs de régions chaudes a été mise en évidence¹⁶; 50% de cette augmentation pourrait résulter d'un effet climatique. En ce qui concerne les bryophytes et les lichens, la progression des espèces de régions chaudes a également été observée, mais aussi la régression des espèces de régions froides¹⁷. Enfin, pour les

hépatiques de Belgique, Schumacker (communication personnelle) enregistre aussi, depuis 1950, la progression d'espèces thermophiles (7 espèces à caractère atlantique-subméditerranéen); par contre, il ne détecte pas de régression de 26 espèces typiques de régions froides (espèces à caractère boréo-montagnard, voire subarctique-subalpin).

Tous pays confondus, une analyse de 143 études portant sur des animaux (invertébrés et vertébrés) et sur diverses plantes terrestres a montré une évolution dans le sens attendu en cas de réchauffement pour plus de 80% des espèces pour lesquelles des changements ont été enregistrés¹⁸. L'ensemble de ces travaux donne donc clairement à penser que les effets des changements climatiques sur la biodiversité commencent à apparaître. La progression vers le nord d'espèces thermophiles semble établie, mais la régression d'espèces de zones froides est moins évidente. Le GIEC^t a confirmé la validité de ces résultats.

Effets à long terme (21^{ème} siècle)

Dans son document "Les changements climatiques et la biodiversité", le GIEC^o conclut que les changements climatiques, qui ont déjà commencé à influencer sur la diversité biologique, exercent une pression supplémentaire sur celle-ci, et que les risques d'extinction augmenteront pour de nombreuses espèces déjà vulnérables. Le GIEC^t estime aussi qu'il est bien établi que l'ampleur géographique des dommages ou des pertes et le nombre des systèmes affectés augmenteront proportionnellement à l'ampleur et à la rapidité des changements climatiques (voir figure 15 dans la partie "coût des impacts climatiques", page 39).

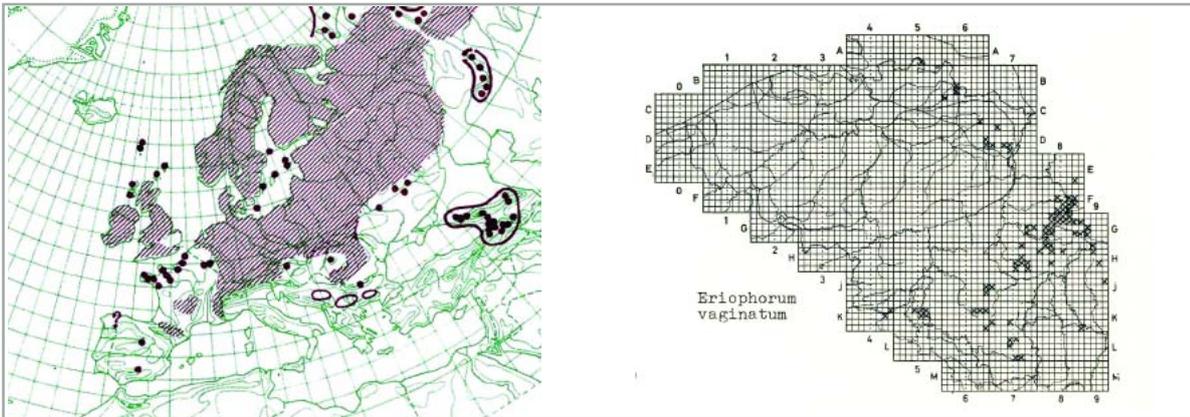


FIGURE 5

Distribution actuelle de la linaigrette vaginée, exemple d'espèce de zones froides. A gauche: en Europe (Hultén E. et Fries M., 1986. *Atlas of North European vascular plants North of the Tropic of Cancer*. Koeltz Scientific Books, Königstein, Allemagne); à droite: en Belgique et au Grand-Duché de Luxembourg. Source: van Rompaey et al.¹⁹.

Dans un article paru en 2004 dans la revue *Nature*, il est fait état de résultats alarmants concernant ces risques d'extinctions d'espèces induits par les changements climatiques: en 2050, 35% des espèces vivantes actuelles seraient condamnées à une extinction progressive dans le cas du scénario de réchauffement le plus élevé du GIEC, et 18% dans le cas du scénario le plus bas. Bien que fortement dépendants d'une des hypothèses de travail, ce que soulignent les auteurs, ces résultats montrent la nécessité de poursuivre ce type de recherches pour mieux appréhender le risque d'extinction majeure, et de favoriser de toute manière le scénario le plus bas possible.

A l'échelle de la Belgique, nous avons tenté d'estimer la proportion d'espèces qui risquent de disparaître ou dont la fréquence risque de s'accroître suite au réchauffement du climat. Pour cela, nous avons d'abord classé les espèces en fonction de leur appartenance à un type biogéographique ou climatique (boréal, continental, océanique, etc.). Les espèces vivant en Belgique ont ainsi pu être réparties en 3 catégories: espèces de zones tempérées, espèces de zones chaudes et espèces de zones froides. La distribution actuelle des espèces indique en effet les conditions nécessaires pour leur survie et leur croissance (c'est-à-dire leur niche écologique). Les espèces de zones froides seront menacées les premières. Il s'agit d'une première approche du problème, car d'autres facteurs influencent bien sûr la biodiversité: besoins en eau des espèces, habitat, réseau alimentaire, capacités de dispersion et de prolifération ... Ils ne sont pas pris en compte ici.

● Classification biogéographique

LES ESPÈCES DE ZONES TEMPÉRÉES ont une distribution relativement centrée sur notre pays, mais se retrouvent aussi à plusieurs centaines de kilomètres vers le nord et vers le sud; ce groupe peut inclure des espèces à distribution dépassant la zone climatique tempérée. Elles sont largement capables de supporter un climat plus chaud de quelques degrés. L'aulne glutineux, présent aussi bien en France qu'en Europe centrale, est un exemple de ces espèces typiques de nos régions.

LES ESPÈCES DE ZONES FROIDES sont, en Belgique, principalement localisées sur les plateaux ardennais et en basse Campine (voir figure 5). Une simple comparaison de données élémentaires du climat montre que les changements climatiques attendus sont du même ordre que ce qui distingue le climat des plateaux ardennais du reste de la Belgique: les précipitations moyennes y sont plus fortes, plus de 1000 à 1450 mm/an, alors qu'elles sont généralement inférieures à 900 mm/an ailleurs, et la température moyenne y est plus basse, inférieure à 8°C alors qu'elle est presque partout ailleurs supérieure à 9°C. Les conditions climatiques particulières qui semblent avoir permis le maintien des espèces de zones froides en Belgique risquent donc de disparaître, entraînant l'élimination des espèces en question (espèces boréales^x, subboréales, arctiques, subarctiques, montagnardes, submontagnardes, etc.).

^x Boréales: dont la distribution est centrée sur la distribution de la taïga; arctiques: dont la distribution est centrée sur l'aire de distribution de la toundra; montagnardes: dont la distribution est centrée sur la zone d'altitude comprise entre 800 et 1500 m d'altitude (forêts mixtes, souvent transformées en prairies et pâturages).

TABLE 2

Nombre d'espèces vivant en Belgique et estimation des proportions (%) qu'elles représentent pour chaque classe thermique. Les espèces caractéristiques des zones froides sont les plus menacées par un réchauffement. Source: Hambuckers²⁰.

Taxons/groupes	Nombre d'espèces	% zones tempérées	% zones froides	% zones chaudes
Charophytes (Algues vertes d'eaux douces et saumâtres)	29	69	0	31
Chlorophytes marines (Algues vertes marines)	17	82	0	18
Rhodophytes (Algues rouges marines et d'eaux douces)	53	88	10	2
Phaeophytes (Algues brunes marines)	29	92	0	8
Hépatiques et Anthocérotes (Bryophytes)	170	52	36	12
Mousses (Bryophytes)	526	43	40	17
Pteridophytes (Fougères, lycopodes, Prêles, etc.)	59	74	19	7
Plantes à fleurs	1350	84	2	14
Champignons (Macromycètes Basidiomycètes et Ascomycètes)	4910	83	9	8
Poissons d'eaux douces	40	45	53	2
Libellules	66	62	12	26

LES ESPÈCES DES ZONES CHAUDES (exemple: la potentille printanière) sont principalement localisées en Lorraine et sur des terrains calcaires bien exposés dans la vallée de la Meuse et de ses affluents. Le réchauffement est susceptible de favoriser l'extension d'espèces de zones chaudes *subméditerranéennes* (voire *méditerranéennes*), soit qui sont déjà présentes localement en Belgique, soit qui sont présentes dans les régions voisines. Il est aussi possible que l'on assiste à l'extension des espèces des zones plus arides (espèces steppiques, *xérophiles*^{xi}, etc.) et des stations chaudes (espèces thermophiles).

● Résultats

Les données biogéographiques que nous avons récoltées sont rassemblées à la table 2. Leur interprétation doit se faire avec précaution. Premièrement, il peut exister pour presque tous les groupes d'êtres vivants des aires de distribution disjointes dues à des micro-biotopes, parfois dans des conditions inattendues. Deuxièmement, les classifications biogéographiques ne sont pas exemptes d'erreurs. Et troisièmement, les critères de classification biogéographique ne sont pas toujours clairement définis par les auteurs.

Les résultats sont très contrastés: pour la majorité des groupes examinés, les espèces appartiennent principalement à la zone tempérée (jusqu'à 92% des espèces pour les Phaeophytes) avec aussi une proportion significative d'espèces de zones chaudes (jusqu'à 31% pour les Charophytes) et très peu d'espèces de zones froides. Mais, pour les poissons d'eaux douces et les Bryophytes, il y a une très large proportion d'espèces de zones froides, qui sont les plus menacées par le réchauffement. Dans nos eaux

douces, on peut ainsi s'attendre par exemple au remplacement progressif des ablettes, gardons et tanches par des espèces plus adaptées à un climat plus chaud.

Les espèces de zones froides constituent généralement des populations reliques des conditions glaciaires (*voir cadre sur les Fagnes*), qui subsistent souvent dans des micro-habitats et dont l'importance fonctionnelle dans les écosystèmes est souvent limitée (ce n'est pas le cas des poissons). Le réchauffement du climat entraînera manifestement la disparition de Belgique de ces espèces, d'autant plus rapidement que les populations sont fragmentées et peu denses. La dynamique de ce processus est difficile à prévoir, mais sur la base des observations actuelles, on peut penser que les disparitions ne résulteront pas d'un stress physiologique (les organismes "*ne mourront pas de chaud*"), mais d'une perte progressive de leur compétitivité dans l'environnement: ces espèces seront supplantées par d'autres plus adaptées au nouveau climat.

A terme, si la température continue d'augmenter, il n'est pas exclu que les espèces tempérées soient aussi mises à mal, en particulier les espèces à longue durée de vie comme les essences sylvicoles. Cela pourrait être le cas du hêtre (*voir figure 6*).

Les espèces typiques des zones chaudes pourraient devenir plus fréquentes dans les parties plus chaudes de la Belgique, et aussi se répandre dans les autres parties du pays accompagnées de nouvelles espèces. A titre d'exemple, une espèce subméditerranéenne comme le chêne pubescent, présente très localement dans les vallées de la Meuse et de la Lesse, pourrait devenir courante et gagner d'autres zones; l'érable de Montpellier, présent notam-

^{xi} Dont la distribution est centrée sur notre région, mais qui sont inféodées aux stations sèches.

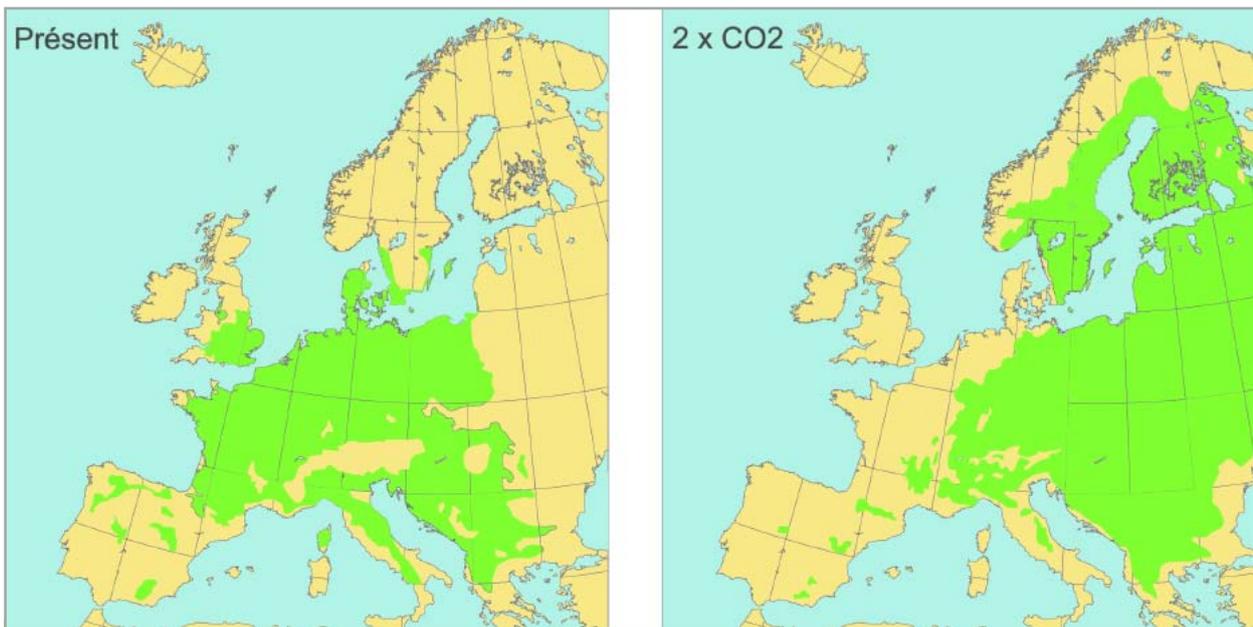


FIGURE 6

Zone où le climat actuel convient au hêtre (à gauche), et zone correspondant à une projection climatique pour un doublement de la quantité de CO_2 dans l'atmosphère par rapport à la concentration préindustrielle (à droite). Le hêtre est une espèce qui réclame une période de gel avant que ses bourgeons ne puissent éclore et il n'est donc pas adapté au climat doux océanique, trop humide. Ces deux facteurs expliquent la migration vers l'est et le nord. Remarque: la répartition réelle peut être quelque peu différente des zones potentielles d'un point de vue climatique indiquées ici, pour diverses raisons. Source: Bernes⁸, d'après Sykes et Prentice^{21,22}.

ment dans la vallée inférieure de la Moselle, pourrait atteindre la Belgique. Des observations de ce type ont déjà pu être réalisées pour certains groupes à forte capacité de dissémination.

Il est extrêmement délicat d'évaluer la signification des pertes d'espèces de zones froides. D'une part, leur rareté, plus particulièrement en Belgique, fait que l'on peut les considérer comme des bijoux qu'il convient de préserver efficacement pour les générations futures, car ces espèces possèdent des caractéristiques génétiques propres. Mais d'autre part, cette rareté n'est que relative, puisqu'on trouve d'autres populations ailleurs (mais qui seront peut-être aussi mises à mal par le réchauffement).

EN CONCLUSION, nous pensons qu'au terme de quelques décennies, le réchauffement du climat aura un impact significatif sur la présence d'espèces vivant en Belgique: une partie de ces espèces disparaîtra. La structure des écosystèmes, c'est-à-dire la répartition et l'abondance relative des différentes espèces, ainsi que leurs relations, pourrait être profondément altérée. Il serait nécessaire d'approfondir notre démarche afin de déterminer globalement la proportion d'espèces menacées. Il faudrait aussi tenter de tenir compte de leurs besoins en eau, et non de

la seule température. Enfin, il faut encore rappeler ici que les changements climatiques s'ajoutent à la destruction des habitats, la pollution de l'air, des eaux et des sols, ainsi qu'à une gestion encore trop économique et technocratique de l'environnement. Ces derniers facteurs constituent certainement les menaces les plus sérieuses, actuellement, pour la biodiversité et pour les rares écosystèmes naturels ou semi-naturels d'intérêt qui subsistent dans notre pays. Il est toutefois possible qu'à long terme, les changements climatiques dépassent ces facteurs en importance.

Les Hautes-Fagnes

RENÉ SCHUMACKER

Les Hautes-Fagnes belges se situent à l'est du pays, entre Eupen, Malmédy et la frontière allemande. Cette région est dominée par un plateau à plus de 670 m, et doit son nom aux zones tourbeuses qui couvrent quelque 37 km². On trouve notamment dans les Hautes-Fagnes diverses espèces végétales et animales qui sont en voie de raréfaction ou menacées, voire quasi disparues, en Belgique et en Europe moyenne. Une partie de la région constitue une réserve naturelle domaniale de quelque 5000 ha.

Dans leur état naturel, les tourbières hautes^{xii} constituent un milieu humide, avec une nappe d'eau perchée dont le niveau est constamment à moins de 25-40 cm de profondeur. Ces tourbières hautes couvrent actuellement environ 11 km², dont moins de 1,5 km² peuvent être considérés comme quasi intacts. Par rapport au reste de la Belgique, les Hautes-Fagnes ont un climat plus froid et particulièrement pluvieux (de l'ordre de 1400 mm/an, à comparer à 800 mm/an dans le centre du pays), qui permet le maintien d'écosystèmes particuliers. On y trouve des plantes caractéristiques telles que des sphaignes hautement spécialisées, aux exigences écologiques très étroites, notamment par rapport aux fluctuations de la nappe perchée (voir figure 7).

Les tourbières hautes se dégradent depuis longtemps et pour de multiples raisons:

L'assèchement. Au début du 20^{ème} siècle, un système de drainage a été réalisé en vue de la plantation d'épicéas. L'exploitation de la tourbe a également contribué au drainage. Bien que l'on tente à présent d'inverser la tendance, l'assèchement s'est poursuivi tout au cours du siècle dernier. Il faut noter qu'une fois que le milieu est devenu plus sec, le type de plantes qui y prospèrent change, ce qui contribue à l'assèchement: les racines sont plus profondes et l'évapotranspiration plus importante.

La minéralisation (augmentation du taux de matières inorganiques par rapport aux matières organiques). Celle-ci est due à un effet du manque d'eau sur la matière organique, à la pollution atmosphérique et à la multiplication des incendies – particulièrement destructeurs quand la tourbière est plus sèche. La pollution est actuellement le problème le plus préoccupant. Il s'agit de dépôts solides ou véhiculés par les pluies, dont l'origine est industrielle ou agricole. Ces retombées sont accentuées par la pluviosité élevée de la région. Il s'agit en particu-

lier d'azote (nitrique et ammoniacal), lequel perturbe les écosystèmes en jouant un rôle d'engrais ou en bloquant l'activité des mycorhizes.

Les sels de déneigement. Ceux-ci se dispersent par voie directe jusqu'à 100 m des routes, ainsi que via les nappes aquifères.

Le tourisme. L'excès de fréquentation humaine est pratiquement maîtrisé depuis la fin des années 1980 (réduction des pistes autorisées et caillebotis généralisés), mais la protection de la faune et de la flore implique encore une réduction de la pression touristique dans les parties vulnérables.

● Impact des changements climatiques

En ce qui concerne l'été, les projections pour le 21^{ème} siècle montrent une augmentation des températures de plusieurs degrés (suivant les scénarios), et pas d'augmentation des précipitations (probablement une légère diminution). Dès lors, le réchauffement implique une augmenta-



FIGURE 7

Tapis de sphaignes (*Sphagnum magellanicum*, rougeâtre), avec au centre une plantule d'andromède (*Andromeda polifolia* L.) et des petits brins rampants de canneberge (*Vaccinium oxycoccos* L.). Cette association est très typique des tourbières actives constamment imbibées d'eau. On la retrouve aussi sur les buttes à sphaignes, qui sont devenues très rares. *Andromeda polifolia* occupe les zones tempérées et froides de l'hémisphère boréal, et se rencontre aussi plus au sud en altitude (photo d'Oliver Schott, Station scientifique des Hautes-Fagnes).

^{xii} Ou tourbières ombrogènes, ne dépendant plus que de l'apport des précipitations (de "ombros" en grec: la pluie), sans apport soligène, c.-à-d. venant du sol ou des sources.

tion de l'évapotranspiration qui ne sera pas compensée par des précipitations supplémentaires. Ceci contribuera donc à l'assèchement des tourbières. Le lien changements climatiques - assèchement a notamment été confirmé pour les sols limoneux en Belgique²³. Des résultats similaires ont été obtenus pour les tourbières par des chercheurs canadiens²⁴. Il serait toutefois intéressant de disposer de tels résultats remis à jour pour la Belgique. Les modèles montrent aussi un allongement de la période de végétation, qui contribue à l'augmentation de l'évapotranspiration annuelle.

Les changements climatiques ont donc comme effet premier de contribuer à l'assèchement, lequel est déjà un problème majeur actuellement²⁵. Les conséquences sont une aggravation des tendances observées jusqu'à présent, dont la régression des sphaignes et autres bryophytes. Cette végétation caractéristique est alors remplacée par des espèces plus capables de s'enraciner profondément et plus tolérantes au changement, avec à terme un envahissement par des graminées et des arbustes. Ceci modifierait profondément les écosystèmes et l'allure générale de la région. Par ailleurs, l'assèchement associé aux changements climatiques accroîtrait le risque d'incendie, quoique les feux soient actuellement bien maîtrisés.

Ces changements seraient particulièrement regrettables pour les espèces qui ont quasi disparu de Belgique, dont

celles qui sont inféodées aux tourbières hautes telles que l'andromède à feuille de polion, la canneberge, la laîche pauciflore et diverses sphaignes. Pour préciser les changements à long terme et leur lien avec le climat, un suivi qualitatif et quantitatif régulier devrait être réalisé sur des sites choisis, tant en ce qui concerne la végétation que le microclimat de ce biotope particulier; cela fait actuellement défaut.

Un autre aspect des changements climatiques probables au cours du 21^{ème} siècle est la réduction de la couverture de neige (actuellement, il y a de la neige au sol plus de 70 jours/an^{xiii}). Ce changement s'ajouterait au réchauffement et à la perte d'habitat, et contribuerait à menacer des espèces animales qui sont adaptées aux conditions actuelles, surtout quand ces conditions correspondent aux limites de tolérance de l'espèce. Signalons que le déclin récent de la population de coqs de bruyère (tétrasyllax) a parfois été partiellement attribué au climat, mais ce lien est controversé.

En conclusion, si la dégradation passée se poursuit - notamment à cause des polluants atmosphériques azotés et autres - et qu'en plus les changements climatiques prennent de l'ampleur, le scénario le plus vraisemblable est que les restes de tourbières encore quasi intactes disparaîtront dans les 20 à 50 ans à venir. Les tourbières ne pourraient pas non plus résister indéfiniment à la seule modification du climat, impliquant à terme un assèchement important.

^{xiii} En moyenne, en comptant aussi les jours où le sol n'est pas entièrement couvert (P. Mormal et C. Tricot, 2004, à paraître dans la série des publications scientifiques et techniques de l'IRM).

Flora et faune de la Mer du Nord

FRANCIS KERCKHOF

● Les changements climatiques sont-ils déjà en cours ?

La température de la Mer du Nord a fluctué d'une décennie à l'autre au cours du 20^{ème} siècle, ce dont on retrouve la trace entre autres dans les statistiques de prises de certaines espèces de poissons. Mais plusieurs facteurs indiquent que cette mer connaît maintenant une période de réchauffement plus substantielle, particulièrement au voisinage des côtes. Des mesures de températures montrent cette élévation, bien qu'il soit encore difficile de quantifier la hausse moyenne actuellement. D'un point de vue biologique, le changement a initialement été mis en évidence par l'étude du plancton. L'analyse de données rassemblées au cours du temps a révélé que, vers la fin des années 1980, un changement évident dans la composition du plancton était intervenu. Il s'est avéré que le rapport entre les espèces d'eau froide et les espèces d'eau chaude avait évolué en faveur de ces dernières²⁶. De plus, on observe en Mer du Nord de plus en plus d'espèces de poissons méridionales comme la sardine ou l'anchois... Parallèlement, on a constaté un net déclin de quelques espèces d'eau froide comme le cabillaud, l'aiglefin et le flétan.

● Disparition d'espèces septentrionales typiques

Les effets potentiels d'un changement de température sont difficiles à distinguer des fluctuations naturelles des populations d'animaux et de plantes – qui peuvent parfois être importantes – et d'autres influences importantes comme la pression de la pêche (par exemple, pour le cabillaud) et l'eutrophisation. Parmi les espèces commerciales, la crevette grise *Crangon crangon* laisse cependant apparaître une tendance^{xiv}. Ces dernières années, la pression de la pêche sur la crevette n'a pas augmenté; il n'en reste pas moins que la pêche de la crevette dans la partie méridionale de la Mer du Nord et dans la partie nord-est de la Manche semble avoir diminué fortement sur une période plus longue. Il semble que la limite inférieure de l'aire de répartition de la crevette se déplace vers le nord.

● Apparition d'espèces méridionales typiques

Pour de nombreux organismes marins, peu de choses sont connues en matière d'influence de la température sur le développement. Les balanes peuvent cependant représenter un bon indicateur d'un réchauffement potentiel. La faune européenne ne regroupe pas un grand nombre d'espèces, celles-ci sont relativement bien connues et ne sont pas importantes du point de vue commercial. A la fin du siècle dernier, une balane africaine a ainsi colonisé en

peu de temps une partie considérable de la côte atlantique, du Portugal jusqu'à la France et l'Angleterre. On la retrouve déjà jusque dans la partie nord-est de la Manche. Au moins trois espèces tropicales et subtropicales sont parvenues à s'établir de manière permanente en Mer du Nord. L'une d'entre elles, la balane *Balanus amphitrite* est une espèce d'eau chaude qui vivait auparavant principalement en Mer Méditerranée. On la retrouve actuellement couramment dans nos ports et à l'extérieur de ceux-ci²⁷.

La Belgique touche à la partie méridionale de la Mer du Nord. La plupart des changements concernent dès lors des espèces méridionales dont la limite nord-est de l'aire de répartition se situe dans la Manche ou dans la partie à l'extrême sud de la Mer du Nord y attendant. C'est notamment le cas d'espèces comme le pagure des sables, l'étrille... Lors des années plus chaudes, celles-ci s'enfoncent jusqu'à la partie méridionale de la Mer du Nord ou sont temporairement relativement plus nombreux face à notre côte. On observe également plus souvent la présence d'espèces de poissons particulières comme la petite vive, le labre ou l'hippocampe. Il est possible que cette augmentation soit en partie la conséquence de changements dans le biotope, les méthodes de pêche, etc. Mais un certain nombre des espèces mentionnées ci-dessus sont dorénavant, et de manière croissante, également recensées face aux côtes néerlandaises et allemandes, là où ce n'était auparavant pas le cas, ou seulement de manière occasionnelle. Cela représente donc une indication évidente d'un réchauffement de la partie méridionale de la Mer du Nord.

De plus, des espèces réellement exotiques – qui n'apparaissent pas de manière naturelle en Europe de l'Ouest – ont la possibilité de s'installer ici de manière permanente. De telles espèces sont introduites accidentellement de la main de l'homme, comme par exemple dans l'eau de ballast des navires ou via l'aquaculture. Un exemple spectaculaire est l'établissement et la dissémination dans toute la partie méridionale de la Mer du Nord de l'huître creuse du Pacifique *Crassostrea gigas* (voir figure 8). On a tout d'abord pensé que cette espèce ne pourrait pas se reproduire dans nos contrées car la température pour le développement des larves serait trop basse. Force est pourtant de constater que cette huître semble s'y reproduire pratiquement chaque année.

● Le futur et les conséquences possibles

Les conséquences d'une augmentation de la température de l'eau de mer seront davantage notables pour les masses d'eau plus ou moins fermées et dans les eaux proches de la côte qu'en pleine mer. Au début, la tendance sera également masquée par les fluctuations à court terme.

^{xiv} Frank Redant (Centrum voor landbouwkundig onderzoek, Departement zeevisserij), communication personnelle.

Ainsi, la température de l'eau près de la côte peut montrer des variations annuelles importantes, jusqu'à 2°C au-dessus et en dessous de la moyenne. On peut déduire des données disponibles que cette variabilité restera inchangée, mais en plus les experts s'attendent à une augmentation moyenne de température de l'ordre de 2°C d'ici 2050.

Dans un premier temps, aucune variation massive et totale ne se produira pour les espèces méridionales ou septentrionales. Chaque espèce individuelle réagit d'ailleurs de manière spécifique à un changement des facteurs de son environnement. Le nombre d'espèces va augmenter progressivement et la biodiversité va croître. Une publication néerlandaise²⁸ qui a comparé le nombre d'espèces de la faune macrobenthique (les grandes espèces vivant sur le sol marin) dans la Mer des Wadden avec le nombre d'espèces dans la Baie de la Seine (en moyenne 2°C plus chaude) et la Baie de Gironde (4°C plus chaude) prévoit une augmentation de 20% du nombre d'espèces pour une augmentation de température de 2°C. Pour une

augmentation de température de 2 à 4°C, l'augmentation du nombre d'espèces pourrait aller jusqu'à 30%.

Actuellement, il n'existe pas encore d'indications que des espèces ont réellement disparu suite au réchauffement. Tout au plus les populations et l'aire de répartition de plusieurs espèces ont-elles été modifiées, notamment à cause de changements dans leur taux de reproduction ou comme conséquence de la pression de la concurrence des nouveaux venus.

Certains changements pourraient cependant s'avérer considérables, surtout lorsqu'ils ont un impact sur des espèces importantes d'un point de vue économique ou s'ils provoquent des changements d'habitat. Ainsi, les poissons d'eau chaude sont en général moins prisés que les espèces d'eau froide. L'huître creuse du Pacifique forme des récifs qui prennent progressivement la place des moulières²⁹. Ces récifs sont (temporairement?) moins riches en organismes et moins intéressants d'un point de vue commercial que les moulières.

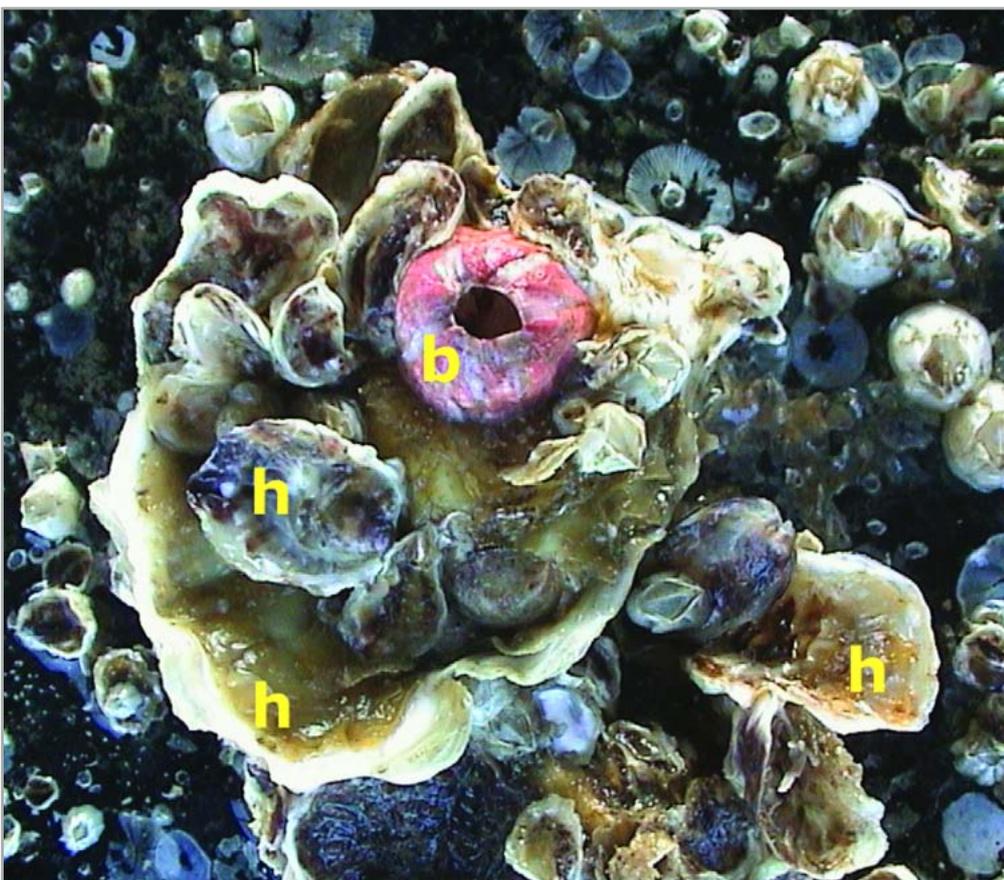


FIGURE 8

*Une balane tropicale d'Amérique centrale (b) au milieu d'huîtres creuses du Pacifique *Crassostrea gigas* (h) (bouée au large d'Ostende; © photo F Kerckhof, UGMM, Institut royal des sciences naturelles de Belgique).*

Agriculture et occupation du territoire

MARK ROUNSEVELL, ISABELLE REGINSTER
ET NICOLAS DENDONCKER

Rendements agricoles

Au niveau mondial, le GIEC estime que les changements climatiques projetés pour le 21^{ème} siècle provoqueront une réduction générale, à quelques écarts près, des rendements potentiels des cultures dans la plupart des régions des latitudes moyennes (y compris l'Europe) pour une augmentation de la température moyenne annuelle de plus de 2 à 3 degrés Celsius et une réduction générale des rendements potentiels des cultures dans la plupart des régions tropicales et subtropicales pour la plupart des élévations projetées de la température. Une augmentation des rendements potentiels des cultures dans certaines régions des latitudes moyennes (y compris en Europe du Nord) pour une augmentation de la température inférieure à ce seuil de 2 à 3°C est également projetée par le GIEC, ce qui peut donner l'illusion dans un premier temps que le réchauffement du climat est une bonne chose à tous égards.

Les principaux effets sur les rendements agricoles des changements climatiques projetés sont répertoriés dans la

table 3. Certains facteurs climatiques ont tendance à faire baisser les rendements. D'autres facteurs, surtout la fertilisation due à l'augmentation de la concentration en CO₂ ont par contre un effet positif pour la plupart des cultures. L'effet du réchauffement seul est par exemple largement compensé par l'apport de CO₂ pour le blé, du moins au 21^{ème} siècle (voir figure 9). Les effets attendus en Belgique au cours du 21^{ème} siècle pour l'ensemble du secteur agricole dans le cadre de tous les scénarios SRES semblent modestes^{a,30}. Il faut noter toutefois que peu d'études ont pris en compte les effets des changements de fréquence d'événements météorologiques extrêmes, qui sont susceptibles d'aggraver le diagnostic.

D'une manière générale, l'agriculture en Belgique dispose en effet d'importantes possibilités d'adaptation qui permettent de faire face au changement climatique au moins jusqu'aux environs de 3°C supplémentaires. L'évolution de l'agriculture dépendra également fortement des orientations socio-économiques (voir section ci-après.) Il faut noter que l'adaptation est d'autant plus difficile et chère que les changements climatiques sont importants. Au delà de certains seuils physiologiques, l'effet de fertilisation par le CO₂ plafonne, et les rendements diminuent quelles que soient les mesures d'adaptation parce que la température est excessive ou que l'eau manque.

TABLE 3

Impact sur les rendements agricoles des principales modifications du climat projetées pour le 21^{ème} siècle.

↑ Température	Réduction de la période de croissance des plantes: les plantes arrivent plus rapidement à maturité en climat plus chaud. Baisse de rendement pour certaines cultures (particulièrement les céréales). Suite à la période de croissance plus courte, la quantité de matière accumulée est moindre. Exceptions: • le rendement du maïs augmente dans notre pays parce que le climat actuel est plutôt froid par rapport à l'optimum pour cette plante. • certaines cultures peuvent être introduites (ex. le tournesol). Effet indirect: prolifération possible de parasites et maladies, particulièrement dans le milieu naturel (forêts).
↓ Précipitations en été	Besoin d'irrigation (elle n'est pas importante actuellement en Belgique).
↑ Précipitations au printemps / en automne	Il n'y a pas actuellement d'estimation solide concernant l'évolution des précipitations à ces saisons. Si une augmentation se produit, elle pourrait gêner le travail du sol. Des difficultés apparaîtraient aussi pour certaines cultures (ex. froment d'hiver et betteraves).
↑ CO ₂	Augmentation de rendement: effet de "fertilisation"; le CO ₂ est nécessaire aux plantes, et la plupart des cultures (de type C ₃) réagissent bien à son augmentation. Exception: le maïs (de type C ₄ , pas d'augmentation significative). Amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les plantes.
↑ Événements météorologiques extrêmes	Le risque principal est lié à l'augmentation probable des vagues de chaleur, de l'intensité des pluies et éventuellement des sécheresses en été. L'augmentation du nombre de tempêtes violentes est une possibilité, mais il n'y a pas de consensus à cet égard; un impact sur les forêts est alors possible.

Scénarios d'utilisation des sols au 21^{ème} siècle

Outre les rendements agricoles et forestiers, la structure du paysage lui-même sera affectée par les changements climatiques. Mais il est difficile de prévoir aujourd'hui comment, car toute une série de facteurs "humains", et donc largement imprévisibles, influencent également fortement les schémas d'utilisation des sols. Ce sont par exemple l'offre et la demande alimentaires au niveau mondial, les décisions de l'Organisation Mondiale du Commerce, les interventions sur les marchés (politique agricole commune), ou les politiques en matière d'environnement et de développement rural. Le projet européen ATEAM³¹ a étudié l'évolution de l'utilisation future des sols en Europe en fonction de divers scénarios climatiques et socio-économiques basés sur les scénarios SRES (voir table 1, page 15) et tenant compte de ces facteurs humains. Les surfaces requises pour quatre types d'affectation du territoire (urbain, agricole, exploitation forestière et domaine naturel - incluant l'usage récréatif) ont été estimées.

D'après cette étude, l'effet dominant est la réduction des surfaces nécessaires pour la production alimentaire, qui résulterait de la poursuite de la tendance à l'intensification de l'agriculture. D'une façon générale, cette réduction pourrait rendre des terres disponibles pour d'autres affectations, ce qui faciliterait le développement des biocarburants^{xv}, des forêts et des zones naturelles. L'évolution au niveau belge (voir figure 10) montre les mêmes tendances qu'au niveau européen.

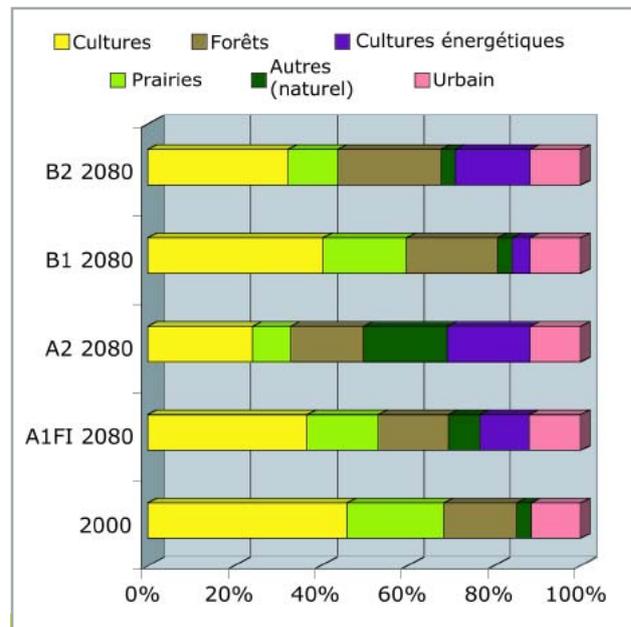


FIGURE 10

Utilisation du territoire en Belgique. Situation actuelle et projections pour la fin du 21^{ème} siècle en fonction de différents scénarios incluant les changements aux niveaux climatique et socio-économique. La catégorie "autres" reprend des zones sans affectation d'un point de vue économique, probablement laissées à l'état naturel. Source: Département de Géographie, UCL.

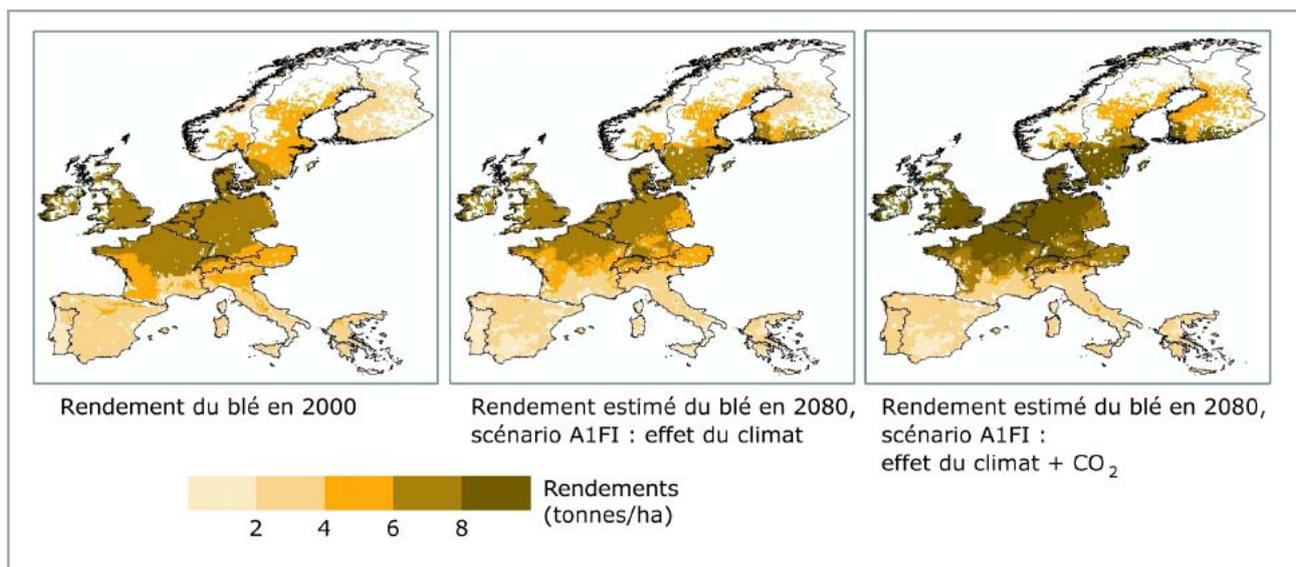


FIGURE 9

Evolution du rendement des cultures de blé projetée pour le 21^{ème} siècle dans le cadre du scénario (socio-économique et d'émission) A1FI et d'une simulation climatique correspondante effectuée avec un modèle climatique (HadCM3). Source: Département de Géographie, UCL.

^{xv} Carburants produits à partir de cultures telles que le colza ou la betterave, ou dérivés du bois.

La réduction des surfaces agricoles est moindre dans les scénarios "B", qui impliquent une attention accrue aux problèmes environnementaux, que dans les scénarios "A" à la logique plus strictement "économique". Selon les scénarios, des disparités régionales peuvent apparaître; par exemple, pour le scénario A1FI, l'intensification provoque davantage de réduction des surfaces agricoles dans les régions où l'agriculture bénéficie de conditions moins favorables et est actuellement plus extensive, comme les Ardennes.

Ressources en eau et inondations

PHILIPPE MARBAIX

En ce qui concerne l'Europe, les projections climatiques montrent pour le futur une réduction des précipitations en été, surtout dans le sud, et une augmentation en hiver pour la plupart des régions. En comptant en plus l'augmentation des températures, on doit s'attendre à une augmentation du risque de sécheresse estivale qui touche particulièrement le sud, bien que cet effet puisse être limité dans beaucoup de régions par l'augmentation des précipitations hivernales. En hiver, c'est à plus d'inondations qu'il faut probablement s'attendre. Ces changements pourraient avoir diverses conséquences: incertitudes sur l'approvisionnement en eau (par exemple pour le refroidissement des centrales électriques), difficultés pour la navigation intérieure, accroissement des problèmes de qualité de l'eau, etc. Le changement climatique ne représente toutefois qu'une des difficultés de la gestion de l'eau.

Pour un petit pays comme la Belgique, l'évolution des précipitations est particulièrement difficile à évaluer au vu de sa variabilité naturelle, des incertitudes liées aux modèles et de celles qui concernent les émissions de gaz à effet de serre (voir aussi partie *Changements climatiques, en particulier la figure 3*). Pour nos régions, les projections suggèrent des précipitations en diminution ou éventuellement inchangées l'été (de 0 à -50%) et en augmentation de 6% à 23% environ l'hiver. A la mauvaise saison, le niveau des nappes aquifères et le débit des cours d'eau devraient donc augmenter. Mais, pour en déduire le risque d'inondation, il faut prendre en compte toute une série de facteurs non-climatiques: caractéristiques du bassin hydrographique (type de pentes...), perméabilité du sol, affectation des terres, degré d'urbanisation (donc d'imperméabilisation des sols), capacité des nappes souterraines, etc. Des études menées sur différents bassins hydrographiques de notre pays concluent que le débit des rivières en hiver pourrait augmenter de 4% à 28%, selon les cas. Enfin, il ressort des travaux de Gellens et Roulin³² à l'IRM qu'une augmentation du risque d'inondations est probable dans tous les bassins étudiés (Semois, Ourthe, Berwinne...).

Les inondations dans la région de la Somme, en France, en 2001, constituent un avertissement pour la Belgique. Elles ont résulté de pluies d'hiver abondantes, succédant à deux années particulièrement humides, ainsi que des caractéristiques spécifiques de la nappe aquifère dans cette région. Ces inondations ont duré deux mois, nécessité l'évacuation de 1100 personnes et entraîné des dégâts évalués à 150 millions d'euros. La durée du sinistre est attribuée au fait que le niveau de la nappe aquifère a monté, ce qui a contribué à inonder les vallées. Or, ce phénomène de "remontée de nappes" est observé dans certaines régions de notre pays, en particulier dans les anciennes régions minières, le Borinage notamment.

Notre pays a connu des inondations importantes en 1995, 1998, 2002 et 2003. Les inondations de l'été 2002 en Europe centrale et orientale sont encore dans toutes les mémoires. Pris isolément, aucun de ces faits ne peut être attribué au changement climatique. Toutefois, les projections montrent que, statistiquement, il faut s'attendre à une aggravation des risques. Un rapport récent fait le point sur les risques liés aux inondations en Grande-Bretagne. Tenant compte des effets à l'intérieur du pays, dans les villes et en zone côtière, ce rapport annonce une multiplication des risques, qui toucheraient environ 7% des habitations³³.

Mais les inondations ne sont pas les seules conséquences hydrologiques possibles des changements climatiques. Paradoxalement, l'augmentation des précipitations pourrait s'accompagner de pénuries d'eau à la belle saison, au moment où la demande augmentera, tant pour la



photo © Greenpeace/Barret

FIGURE 11

Station d'essence inondée et victimes des inondations de 2003 à Arles, en France.

consommation que pour l'agriculture, du fait de la température plus élevée. Des étés plus secs et une évaporation accrue peuvent (même avec des hivers plus humides) diminuer significativement les réserves d'eau souterraines en Belgique, impliquant des déficits pour certaines nappes³⁴. Pour garantir l'approvisionnement en eau, de plus grandes réserves d'eau devront être constituées, ou l'eau devra être acheminée de régions où elle est plus abondante. De plus, la diminution des volumes d'eau en été pourrait avoir une répercussion négative sur la qualité des eaux de surface.

Les pays européens ne sont donc pas à l'abri des effets néfastes de la perturbation du cycle de l'eau. Outre les mesures visant à limiter les changements climatiques, une adaptation s'annonce indispensable. Elle aura un coût: il s'agit par exemple de renforcer les mesures prises pour limiter le risque d'inondation et corriger les erreurs d'aménagement du territoire qui les favorisent. Par ailleurs, les changements affectant les précipitations (en particulier la fréquence des fortes pluies), ainsi que leurs impacts, sont encore mal connus, en particulier en Belgique, et nécessitent de plus amples recherches.

Région côtière

PHILIPPE MARBAIX ET JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

L'élévation du niveau moyen des mers est un aspect du changement climatique sur lequel pèsent encore de larges incertitudes: ainsi, pour l'ensemble des scénarios SRES, la gamme d'élévation moyenne^{xvi} pour la période 1990-2100 va de 9 à 88 cm (*voir partie Changements climatiques*). En outre, le continent lui-même subit un ajustement qui fait suite à la dernière glaciation (rebond isostatique); pour la Belgique, on estime que le niveau du sol descendra ainsi pour cette raison de 5 cm au cours du 21^{ème} siècle. Les changements pourraient aussi affecter la violence et/ou le nombre de tempêtes en Europe, mais d'importantes incertitudes subsistent à ce sujet (*voir partie Changements climatiques et GIEC*¹).

A l'échelle européenne, trois types d'impacts principaux sont considérés comme probables³⁵: l'inondation et le déplacement éventuel vers l'intérieur des terres des zones humides proches du niveau de la mer, l'accroissement des inondations dues aux tempêtes³⁶ (y compris dans les estuaires) et l'érosion de la côte. En Europe, le déplacement des zones humides naturelles vers l'intérieur des terres est rarement possible vu la densité de population près des côtes, ce qui pourrait contribuer à une perte de zones humides. La probabilité d'inondations lors des tempêtes est limitée par le fait que beaucoup de zones habitées sont déjà protégées, mais les changements climatiques imposeront le renforcement de digues ... Enfin,

l'érosion n'est pas non plus un problème nouveau: 70% des plages de sable mondiales y sont déjà confrontées, il se pourrait d'ailleurs que la hausse du niveau de la mer au 20^{ème} siècle y ait contribué³⁷. Quoi qu'il en soit, la hausse du niveau de la mer et une éventuelle modification du régime des vents sont de nature à augmenter cette tendance à l'érosion. D'autres impacts, considérés comme moins importants, sont l'élévation du niveau des nappes aquifères, l'invasion de ces nappes par des eaux salées et la salinisation des sols^a.

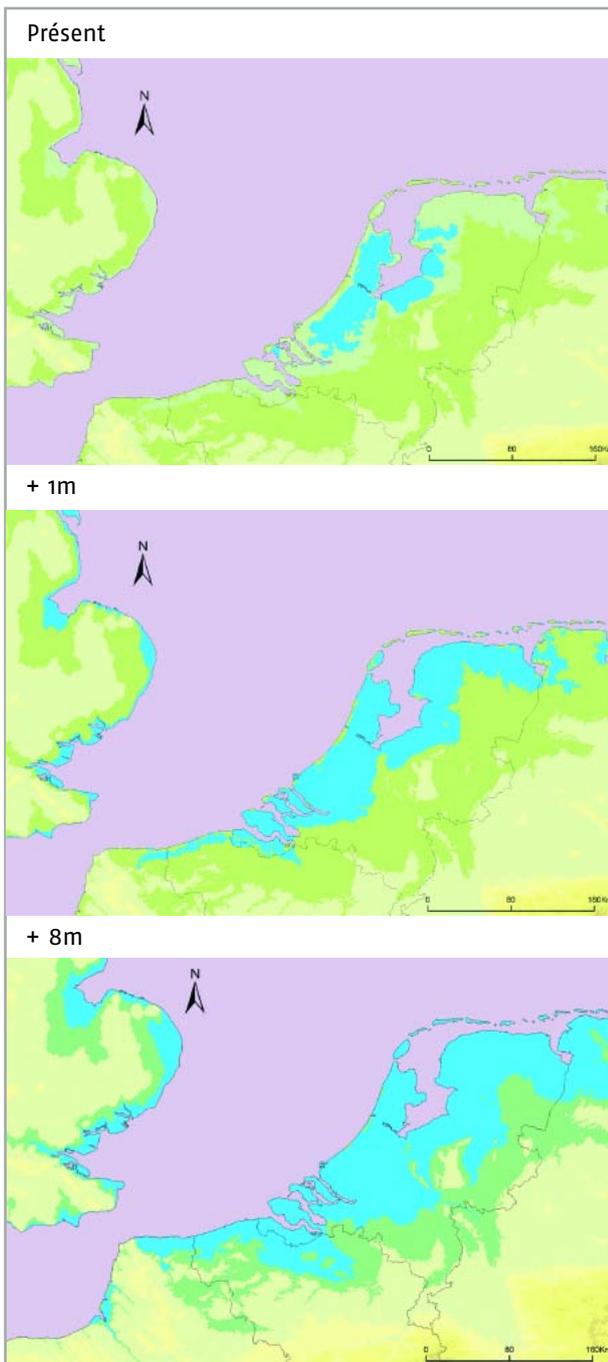
● En Belgique

Afin de donner un aperçu des zones potentiellement concernées, la figure 12 compare les zones qui sont actuellement sous le niveau moyen de la mer à celles qui le seraient si le niveau de la mer monte de 1 ou de 8 m. Une hausse de 1 mètre du niveau moyen de la mer aurait pour résultat que près de 63000 hectares se retrouveraient à une altitude négative. Il est important de noter qu'aucune de ces zones n'est actuellement inondée, même aux Pays-Bas. De plus, il ne s'agit ici que du niveau moyen: de larges zones sont en fait déjà sous le niveau actuel des marées hautes en Belgique, et sont donc protégées des inondations. Néanmoins, rappelons que l'augmentation du niveau de la mer est un phénomène lent et qui se poursuivra au-delà du 21^{ème} siècle, atteignant, puis dépassant le niveau de 1 m montré ici. D'ici 1000 ans, un scénario moyen pourrait conduire à une élévation de 8 m (!). Avec une telle hausse, c'est plus du dixième du territoire belge (près de 3700 km²) qui serait sous le niveau de la mer. La protection des côtes devrait alors être sérieusement renforcée si l'on veut éviter des inondations catastrophiques.

La côte belge est longue de 65 km et est protégée par une digue pour plus de la moitié. La protection de l'intérieur des terres est donc encore assurée par les plages et les dunes sur une partie significative de la côte, avec d'importants espaces naturels. L'érosion touche les plages de manière variable: certaines sont stables, un petit nombre en croissance, mais une large part de la côte est en érosion permanente depuis longtemps. Lors des tempêtes, de grandes quantités de sable peuvent être arrachées des dunes et des plages. Les marées et les courants marins le long de la côte jouent également un rôle. De nombreux brise-lames ont été construits pour limiter ce phénomène. Depuis 1960, on a régulièrement ajouté du sable pour compenser l'érosion: jusqu'à 20 km de plages ont été concernés. Tout récemment, des travaux ont été entrepris à Ostende pour rehausser la plage à proximité du chenal du port³⁸. Ceux-ci constituent une solution provisoire au risque d'inondation de la ville.

Il y a donc lieu de craindre un accroissement de l'érosion suite à l'élévation du niveau de la mer. Elle serait encore

^{xvi} Les variations régionales ne sont pas connues pour l'instant, mais représentent probablement moins de 10% de la moyenne (ACACIA, 2000)^a.


FIGURE 12

Etendues situées sous le niveau de la mer, qui seraient inondées en l'absence de protection (en bleu).

En haut: situation actuelle.

Au milieu: situation correspondant à une hausse de 1 m du niveau de la mer.

En bas: hausse de 8 m, qui pourrait être atteinte en l'an 3000 dans un scénario climatique moyen.

Source: UCL, Département de Géographie.

aggravée si le nombre de fortes tempêtes augmentait comme le montrent certains modèles (mais pas tous). L'importance de ce dernier facteur est difficile à estimer vu l'évolution probablement contrastée des vents faibles et forts, mais le phénomène est quand même préoccupant puisque les fortes tempêtes contribuent à l'érosion^{xvii}, ainsi qu'au risque d'inondation. En ce qui concerne le changement climatique, la politique de l'administration responsable de la protection des côtes (*Administratie Waterwegen en Zeewezen*, AWZ) dépend du terme auquel les décisions prises ont des conséquences: pour le rehaussement des plages, on suit l'évolution, c'est-à-dire qu'il est considéré comme possible d'ajouter plus de sable dans le futur, en fonction des besoins. Par contre, quand il s'agit de constructions telles que des digues, une élévation du niveau des eaux de 60 cm est prise en compte pour le 21^{ème} siècle.

Un dernier point important concerne l'estuaire de l'Escaut et ses affluents sensibles aux marées. Suite aux inondations de janvier 1976, provoquées par une tempête en Mer du Nord, a été établi un "Plan Sigma"^{xviii}, dont le but est de mettre le bassin de l'Escaut maritime à l'abri. Mais les grandes tempêtes des années 1990 ont montré que le niveau de sécurité restait insuffisant. Pour améliorer le niveau de sécurité actuel, une "zone d'inondation contrôlée" est en cours de préparation (ce sera la treizième) afin de rétablir des surfaces où l'eau peut s'accumuler temporairement en cas de très forte marée, diminuant ainsi la hauteur atteinte.

Après achèvement des travaux prévus, le niveau de risque sera, dans les conditions climatiques présentes, de une inondation sur 350 ans. Pour le futur, l'AWZ fait ici aussi l'hypothèse d'une hausse du niveau de la mer de 60 cm à l'horizon 2100. Dans ces conditions, le risque de dépassement d'ici 2050 revient de nouveau à environ 1/70 ans et à environ 1/25 ans d'ici 2100 (trois fois dans la vie d'un homme). Pour diminuer le risque tout en tenant compte du changement climatique, le Plan Sigma est actuellement en cours d'actualisation.

Au vu des projections à long terme du niveau de la mer, qui est une des variables climatiques caractérisées par la plus longue échelle de temps, il est quasi certain que les changements climatiques imposeront d'autres travaux d'adaptation dans le futur, à moins que l'on ne se résigne à abandonner une partie du territoire à l'océan. Et si on peut espérer que l'adaptation reste possible encore longtemps pour les pays aux moyens économiques importants, il faut se rappeler que beaucoup d'habitants de la planète n'auront pas cette chance. De plus, malgré l'adaptation, les milieux naturels parfois uniques des zones côtières pourraient à terme être fortement dégradés (*voir cadre sur le Zwin*).

^{xvii} Selon Zhang et collaborateurs³⁷, les fortes tempêtes ne sont pas responsables sur le long terme d'un recul des plages, car celles-ci peuvent ensuite se reconstituer naturellement; toutefois, ce résultat ne s'applique qu'aux plages en équilibre naturel, pouvant au besoin reculer vers l'intérieur des terres pour atteindre un nouveau profil d'équilibre.

^{xviii} En référence au "plan Delta" pour les Pays-Bas.

Le Zwin

PHILIPPE MARBAIX

La réserve naturelle du Zwin s'étend sur une longueur d'environ 2,3 km de côte, à cheval sur la frontière belgo-néerlandaise. La réserve a une superficie de 158 ha, dont 125 ha se trouvent sur le territoire belge et 33 ha sur le territoire néerlandais. Elle est composée d'une rangée de dunes derrière laquelle se trouvent deux milieux salins: la 'slikke' (étendue de vase) et le 'schorre' (zone de marais). Devant la rangée de dunes s'étend une plage sèche; lors de fortes tempêtes, l'eau de mer atteint le pied des dunes. A hauteur de la frontière belgo-néerlandaise se trouve une brèche dans la rangée de dunes, qui permet à l'eau de mer de pénétrer dans la réserve naturelle avec la marée montante.

La réserve est un vestige de l'anse qui reliait auparavant Damme à la mer. Dans la seconde moitié du 19^{ème} siècle, suite à l'ensablement et à la poldérisation, cette anse se réduisit à quelques restes en proie à l'envasement. A l'intérieur des terres, le Zwin est à présent délimité par la Digue internationale, construite en 1872. Cette digue sert à repousser les assauts de la mer dans cette partie de la côte. Les dunes n'ont donc pas de fonction protectrice.

Le Zwin est une zone intertidale qui, par marée normale, se retrouve seulement partiellement sous eau. La plus grande partie des schorres se retrouvent sous eau uniquement lors des marées d'équinoxe ou des grandes marées. Dans le domaine se trouvent également des mares temporaires et des étangs permanents, qui abritent de nombreux poissons de mer. On y rencontre une grande variété de végétation, principalement des plantes halophiles, ainsi qu'une grande richesse de biotopes abritant de nombreuses espèces d'oiseaux. La réserve naturelle du Zwin possède dès lors une grande valeur écologique et paysagère. Le domaine naturel est unique en Belgique et également très important au niveau international. Dans cette partie de l'Europe, le seul autre endroit où existe un milieu salé sans apport d'eau douce est l'île de Texel (Pays-Bas).

● *Ensablement du Zwin*

Une des caractéristiques d'un chenal est sa précarité. Sans intervention humaine, le Zwin est condamné à se voir complètement 'garrotté' à long terme pour, finalement, évoluer vers un système de marais d'eau douce. En effet, entre autres problèmes, le Zwin s'ensable. Cet ensablement s'est accéléré au cours des dernières décennies, largement à cause des opérations d'apport de sable sur les plages de Knokke-Heist et de Cadzand pour contrer leur érosion³⁹. Afin de lutter contre cet ensablement, il fut décidé en 1990 de creuser un 'piège à sable' en amont de l'embouchure, devant la rangée de dunes. Mais la nécessité de vider le piège à sable constitue une perturbation régulière pour la réserve. D'autres solutions sont actuellement à l'étude.

● *Changements climatiques*

Dans un futur proche, le principal risque pour le Zwin restera vraisemblablement l'ensablement, et non la hausse du niveau de la mer (sauf si celle-ci incite à ajouter du sable sur les plages pour contrer leur érosion, ce qui pourrait à nouveau contribuer à l'ensablement). On peut donc espérer que le caractère progressif de la hausse du niveau de la mer permettra l'adaptation des mesures prises. Il paraît plus difficile de déterminer le rôle des changements climatiques à l'échelle d'un siècle: quelle serait, par exemple, l'influence d'une augmentation du nombre ou de l'intensité des tempêtes sur l'ensablement? Quel serait l'impact d'une augmentation des températures estivales sur l'humidité du sol? A long terme, il faut tenir compte d'une hausse du niveau de la mer qui se mesurera en mètres (potentiellement 8 m en l'an 3000). Dans certaines régions du monde, des domaines comme le Zwin ont la possibilité de se retirer vers l'intérieur des terres. Pour le Zwin, c'est impossible, vu qu'il s'agit d'un petit domaine naturel, coincé entre la mer et la digue dont le rôle est de protéger l'intérieur des terres.

Impacts sur la santé

JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

Introduction

Les vagues de chaleur de l'été 2003 en Europe nous ont dramatiquement rappelé que la santé humaine pouvait être sérieusement affectée par les conditions météorologiques. Bien sûr, les effets des changements climatiques sur la santé seront nettement plus graves dans les pays en développement que chez nous. Ainsi, par la seule augmentation du risque de contracter la malaria, le réchauffement du climat pourrait affecter la santé de plus de 200 millions de personnes supplémentaires d'ici la fin du siècle dans ces pays⁴⁰. Mais ce serait une erreur de sous-estimer l'importance des effets sur la santé chez nous aussi. Certains de ces effets seront positifs, mais il semble que beaucoup seront négatifs.

Les changements climatiques peuvent affecter la santé humaine de multiples manières⁴¹. Une augmentation de la fréquence ou de l'intensité des vagues de chaleur accroît la mortalité et la morbidité liées au stress thermique. Le taux de mortalité dans les grandes villes pourrait être doublé ou triplé durant les jours de température exceptionnellement élevée. Inversement, la baisse hivernale du nombre de jours très froids diminue la mortalité d'origine cardio-vasculaire. Les changements de température et d'humidité affectent également la qualité de l'air: la chaleur favorise la formation de l'ozone et du smog, et rallonge la saison d'émission des pollens allergisants. Les événements extrêmes d'origine climatique (inondations, tempêtes, etc.) causent leur lot de décès, blessés, maladies infectieuses et désordres psycholo-

giques. Les vecteurs de maladies infectieuses (moustiques, tiques, mouches...) sont sensibles au climat. Leur aire de distribution change si le climat se réchauffe, et le potentiel de transmission de nombreuses maladies (malaria, dengue, parasitoses, virus du Nil occidental ...) augmente significativement^{xix}. Les températures élevées favorisent la prolifération de certains micro-organismes (ex. salmonelles et moisissures produisant de l'aflatoxine cancérogène à la surface des céréales). Les sécheresses peuvent favoriser une dégradation de la qualité de l'eau et une augmentation des infections respiratoires. Enfin, une série d'impacts indirects sur la santé peuvent résulter d'une détérioration des conditions socio-économiques liée à l'effet de changements climatiques sur l'emploi, la répartition des richesses ou les déplacements de population.

Il faut noter que l'impact réel des changements climatiques sur la santé d'une population dépend largement de sa vulnérabilité, qui dépend elle-même beaucoup du niveau de vie, de l'accès aux infrastructures de santé publique, de la qualité des institutions et de la capacité de cette population à s'adapter à de nouvelles conditions climatiques⁴². A cet égard, le vieillissement de la population dans nos pays développés sera certainement un facteur aggravant. C'est pourquoi il est souvent difficile de séparer les facteurs climatiques des autres quand on cherche à expliquer l'évolution d'une situation sanitaire. Et ce d'autant plus que les données collectées sont souvent insuffisantes pour cet usage. Nous illustrons cela à l'aide de deux exemples pour la Belgique: l'effet des vagues de chaleur et de l'ozone sur la santé, et la maladie de Lyme.

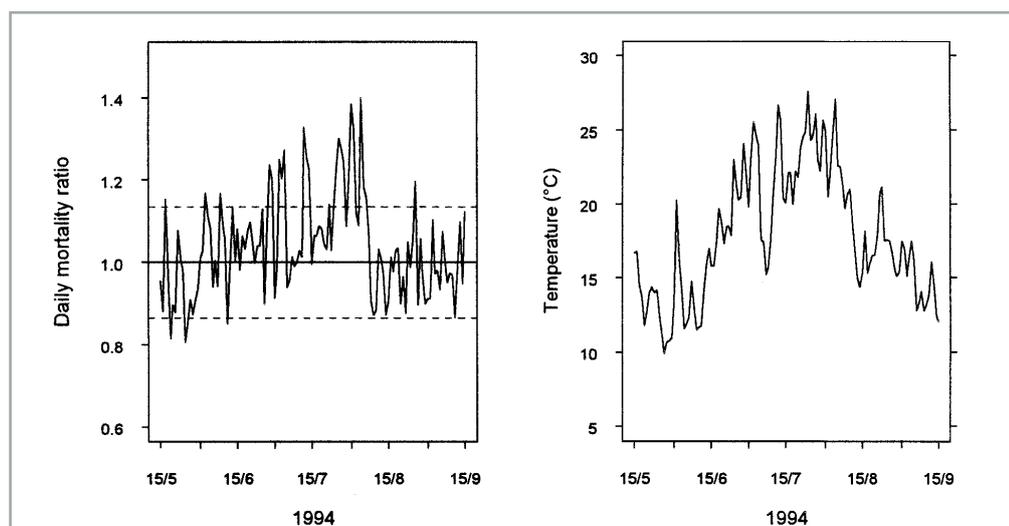


FIGURE 13

Evolution de la mortalité des personnes de 65 ans et plus (gauche) et de la température (droite) en Belgique lors de l'été 1994. Pour la mortalité, un rapport de 1.2 (par exemple) signifie un excès de 20% par rapport à la mortalité moyenne attendue.

Source: Sartor et al.⁴².

^{xix} Les structures sanitaires et la réduction des zones d'habitats du moustique anophèle responsable de la transmission de la malaria rendent peu probable une résurgence massive de la malaria en Europe occidentale, même si on peut s'attendre à quelques cas supplémentaires de "malaria des aéroports" suite à l'importation aérienne de moustiques contaminés.

Impacts observés en Belgique

Un des effets les mieux étudiés en Belgique est celui du stress thermique. Une étude de l'Institut Scientifique de Santé Publique^{43,44}, a montré que la vague de chaleur de l'été 1994, associée à des valeurs élevées d'ozone troposphérique, avait causé en six semaines 1226 décès supplémentaires, dont 236 dans le groupe d'âge 0-64 ans et 990 au-delà de 64 ans (voir figure 13).

Analysant de plus près les décès de personnes âgées lors du même été 1994, la même équipe a examiné le rôle respectif de l'ozone troposphérique et de la température comme causes d'accroissement de la mortalité. Ils ont divisé les 123 jours concernés en trois strates de température moyenne journalière: de 9,9 à 15,4°C, de 15,5 à 20,3°C, et de 20,4 à 27,6°C. Ils sont arrivés à la conclusion que, dans les deux premières strates, l'augmentation de la concentration d'ozone était le seul facteur expliquant l'augmentation de mortalité, tandis que pour les jours appartenant à la strate supérieure (20,4-27,6°C), l'excès de mortalité était probablement davantage dû à la température qu'à l'ozone, et que l'ozone renforçait l'effet de la température dans cette strate.

Les vagues de chaleur de l'été 2003 ont causé une catastrophe sanitaire en France: près de 15000 décès attribués à la chaleur pendant le seul mois d'août. En Belgique, malgré l'avertissement constitué par l'été 1994, près de 1300 personnes de 65 ans et plus sont décédées pendant l'été suite aux fortes températures^{44bis}. L'épisode de pollution de l'air par l'ozone troposphérique au cours de la

seconde vague de chaleur (3-17 août) a probablement été le plus intense qui ait jamais été observé dans notre pays. Il faudra cependant des recherches complémentaires pour arriver à distinguer le rôle respectif de la chaleur et de l'ozone dans la surmortalité.

Il y a un autre domaine pour lequel des statistiques existent en Belgique, celui de la maladie de Lyme, transmise par certaines tiques (voir figure 14). Cette maladie peut être très grave si elle n'est pas soignée à temps^{xx}. L'Institut Scientifique de Santé Publique rapporte que le nombre de cas diagnostiqués par an est passé de 42 en 1991 à 722 en 2003. Même s'il faut mentionner l'effet d'une plus grande sensibilisation de la population et du corps médical à cette maladie, n'y aurait-il pas aussi un effet du réchauffement du climat? Difficile de le prouver, mais des chercheurs suédois⁴⁵ ont montré que la progression des tiques entre 1960 et 1998 était corrélée à l'augmentation des minima journaliers de la température. Les hivers de moins en moins froids qui sont annoncés chez nous devraient être favorables au développement des tiques; cependant, l'évolution du risque de contracter la maladie de Lyme qui s'ensuivrait n'a pas encore été étudiée en Belgique.

Il faut rappeler qu'on ne peut attribuer aucun événement extrême isolé à un changement du climat. Le climat comporte toujours une certaine variabilité, et ce n'est que s'il y a répétition anormale (au sens statistique) de situations extrêmes que l'on peut invoquer l'évolution en cours du climat lui-même. On sait par contre que ce climat va changer, et de plus en plus vite si des mesures globales de réduction des émissions ne sont pas prises.



FIGURE 14

Une tique gorgée de sang, à côté d'une tête d'allumette. Cet acarien est susceptible de transmettre diverses maladies, dont la maladie de Lyme. Son développement est favorisé par les hivers doux (photo Jean-Pascal van Ypersele).

Et demain?

Pour les scénarios climatiques "élevés", il faut s'attendre à une forte augmentation de la fréquence des étés particulièrement chauds (voir la partie "changements climatiques"). Les étés comme celui de 2003 pourraient devenir la norme avant la fin du siècle. Il serait sans doute possible de prévenir une partie des effets sanitaires par des moyens architecturaux et techniques, des mesures d'hygiène ou une anticipation de la prise en charge des personnes âgées isolées ou fragiles avant la crise thermique. Une certaine adaptation physiologique peut également se faire si le changement est progressif. Mais nous ne pourrions pas vivre en permanence sous air conditionné (qui contribue par ailleurs au réchauffement du climat!), et puis le corps humain a ses limites. En mai 2003, plus de 1500 personnes sont décédées dans l'Etat d'Andhra Pradesh (Inde), suite à des températures dépassant 50°C, soit de 7 à 10°C au-dessus de la température normale...

xx Voir www.iph.fgov.be/epidemiolabo pour une plaquette informative sur les tiques et la prévention de la maladie de Lyme.

Tourisme

JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

Étés chauds, secs... Le changement climatique semble fait pour les loisirs. Il pourrait pourtant aussi avoir des retombées négatives. Si les projections du GIEC devaient se confirmer, certaines destinations prisées des touristes pourraient connaître des difficultés. Avec l'élévation du niveau des mers, les îles ou les côtes basses comme les Maldives risqueraient d'être en partie submergées et l'érosion des plages accentuée. Le tourisme représente une source importante de revenus et d'emplois pour de nombreux petits Etats insulaires, dont beaucoup pourraient être ruinés par les changements climatiques¹.

Ensoleillement et beau temps sont souvent considérés comme essentiels pour le tourisme. Le confort thermique est également important. Avec l'élévation de la température, ce confort pourrait parfois se transformer en stress, notamment pour les personnes fragiles (maladies cardiovasculaires)^h. La diminution probable des pluies estivales rendrait l'air plus sec, ce qui pourrait rendre l'élévation de température plus supportable... dans certaines limites. Les destinations méditerranéennes, actuellement prisées des touristes nord-européens, pourraient devenir nettement moins attractives en été avec quelques degrés de plus et une fréquence accrue de vagues de chaleur.

Sous nos latitudes, une élévation de température modérée en été serait plutôt favorable au tourisme. Cela a effectivement été constaté en Grande-Bretagne: un ou plusieurs étés ensoleillés dans le pays réduisent le tourisme à l'étranger, et attirent même des touristes venant de l'extérieur^a. On peut supposer que cette évolution favorable s'appliquerait aussi à la Belgique. A la côte, il faudrait toutefois compter avec la nécessité d'entretenir plus fréquemment les plages, en raison de l'érosion accrue. En Wallonie, il faudrait probablement compter avec une baisse de débit des rivières. Le tourisme "nature" pourrait aussi gagner en intérêt dans nos régions.

Quant aux stations de sports d'hiver des Alpes et d'ailleurs, elles connaîtraient des saisons plus courtes du fait d'un sérieux manque de neige, surtout pour celles situées aux plus basses altitudes. Chez nous, rien de comparable, mais le changement climatique pourrait ne laisser du ski en Hautes-Fagnes que quelques photos vieillies... Et l'augmentation des précipitations hivernales ne serait pas en faveur des loisirs!

Coût des impacts climatiques

JEAN-PASCAL VAN YPERSELE

Les études sur le coût de la réduction des émissions de gaz à effet de serre abondent. Il y a par contre beaucoup moins d'estimations du coût des dommages qui seront occasionnés par les changements climatiques^{46,47,48,49}. Les économistes ont cependant des excuses, car il est beaucoup plus délicat de donner une valeur monétaire à une vie humaine perdue, pour autant que cela ait du sens, que de calculer la rentabilité d'un investissement dans une amélioration des transports en commun ou un processus industriel⁵⁰.

Même l'estimation de l'effet actuel des changements climatiques en cours est difficile à faire, surtout si elle est monétaire. Il est en effet malaisé de séparer les effets d'origine climatique de ceux liés à d'autres facteurs comme le progrès technique ou le développement économique. La vulnérabilité aux changements climatiques est notamment fonction de la capacité d'adaptation. Cette dernière peut être très variable et contribue à la difficulté de documenter rigoureusement les effets socio-économiques des changements climatiques à l'échelle régionale. Les effets observés peuvent en effet refléter une adaptation aux changements climatiques plutôt que des impacts directs.

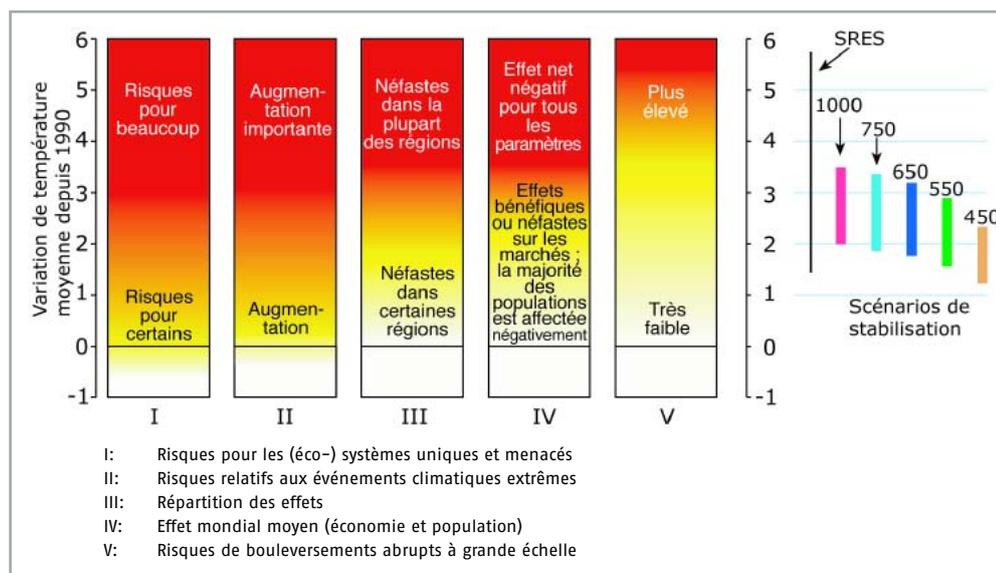
Pour un problème par définition aussi mondial que celui des changements climatiques, réfléchir à la seule échelle de la Belgique n'a qu'un intérêt limité. Certains des impacts décrits dans ce rapport peuvent être monétisés dans une certaine mesure. On peut imaginer que le réchauffement fera diminuer de quelques pour cent la consommation de chauffage en hiver, et augmenter la consommation d'électricité pour le conditionnement d'air en été. Les marchands de crème glacée et de boissons fraîches feront sans doute des affaires. Les inondations feront des dégâts, mais les réparations feront grimper le PNB. L'agriculture ne sera pas affectée de manière majeure, du moins si l'on considère l'ensemble du secteur (le froment d'hiver et les betteraves aiment la chaleur, mais ce n'est pas le cas des pommes de terre...) et si on se limite aux changements attendus pour les quelques prochaines décennies. Il faudra moins de sel sur les routes en hiver, mais le goudron fondra plus souvent en été. Le secteur du tourisme connaîtra sans doute certains réajustements. L'entretien des plages et des digues coûtera plus cher. Pour autant qu'ils restent limités, les changements pourraient être globalement favorables au secteur du tourisme. Des tentatives de chiffrer ces éléments ont eu lieu chez certains de nos voisins (France, Pays-Bas et Royaume-Uni), notamment à partir de l'étude de certaines situations extrêmes. Le coût total reste assez faible au niveau mondial: de l'ordre de 1 à 2% du PNB par an pour une augmentation moyenne de la température de 2,5°C¹. Mais les incertitudes sont grandes.

Et les vies humaines? Les espèces animales et végétales menacées? L'augmentation du risque d'événements extrêmes? Est-il possible ou même raisonnable de les monétiser? Quelles que soient les méthodes utilisées, toutes les études évaluées par le GIEC dans son dernier rapport¹ convergent sur deux points: dans un premier temps, les pays en développement sont les principales victimes du réchauffement, tandis que certains pays développés en tirent parti, mais au-delà de quelques degrés d'augmentation de la température globale, les coûts nets (même lorsqu'ils sont sous-estimés par la non-prise en compte de nombreux éléments) deviennent importants pour les pays développés aussi.

Conscients du fait qu'on ne peut tout résumer à de l'argent sans odeur, les auteurs du dernier rapport du GIEC ont résumé les risques des changements climatiques projetés à l'échelle mondiale en les classant dans cinq catégories de "motifs d'inquiétude" (voir figure 15). Ces risques sont mis en correspondance avec les fourchettes

d'augmentation de la température globale moyenne qui seraient atteintes en 2100 par rapport à 1990 pour différents niveaux de stabilisation de la concentration en CO₂ équivalent^{xxi}.

Cette figure montre bien qu'à l'échelle mondiale, seule une stabilisation de la température sous la barre d'environ 1,5°C d'augmentation par rapport à 1990 (soit 2°C au-dessus de la température préindustrielle) permet de circonscrire les risques à certains écosystèmes et à maintenir le risque d'événements extrêmes à un niveau faible. En se basant sur les estimations centrales de la température en fonction de la concentration stabilisée, cela signifierait une stabilisation de la concentration en CO₂ dans la gamme 450-550 ppmv de CO₂-équivalent (soit 350-450 ppmv de CO₂ seul). Une stabilisation à de tels niveaux demande une division par un facteur trois à quatre des émissions mondiales en 2100, avec une diminution plus forte encore au-delà.



Les risques d'effets négatifs dus aux changements climatiques sont décrits pour des variations de température moyenne mondiale d'ampleurs différentes, où les variations de température moyenne mondiale servent de données indirectes en ce qui concerne l'ampleur des changements climatiques. Les estimations des variations de température moyenne mondiale d'ici 2100, par rapport à 1990, sont indiquées à droite de la figure pour des scénarios qui conduiraient à la stabilisation des concentrations atmosphériques de CO₂, ainsi que pour l'ensemble des projections pour les scénarios SRES. De nombreux risques associés à un réchauffement de plus de 3,5°C d'ici 2100 seraient prévenus par une stabilisation des concentrations de CO₂ égale ou inférieure à 1000 ppm. Une stabilisation à un niveau inférieur diminuerait encore plus les risques. Le blanc indique une zone neutre, ou de faibles effets ou risques négatifs ou positifs; le jaune indique des effets négatifs pour certains systèmes ou de faibles risques; et le rouge indique des effets négatifs ou des risques plus étendus et/ou de plus grande ampleur. L'évaluation des effets ou des risques ne tient compte que de l'ampleur des changements, et non de leur rythme. Les variations de température moyenne annuelle mondiale servent de données indirectes en ce qui concerne l'ampleur des changements climatiques, mais les effets dépendraient, entre autres, de l'ampleur et du rythme des changements mondiaux et régionaux du climat moyen, de la variabilité climatique et des phénomènes climatiques extrêmes, des conditions socio-économiques et de l'adaptation (source: GIEC¹).

^{xxi} Le niveau de CO₂ équivalent (en ppmv, soit millièmes du volume de l'atmosphère) représente la quantité de CO₂ atmosphérique qui produit le même effet de réchauffement que celui du cocktail de gaz à effet de serre émis en réalité. A titre d'exemple, on considère qu'une concentration de 550 ppmv de CO₂-équivalent correspond à environ 450 ppmv de CO₂ "pur" plus l'effet des autres gaz à effet de serre.

Bibliographie

Références générales

- a ACACIA, 2000 – Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project. Edité par M. Parry. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, Royaume-Uni, 320 p.
- b UKCIP (United Kingdom Climate Impacts Programme): voir www.ukcip.org.uk
- c van Ierland E.C., de Groot R.S., Kuikman P.J., Martens P., Amelung B., Daan N., Huynen M., Kramer K., Szönyi J., Veraart J.A., Verhagen A., van Vliet A., van Walsum P.E.V., and E. Westein, 2001. Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands. Report n° 952274, Executive Summary, Wageningen University et University of Maastricht, Pays-Bas, 262p.
- d IPCC, 1998. The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability. A Special Report of IPCC Working Group II. Watson, R.T., Zinyowera, M.C., and Moss, R.H. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, 517 p.
- e Jancovici J.M., 2002. L'Avenir climatique. Quel temps ferons-nous? Editions du Seuil, Paris, 284p.
- f Kok M.T.J., Heij G.J., Verhagen A. and C.A. Rovers, 2002. Climate Change, a permanent concern. Final report of the second phase of the Dutch National Programme on Global Air Pollution and Climate Change (NRP II), 1995-2001. Programme Office NRP, Bilthoven, Pays-Bas, 176p.
- g Bernes, C, 2003. A warmer world. The greenhouse effect and climate change, Swedish environmental protection agency, monitor 18.
- h Dubois Ph.J. et P. Lefevre, 2003. Un Nouveau Climat. Les enjeux du réchauffement climatique. Editions de La Martinière, 252p.
- i Deneux, M., 2001. L'évaluation de l'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact prévisible sur la géographie de la France à l'horizon 2025, 2050 et 2100, Rapport d'information 224 – tome I (2001-2002) – Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Paris, France (voir www.senat.fr)
- j Schoeters, K. et P. Vanhaecke, 1999. Kader voor rapportering van "Climate Change" effecten in België: uitwerking en toepassing. Eindverslag in opdracht van de Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele aangelegenheden, Ecolas, Anvers, 121p. + annexes.
- k Troisième communication nationale de la Belgique à la convention cadre sur les changements climatiques, avril 2002. Edité par le Ministère des affaires sociales, de la santé et de l'environnement, département fédéral de l'environnement, Bruxelles, Belgique, 128p.
- l Bollen A., Van Humbeeck P., 2002. Klimaatverandering & Klimaatbeleid, een leidraad. Academia Press, Gand, xii + 470p.
- m MIRA, 2003. Milieu- en natuurrapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2003, 2.16 Klimaatverandering, Brouwers J., De Groote W., Claes K., Briffaerts K., Moorkens I., Van Rompaey H., De Bruyn L., Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be
- n Rapport sur l'état de l'environnement wallon, 2003. Tableau de bord de l'environnement wallon 2003. Ministère de la Région wallonne, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement, 142p.
- o GIEC, 2002. Les changements climatiques et la biodiversité. Document technique V du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, sous la direction de H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson, & D.J. Dokken, 75p. GIEC, Genève. Disponible sur www.ipcc.ch.
- p Parry M. (Ed.), 2004. Global Environmental Change. Human and Policy Dimensions. Vol. 14 n°1, April 2004. Special issue: an assessment of the global effects of climate change under SRES emissions and socio-economic scenarios, 99p. Elsevier, Pergamon.
- q IPCC, 2001a – Climate change 2001: the scientific basis. Edited by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. Cambridge University Press. Disponible sur www.ipcc.ch.
- r IPCC, 2001c – Climate change 2001: Synthesis report. Edited by R. T. Watson. Cambridge University Press. Disponible sur <http://www.ipcc.ch/>.
- s Berger A., 1992. Le Climat de la Terre, un Passé pour quel Avenir. De Boeck Université, Bruxelles, 479p.
- t IPCC, 2001b – Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Edited by J. McCarthy, O. Canziani, N. Leary, D. Dokken, K. White. Cambridge University Press, 1032 p. Disponible sur www.ipcc.ch

Changements climatiques

- 1 Brouyaux E., Mormal P., Tricot Ch., and M. Vandiepenbeeck, 2004. La Belgique au fil du temps. Les événements météorologiques marquants du vingtième siècle en Belgique. Le Roseau Vert & I.R.M. (eds), 223p.

- 2 SRES, 2000. Scénarios d'émissions 2000: Special Report on Emission Scenarios, Intergovernmental Panel on Climate Change, Edité par Nebojsa Nakicenovic et Rob Swart. Cambridge University Press. Disponible sur www.ipcc.ch
- 3 Schaeffer, M., Selten, F. M., Opsteegh, J. D., Goosse, H., Intrinsic limits to predictability of abrupt regional climate change in IPCC SRES scenarios, *Geophys. Res. Lett.*, 29 (16), 1767, doi:10.1029/2002GL015254, 2002.
- 4 Vanvyve E., 2002. Précipitations intenses et changements climatiques en Belgique. Rapport de recherche en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Sciences Physiques, UCL, Institut d'Astronomie et de Géophysique G. Lemaître, 49p. + i-xviii.
- 5 Beniston, M. The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, Vol 31, L02202, doi:10.1029/2003GL018857.
- 6 Schär, C., P.L Vidale, D. Lüthi., C. Frey, C. Häberli, M.A. Liniger and C Appenzeller, 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427 (6971).
- Biodiversité**
- 7 Peeters M, Franklin A et Van Goethem JL (eds), 2003. Biodiversity in Belgium. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles, pp. 1-416.
- 8 Visser ME et Rienks F, 2003. Klimaatsverandering rammelt aan voedselketens. *De Levende Natuur* 1004: 110-113
- 9 Chuine I., 2004. La place des données de phénologie dans l'étude des changements climatiques en France. Lettre pigb-pmrc France, n°16 – Changement global, pp. 65-66.
- 10 Grossman D., 2004. Vroege Lente. *Scientific American*, édition en néerlandais, pp. 37-40.
- 11 Menzel A et Fabian P, 1999. Growing season extended in Europe. *Nature* 397: 659
- 12 Leysen K et Herremans M, 2004. Fenologie: resultaten en bespreking zomervogels 2003 en analyse trends sinds 1985. *Natuur. Oriolus* 70: 33-42
- 13 Visser ME, Adriaensen F, van Balen J, Blondel J, Dhondt AA, van Dongen S, du Feu C, Ivankina EV, Kerimov AB, de Laet J, Matthysen E, McCleery R, Orell M et Thomson DL, 2003. Variable responses to large-scale climate change in European Parus populations. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences* 270: 367-372
- 14 Goffart P et de Schaetzen R, 2001. Des libellules méridionales en Wallonie: une conséquence du réchauffement climatique? *Forêt Wallonne* 51: 2-5
- 15 Briand J-F, Leboulanger C, Humbert J-F, Bernard C et Dufour P, 2004. Cylindrospermis raciborskii (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming? *Journal of Phycology* 40: 231-238
- 16 Tamis WLM, van 't Zelfde M et van der Meijden R, 2003. Effecten van klimaatsverandering op hogere planten in Nederland. *De Levende Natuur* 104: 75-78
- 17 van Herk CM et Siebel HN, 2003. Korstmossen en mossen: spiegels van de veranderingen in het klimaat. *De Levende Natuur* 104: 79-82
- 18 Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C et Pounds JA, 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60
- 19 van Rompaey E, Delvosalle L, de Langhe JE, D'hose R, Lawalrée A, Reichling L, Schumacker R et Vannerom H, 1979. Atlas de la flore belge et luxembourgeoise. Jardin Botanique National de Belgique, Meise
- 20 Hambuckers, A., 2004. Effet du réchauffement climatique sur la biodiversité en Belgique. Université de Liège, Département des sciences et de gestion de l'environnement, 11 p.
- 21 Sykes M.T. and I.C. Prentice, 1995. Boreal forest futures: modeling the controls on tree species range limits and transient responses to climate change. *Water, Air and Soil Pollution*, 82, pp. 415-428.
- 22 Sykes M.T. and I.C. Prentice, 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwoods zone of northern Europe. *Climatic Change*, 34, pp. 161-177.
- Hautes Fagnes**
- 23 Gellens D. et G. Demarée, 1992. Sensitivity study of the hydrological cycle. Impact of the climate change induced by the doubling of CO₂ atmospheric concentration. *Instit. Roy. Mét. de Belgique, Rapports, contrat de recherche GC/34/022:218-243.*
- 24 Gignac L.D. et D.H. Vitt, 1994. Response of northern peatlands to climate change: effects on bryophytes. *J. Hattori bot. Lab:* 75:119-132
- 25 Schumacker R., C. Wastiaux et M.-N. Hindryckx, 1996. L'avenir des tourbières hautes à sphaignes en Europe tempérée, à l'exemple des Hautes-Fagnes belges. *Colloques phytosociologiques XXIV, Fito-dinamica*, 273-284, Camerino.
- Flore et faune Mer du Nord**
- 26 Reid PC, Borges MF, Svendsen E, 2001. A regime shift in the North Sea circa 1988 linked to changes in the North Sea horse mackerel fishery. *Fish Res* 50:163-171
- 27 Kerckhof, F., 2002. Barnacles (Cirripedia, Balanomorpha) in Belgian waters, an overview of the species and recent evolutions, with emphasis on exotic species. *Bull. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Biologie* 72 (Suppl.): 93-104

- 28 De Vooyo, C.G.N., 1990. Expected biological effects of long-term changes in temperatures on benthic ecosystems in coastal waters around the Netherlands, in: Beukema, J.J. et al. (Ed.), 1990. Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystems. *Developments in Hydrobiology*, 57: pp. 77-82.
- 29 Reise K, 1998. Pacific oysters invade mussel beds in the European Wadden Sea. *Senckenbergiana Maritima* 28(4/6): 167-175.

Agriculture et occupation du territoire

- 30 MIRA, 2003. Milieu- en natuurrapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2003, 2.16 Klimaatverandering, Brouwers J., De Groot W., Claes K., Briffaerts K., Moorkens I., Van Rompaey H., De Bruyn L., Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieuraapport.be
- 31 ATEAM: Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling, European Commission funded project: www.pik-potsdam.de/ateam/. ATEAM's main objective is to assess the vulnerability of human sectors relying on ecosystem services with respect to global change.

Ressources en eau et inondations

- 32 Gellens D. and Roulin E., 1998. Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. *J. Hydrol.*, 210, 242-258.
- 33 OST, 2004. Office of Science and Technology, Foresight, Flood and coastal defence project: phase 2 final report. www.foresight.gov.uk/fcd.html
- 34 IRGT – KINT, 2003. d'Ieteren E., W. Hecq, R. De Sutter and D. Leroy. Les effets du changement climatique en Belgique: Impacts potentiels sur les bassins hydrographiques et la côte maritime. Phase I: état de la question. Rapport final. www.irgt-kint.be
- 35 Nicholls R.J., 2004. Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, vol. 14(1), pp. 69-86.

- 36 Dorland C., Tol R.S.J., and P. Palutikof, 1999. Vulnerability of the Netherlands and Northwest Europe to storm damage under climate change. *Climatic Change*, 43, pp. 513-535.
- 37 Zhang K., B.C. Douglas and S.P. Leatherman. Global Warming and Coastal Erosion, *Climatic Change*, mai 2004, 64, pp. 41-58.
- 38 AWZ, 2004: Administratie Waterwegen en Zeewezen. Een noodstrand voor Oostende, voir www.lin.vlaanderen.be/awz/noodstrand/index.htm

- 39 Burggraeve, G., 1989. De natuurhistorische waarde van het Zwin. *Water*, 49, 221-224.

Impacts sur la santé humaine

- 40 Van Lieshout M., Kovats R.S., Livermore M.T.J., and P. Martens, 2004. Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, vol. 14(1), pp. 87-99.
- 41 McMichael A.J., Campbell-Lendrum D.H., Corvalan C.F., Ebi K.L., Githeko A.K., Scheraga J.D. and A. Woodward (Eds), 2003. *Climate Change and Human Health*. World Health Organisation, Geneva, 322p.
- 42 Sartor, F., 2002. Les facteurs environnementaux de la mortalité. Chapitre 50. In *Démographie: analyse et synthèse III – Les déterminants de la mortalité*. Sous la direction de G. Caselli, J. Vallin et G. Wunsch. Editions de l'Institut National d'études démographiques, Paris, pp. 229-254.
- 43 Sartor F., Demuth Cl., Snacken R. and D. Walckiers, 1997. Mortality in the elderly and ambient ozone concentration during the hot summer, 1994, in Belgium. *Environmental Research*, 72, pp. 109-117.
- 44 Sartor F., Snacken R., Demuth Cl., and D. Walckiers, 1995. Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer, 1994, in Belgium. *Environmental Research*, 70, pp. 105-113.

- 44bis Sartor F., 2004. La surmortalité en Belgique au cours de l'été 2003. Rapport IPH/EPI N° 2004-009, Institut scientifique de Santé Publique, Section d'épidémiologie, Bruxelles, 48 p. Disponible sur <http://www.iph.fgov.be>

- 45 Lindgren E., L. Tälleklint and T. Polfeldt, 2000. Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick, *Ixodes ricinus*. *Environmental Health Perspectives*, 108, 119-123.

Coût des impacts climatiques

- 46 Capros P., L. Mantzos, D.W. Pearce, A. Howarth, C. Sedeem and B.J. Strengers, 2000. Technical Report on Climate Change, Report 481505012, RIVM, Bilthoven, Pays-Bas, 88 p.
- 47 Subak S., J.P. Palutikof, M. D. Agnew, S. J. Watson, C. G. Benthams, M. G. R. Cannell, M. Hulme, S. McNally, J. E. Thornes, D. Waughray and J. C. Woods, 2000. The impact of the anomalous weather of 1995 on the U.K. economy, *Climatic Change*, 44: 1-26.
- 48 Tol R.S.J., 2002a. 'New Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates', *Environmental and Resource Economics*, 21 (1), 47-73.
- 49 Tol R.S.J., 2002b. 'New Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part II: Dynamic Estimates', *Environmental and Resource Economics*, 21 (2), 135-160.
- 50 Barde J.Ph., 1992. *Economie et politique de l'environnement*. Presses universitaires de France, Paris, 383p.

Juillet 2004

GREENPEACE

Chaussée de Haecht 159
1030 Bruxelles
www.greenpeace.be