"Le Sélectionneur Français" 2007 - 2008 (n° double 58 - 59), **3 - 14**

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET AGRICULTURE : QUOI DE NEUF DEPUIS 2003 ?

Bernard SEGUIN
INRA Mission "Changement climatique et effet de serre"
Site Agroparc, domaine Saint-Paul, F-84914 Avignon cedex
seguin@avignon.inra.fr

RÉSUMÉ

La publication du 4ème rapport du GIEC au cours de l'année 2007 a renforcé la crédibilité scientifique et sociétale de la réalité du phénomène du changement climatique. C'est, en particulier, la confrontation des scénarios climatiques pour le XXIème siècle et des observations récentes qui permet maintenant d'attribuer les changements obervés, au-delà des facteurs naturels, à l'accroissement de l'effet de serre par l'action anthropique. La température moyenne de surface a augmenté de 0,6°C (avec une incertitude en plus ou en moins de 0,2°C) depuis 1860. Le XXe siècle a probablement été le siècle le plus chaud depuis 1000 ans et la décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important de ce siècle. Les données purement climatiques sont corroborées par des observations sur des indicateurs qui en dérivent directement : diminution de la surface de couverture neigeuse et des glaciers de montagne ou de la glace de mer, élévation du niveau de la mer, etc. Par ailleurs, même si il est généralement très délicat d'isoler l'action éventuelle du réchauffement global de celui d'un grand nombre d'autres facteurs, il est possible d'observer des impacts sur les écosystèmes cultivés ou naturels, en particulier au niveau de leur phénologie (pour la France, dates de floraison des arbres fruitiers, de vendange et de semis du maïs) mais aussi, dans certains cas, de leur productivité (forêts). Ils attestent de la réalité d'un climat actuel significativement différent de celui des années 1940-1970 et très vraisemblablement en cours d'évolution sous l'action de l'augmentation de la concentration des GES dans l'atmosphère.

INTRODUCTION

Un précédent article (Seguin, 2004) avait permis de faire un premier point sur l'état des connaissances sur le sujet. Depuis, le contexte a évolué, aussi bien au niveau mondial avec l'évolution des connaissances synthétisées cette année 2007 dans les rapports des 3 groupes de travail du GIEC (voir ci-dessous pour plus de précisions sur cet organisme) qu'au niveau de l'INRA avec la mise en place de la "Mission sur le changement climatique et l'effet de serre" (MICCES) qui a permis de stimuler et de coordonner les travaux sur le sujet. Il est donc apparu intéressant de faire un nouveau point quelques années plus tard sur l'évolution du contexte et des connaissances, sans revenir sur les généralités sur l'effet de serre qui avaient été présentées il y a quelques années.

1 - LES RAPPORTS DU GIEC DE 2007

Depuis la prise de conscience, dans les années 1970, de l'influence de l'Homme sur le climat global (qui n'est d'ailleurs qu'une des composantes de ce qu'on dénomme changement global), les prévisions des spécialistes du climat se sont progressivement affinées et ont gagné en degré de confiance. Il existe un consensus assez large de la communauté sur la très forte probabilité de réalisation des scénarios présentés par les experts du GIEC/IPCC (2001), confirmés dans le récent rapport de 2007, dont on peut retenir les éléments suivants, extraits du résumé pour décideurs (GIEC, 2007a) :

Le réchauffement du système climatique est maintenant reconnu sans équivoque, car évident dans les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer. Les informations paléoclimatiques confirment l'interprétation que le réchauffement du dernier demi-siècle est atypique sur au moins les 1 300 dernières années. La dernière fois que les régions polaires ont été significativement plus chaudes qu'actuellement pendant une longue durée (il y a environ 125.000 ans), la réduction du volume des glaces polaires a conduit à une élévation du niveau des mers de 4 à 6 mètres.

L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du 20e siècle est très vraisemblablement dû à l'augmentation observée des gaz à effet de serre anthropiques. On peut maintenant discerner des influences humaines dans d'autres aspects du climat, comme le réchauffement de l'océan, les températures continentales moyennes, les températures extrêmes et la structure des vents.

Pour les deux prochaines décennies un réchauffement d'environ 0,2°C par décennie est simulé pour une série de scénarios d'émissions du Rapport spécial. Même si les concentrations de tous les gaz à effet de serre et des aérosols avaient été gardées constantes au niveau de 2000, un réchauffement induit, d'environ 0,1°C par décennie se produirait. La poursuite des émissions de gaz à effet de serre au niveau actuel ou au-dessus provoquerait un réchauffement supplémentaire et induirait de nombreux changements dans le système climatique global au long du 21e siècle, qui seraient très vraisemblablement plus importants que ce qui a été observé au cours du 20e siècle. Pour la fin du siècle, la gamme de réchauffement en fonction des scénarios d'émission de GES va de 1,8°C (avec une fourchette de vraisemblance de 1,1 à 2,9) et 4,0°C (fourchette de 2,2 à 6,4), et celle de l'élévation du niveau de la mer de 0,18 à 0,59 m. Ces tendances continueraient pendant des siècles à cause des échelles de temps associées aux processus climatiques et aux rétroactions, même si les concentrations des gaz à effet de serre étaient stabilisées.

2. - LES PRÉDICTIONS POUR LE FUTUR : ÉTAT DES LIEUX

A la fin du siècle, les modèles prévoient des concentrations atmosphériques en CO_2 situées entre 540 et 970 ppm (parties par million), à comparer avec une concentration avant la révolution industrielle de 280 ppm et avec une concentration actuelle d'environ 380 ppm. L'accroissement moyen de la température de surface était estimé devoir être de 1,5 à 6°C de 1990 à 2100, et les simulations effectuées pour le 4ème rapport ne changent pas fondamentalement la donne : pour la fin du siècle, la gamme de réchauffement en fonction des scénarios d'émission de GES va de 1,8°C (avec une fourchette de vraisemblance de 1,1 à 2,9) à 4,0°C (fourchette de 2,2 à 6,4) (voir Figure 1). Cette augmentation serait sans précédent dans les 10 000 dernières années. Il est presque certain que toutes les surfaces continentales se réchaufferont plus rapidement que la moyenne, particulièrement celles situées à haute latitude en saison froide.

L'élévation du niveau des mers était prévue en 2001 de 0,14 à 0,80 m de 1990 à 2100 ; elle a été actualisée à une fourchette plus resserrée de 0,18 à 0,59 m, ce qui reste de deux à quatre fois le taux observé pendant le XXe siècle. Une perte majeure de glace de l'Antarctique et une élévation accélérée du niveau des mers sont jugées comme très peu probables au XXIe siècle, mais de fortes incertitudes pèsent sur les conséquences de la fonte des glaciers, déjà significative, et ultérieurement du Groenland.

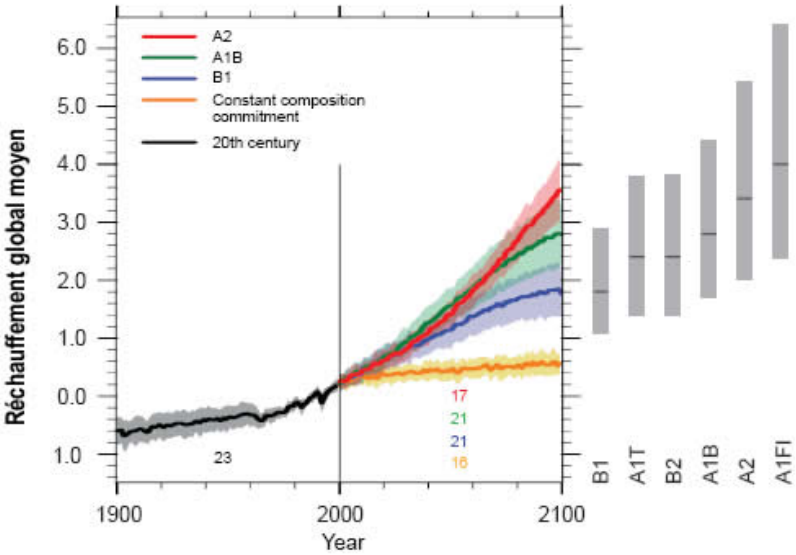


Figure 1 Evolution de la température globale pour plusieurs modèles climatiques et scénarios d'évolution du CO2 (d'après le rapport du GIEC 2007a)

Une comparaison des scénarios les plus récents d'évolution de la pluviométrie saisonnière dans 32 régions du monde faite par le groupe II du GIEC montre une tendance à l'augmentation pour l'Europe du Nord (0 à +3 % par décennie) au printemps, à l'automne et en hiver. En revanche, pour la zone Europe du Sud et Afrique du Nord, les modèles prédisent une réduction de la pluviométrie estivale (de -0,2 à -6 % par décennie), qui pourrait également intervenir en Europe du Nord (de -1,8 à +0,8 % par décennie). Une tendance similaire à un assèchement estival se retrouve dans les simulations concernant d'autres régions de l'hémisphère Nord (Amérique du Nord, Chine, Méditerranée), même si cette tendance est loin de constituer une certitude.

Les conclusions du GIEC concernant les tendances observées et prévues pour différents événements climatiques extrêmes avaient été classées en 2001 selon leur niveau de probabilité, et le rapport de 2007 n'a pas fondamentalement changé le diagnostic actuel. On retiendra parmi les conclusions très probables (à plus de 95 %) : une augmentation des températures maximales et de la fréquence des jours chauds, une augmentation des températures minimales et une diminution de la fréquence des jours froids (ou encore des gelées). Les conclusions probables (probabilité supérieure à 2/3) concernent une diminution de l'amplitude thermique journalière, des précipitations plus fréquentes et plus intenses, des vagues de chaleurs plus fréquentes et, inversement, des vagues de froid moins fréquentes, une augmentation des épisodes de fortes pluies hivernales et, enfin, une augmentation de la fréquence des sécheresses estivales dans les régions continentales situées à des latitudes intermédiaires. Enfin, la vitesse maximale du vent, ainsi que l'intensité des précipitations, devraient augmenter lors des cyclones tropicaux.

3 - LES ÉVOLUTIONS RÉCENTES DU CLIMAT À L'ÉCHELLE GLOBALE ET LEUR ATTRIBUTION

L'analyse de séries historiques provenant de milliers de stations réparties sur l'ensemble du globe a nécessité la mise en œuvre de procédures complexes d'homogénéisation (pour prendre en compte les problèmes causés par les évolutions techniques des stations et des capteurs, ainsi que des changements de site ou d'environnement de ces sites). C'est donc seulement depuis quelques années qu'il a été possible d'établir sans ambiguïté les éléments suivants, repris ci-dessous à partir du rapport du GIEC de 2001 et de la synthèse ultérieure de Salinger (2005) :

- pour la température, un réchauffement de l'ordre de 0,6°C depuis 1860, la date la plus ancienne pour laquelle des données suffisantes existent à l'échelle du globe. Le réchauffement du 20ème siècle est probablement le plus important de ceux constatés depuis les dernières mille années, et la décennie précédant 2004 était la plus chaude de toutes celles considérées : 9 des années les plus chaudes se situent entre 1995 et 2004 (la plus chaude étant 1998, avec 0,58°C au-dessus de la moyenne 1981-90), avec la seule année 1996 remplacée par 1990 dans ce classement (Jones et Moberg 2003). Il est à noter que, depuis, 2005 et 2006 se sont rajoutées à ce hit-parade, respectivement en 2ème et 6ème positions. Deux périodes de réchauffement apparaissent à partir de ces travaux : de 1910 à 1945, avec une augmentation de 0,14°C, puis 0,17°C pour 1976-1999 (Figure 2).

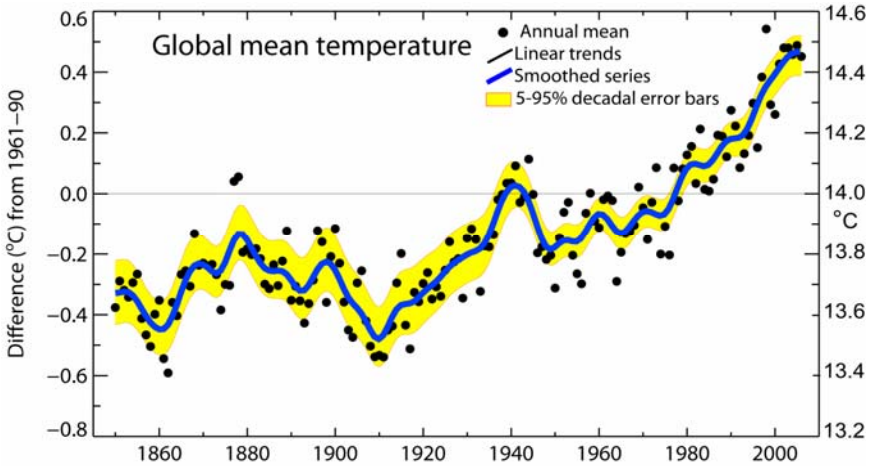


Figure 2 Evolution de la température globale depuis 1850 (d'après GIEC 2007a)

Au niveau de la distribution spatiale, la première phase a vu un réchauffement plus marqué de l'hémisphère nord, contrairement à la phase suivante. Par contre, depuis 1976, le réchauffement est le plus net aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord, et sur les surfaces continentales, qui se réchauffent plus que les surfaces océaniques. Il faut également noter que les températures minimales augmentent deux fois plus vite que les maximales.

- pour les précipitations, la tendance est moins claire : les mêmes sources indiquent une tendance à la hausse de la pluviométrie annuelle à l'échelle globale, cependant très modérée (2 %) et surtout très variable dans le temps et l'espace : elle peut atteindre 7 à 12 % dans les latitudes élevées de l'hémisphère nord, surtout à l'automne et en hiver pour les régions boréales. La pluie a diminué sur la plupart des terres intertropicales (-0,3 % par décennie), quoiqu'il y ait une reprise durant les dernières années. Il est probable qu'une augmentation de la fréquence des événements de précipitations extrêmes s'est produite dans les latitudes moyennes et hautes de l'hémisphère Nord. Les épisodes chauds du phénomène « El Niño» ont été plus fréquents, plus durables et plus intenses depuis le milieu des années 1970. Au niveau de l'Europe, les observations sont plus contrastées (EEA, 2004) : elles font état d'un accroissement pouvant aller de 10 à 40 % sur le siècle passé pour les régions du nord, en particulier en hiver, et d'une baisse significative de la pluviométrie en zone méditerranéenne (jusqu'à 20 %, dont 10 % en période estivale).
- au niveau des autres facteurs, il a surtout été détecté une baisse (de 4 à 6 %) du rayonnement solaire global sur la période 1950-1990 (Roderick et Farquahr, 2002), mais cette tendance paraît s'inverser avec une augmentation sur les 15 dernières années (Wild et al, 2005).

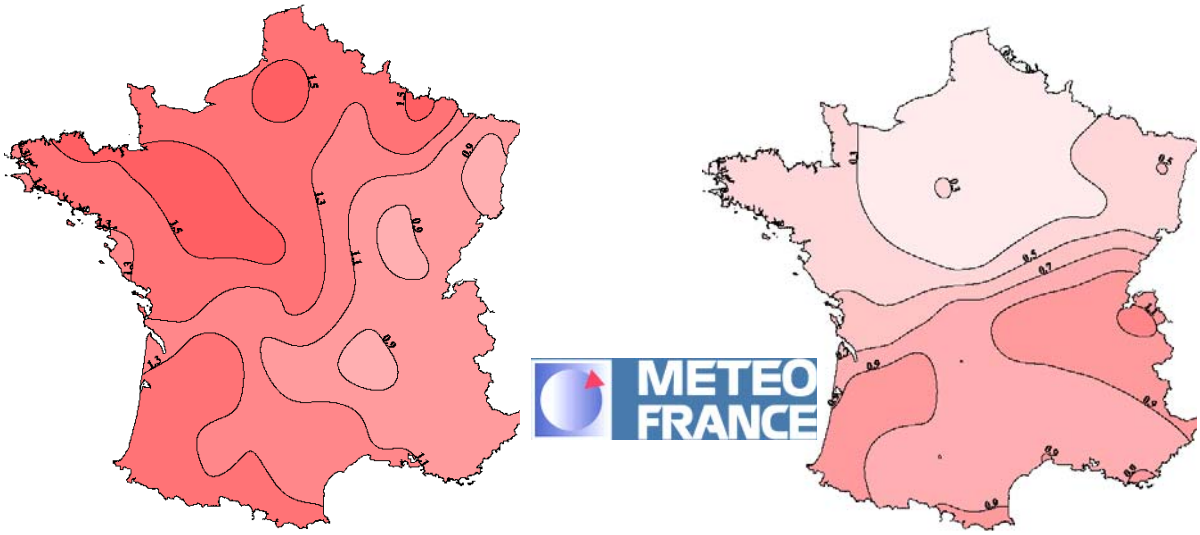
Ces évolutions des facteurs climatiques s'accompagnent d'observations sur celles de la cryosphère et des océans. La surface de la couverture neigeuse a diminué d'environ 10 % depuis la fin des années 1960 et la période de glaciation des lacs et des rivières a été réduite de deux semaines dans

l'hémisphère Nord durant le XXe siècle. Il y a eu un retrait général des glaciers de montagne dans les régions non polaires durant le XXe siècle. La superficie de la glace de mer a diminué de 10 à 15 % dans l'hémisphère Nord depuis les années 1950. Une diminution de l'épaisseur de la glace de 40 % en Arctique s'est probablement produite à la fin de l'été pendant les dernières décennies, ce déclin étant beaucoup plus prononcé en hiver. Les données sur les marées montrent que le niveau moyen des mers s'est élevé de 10 à 20 cm pendant le XXe siècle. Il est très probable que cela est dû au moins en partie à l'expansion thermique de l'eau de mer et à la perte de glace associée au réchauffement. Ce rythme de variation du niveau d'élévation des mers a été environ dix fois plus important que pendant les derniers 3 000 ans.

Au final, le diagnostic formulé par le GIEC est clair, ainsi que le montre la synthèse des messages essentiels que l'on peut tirer du document : *Le réchauffement du système climatique est maintenant reconnu sans équivoque, car évident dans les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer. Les informations paléo-climatiques confirment l'interprétation que le réchauffement du dernier demi-siècle est atypique sur au moins les 1300 dernières années. La dernière fois que les régions polaires ont été significativement plus chaudes qu'actuellement pendant une longue durée (il y a environ 125 000 ans), la réduction du volume des glaces polaires a conduit à une élévation du niveau des mers de 4 à 6 mètres . L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du 20e siècle est* ***très vraisemblablement*** *dû à l'augmentation observée des gaz à effet de serre anthropiques. On peut maintenant discerner des influences humaines dans d'autres aspects du climat, comme le réchauffement de l'océan, les températures continentales moyennes, les températures extrêmes et la structure des vents.*

4 - LE CHANGEMENT CLIMATIQUE RÉCENT EN FRANCE

Pour le territoire français, ces grandes lignes se retrouvent, avec des nuances (Moisselin et al.,2002). Pour la température (Figure 3), un réchauffement plus marqué en moyenne, de l'ordre de 0,9 C, en particulier dans le nord et l'ouest pour les minimales et le sud pour les maximales.



Minimales (Tn) Maximales (Tx)

Figure 3 Réchauffement en France au cours du siècle passé (d'après Moisselin et al., 2002)

Pour les pluies, les séries homogénéisées de précipitations dessinent une pluviométrie plutôt en hausse sur le XXème siècle et un changement de sa répartition saisonnière : moins de précipitations en été et davantage en hiver. Des contrastes nord-sud apparaissent : on trouve quelques cumuls

annuels de précipitation en baisse sur le sud du territoire français. L'étude de l'indice de sécheresse de De Martonne montre des noyaux de sécheresse accrue sur les régions les plus méridionales. Au nord du territoire, au contraire, l'augmentation conjuguée des précipitations et des températures conduit à un climat plus humide, ce qui traduit une accélération du cycle de l'eau.

Au niveau de l'insolation apparaît une tendance nette à une diminution dans le nord (-11 %) et une augmentation dans le sud (+7 %) (Moisselin et Canellas, 2005).

Quant aux évènements extrêmes, si l'on a pu noter un peu partout dans le monde et dans le cas de la France en particulier des épisodes récents ayant eu des conséquences dramatiques (tempête de décembre1999, plusieurs épisodes cévenols automnaux intenses, sécheresses fréquentes depuis 1976, avec la répétition de 2003, 2004 et 2005), il est encore difficile pour les climatologues de conclure à une tendance significative, malgré l'impact de plus en plus marqué, en particulier pour les compagnies d'assurance, qui est dû pour partie à une amplification par les évolutions des modes d'occupation des sols et des modes de vie en général. Moisselin et Dubuisson (2006) ont cependant noté, sur la période 1951-2000, des traces d'augmentation de la variabilité sur les températures maximales, ainsi qu'une augmentation des sécheresses estivales et un allongement des périodes pluvieuses

5 - LES IMPACTS OBSERVÉS SUR LES ÉCOSYSTÈMES TERRESTRES

Comme le climat, et en partie à cause de lui, les écosystèmes terrestres, qu'ils soient naturels ou cultivés, conjuguent une variabilité à différentes échelles temporelles et une évolution à long terme qui traduit un déplacement de l'état d'équilibre qui permet de le considérer comme stationnaire sur une période donnée. L'attribution d'un changement écologique à ce réchauffement climatique récent n'est pas une question scientifique facile, d'une part parce que de nombreux facteurs autres que le climat agissent sur les réponses de différents systèmes ou secteurs (en premier lieu les facteurs anthropiques allant de l'économie à l'utilisation de la surface ou la modification du type d'occupation, en passant par les pollutions diverses dans l'atmosphère, les eaux et les sols), d'autre part parce que les impacts éventuels ne se répercutent pas forcément en réponse immédiate au forçage climatique, et qu'un temps de latence de durée variable caractérise l'inertie de différents systèmes. Il est donc logique que ces impacts soient seulement réellement identifiés depuis peu, avec quelques années de recul par rapport à la mise en évidence effective du réchauffement qui date seulement de la fin des années 90. Il faut aussi que des chercheurs de diverses disciplines soient stimulés afin de se mobiliser pour analyser une tendance éventuelle à travers leurs propres données, ce qui se fait progressivement actuellement.

Au niveau global, les impacts observés étaient ainsi pratiquement absents des deux premiers rapports du GIEC, et sont apparus en tant qu'information significative seulement pour le 3ème rapport (GIEC, 2001). L'analyse effectuée alors, à partir de 2.500 articles publiés, portait uniquement sur les relations avec la température, en recherchant trois critères qui devaient être satisfaits simultanément : un changement observé sur au moins dix années, pouvant être corrélé de manière déterministe à un changement de température, et un changement simultané de température. Deux grandes catégories ont ainsi été mises en évidence : 44 études sur les plantes et les animaux, couvrant 600 espèces, dont 90 % (plus de 550) ont montré des signes de changement, avec 80 % (plus de 450) allaient dans le sens attendu. Et 16 études sur les glaciers, la couverture neigeuse et la glace sur les lacs ou les fleuves portant sur 150 sites. Environ 100 (67 %) montraient une évolution, dont 99 dans la direction attendue.

Les travaux préparatoires à la publication du 4ème rapport (GIEC, 2007b) ont permis d'actualiser ces données globales (qui portent le nom de méta-analyses) : 13 études pour les changements dans la cryosphère, 22 pour l'hydrologie et les ressources en eau, 30 sur les processus côtiers, 37 sur les systèmes biologiques marins et d'eau douce, 156 sur les systèmes biologiques terrestres, et 32 sur l'agriculture et la forêt (soit 258 au total, à comparer aux 60 études mentionnées ci-dessus dans le 3ème rapport).

En nous limitant aux écosystèmes continentaux, les effets observés peuvent être résumés ainsi :

- pour la cryosphère, une fonte accélérée qui se traduit par un recul généralisé des glaciers, une augmentation du ruissellement et des débits dans les zones glaciaires ou nivales, ainsi que des avalanches de glaces et de rochers, le déplacement des mammifères dans l'Arctique et de la faune de l'Antarctique, la fonte du permafrost dans les hautes latitudes, le déplacement vers le haut de stations de ski, etc… ;
- pour l'hydrologie et les ressources en eau, l'accroissement des sécheresses en zone aride et semi-aride, les inondations et les glissements de terrain pendant la saison chaude en zones montagneuses ;
- pour les eaux douces, fleuves et rivières se réchauffent, avec des conséquences bien établies sur la stratification thermique et la composition chimique, l'abondance et la productivité, la composition des communautés, la phénologie, la distribution et la migration des espèces végétales et animales ;
- pour les systèmes biologiques terrestres, des réponses bien établies dans l'hémisphère nord avec une avancée généralisée de la phénologie au printemps, et une saison de végétation plus longue. La population de certaines espèces a diminué ou même disparu, et des mouvements vers le nord ou des altitudes plus élevées ont été observés ;
- pour l'agriculture et la forêt, une avancée similaire de la phénologie en Europe et en Amérique du nord, avec une saison de végétation sans gel allongée (en partie sans doute à l'origine de l'augmentation de la productivité forestière, de l'ordre de 30 à 40 %, maintenant confirmée par des observations satellitaires. En dehors de l'observation d'une avancée systématique des dates de floraison des arbres fruitiers, l'illustration la plus nette se situe en viticulture, particulièrement sensible à ce réchauffement : l'ensemble des régions viticoles de ces mêmes zones montre une avancée des stades phénologiques, qui se répercute sur les dates de vendange, ainsi qu'une augmentation de la teneur en sucre et du degré alcoolique qui conduit, pour les vingt dernières années, à des vins généralement de haute qualité. Pour la forêt, on a observé également une avancée des dates de débourrement de l'ordre de 5 à 8 jours sur l'Eurasie, une migration vers le nord de la limite forêt-toundra et une augmentation des feux de forêt au Canada, ainsi qu'une extension de certains insectes aux USA.

Au niveau européen, le récent état des lieux effectué par l'Agence européenne de l'environnement (EEA, 2004) retient les tendances constatées sur une sélection d'indicateurs qui recoupe les systèmes et secteurs considérés par le GIEC : retrait des glaciers pour 8 sur 9 des régions concernées (avec un recul d'ensemble évalué à 1/3 de la surface et 1/2 de la masse entre 1850 et 1980, et 20 à 30 % de perte supplémentaire depuis, dont 10 % pour le seul été 2003), diminution de la période de couverture neigeuse (entre 45 et 75 ° N de 8,8 jours par décennie entre 1971 et 1994), augmentation de la saison de végétation de 10 jours entre 1962 et 1995 et de la productivité de la végétation de 12 %, migration vers le nord et vers le haut de plantes (diversité enrichie de l'Europe du nord-ouest et en montagne pour 21 de 30 sommets alpins), accroissement du taux de survie de populations d'oiseaux hivernant en Europe, etc…

Au niveau français, si les agriculteurs (et les éleveurs) font état d'une modification des calendriers culturaux qui pourrait être liée à cette particularité climatique, d'ailleurs confirmés par des analyses récentes sur les dispositifs expérimentaux de l'INRA (pratiquement un mois d'avance depuis 1970 sur les dates de semis du maïs pour quatre sites couvrant l'ensemble du territoire), il n'a pas encore été possible de l'apprécier de manière objective, pas plus que d'évaluer son poids éventuel dans l'évolution récente des rendements. Par contre, l'analyse des données phénologiques (dates d'apparition des stades de développement) sur les arbres fruitiers et la vigne, cultures a priori beaucoup moins dépendantes sur ce point des décisions culturales, a permis de mettre en évidence des avancements significatifs de stades tels que la floraison des arbres fruitiers. L'article précédent (Seguin, 2004) comportait déjà les observations sur l'avancée des stades de floraison des arbres fruitiers (une dizaine de jours en trente ans sur des pommiers dans le sud-est) ou des dates de vendange pour la vigne (presqu'un mois dans la même région au cours des cinquante dernières années (Ganichot, 2002)). Ces observations, étendues pratiquement à l'ensemble du territoire français, avec

évidemment des variantes suivant les espèces et les lieux, se sont depuis confirmées, voire notablement amplifiées, en particulier pour la vigne (Seguin, 2007).

Pour celle-ci, l'augmentation de température moyenne s'est traduite par des conditions globalement plus favorables et avec moins de variabilité interannuelle pour tous les vignobles français, avec une augmentation de teneur en alcool (de 1 à 2 degrés suivant les régions) et une diminution de l'acidité. La même avancée phénologique est également détectable pour les forêts.

La productivité des forêts a augmenté depuis le début du siècle (de l'ordre de 30 à 40 %), sans qu'il soit encore possible de l'attribuer à un effet déjà marquant de l'augmentation du gaz carbonique, du réchauffement ou d'une fertilisation par l'azote contenu dans les pluies (cette dernière hypothèse tenant la corde d'après les travaux récents de l'INRA de Nancy). Il faut souligner que l'augmentation du CO_2 atmosphérique, en interaction avec le réchauffement et avec la variation de la pluviométrie, aura des effets importants sur la productivité végétale, sur l'économie de l'eau et sur le bilan des nutriments (Tubiello et al., 2007).

Au niveau des insectes et maladies, il apparaît certains signes indiscutables que l'on pourrait relier directement au changement climatique : extension vers le nord et en altitude de la chenille processionnaire du pin, observations sur le cycle du carpocapse qui a vu l'augmentation d'apparition d'une troisième génération, augmentation de la diversité des pucerons également concernés par l'avancée de la phénologie ; à l'inverse extinction du phomopsis du tournesol dans le sud-ouest après la canicule de 2003. Il faut également prendre en compte la possibilité de mouvements géographiques qui amènent certaines maladies ou ravageurs, véhiculés par les moyens modernes de transport, à s'installer dans des régions où les conditions climatiques le leur permettront. D'où les interrogations actuelles sur des maladies émergentes dans le monde animal (fièvre du Nil sur les chevaux en Camargue), mais aussi végétal : une mouche blanche (Bemisia tabaci) originaire des régions subtropicales a été repérée depuis une dizaine d'années en Europe, et menace actuellement les cultures sous serre du Sud du continent.

Ces différentes observations proviennent pour une très large part des travaux de l'INRA dans les domaines de l'agriculture et de la forêt (voir le site www.inra.fr/changement_climatique). Pour une vision plus large sur les milieux naturels, elles peuvent être complétées par celles rassemblées dans l'ouvrage de Dubois et Lefevre (2003) et le livret édité par le RAC-F (2005).

CONCLUSION : LE RÉCHAUFFEMENT ET L'EFFET DE SERRE

Les observations récentes attestent, au minimum, d'un réchauffement significatif depuis 1860 au niveau global, avec une accentuation marquée depuis les années 1980. Il est évidemment variable à la fois dans le temps et dans l'espace, mais la tendance générale paraît indiscutable et bien établie par les impacts directs ou indirects sur les milieux naturels et certaines activités humaines. Il est maintenant fortement probable qu'il soit causé par l'augmentation de l'effet de serre évalué dans les modèles climatiques, comme l'a établi clairement le rapport du GIEC de 2007.

A l'issue de cette revue, plusieurs commentaires finaux nous paraissent de nature à accompagner ce diagnostic, par rapport à l'agriculture et l'élevage dans le contexte français :

- Les observations prennent en compte essentiellement les effets moyens du réchauffement observé depuis une vingtaine d'années (avec, pour les conséquences sur la phénologie, une rupture diagnostiquée à la période 1985-1989). Bien sûr, en complément de cette tendance de fond, les années récentes ont vu se manifester des évènements climatiques que l'on peut qualifier d'exceptionnels (par leur écart avec les valeurs normales ou moyennes), avec en premier lieu la canicule et sècheresse de 2003, mais aussi les sécheresses ultérieures (en particulier 2005 et 2006), puis l'hiver doux de 2006. Manifestement, ces épisodes ont des impacts instantanés (ou même plus tardifs, compte-tenu des répercussions ultérieures) d'un ordre de grandeur égal ou notablement supérieur à celui de l'évolution moyenne. Il est certain que celle-ci sera déterminante à long terme,

mais que la variabilité et son évolution en termes d'évènements extrêmes jouera un rôle tout aussi important dans le futur. C'est sans doute, à l'heure actuelle, le facteur limitant pour prétendre pronostiquer ou préfigurer l'impact du changement climatique sur les écosystèmes en général, et cultivés en particulier.

- Quelle que soit l'action collective sur les émissions de GES, il apparait maintenant très peu probable d'échapper à un réchauffement global d'au minimum 2 à 3°C pour la fin du siècle, et en conséquence inévitable de prévoir des mesures d'adaptation (Howden et al., 2007), évidemment variables suivant les productions et les régions, mais qui auront un socle commun. Celui-ci sera, pour partie, technique (avec une forte interaction entre la génétique et l'agronomie), mais devra évidemment tenir compte du contexte économique et social (avec, au premier rang, la compétition sur l'eau qui sera accrue dans un climat plus chaud et plus sec en été, en particulier dans le sud, voir l'expertise récente sur la sécheresse d'Amigues et al., 2006).
- Un point très important concerne justement la question de l'avenir de ces émissions. Nous ne l'avons pas abordé dans ce panorama, mais l'apport du rapport du GIEC de 2001, et surtout de celui de 2007, était de commencer à préfigurer un avenir climatique à géométrie variable suivant les scénarios d'émission. Il est maintenant bien établi que nous avons collectivement le choix, par notre action dans les 20 à 30 prochaines années, entre un réchauffement encore modéré de l'ordre de 2 à 3°C (à mettre en rapport avec une gamme de variation de la température moyenne annuelle de la France métropolitaine depuis 1900 d'amplitude 2°C d'après Météo-France) ou au contraire un réchauffement allant vers les 5°C si on prolonge la tendance annuelle. Les impacts de ce cas de figure sont beaucoup plus difficiles à cerner, mais sont porteurs dans tous les cas de risques notablement amplifiés.

L'impérieuse nécessité de limiter l'ampleur de la perturbation engendrée par l'augmentation des GES apparaît de plus en plus clairement. Sur ce point, l'agriculture et l'élevage ont un rôle important à jouer. A l'heure actuelle, ce secteur est responsable de près de 20 % des émissions de GES au niveau français, et de 15 % au niveau du globe, dues essentiellement au méthane et à l'oxyde nitreux. D'un autre côté, les sols agricoles peuvent stocker du carbone (INRA, 2002), ce qui peut améliorer le bilan pour l'effet de serre, comme le montre l'exemple des prairies (Soussana et al., 2007). Il faut donc dès maintenant s'engager sur une voie de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de conservation ou d'accroissement des stocks de carbone dans le secteur agricole, tout en adaptant l'agriculture au changement climatique. Ces deux enjeux ne sont pas indépendants. Par exemple, la canicule de l'été 2003 s'est accompagnée d'effets négatifs sur la production agricole (Amigues et al., 2006), mais aussi d'un déstockage de carbone des agro-écosystèmes (Ciais et al., 2005). Pour faire face à ce type d'événements, dont la fréquence augmentera vraisemblablement à l'avenir, il faudra développer des stratégies permettant une meilleure résilience des systèmes de culture et des sols.

Le contexte institutionnel a récemment changé, en mettant ces questions au premier plan de l'actualité. Au-delà du technique sur des points élémentaires, c'est maintenant une analyse globale qui est devenue nécessaire pour faire l'inventaire des points positifs et négatifs, en tenant compte des nombreuses interactions mises en jeu. Cette analyse a fait l'objet de premières études pour les biocarburants. Elle a également conduit à évaluer l'ensemble des composantes du bilan des GES pour comparer des systèmes d'élevage à caractère intensif contrasté (Allard et al., 2007) et évaluer les impacts et l'adaptation au changement climatique (Howden et al., 2007). Un récent rapport (FAO, 2006) est encore allé plus loin dans la globalité de l'analyse, en montrant les interconnections entre secteurs, soulignant le poids décisif de la déforestation sur les externalités de l'élevage. Quelles que soient les critiques qui peuvent être formulées sur son contenu, il a le mérite d'indiquer une direction nécessaire pour conduire à une analyse de synthèse d'un secteur, toute conclusion partielle étant souvent contredite à l'échelle supérieure. La grande difficulté réside dans le dimensionnement adéquat du domaine d'étude, mais il ne parait pas inutile d'aller jusqu'à la consommation et au mode de vie en bout de chaine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Allard, V., J.F. Soussana, R. Falcimagne, P. Berbigier, J.M. Bonnefond, E. Ceschia, P. D'hour, C. Hénault, P. Laville, C. Martin, and C. Pinarès-Patino. 2007. The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO2, N2O and CH4) of semi-natural grassland. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 121:47-58.

AMIGUES J.P., DEBAEKE P., ITIER B., LEMAIRE G., SEGUIN B., TARDIEU F., THOMAS A. editeurs (2006). ‘ Sécheresse et agriculture. Adapter l’agriculture à un risque accru de manque d’eau’. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 pp.

Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogee, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, C. Bernhofer, A. Carrara, F. Chevallier, N. De Noblet, A.D. Friend, P. Friedlingstein, T. Grunwald, B. Heinesch, P. Keronen, A. Knohl, G. Krinner, D. Loustau, G. Manca, G. Matteucci, F. Miglietta, J.M. Ourcival, D. Papale, K. Pilegaard, S. Rambal, G. Seufert, J.F. Soussana, M.J. Sanz, E.D. Schulze, T. Vesala, and R. Valentini. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. **Nature** 437:529-533.

DUBOIS P.J., LEFEVRE P. (2003): Un nouveau climat. Les enjeux du réchauffement climatique, *ed La Martinière*, 255p.

EEA (2004) : Impacts of Europe changing climate. An indicator-based assessment. EEA report no2/2004, 107pp

FAO (2006) Livestock’s long shadow, environmental issues and options, 408 pp, disponible sur le site: www.fao.org

GANICHOT B. (200) : Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales.*Actes des 6émes rencontres rhodaniennes*, *Institut Rhodanien, Orange* : 38-41.

GIEC (2001): Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the third assessment report of IPCC. *Cambridge University Press*, Cambridge

GIEC (2007a): Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, aussi accessible en version française sur le site de la MIES :www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_i_du_giec 2007

GIEC (2007b): Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, version française sur le site web de la MIES, www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_ii_du_giec___2007.

GIEC (2007c): Climate change 2007: mitigation of climate change. Summary for policymakers. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, version française sur le site web de la MIES, www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_iii_du_giec___2007.

HOUGHTON J.T., CALLANDER B.A., VARNEY S.K. eds.(1992): Climate change 1992, The supplementary report to the IPCC scientific assessment, IPCC Scientific Assessment Working Group, *Cambridge University Press, Cambridge*, UK, 200 p.

Howden M, Soussana JF, Tubiello FN, Chtetri N, Dunlop M and Aggarwal PK 2007. Adapting agriculture to climate change, *PNAS***,** 104, 19691-19696.

INRA (2002) (Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F. & Stengel P. Eds.). *‘Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?‘* Rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable’, INRA, Paris, 332pp.

JONES P.D., MOBERG A.(2003): Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, **16**, 206-223.

MOISSELIN J.M, SCHNEIDER M.,CANELAS M ., MESTRE C.O.(2002) : Les changements climatiques en France au XX° siécle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, *La Météorologie*, 38 : 45-56.

MOISSELIN J.M et CANELAS M. (2005) : Longues séries d'insolation homogénéisées en France, CR Géoscience, 337, 729-734 de référence pour l'étude des changements climatiques. *Actes des journées AMA édités par Météo-Franc*e, Toulouse, 95-98.

RAC-F 2005 : Changement climatique : la nature menacée en France. Brochure éditée collectivement avec FNE, WWF, LPO, Greenpeace, 24pp.

RODERICK M.L., FARQUAHR.G.D.(2002): The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years. *Science*, 298, 1410-1411

SALINGER J.M. (2005) : Climate variability and change :past, present and future- an overview, *Climatic change*, 70, 9-29

Seguin B. (2004) Le changement climatique et l'amélioration des plantes, *Le sélectionneur français*, 54,31-36

SEGUIN B., DOMERGUE M., GARCIA DE CORTAZAR I., BRISSON N., RIPOCHE D.(2004). : Le réchauffement climatique récent : impact sur les arbres fruitiers et la vigne. *Lettre pigb-pmrc France Changement global*, no 16, 50-54

SEGUIN B. (2007) Le réchauffement climatique et ses conséquences pour la viticulture, *communication au colloque 'Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ?' organisé par la chaire Unesco Vin et culture de l'Université de Bourgogne, Dijon, 28-30 mars 2007*

Soussana, J.F., V. Allard, K. Pilegaard, C. Ambus, C. Campbell, E. Ceschia, J. Clifton-Brown, S. Czobel, R. Domingues, C. Flechard, J. Fuhrer, A. Hensen, L. Horvath, M. Jones, G. Kasper, C. Martin, Z. Nagy, A. Neftel, A. Raschi, S. Baronti, R.M. Rees, U. Skiba, P. Stefani, G. Manca, M. Sutton, Z. Tuba, and R. Valentini. 2007. Full accounting of the greenhouse gas (CO_2, N_2O, CH_4) budget of nine European grassland sites *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:121-134.

Tubiello FN, Soussana JF, Howden M, and Easterling W 2007. Crop and pasture response to climate change, *PNAS,* 104, 19686-19690.

WILD M. et al. (2005): From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at earth's surface, *Science*, 308, 847-850