

Le changement climatique : conséquences pour les végétaux

Bernard Seguin

Mission 'Changement climatique et effet de serre'

INRA, site Agroparc, domaine Saint-Paul 84914 Avignon cedex 9

Introduction

L'effet de serre est un phénomène naturel, qui résulte de la présence dans l'atmosphère de gaz absorbant le rayonnement infrarouge thermique émis par les surfaces terrestres, et sans lequel la température moyenne du globe s'établirait aux alentours de -18°C au lieu de $+15^{\circ}\text{C}$. C'est l'observation, au début des années 1970, d'une augmentation notable de la concentration de certains de ces gaz à effet de serre (GES), en lien évident avec l'activité anthropique, qui a conduit à envisager l'éventualité d'un changement climatique par le renforcement induit de cet effet de serre. Au premier rang de ces gaz figure le dioxyde de carbone CO_2 , dont le niveau actuel dépasse les 380 ppm, contre 260 à l'époque préindustrielle, et qui devrait atteindre de 450 à 1000 ppm à la fin du 21^{ème} siècle, suivant l'évolution des politiques énergétiques. Il existe maintenant 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 (GIEC 2007a):

I. MODELES CLIMATIQUES ET SCENARIOS SOCIO-ECONOMIQUES

Les projections sur 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 entre 1990 et 2100 était estimé dans le rapport de 2001 devoir être de $1,5$ à 6°C , et les simulations effectuées pour le 4^{ème} 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 $1,8^{\circ}\text{C}$ (avec une fourchette de vraisemblance de $1,1$ à $2,9$) à $4,0^{\circ}\text{C}$ (fourchette de $2,2$ à $6,4$) (voir fig1).

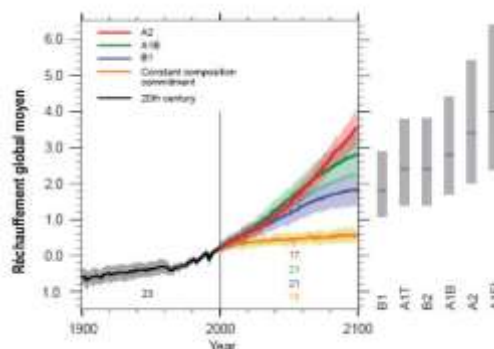


Figure 1. Evolution de la température globale pour plusieurs modèles climatiques et scénarios d'évolution du CO_2 (d'après le rapport du GIEC 2007a)

Cette augmentation serait sans précédent dans les 10 000 dernières années, et il est presque certain que toutes les surfaces continentales se réchaufferont plus rapidement que la moyenne, particulièrement celles situées à haute latitude. L'élévation du niveau des mers 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 XX^e siècle. Une perte majeure de glace de l'Antarctique et une élévation accélérée du niveau des mers sont jugées comme très peu probables au XXI^e siècle, mais de fortes incertitudes pèsent sur les conséquences de la fonte des glaciers, déjà significative, et ultérieurement du Groenland. 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.

Quels modèles et quels scénarios ?

Dans la foulée des accords de Kyoto en 1997, on a pris conscience que l'évolution des concentrations atmosphériques de GES, et donc du changement climatique qu'elles provoquent, pouvait être modulée dans le futur par l'évolution des émissions. Du coup, les travaux du GIEC ont pris en compte des familles de scénarios qui ont servi de base aux projections des rapports de 2001, puis 2007. Ces scénarios SRES, à déterminisme essentiellement socio-économique, sont identifiés par le croisement de deux grandes familles (voir figure 2) :

- l'organisation géopolitique mondiale en abscisse (mondialisée vs régionalisée). Elle différencie les scénarios du groupe 1, basés sur l'hypothèse d'une évolution mondiale cohérente, de ceux du groupe 2, avec de grandes disparités régionales et des gouvernances peu unifiées.
- l'orientation donnée au développement en ordonnée (économique vs environnementale). Elle différencie les scénarios du groupe A, orientés vers la croissance et l'économie, de ceux du groupe B, avec un futur plus environnemental.

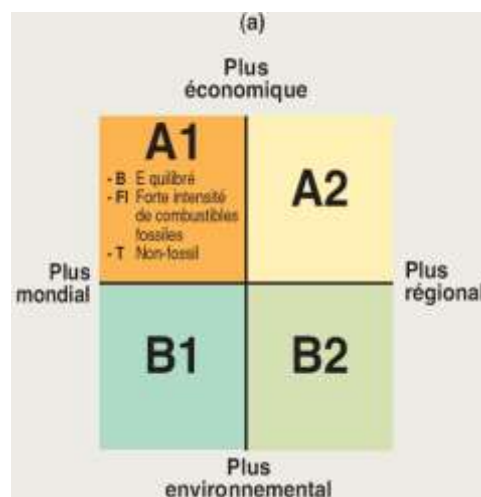


Figure 2 : Axes de différenciation des scénarios SRES (d'après Nakicenovic et al., 2000).

II. LES IMPACTS FUTURS SUR LES VEGETAUX

Conséquences pour la production végétale

Le gaz carbonique favorise la croissance végétale. Les plantes fixent le CO₂ de l'atmosphère grâce à une molécule organique dont le nombre d'atomes de carbone diffère selon les espèces : les plantes en C3 (3 atomes de carbone) et celles en C4 (4 atomes de carbone) réagiront différemment à une variation de la quantité du CO₂ atmosphérique. Si cette dernière double d'ici à la fin de ce siècle, la photosynthèse brute augmentera de 30 % pour les plantes en C3 (blé et riz) et de 15 % pour celles en C4 d'origine tropicale, comme le maïs. Les premières assimileront 20 % de carbone en plus, les secondes 10 %. La production de biomasse devrait alors augmenter. Cet effet sur la photosynthèse se combine aux variations de températures et de précipitations. Les plantes possèdent une température optimale pour la photosynthèse, qui est souvent déjà atteinte, voire dépassée dans le sud de la France. Par ailleurs, dans les conditions tempérées, l'élévation de température favorise la plupart des processus physiologiques (avec, là aussi, des seuils tels que, par exemple, 36° C pour la viabilité du pollen de maïs). Mais elle accélère aussi le rythme de développement des cultures annuelles, de sorte qu'elle raccourcit leurs cycles et, par suite, la durée de fonctionnement de la photosynthèse. A l'inverse, pour les plantes à cycle non déterminé (en particulier les forêts), la saison de croissance, qui commencera plus tôt au printemps et finira plus tard à l'automne, sera allongée. Au final, le bilan de la production de biomasse dépendra à la fois du type de couvert, des conditions climatiques et des pratiques de culture ou de conduite des couverts végétaux.

Il existe encore peu d'études spécifiques sur les conséquences pour les végétaux d'ornement et les couverts urbains. Ce sont donc celles, beaucoup plus documentées, sur les espèces cultivées (en agriculture) ou gérées (en sylviculture) qui peuvent nous donner les indications les plus complètes pour avoir une idée des grandes lignes des impacts attendus ;

Les impacts attendus en agriculture

En prenant le cas de la France, au niveau des grandes cultures, les résultats des simulations effectuées à l'INRA avec les modèles de culture sur le blé et le maïs (Delecolle et al 1999) permettent de conclure à des effets légèrement positifs sur le premier, avec des augmentations de rendement allant de 2.5 % à 5.7 %, et des effets plus variables sur le maïs (+ 10 % à - 16 % dans le cas d'une culture irriguée dans le sud-est). Ils sont en bon accord avec les études comparables d'autres pays pour les conséquences sur les céréales en milieu tempéré (Easterling et al 2008). Au niveau des prairies (Soussana 2001), la conjugaison de travaux expérimentaux (sous serre et en enrichissement naturel à l'extérieur) et de modélisation à partir d'un modèle d'écosystème prairial conduit à envisager, dans les conditions du Massif Central, une augmentation de la production de biomasse aérienne de l'ordre de 25 % (dont 18 % attribuables au seul doublement de CO₂). Mais ce potentiel plus fort pourrait être très largement contrebalancé par l'effet négatif du stress hydrique, en particulier dans les régions du Sud de la France, mais la perspective de sécheresses plus fortes amène aussi à envisager des effets significatifs de la sécheresse dans l'Ouest et même le Nord de la France.

Pour les cultures pérennes, essentiellement arbres fruitiers et vigne (Seguin et al 2004), le facteur primordial devrait être l'avancée des stades phénologiques, d'autant plus marquée que l'on s'éloigne en cours de saison de la levée de dormance, qui risque elle d'être plus tardive à cause du manque de froid. Pour certaines espèces telles que l'abricotier, les hivers doux risquent même de créer des troubles physiologiques (chute de bourgeons, fruits avortés).

Ensuite, l'action de la chaleur reprendra vite le dessus et l'avancée de la date de floraison peut conduire paradoxalement à augmenter le risque de gel (fig. 4), et à envisager des conditions climatiques moins favorables pour la fécondation et la pollinisation, en dépit du réchauffement des températures. Pour la vigne, la période de la maturation sera avancée de deux à trois semaines, ce qui a pour effet de 'démultiplier' le réchauffement, en ajoutant au seul effet climatique un effet lié à l'avancée du calendrier, avec des conséquences certaines sur la qualité de la vendange, plus chargée en sucre et donc en degré alcoolique, et moins en acide.

Il faudra aussi considérer l'impact sur les adventices (mauvaises herbes) et les insectes et maladies cryptogamiques, encore mal cerné à l'heure actuelle.

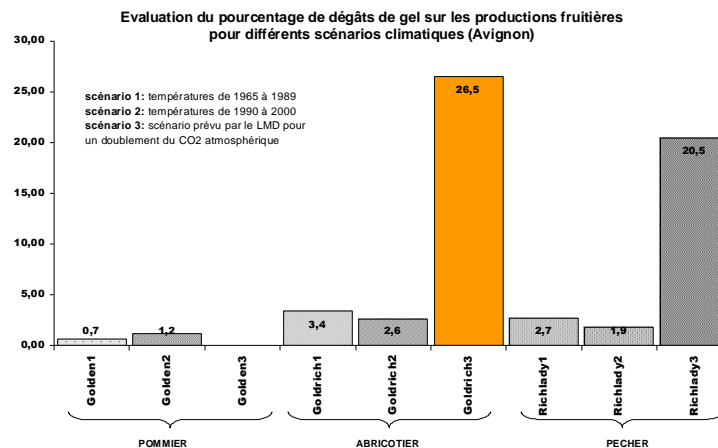


Figure 4 : effet du réchauffement climatique sur les dégâts de gel simulés pour 3 productions fruitières (pommier, abricotier, pêcher) sur le site d'Avignon

Quels impacts pour la forêt ?

Pour les forêts, le schéma général est assez semblable : stimulation de la photosynthèse par l'accroissement du atmosphérique, allongement de la saison de croissance et températures plus favorables vont donner, dans un premier temps, des conditions de croissance plus favorables pour les forêts tempérées, à l'inverse des forêts tropicales. Par contre, pour des valeurs de réchauffement plus élevées (de l'ordre de 2 à 3° C), le mouvement va s'inverser et la productivité des forêts tempérées diminuera, alors que celle des milieux tropicaux sera fortement réduite par l'effet combiné des fortes températures et de la sécheresse accentuée. Ce schéma général est bien illustré par les projections sur la forêt française effectuées dans le cadre du projet CARBOFOR soutenu par le projet GICC (Loustau et al. 2004): les modèles de fonctionnement des couverts forestiers montrent que la stimulation de la croissance des arbres par la seule réponse de la photosynthèse brute à l'augmentation du gaz carbonique devrait atteindre environ 40 %, pour l'ensemble de la phase juvénile. Ce chiffre est plus élevé chez les feuillus que chez les résineux. Lorsque, à l'aide des modèles, on combine ces effets à ceux des modifications climatiques, on obtient, comme pour les cultures, des résultats contrastés suivant les espèces et les régions. Le débourrement serait plus précoce de 6 à 10 jours pour les feuillus, et de 15 à 20 jours en moyenne pour le pin maritime. Pour le pin sylvestre et l'épicéa, qui ont des besoins en froid plus élevés, l'avancée du débourrement ne serait perceptible qu'en altitude ; en plaine il y aurait un retard. Pour toutes les espèces, le risque de gel tardif serait diminué. Au total, si la production nette en France devrait bien augmenter, l'augmentation se situerait nettement en dessous des chiffres donnés par le seul effet de stimulation de la photosynthèse (de 2 à 15 %), avec surtout une forte variabilité suivant les localisations en fonction des conditions hydriques et thermiques locales et de la fertilité des sols. Les effets prédits sont globalement positifs dans le Nord de la France pour les feuillus

sociaux avec une réponse décroissante de l'Est vers l'Ouest, la façade Nord-Ouest présentant même une anomalie de production nette négative. Dans le Sud Ouest ils sont positifs en début de siècle puis s'inversent avec une anomalie négative augmentant vers l'intérieur des terres en fin de siècle. En zone méditerranéenne, l'accentuation de sécheresse estivale conduirait aux mêmes effets négatifs, renforcés par l'augmentation des risques d'incendie. Outre l'aggravation du risque météorologique dans les régions affectées traditionnellement, il faut s'attendre à une extension géographique vers des régions qui n'y sont, ni préparées, ni habituées (Rigolot 2008)

Les moyennes et les extrêmes

Les éléments qui viennent d'être présentés s'appuient uniquement sur les valeurs moyennes des facteurs climatiques. L'éventualité d'événements extrêmes et, de façon plus large, la prise en compte de la variabilité de ces facteurs pourraient conduire à des impacts différents de ce réchauffement moyen continu par le dépassement de valeurs-seuils encore mal cernées. C'est assez évident pour les sécheresses (comme l'ont récemment montré 2003, puis 2005 et 2006) ou les fortes pluies (qui affectent l'agriculture par l'érosion et l'inondation des parcelles), mais c'est également vrai pour la température. D'abord par ses valeurs basses pour les gels d'hiver ou de printemps (évoqué ci-dessus): si les scénarios s'accordent pour prévoir des hivers plus doux en moyenne, l'éventualité d'épisodes de froid dévastateurs (tels qu'en 1956 ou en 1987) pour les oliviers, les agrumes ou le mimosa n'est pas à écarter, alors que les seules températures moyennes leur permettraient de remonter vers le Nord le long de la vallée du Rhône, par exemple. Ensuite par les températures élevées: la fréquence des canicules, avec des températures dépassant les 35° C, est prévue comme devant atteindre une année sur deux vers 2050, alors que la tolérance des écosystèmes actuels, qu'ils soient cultivés ou naturels, est bien mal connue.

Enfin, pour les forêts, et comme cela a été clairement démontré par les épisodes de 1999, puis 2008, les tempêtes sont à coup sûr un élément majeur à prendre en compte, tant elles sont capables de mettre à bas en quelques instants une part significative de la production forestière accumulée sur plusieurs années. A ce niveau, et un peu comme pour les ouragans, le débat est encore ouvert chez les spécialistes sur leur renforcement dans le cadre du changement climatique ; mais il faut de toute évidence adapter la sylviculture, comme on doit l'adapter aux situations de sécheresse persistante, comme cela a été le cas dans le sud-est de 2003 à 2008 (voir le numéro spécial de Forêt méditerranéenne 2008).

III. DES EFFETS DEJA OBSERVABLES

Les données climatiques mettent maintenant en évidence un réchauffement significatif au cours du XXème siècle sur le territoire français (Moisselin et al.2002), en accord avec ce qui est observé au niveau global (GIEC 2007a). On peut en trouver des confirmations significatives dans les observations sur les couverts végétaux, également à l'échelle du globe (GIEC 2007 b), mais particulièrement dans l'hémisphère nord et sur le continent européen, comme dans le cas de la France.

Des perturbations dans le calendrier du développement des arbres fruitiers ont été observées à la suite du réchauffement récent. La levée de dormance tend à être plus tardive par manque de froid. Pour certaines espèces, telles que l'abricotier, les hivers doux peuvent même créer des troubles physiologiques (chute de bourgeons, fruits avortés). Puis, sous l'action de la chaleur, les arbres fleurissent plus tôt. La floraison des pommiers s'est avancée d'une dizaine de jours en 30 ans. Paradoxalement, les arbres sont plus vulnérables au gel et en dépit du réchauffement des températures, la fraîcheur du climat à une période plus précoce est moins

favorable à la fécondation et à la pollinisation. La vigne est également plus précoce dans son calendrier. Dans toutes les régions viticoles, l'avancée moyenne de la vendange au cours des trente dernières années est de deux à trois semaines (un mois au cours des cinquante dernières années dans le Sud-Est, voir figure 5). L'augmentation de température moyenne s'est traduite par des conditions globalement plus favorables, avec moins de variabilité interannuelle pour tous les vignobles français, qui ont permis une augmentation de la teneur en alcool (de 1 à 2 degrés) et une diminution de l'acidité (voir Duchêne et Schneider 2004 pour l'Alsace), suffisamment accentuée ces dernières années pour commencer à poser des problèmes aux viticulteurs

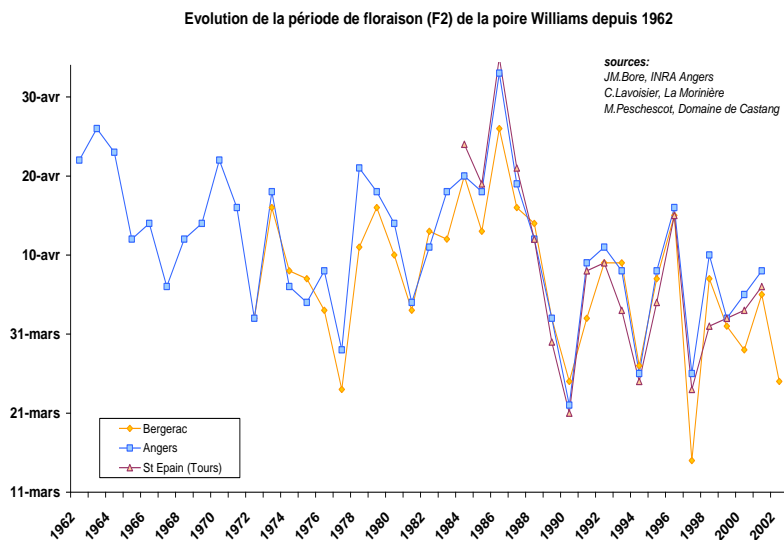


Figure 4. Evolution de la période de floraison de la poire Williams depuis 1962

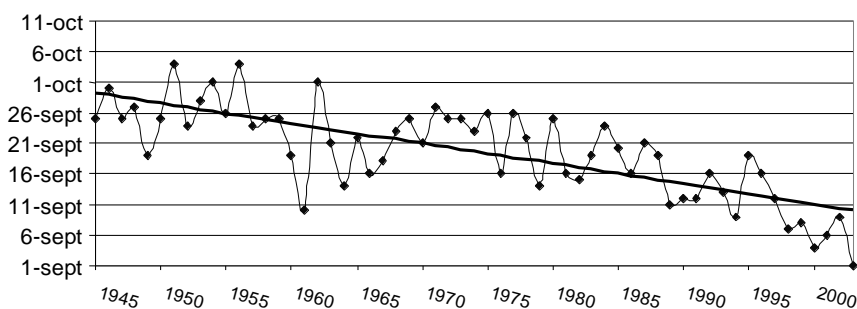


Figure 5. Evolution des dates de vendange à Châteauneuf-du-pape (Ganichot 2002)

La même avancée phénologique est également détectable pour les forêts, qui ont aussi notablement augmenté leur productivité depuis 1960 (de l'ordre de 30 à 40 %), sans qu'il soit encore possible de séparer les effets de l'augmentation du gaz carbonique, du réchauffement ou des dépôts atmosphériques d'azote dans cette augmentation. De façon générale, on constate que les espèces à feuilles persistantes et larges ont eu tendance à progresser au cours des dernières années (ainsi pour le houx dans les Ardennes). Quelques observations commencent à être publiées dans la littérature internationale à propos de migrations géographiques : ainsi pour l'étude de Lenoir et al (2008) qui ont détecté une tendance vers le haut de l'ordre de 29 m par décade pour l'altitude optimale de 171 plantes forestières dans les

montagnes de l'ouest de l'Europe. Dupouey et Robin (2007) estiment qu'il s'agit pour le moment de cas emblématiques, mais pas encore d'un processus massif.

Au niveau des insectes et des maladies, il existe des observations de changements dans les populations observées, ainsi que d'apparition de nouvelles maladies ou de nouveaux ravageurs, généralement caractéristiques de climats plus chauds. Mais il est encore difficile de les attribuer spécifiquement au réchauffement climatique, tellement les nombreux autres déterminants peuvent jouer un rôle décisif. Par contre, le réchauffement récent a joué un rôle certain dans l'extension bien documentée vers le Nord et en altitude de la chenille processionnaire du pin (Roques et Negeilsen 2007). Il a pu également être observé une évolution sur le cycle du carpocapse des pommes qui a vu l'apparition d'une troisième génération et une augmentation de la diversité des populations de pucerons, accompagnée d'une précocité accrue des périodes d'activité. A l'inverse, on a pu noter une extinction (temporaire) du phoma du tournesol dans le sud-ouest, fortement défavorisé par l'augmentation des températures supérieures à 32° C et momentanément éradiqué après la canicule de 2003.

IV. IL VA BIEN FALLOIR S'ADAPTER

Tout en étant conditionnées par le poids de l'économie, l'agriculture et la sylviculture devront s'adapter à ces changements climatiques. Dans tous les cas de figure, la disponibilité de l'eau sera le facteur limitant majeur, que ce soit l'eau stockée dans les sols ou celle nécessaire pour l'irrigation. Les stratégies de réponse de l'agriculture à la sécheresse (voir Amigues et al 2006 pour la synthèse de l'expertise collective INRA 2006) seront déterminantes. La capacité d'adaptation des cultures pérennes paraît moins rapide (10 à 20 ans). D'ores et déjà se pose la question d'éviter des variétés d'arbres fruitiers trop sensibles aux hivers doux ou au gel. Par son lien au terroir (il n'est pas envisageable de délocaliser les AOC), la vigne pose des problèmes spécifiques. Elle a montré en 2003 une bonne capacité d'adaptation à ces conditions extrêmes. La perspective de connaître régulièrement de telles conditions interroge sur la capacité de conserver à long terme la typicité ancestrale.

Une remontée des cultures est envisageable, à l'instar de ce qui pourrait se passer pour les espèces forestières, dont les cartes de potentialité bioclimatique seront profondément bouleversées (Badeau et al. 2007) : un réchauffement de 1° C équivaut à environ 180 km vers le nord. En zones de montagne, où 1° C correspond à 150 m en altitude, de nouvelles potentialités pourraient apparaître. Le réchauffement pourrait aussi permettre l'extension de cultures traditionnellement réservées au sud (maïs-grain, sorgho, tournesol, etc.), pour lesquelles le nord deviendrait concurrentiel, avec une alimentation hydrique plus assurée ? Quid pour le sud ? Il ne serait sans doute pas impossible techniquement d'introduire des cultures de pays chauds ou, par exemple, d'étendre la culture de l'olivier au sud-ouest, mais pour quels marchés ?

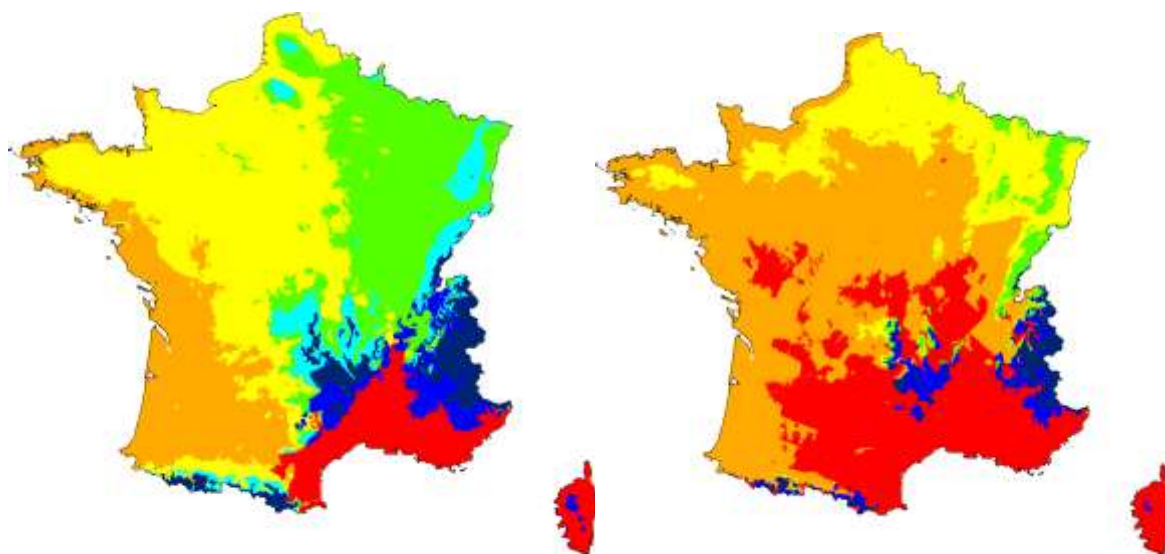


Figure 6. Répartition géographique de 7 groupes (A à gauche) en fonction du climat actuel et (B à droite) projetée en 2100 (Badeau *et al.* 2007).

Conclusion : le réchauffement et l'effet de serre

Quelle que soit l'action collective sur les émissions de GES, il apparaît 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, Tubiello *et al.* 2007), variables suivant les productions et les régions, mais qui auront un socle commun. Celui-ci sera, pour partie, technique, avec une forte interaction entre génétique et pratiques culturales, mais devra également tenir compte du contexte économique et social. Pour la France, dans un premier temps, un réchauffement de l'ordre de 2° C pourrait être favorable pour l'agriculture et la sylviculture, au moins dans le nord et ne provoquerait qu'un léger déplacement d'équilibre, restant dans les limites des capacités d'adaptation presque traditionnelles. En revanche, il est difficile de cerner les conséquences d'un réchauffement de 4 à 5° C. Il provoquerait sans doute des ruptures significatives. L'impact du réchauffement sur tous les écosystèmes et tous les secteurs d'activité serait alors tel qu'il est illusoire de pronostiquer ses effets dans un climat totalement bouleversé.

Plus d'information : http://www.inra.fr/changement_climatique

Références

- Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A., éditeurs., 'Sécheresse et agriculture. Adapter l'agriculture à un risque accru de manque d'eau'. *Expertise scientifique collective, synthèse du rapport*, INRA (France), 72 pp., 2006.
- Badeau V., Dupouey J.L., Cluzeau C., Drapier J., Aires potentielles de répartition des essences forestières d'ici 2100, *rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série no3, <<Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques>>*, 2007, p.62-66
- Delecote R., Soussana J.F., Legros J.P., Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, vol. 85,1999, p.45-51.
- Domergue M., Legave J.M., Calleja M., Moutier N., Brisson N., Seguin B. Réchauffement climatique : quels effets sur la floraison chez trois espèces fruitières ? *Arboriculture fruitière*, vol.578, 2004, p.27-33.

Duchêne E., Schneider C., Grapevine and climate change: a glance at the situation in Alsace, *Agron. for sust. dev.*, vol.25, 2005, p.93-99

Dupouey J.L., Bodin J., Déplacements déjà observés des espèces végétales: quelques cas emblématiques, mais pas de migrations massives, *rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série no3, <<Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques>>*, 2007, p.34-39

Easterling, W., Aggarwal, P., Batima, P., Brander, K., Erda, L., Howden, M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J. F., Schmidhuber, J., Tubiello, F. Food, fibre, and forest products. In "Climate Change 2007: Climate Change Impacts, adaptations and vulnerability, IPCC Working Group II", Cambridge University Press, Cambridge, England, 2008.

Forêt méditerranéenne (2008). *Changements climatiques en forêt méditerranéenne*, tome XXIX, vol.2., 2008, 264 pp.

Ganichot B., *Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales*. Actes des 6^{èmes} Rencontres Rhodaniennes. Institut Rhodanien. Orange, France, 2002, p.38-41.

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

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.

Howden M., Soussana J.F., Tubiello F.N., Chtetri N., Dunlop M., Aggarwal P.K., Adapting agriculture to climate change, *PNAS*, vol 104, 2007, p.19691-19696.

Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., de Ruffray P., Brisse H., A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century, *Science*, vol 320, 2008, p.1768-1771

Loustau D., ed., *Séquestration de carbone dans les grands écosystèmes forestiers en France*, rapport final du projet CARBOFOR, INRA Bordeaux-Pierroton, 2004.

Moisselin J.M, Schneider M., Canelas M., Mestre O., Les changements climatiques en France au XX^e siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, *La Météorologie*, vol.38, 2002, p.45-56.

Nakicenovic N., et al., *Special report on emissions scenarios. Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, 595 pp., 2000.

Rigolot E., Impact du changement climatique sur les feux de forêt, *Forêt méditerranéenne*, tome XXIX, vol 2, 2008, p.167-176

Roques A., Negeilsen L.M., Impact du réchauffement global sur les populations d'insectes forestiers, *rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série no3, <<Forêts et milieux naturels face aux changements climatiques>>*, 2007, p.40-46

Seguin B., Brisson N., Loustau D., Dupouey J.L. *Impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt*. In 'L'homme face au climat', actes du symposium du Collège de France, Paris, 12-13 oct 2004, ed Odile Jacob, 2006, p.177-204).

Soussana J.F., Changement climatique. Impacts possibles sur l'agriculture et adaptations possibles, *Demeter, Armand Colin, Paris*, 2001, p.195-222.