

## Les conséquences pour l'agriculture

**Du colza en Scandinavie ou de la vigne en Grande-Bretagne...l'agriculture a déjà fait montre de sa plasticité et pourrait, réchauffement climatique oblige, prouver sa capacité à s'adapter. Mais jusqu'où, ou jusqu'à quand ? La grande ligne est celle d'un effet variable suivant les régions et les productions, avec des zones, dans les moyennes et hautes latitudes, qui peuvent gagner à un réchauffement modéré de 1 à 3°C, et les pays du Sud qui seront vraisemblablement perdants, même avec un scénario de ce type. L'hypothèse d'un réchauffement supérieur à 3°C provoque, elle, dans tous les cas, des chutes sérieuses de rendements toutes productions, avec un impact catastrophique au Sud et un bouleversement de l'agriculture au Nord. Il faut cependant garder à l'esprit que l'avenir fera intervenir d'autres déterminants qui pourront, ou non, s'avérer plus marquants que le changement climatique. Mais la tendance générale est claire : si les régions tempérées peuvent s'attendre à des effets tantôt positifs, tantôt négatifs sur le rendement, le changement climatique aura quasi-systématiquement des effets négatifs dans les zones tropicales.**

par Bernard SEGUIN, Inra – Mission « Changement climatique et effet de serre »

L'agriculture est, sans aucun doute, parmi les activités humaines, une de celles qui restent le plus directement influencées par le climat, malgré l'augmentation impressionnante de sa productivité, en particulier dans les pays développés. Le changement climatique aura donc un impact sur la production alimentaire, qui demeure avant tout un défi majeur : s'il n'est toujours pas possible, aujourd'hui encore, d'alimenter correctement les six milliards d'habitants de la planète, dans cinquante ans, ce sont trois milliards d'habitants supplémentaires qu'il faudra nourrir dans un contexte climatique différent de celui que nous avons connu depuis plusieurs siècles, voire plusieurs millénaires.

Ce climat modifié va agir directement sur la composante biotechnique de la production. Accroissement de la teneur en gaz carbonique et autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère, élévation de la température, modification des régimes pluviométriques, et donc des différents termes du bilan hydrique (évaporation, drainage, ruissellement), évolution de la couverture nuageuse, et donc du bilan radiatif : l'ensemble des facteurs bioclimatiques qui régissent le fonctionnement des écosystèmes est amené à se modifier ; il faut donc prévoir et quantifier ces modifications et leurs conséquences.

Nous allons en présenter les grandes lignes, en gardant à l'esprit que l'avenir fera intervenir d'autres forçages qui pourront (ou non) s'avérer plus marquants que le changement climatique :

✓ d'une part, le réchauffement n'est qu'un des éléments de la pression exercée plus largement par l'homme sur le milieu naturel dans le cadre du changement global qui comprend la déforestation ou, au contraire, la refo-

restation, le surpâturage et la désertification, les incendies de forêts, ou encore l'urbanisation, et, bien sûr, les pollutions diverses des milieux terrestres (ozone, en particulier) et aquatiques ;

✓ d'autre part, les écosystèmes cultivés diffèrent forcément des écosystèmes naturels par l'action de l'agriculteur (ou de l'éleveur), grandement orientée par des déterminants économiques et sociaux. Le futur de l'agriculture mondiale européenne est en question à travers les controverses sur l'organisation du commerce mondial, et, pour s'en tenir au contexte européen, sur l'avenir de la Pac (Politique agricole commune) et des subventions qui y sont liées. C'est évidemment un enjeu majeur, car l'économie gouverne majoritairement le choix des productions par les agriculteurs et les systèmes de culture ou d'élevage qu'il est amené à mettre en œuvre dans ce cadre. Dans les pays développés, les finalités de l'agriculture ne se résument plus à la recherche d'une production optimisée pour assurer la satisfaction des seuls besoins en nourriture de la population, mais doivent également intégrer d'autres préoccupations, comme la préservation de l'espace rural et du paysage. D'autres fonctions sont également émergentes, telles l'utilisation de la biomasse comme énergie renouvelable (biocarburants, chimie verte, stockage de carbone).

### Quel impact sur le fonctionnement des cultures ?

Avant d'en venir à l'impact du réchauffement climatique proprement dit, il est nécessaire de prendre en

compte un effet spécifique aux couverts végétaux qui concerne la stimulation de la photosynthèse par l'augmentation du gaz carbonique (ou dioxyde de carbone) atmosphérique  $\text{CO}_2$ . Avec l'hypothèse d'un doublement du  $\text{CO}_2$  pour la fin de ce siècle, les travaux permettent de prévoir une stimulation de la photosynthèse de l'ordre de 20 à 30 %, conduisant à une augmentation de l'assimilation nette de l'ordre de 10 à 20 % (en prenant en compte l'augmentation de la respiration liée à l'augmentation de la température). Par ailleurs, il faut s'attendre à une amélioration de l'efficacité de l'eau par suite de la diminution de la conductance stomatique.

En effet, le carbone atmosphérique constitue le composant essentiel du processus de photosynthèse, qui gouverne la croissance des plantes. Un doublement de la teneur en dioxyde de carbone entraîne, en théorie, un accroissement de la photosynthèse (figure 1), une baisse de la transpiration des plantes et, en conséquence, un accroissement de la biomasse produite et des rendements potentiels pour les plantes d'intérêt agricole. L'efficacité de conversion de l'énergie lumineuse en biomasse comme celle de l'eau en sont augmentées, la productivité potentielle des couverts végétaux s'en trouve donc accrue. Cette réponse positive de la photosynthèse à un enrichissement en carbone de l'atmosphère dépend toutefois de différents

facteurs. Le type de métabolisme carboné, la température et la disponibilité en eau interfèrent ainsi avec l'accroissement de la photosynthèse consécutif à une augmentation de la teneur en carbone. Par exemple, alors que les plantes en C3 (ainsi nommées parce qu'elles élaborent des hydrates de carbone ou sucres à base de trois atomes de carbone) comme le riz, le blé, la betterave, les pois, etc., majoritaires dans les zones tempérées, répondent fortement à une augmentation de la teneur en carbone atmosphérique dans la gamme de concentrations considérée, la réponse des plantes en C4 (sucres à base de quatre atomes de carbone) comme le maïs, le sorgho, la canne à sucre, par exemple, à un enrichissement de l'atmosphère, est très faible au-delà de 400 parties par million, niveau proche de la teneur actuelle de l'atmosphère qui avoisine les 380.

Cet effet sur la photosynthèse sera combiné à l'effet propre du réchauffement climatique sur la température en premier lieu, mais également sur les autres facteurs, et la pluie en particulier. Bien que la réponse physiologique des plantes à un enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique et à une augmentation concomitante de la température entraîne, en théorie, une production plus importante de biomasse, les effets sur le rendement des espèces cultivées, à l'échelle du peuplement, risquent d'être beaucoup plus contrastés. Cela est particulièrement vrai pour le

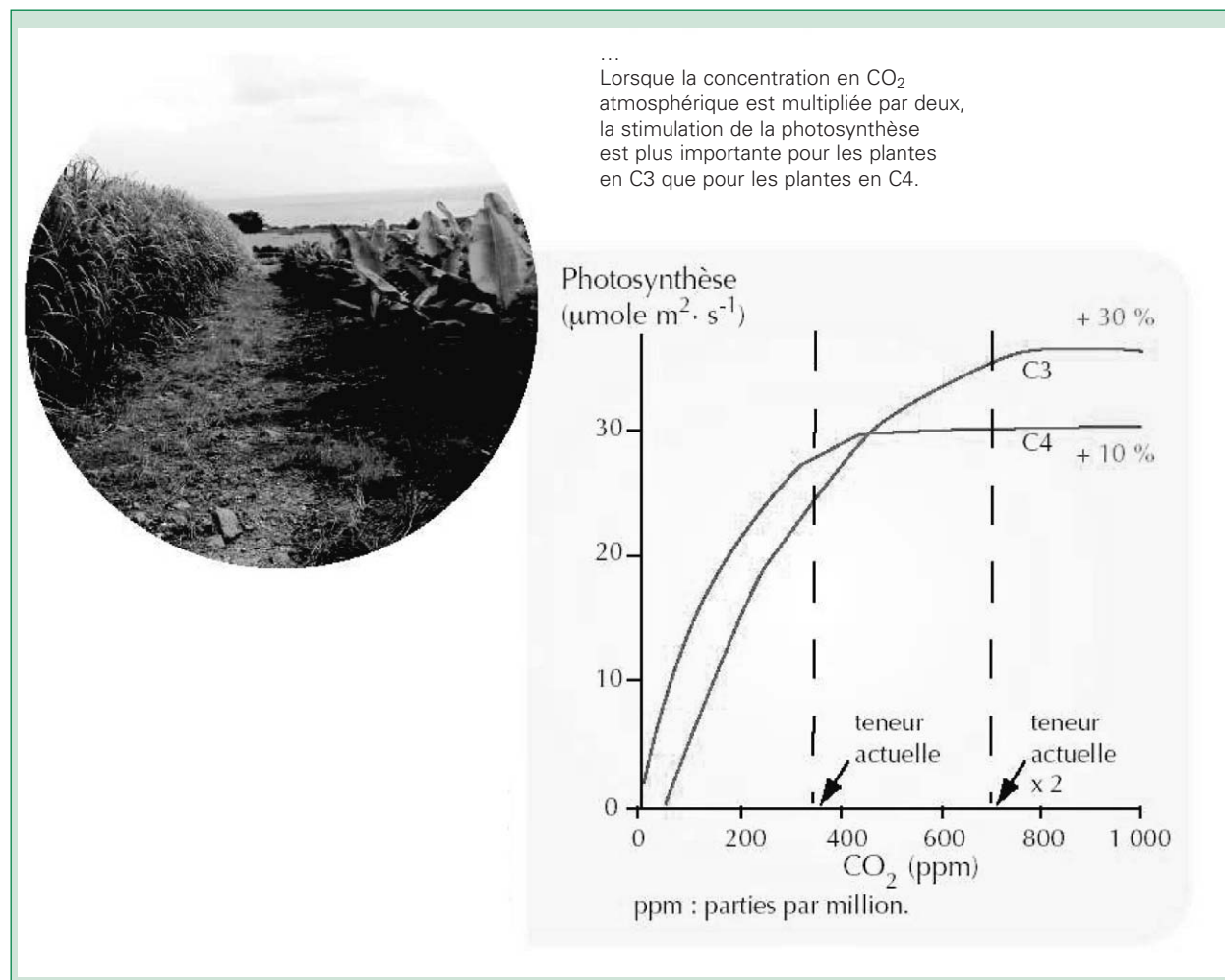


Figure 1. Influence de la concentration en  $\text{CO}_2$  sur la photosynthèse de plantes en C3 et en C4.

Sud, où l'optimum thermique pour la photosynthèse est souvent déjà atteint (par exemple, pour le riz, dont la fertilité des épillets décroît fortement au-delà de 34°C, ou pour le maïs, dont la viabilité du pollen baisse au-delà de 36°C), sinon dépassé, dans certaines conditions. Dans des conditions tempérées, l'augmentation de température peut favoriser la plupart des processus physiologiques. Mais elle aura également un impact négatif pour les plantes à cycle déterminé, comme les cultures annuelles, en accélérant leur rythme de développement et donc en raccourcissant les cycles de culture et, par suite, la durée de fonctionnement de l'usine photosynthétique. A l'inverse, pour les végétations pérennes (arbres fruitiers, vigne), l'avancée des stades de développement au printemps s'accompagne d'un retard dans l'arrêt physiologique à l'automne, et la durée de la saison de végétation devrait s'en trouver augmentée.

Au bout du compte, le bilan de la production de biomasse et, au-delà, son rendement, peuvent être passablement variés.

### Quelles conséquences prévues pour la production agricole ?

Les conséquences du réchauffement pour la production agricole varient beaucoup en fonction du type de couvert et des conditions climatiques associées aux conditions culturales. Mais la tendance générale est claire : si les régions tempérées peuvent s'attendre à des effets tantôt positifs, tantôt négatifs, sur le rendement, le changement climatique aura quasi-systématiquement des effets négatifs dans les zones tropicales !

C'est effectivement ce qui ressort du grand nombre d'études consacrées ces vingt dernières années à la prédiction de l'impact du réchauffement climatique sur l'agriculture à l'échelle mondiale (voir par exemple [2] et [3]). L'analyse des synthèses du 3<sup>e</sup> rapport du Giec/IPCC en 2001 [4] avait fait clairement apparaître une tendance à un effet majoritairement défavorable dans les régions tropicales chaudes, alors que les résultats pour les régions tempérées étaient plus contrastés [5] (figure 2). Elle a été

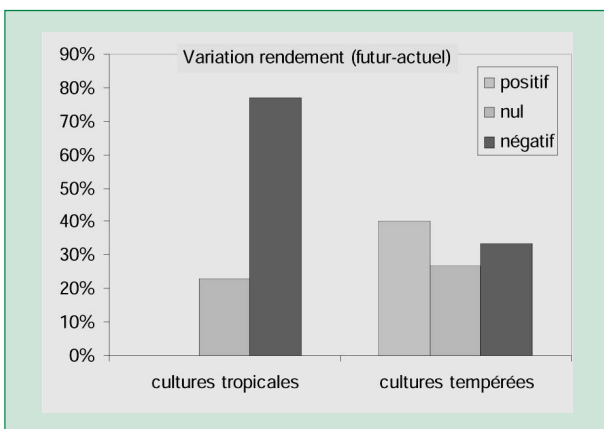


Figure 2. Effet du changement climatique sur le rendement des cultures (à partir de 43 études répertoriées dans le 3<sup>e</sup> rapport de l'IPCC 2001).

clairement confirmée par celle du 4<sup>e</sup> rapport de 2007, dont nous reproduisons ci-dessous les principales conclusions contenues dans le « Résumé à l'intention des décideurs » du Groupe de travail II [6].

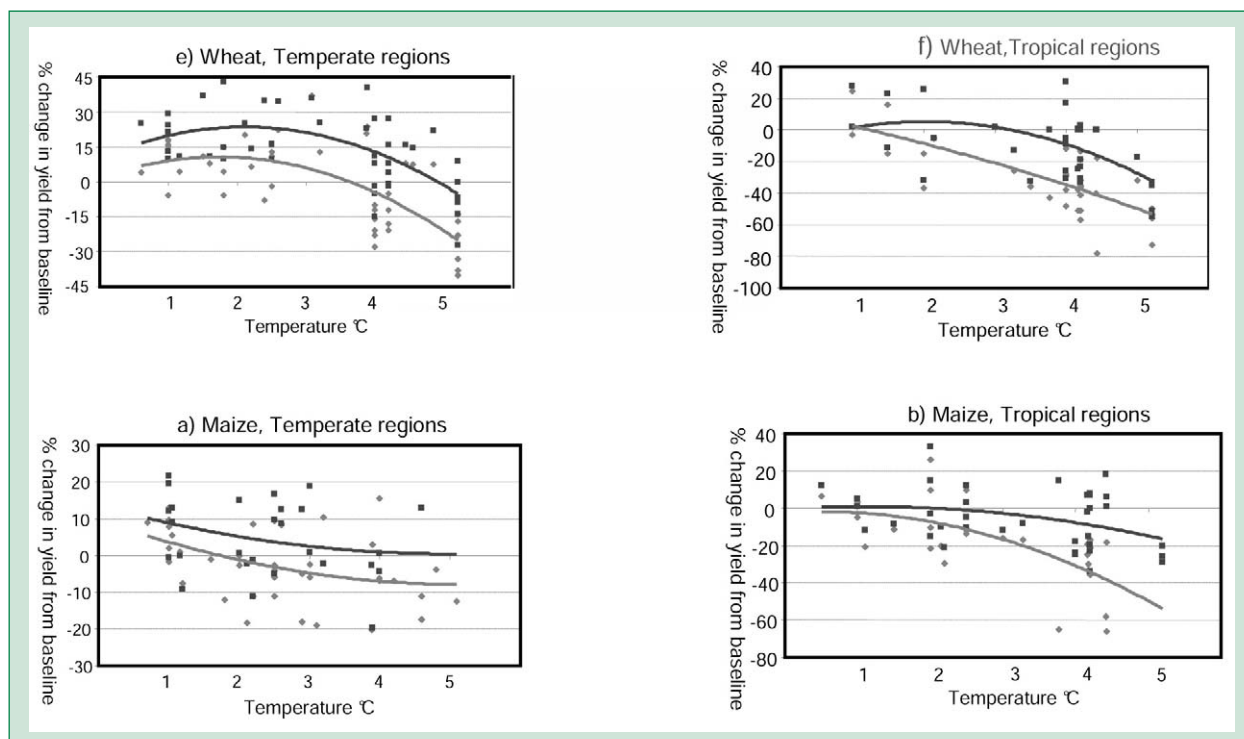
« Les rendements agricoles devraient augmenter légèrement dans les régions de moyenne et haute latitudes pour des augmentations moyennes locales de température allant de 1 à 3°C selon la culture considérée, et devraient diminuer au-delà dans certaines régions. Aux latitudes plus basses, particulièrement dans les régions ayant des saisons sèches et dans les régions tropicales, les projections montrent des rendements agricoles décroissants, même pour de faibles augmentations locales de température (1 à 2°C), ce qui augmenterait les risques de famine. Globalement, le potentiel de production alimentaire devrait croître avec une augmentation de température moyenne locale pour une gamme de 1 à 3°C, mais, au-dessus de ces valeurs, il devrait diminuer. Pour un réchauffement modeste, des adaptations telles que les changements de variétés et des périodes de plantation permettent de maintenir la production de céréales aux moyennes et hautes latitudes à un niveau égal ou supérieur au niveau de base. Les projections des augmentations de la fréquence des sécheresses et des inondations montrent une influence négative sur la production locale, particulièrement dans les secteurs assurant la subsistance aux faibles latitudes ».

La synthèse du chapitre 5 de ce groupe de travail II, illustre bien ces caractéristiques avec les cas du blé et du maïs, analysés séparément pour les zones tempérées et les zones tropicales, et avec indication du potentiel d'adaptation [7] (figure 3).

En milieu tropical, l'absence d'effet réellement positif est lié à la prépondérance des plantes en C4 et à l'impact négatif de l'élévation des températures (raccourcissement du cycle et basculement du fonctionnement photosynthétique vers des gammes thermiques défavorables). La grande variabilité des résultats semble davantage provenir des scénarios climatiques que des modèles de culture : transition ou à l'équilibre (550 ou 750 ppm [CO<sub>2</sub>]), variabilité climatique actuelle du même ordre de grandeur que la perturbation prévue, prise en compte ou non de la dissymétrie de réchauffement entre températures minimale et maximale, résolution spatiale du modèle climatique, prise en compte ou non des effets cumulatifs d'une année sur l'autre pour les scénarios de transition.

Dans ce contexte général, l'agriculture européenne correspond, pour l'essentiel, au cadre géographique des régions tempérées avec, cependant, une différenciation majeure entre les pays plus froids du Nord de l'Europe et ceux plus chauds du Sud, un contraste que reflète clairement le territoire français qui se situe assez bien à la charnière de ces deux grandes zones climatiques.

Pour la France [voir 2 pour plus de détail], deux études illustrent ce problème dans le cas des grandes cultures qui représentent 41 % de la SAU (superficie agricole utile, qui occupe 54 % de la surface totale).



**Figure 3.** Effet du réchauffement sur le rendement du blé et du maïs en zone tempérée (à gauche) et en zone tropicale (à droite), avec indication des effets possibles de l'adaptation (d'après [7]).

Une première étude [8], réalisée avec les modèles de culture Ceres et Stics et les sorties du modèle du LMD (Laboratoire de météorologie dynamique) (hypothèse d'augmentation progressive du CO<sub>2</sub> aboutissant à 708 ppm en 2050) sur des cultures standard comme le blé et le maïs, conclut à des effets légèrement positifs sur le blé (augmentations de rendement de 2,5 % à 5,7 % pour les sites de Versailles, Toulouse et Avignon), et des effets plus variables sur le maïs pluvial (+ 10 % à Versailles, - 16 % à Avignon). Dans tous les cas, l'efficacité de l'eau se trouverait améliorée, avec une réduction simulée de la consommation de 0 à 16 %.

La seconde étude appliquée à la culture du blé dur et réalisée avec le modèle Stics et les sorties du modèle de Météo-France (hypothèse de 610 ppm en 2070) expose les effets antagonistes entre l'augmentation de la photosynthèse et le raccourcissement des cycles, qui aboutissent à une modification des rendements négligeable (voir le tableau 1). A ces effets déjà explicités s'ajoute une composante agricole : une augmentation de production pri-

maire (ou de biomasse végétale aérienne) ne se traduit pas automatiquement sur les rendements car la force de puits carboné des grains (ou l'indice de récolte) est limitée génétiquement. Cette étude repère un effet azote (à fertilisation azotée identique à celle pratiquée actuellement) qui provoque une baisse de la teneur des grains en protéines.

Pour les prairies naturelles, qui occupent 44 % de la SAU française, des études de modélisation de l'écosystème prairial [9], s'appuyant sur des études expérimentales d'enrichissement en CO<sub>2</sub> (sous serre et en enrichissement naturel à l'extérieur), montrent, dans les conditions du Massif Central, une augmentation de la production de biomasse aérienne de l'ordre de 25 % (dont 18 % attribuables au doublement de CO<sub>2</sub>). Ces résultats de modélisation indiquent également un effet positif sur les protéines du foin récolté (+ 11 %) lié à l'augmentation de la minéralisation. Les conséquences sur le système d'élevage sont importantes car cette augmentation de production devrait permettre une augmentation du chargement animal de

	Climat actuel	Climat futur sans effet direct du [CO <sub>2</sub> ]	Climat futur avec effet direct du [CO <sub>2</sub> ]
Floraison	22 mai	11 mai	5 mai
Maturité	13 juillet	30 juin	25 juin
Rendement	83 qx/ha	50 qx/ha	83 qx/ha
Protéines des grains	11 %	13 %	8 %

**Tableau 1.** Résultat de simulations du blé dur à Avignon à partir du modèle de culture Stics et des scénarios actuel et futur (B2 du Giec) du modèle Arpege-Climat (repris d'après [2]).

l'ordre de 20 % ou une augmentation de la saison de pâturage de l'ordre de trois semaines, avec un accroissement de l'ingestion (liée à l'amélioration qualitative) de 7 à 20 % et de 2 à 20 % pour la production de viande. Les résultats expérimentaux révèlent un effet sur la biodiversité qui reste cependant faible ; il concerne essentiellement une augmentation spontanée des légumineuses, fixatrices d'azote, dans la population.

Le changement climatique va donc modifier la donne en créant des conditions, souvent plus favorables, parfois plus défavorables, suivant les productions. *A priori*, les grandes cultures et les prairies devraient être plutôt favorisées, sauf dans le Sud où apparaît le risque de sécheresses accentuées, accompagnées de températures élevées. Pour les arbres fruitiers et la vigne, l'avancée généralisée de la phénologie peut comporter des risques de gel au moment de la floraison, et de qualité moindre en raison d'une précocité des stades sensibles [10] (fig 4).

### 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 illustré 2003, puis 2005 et 2006) ou les fortes pluies (qui affectent l'agriculture par érosion et 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 : 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 ses valeurs élevées : la fréquence des canicules, avec des températures dépassant les 35°C, est prévue comme devant affecter une année sur deux vers 2050, et la tolérance des écosystèmes actuels, qu'ils soient cultivés ou naturels, est bien mal connue [11], [12].

### Le passé récent, préfiguration de l'avenir ?

Comme le climat, et en partie à cause de lui, les écosystèmes terrestres, surtout s'ils sont 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 au réchauffement climatique récent, attesté par le 4<sup>e</sup> rapport du GIEC, n'est pas une question scientifique facile ; d'une part parce que de nombreux facteurs autres que le climat agissent sur les réponses des différents secteurs (en premier lieu les facteurs anthropiques, de l'éco-

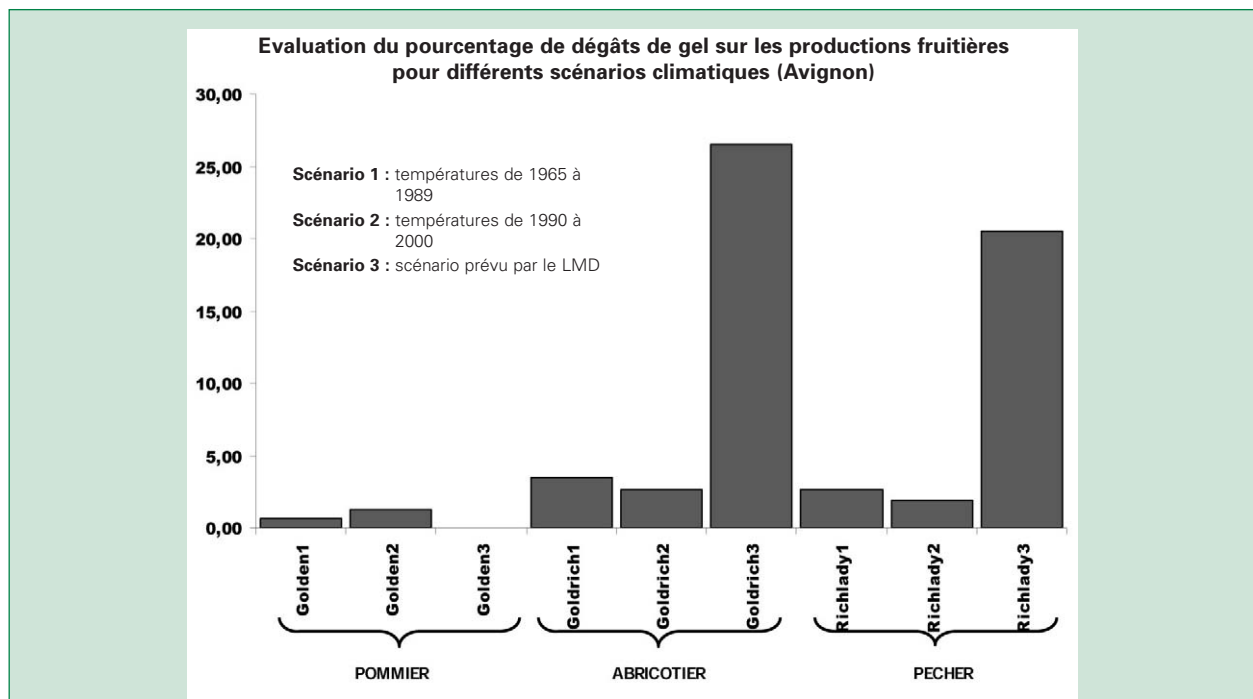
nomie à l'utilisation de la surface ou la modification du type d'occupation, en passant par les pollutions diverses dans l'atmosphère, les eaux et les sols), d'autre part, parce que les impacts éventuels ne se répercutent pas forcément en réponse immédiate au forçage climatique, et qu'un temps de latence, de durée variable, caractérise l'inertie de différents systèmes.

Au niveau global, les impacts observés étaient ainsi pratiquement absents des deux premiers rapports du GIEC/IPCC, et ne sont apparus en tant qu'information significative que dans le 3<sup>e</sup> rapport. L'analyse effectuée alors ne portait que sur les relations avec la température. Les travaux pour la rédaction du 4<sup>e</sup> rapport ont permis d'actualiser ces données globales : sur la période 2000-2005, 156 publications sur les systèmes biologiques terrestres ont été recensées, et 32 sur l'agriculture et la forêt. Les effets observés peuvent se résumer ainsi : 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 et maintenant confirmée par des observations satellitaires.

En dehors de l'avancée systématique des dates de floraison des arbres fruitiers, l'illustration la plus nette en est la viticulture, particulièrement sensible à ce réchauffement : l'ensemble des régions viticoles de ces mêmes zones présente 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.

Au niveau européen, le récent état des lieux effectué par l'Agence européenne de l'environnement [13] retient les tendances constatées sur une sélection d'indicateurs qui recoupe les systèmes et secteurs considérés par le GIEC : augmentation de la saison de végétation de 10 jours entre 1962 et 1995 et de 12 % de la productivité de la végétation, migration de plantes vers le nord et vers le haut (diversité enrichie de l'Europe du Nord-Ouest et en montagne pour 21 des 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 confirmée 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 (une dizaine de jours en trente ans sur des pommiers dans le Sud-Est, figure 4 [14]) ou la date de vendange pour



**Figure 4.** Effet du réchauffement climatique sur les dégâts de gel simulés pour trois productions fruitières (pommier, abricotier, pêcher) sur le site d'Avignon.

la vigne (presque un mois dans la même région au cours des cinquante dernières années [15]).

S'agissant de la vigne, l'augmentation de température moyenne s'est traduite par des conditions globalement plus favorables et une variabilité inter-annuelle moindre 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. Au niveau des insectes, il apparaît encore peu de signes indiscutables que l'on pourrait relier directement au changement climatique dans le strict domaine de l'agriculture ; l'extension, bien documentée, de la chenille processionnaire vers le nord et en altitude concerne le pin et donc la forêt. Seule a pu être observée 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 du phomopsis (champignon racinaire) du tournesol dans le Sud-Ouest, fortement défavorisé par l'augmentation des températures supérieures à 32° C, et pour le moment éradiqué après la canicule de 2003.

Au-delà des bouleversements des systèmes écologiques complexes que représentent les relations entre hôtes et parasites (il est possible que les décalages de cycles en réponse à l'augmentation de température soient significativement différents pour les deux composantes), il faut également prendre en compte la possibilité de mouvements géographiques rapides 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 ani-

mal (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. Quel est le rôle du réchauffement climatique dans cette évolution ? Difficile à dire à l'heure actuelle, mais la question est posée.

### L'adaptation : changer sur place ou se déplacer ?

#### *Changer sur place...*

Les perspectives présentées plus haut ont, pour le moment, surtout considéré les systèmes tels qu'ils sont pratiqués actuellement. Mais, en admettant implicitement leur stabilité géographique, une marge appréciable d'adaptation apparaît possible en mobilisant l'expertise agronomique au sens large pour les adapter aux conditions climatiques modifiées (recours au matériel génétique approprié, mise au point d'itinéraires techniques adaptés, ajustement de la fertilisation et de l'irrigation, etc.). De façon générale, on peut estimer que l'adaptation des grandes cultures pourrait s'effectuer sans trop de problèmes, dans la mesure où les années passées ont montré la capacité des agriculteurs à les faire évoluer rapidement en fonction, en particulier, des contraintes de la Pac. Même chose pour les prairies et l'élevage. Il faut cependant relativiser cette vision optimiste quant à une capacité d'ajustement rapide (quelques années), en soulignant, une fois de plus, les incertitudes actuelles sur la pluviométrie et le bilan hydrique. Pour les cultures pérennes, si

le diagnostic sur l'adaptation des systèmes de culture reste identique dans ses grandes lignes, la capacité d'adaptation paraît moins forte. Elle nécessite de prendre en compte une durée plus longue, de l'ordre de dix à vingt années. D'ores et déjà, pour les arbres fruitiers, devant les évolutions du calendrier phénologique constatées, il faut se préoccuper maintenant du choix du matériel végétal adapté. Quant à la vigne, elle pose des problèmes spécifiques que nous allons évoquer plus loin.

*Se déplacer...*

Au-delà de ce premier niveau, un deuxième niveau d'adaptation doit cependant être envisagé, passant par un déplacement géographique des zones de production ou de plantation. A l'heure actuelle, il n'apparaît pas encore de signe tangible de déplacement géographique des systèmes de production. Et pourtant, le réchauffement observé équivaut, sur le siècle, à un déplacement vers le nord de l'ordre de 180 km ou, en altitude, de l'ordre de 150 m. Ce qui traduit la plasticité déjà évoquée, mais jusqu'où, ou jusqu'à quand ? On peut donc légitimement envisager l'éventualité de la remontée (vers le nord ou en altitude) de certaines cultures, ou l'introduction de nouvelles cultures au sud. Dans le premier cas, à l'échelle de l'Europe, on peut envisager de voir le pois et le colza remonter jusqu'en Scandinavie et Finlande, le maïs-grain (et la vigne !!!) s'étendre vers la Grande-Bretagne, les Pays-bas ou le Danemark, ainsi que vers l'Est (Pologne, etc.), le soja et le tournesol suivre de près cette progression, etc. Pour le sud, s'il ne paraît pas impossible d'envisager techniquement la possibilité d'une extension de l'aire de culture du coton et l'apparition de nouvelles cultures tropicales comme l'arachide, leur opportunité économique apparaît faible actuellement, et c'est plutôt la menace sur la ressource en eau

qui constitue l'élément essentiel : si la tendance des scénarios à une diminution de la pluviométrie estivale (de l'ordre de 20 à 30 %) autour du bassin méditerranéen est confirmée dans le futur, elle pourrait entraîner un abandon de l'agriculture dans certaines zones traditionnelles de culture en sec, et une tension accrue sur l'utilisation de l'eau entre les différents utilisateurs, au détriment de l'irrigation.

Cependant, dans l'hypothèse de déplacements géographiques, la nature du lien avec le caractère local jouera un grand rôle : s'il apparaît possible, *a priori*, de cultiver du blé ou du maïs dans des régions différentes, cela n'irait pas de soi pour les productions plus typées (au premier rang, évidemment, la vigne) dont une grande partie de la valeur ajoutée provient de l'existence d'une zone d'appellation ou d'un terroir. Dans la mesure où la notion de terroir implique une étroite adéquation entre le milieu physique (sol et climat), les variétés (cépages pour la vigne) et les techniques culturales, elle comporte évidemment un risque de fragilité particulière [16]. Par ailleurs, sa période de sensibilité à la température qui détermine la qualité (en général, floraison-maturité) se situe en plein été où le réchauffement prévu est maximum, et l'avancée de ce stade de fin août à mi-juillet accentue encore l'effet à cette période, qui peut atteindre 6 à 8°C pour un réchauffement annuel de 2 à 3°C [17]. Malgré ces interrogations, l'année 2003 a été plutôt rassurante sur ce point : la conjonction de la sécheresse et de la canicule a eu des effets néfastes par certains aspects, mais la vigne a démontré sa capacité d'adaptation à ces conditions exceptionnelles. L'adéquation aux caractéristiques de typicité traditionnelles paraît encore pouvoir être assurée dans un scénario de réchauffement modéré (2 à 3°C), en conjuguant des efforts sur le mode de conduite et le microclimat. Au-delà, s'il atteint 4 à 5°C, la seule issue pour conserver la typicité traditionnelle apparaît, quand

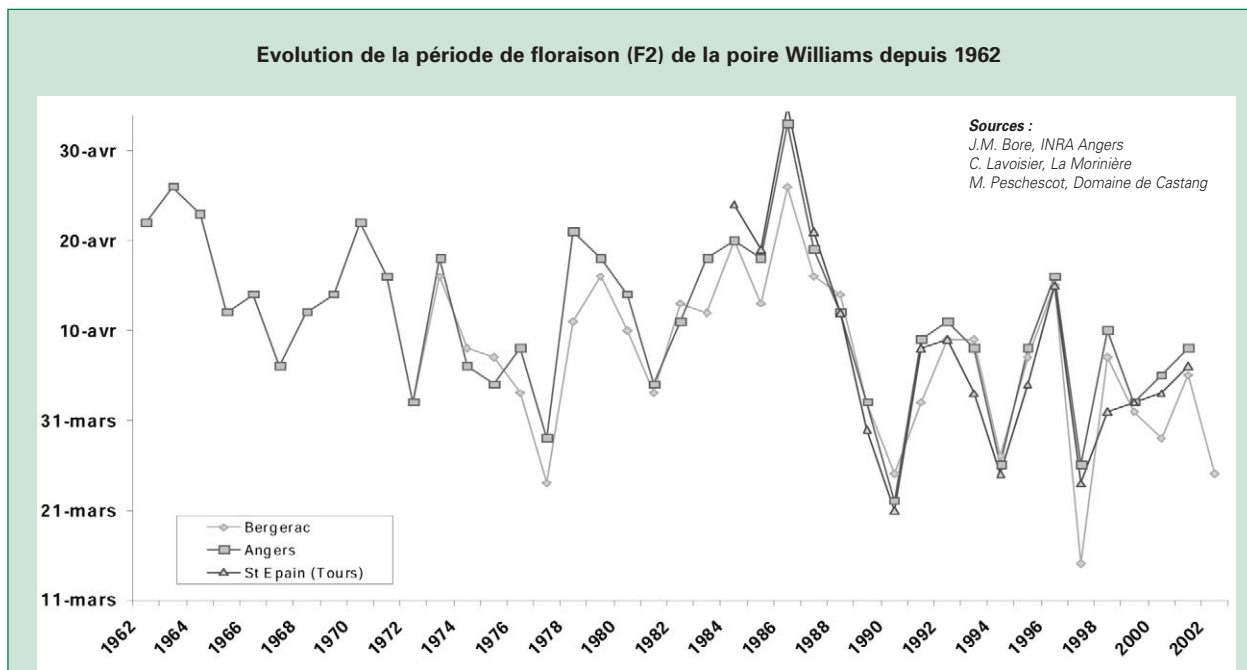


Figure 5. Evolution de la période de floraison de la poire Williams depuis 1962 (à partir de la base de données Phenoclim).

c'est possible, de jouer sur l'altitude et le relief. Autrement, l'évolution vers des cépages plus méridionaux est une solution technique envisageable à long terme pour les terroirs de climat froid tels que le nord de la France ou de l'Italie, ainsi que l'Allemagne), mais non pour les climats chauds du sud. Le problème est identique en Californie, où il a pu être estimé récemment [18] que 75 % du vignoble de haute qualité était menacé, et les viticulteurs d'Australie et d'Afrique du Sud commencent sérieusement à envisager de déplacer les zones de culture.

### Agriculture et réchauffement, un tableau contrasté

Il faudra garder à l'esprit, comme nous l'avons indiqué dans l'avant-propos, que l'impact purement biotechnique que nous venons d'analyser ne sera, au final, qu'un seul des déterminants de cet ensemble en mutation, en interaction avec les autres composantes du changement global et les déterminants socio-économiques.

La grande ligne est celle d'un effet variable suivant les régions et les productions, avec des zones qui peuvent gagner, dans les moyennes et hautes latitudes, à un réchauffement modéré (1 à 3°C), et les pays du sud qui seront vraisemblablement perdants, même dans ce scénario. Si l'adaptation peut permettre de valoriser l'aspect positif dans le premier cas (pour permettre des gains de rendement pouvant aller jusqu'à 10 ou même 20 %) et de limiter les pertes dans le deuxième, la disponibilité de l'eau sera un enjeu majeur dans les zones à climat sec.

Par ailleurs, dans tous les cas, l'hypothèse d'un réchauffement supérieur à 3°C entraîne des chutes sérieuses de rendement des différentes productions, et conduirait à envisager un impact catastrophique au sud et un bouleversement de l'agriculture au nord (l'adaptation par la science agronomique n'étant plus envisageable, la seule voie restant serait celle du déplacement géographique).

### Note

(\*) Unité Agroclim, site Agroparc, domaine Saint-Paul, F-84914 Avignon cedex 9 ; [seguin@avignon.inra.fr](mailto:seguin@avignon.inra.fr)

### Références bibliographiques

- [1] Moisselin, J.M., Schneider, M., Canellas, M, Mestre, C.O. Les changements climatiques en France au XX<sup>e</sup> siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, *La Météorologie*, (2002), 38 : 45-56.
- [2] Rosenzweig C., Hillel D., *Climate change and the global harvest*. Oxford University Press, Oxford (1998).

- [3] Reddy K.R., Hodges R.F., *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing, Wallingford (2000).
- [4] IPCC, *Climate change 2001 : impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the third assessment report of IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge (2001).
- [5] 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 octobre 2004, Editions Odile Jacob (2006), 177-204.
- [6] Giec/IPCC Bilan 2007 des changements climatiques : impacts, adaptation et vulnérabilité. Résumé à l'intention des décideurs, contribution du WG II (2007), version française sur le site web de la Mission interministérielle de l'effet de serre, [www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe\\_de\\_travail\\_ii](http://www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_ii) du giec 2007.
- [7] Easterling et al. Chapter 5 : food, fibre and forest products, IPCC – WG II 4th report (2007), 66 pp.
- [8] Delecolle R., Soussana J.F., Legros J.P., *Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française*, CR Acad. Agric. Fr., 85 (1999) 45-51.
- [9] Soussana J.F., Changement climatique. Impacts possibles sur l'agriculture et adaptations possibles, in : *Demeter*, Armand Colin, Paris (2001), 195-222.
- [10] 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* (2004), 578, 27-33.
- [11] Planton S., Changements climatiques futurs en France, in « *Impacts climatiques en France* », brochure éditée par Greenpeace (2005), 1.5., 48-54, aussi accessible par le site web [www.impactsclimatiquesenfrance.fr](http://www.impactsclimatiquesenfrance.fr).
- [12] Seguin B. Impacts sur l'agriculture, in « *Impacts climatiques en France* », brochure éditée par Greenpeace (2005), 2.6, 99-107, aussi accessible par le site web [www.impactsclimatiquesenfrance.fr](http://www.impactsclimatiquesenfrance.fr).
- [13] EEA (2004) *Impacts of Europe changing climate. An indicator-based assessment*, EEArep2/2004, 107 pp.
- [14] Seguin B., Domergue M., Garcia de Cortazar I., Brisson N., Ripoché D. Le réchauffement climatique récent : impact sur les arbres fruitiers et la vigne. *Lettre pigb-pmrc France Changement global* (2004), n° 16, 50-54.
- [15] Ganichot B., Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales. *Actes des 6<sup>e</sup> Rencontres rhodaniennes*. Institut rhodanien. Orange, France (2002), 38-41.
- [16] Seguin B., Garcia de Cortazar I., Climate warming : consequences for viticulture and the notion of terroirs in Europe. *Acta Horticulturae* (2005), 689, 61-71.
- [17] Garcia de Cortazar I. *Adaptation du modèle STICS à la vigne. Utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique à l'échelle de la France*. Thèse de doctorat de l'Ensa Montpellier (2006), 292 p.
- [18] White M.A., Diffenbaugh N.S., Jones G.W., Pal J.S., Giorgi F. Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21<sup>st</sup> century, *PNAS* (2006), 103, 11217-11222.