

1.3. Evolutions climatiques et économiques : enjeux et questions

Les chapitres 1.1. et 1.2. ont permis d'établir un état des lieux. Pour aborder le point central de l'élaboration des stratégies d'adaptation, il convient de se projeter dans le futur proche (de l'ordre de 10 à 20 ans à venir) en analysant les principaux déterminants qui vont encadrer les évolutions de l'agriculture à cette échéance, à savoir d'un côté le cadre du milieu physique par le biais du changement climatique, et de l'autre le cadre socio-économique qui fait intervenir à la fois le futur de la PAC et la tension accrue sur la ressource en eau.

1.3.1. Le changement climatique

Bernard Seguin (INRA, Avignon), **Emmanuel Cloppet** (Météo-France, Toulouse)

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1.1., les interrogations sur les variations en fréquence et en intensité de la sécheresse sont au cœur du débat. De façon générale, les questions sur la stabilité du climat, au-delà de sa variabilité que l'on pourrait qualifier de naturelle, ne datent pas d'aujourd'hui, et les progrès des sciences ont permis progressivement d'en reconstituer l'histoire marquée par des fluctuations de grande ampleur (Acot, 2003). Pour en rester à l'épisode le plus récent (l'holocène) qui a suivi la dernière grande glaciation, il s'est traduit par un retour à des conditions moins froides, en gros supérieures de 4 à 5°C en température moyenne globale, qui sont restées globalement stables (dans une fourchette de 1 à 2°C) depuis environ 12 000 ans. Et ceci malgré des fluctuations locales assez rapides (jusqu'à 10°C en une centaine d'années, découverte récente à partir d'analyses de sédiments) ou des variations plus globales correspondant, de manière schématique et pour l'Europe, aux périodes de l'optimum médiéval des X^e au XIII^e siècle ou du petit âge glaciaire allant du XIV^e au XVIII^e, bien mises en évidence par les historiens à partir de l'analyse des séries historiques d'avancée des glaciers ou de dates de ban de vendange (Le Roy Ladurie, 1983). Dans les années 1970, le climat apparaissait globalement stable, à condition que l'on élimine les fluctuations inter-annuelles par la prise en compte d'une durée minimale de 30 années, suivant les normes fixées par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Et les projections futures pariaient sur un retour inéluctable à des conditions glaciaires... dans 10 ou 20 000 ans. C'est alors que sont apparues les interrogations sur l'accroissement de l'effet de serre par l'action de l'homme et ses conséquences sur un réchauffement du climat, du coup tout aussi inéluctable, avec des ordres de grandeur de la même ampleur (de l'ordre de 4 à 5°C), mais cette fois à l'échéance du siècle à venir.

1.3.1.1. Le contexte de l'effet de serre et de son renforcement anthropique

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°C. C'est l'observation, au début des années 70, 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 CO₂, dont le niveau actuel avoisine les 370 ppm (parties par million), contre 260 à l'époque préindustrielle, et qui devrait atteindre de 450 à 1 000 ppm à la fin du siècle, suivant l'évolution des politiques énergétiques. Depuis la prise de conscience de cette 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 à la fois affinées et affermies, au travers des rapports successifs du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat, GIEC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC en anglais).

Les interrogations sur l'influence possible des activités humaines sur le climat de la planète sont apparues dans les années 1970, en lien avec les observations sur l'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone CO₂, dont le niveau actuel dépasse les 370 ppm, contre 260 à l'époque préindustrielle.

Le renforcement anthropique de l'effet de serre (d'après Dupouey et al., 2005)

On sait que l'effet de serre naturel est dû à la propriété de certains gaz de l'atmosphère (dont les molécules contiennent au moins trois atomes) d'absorber le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre, et de le renvoyer vers cette surface, entraînant son réchauffement. La différence entre ce rayonnement émis par la surface (390 W.m⁻² en moyenne) et le rayonnement émis par la Terre vers l'espace (240 W.m⁻²) représente le forçage radiatif (150 W.m⁻²) lié à l'effet de serre naturel de l'atmosphère. Ce forçage est augmenté par l'accroissement des concentrations en gaz à effet de serre provoqué par les activités humaines, qui augmente l'opacité de l'atmosphère au rayonnement infrarouge. On a pu ainsi calculer qu'un doublement de concentration du seul CO₂ par rapport à sa concentration préindustrielle entraînait un forçage additionnel de 4 W.m⁻² environ. Depuis 1750, la concentration atmosphérique de gaz carbonique (CO₂) s'est accrue d'un tiers. La concentration actuelle n'a jamais été dépassée depuis 420 000 ans, comme l'indique l'analyse de bulles d'air piégées dans les glaces polaires. Le taux d'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère a atteint 0,4% par an durant les deux dernières décennies. Ce taux n'a jamais été aussi élevé depuis au moins 20 000 ans (IPCC, 2001). L'accroissement de 30% de la concentration en CO₂ pendant les cent dernières années résulte de la combustion de combustibles fossiles et des changements d'utilisation des terres, notamment la déforestation.

Outre le dioxyde de carbone, appelé communément gaz carbonique, d'autres gaz, présents naturellement à l'état de traces, comme le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O) s'accumulent dans l'atmosphère. Les sources de méthane sont à la fois naturelles (agriculture, rizières, zones humides, feux de biomasse) et industrielles (gaz naturel, charbon). Quant au protoxyde d'azote, s'il est émis en partie par l'industrie, ce sont les sols agricoles et les décharges qui sont responsables de la majorité des émissions en France.

Les capacités de réchauffement de l'atmosphère par ces gaz sont caractérisées par 2 indicateurs :

- le coefficient de forçage radiatif additionnel (en W.m⁻²), qui traduit la relation entre l'énergie reçue et l'augmentation de température qu'elle engendre dans le système surface terrestre - troposphère, selon la définition spécifique qui en a été donnée par l'IPCC (Tegart et al., 1990 ; Houghton et al., 1992) ;
- le potentiel de réchauffement global (PRG), un indicateur qui intègre à la fois les propriétés de forçage radiatif des composés actifs et leur durée de vie dans l'atmosphère. Il a été défini comme le rapport entre le forçage radiatif intégré dans le temps consécutif à l'émission instantanée d'un kg de substance trace dans l'atmosphère et le forçage radiatif correspondant lié à l'émission d'une quantité équivalente du gaz de référence, à savoir le CO₂ (Tegart et al., 1990). Cet indicateur permet ainsi d'établir des équivalences entre les gaz impliqués dans l'effet de serre sur une période de temps choisie et de les convertir en équivalents CO₂.

L'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (Tableau 1) mélangés de façon homogène à la troposphère est maintenant admise comme la première cause du réchauffement (IPCC, 2001). Même si les travaux récents font intervenir un effet complémentaire de l'ozone et des aérosols ou du volcanisme et des modifications de l'énergie solaire absorbée par la surface terrestre par suite des modifications de l'occupation du sol dans la modélisation du climat, leur effet reste dominant. Au niveau global, leur part respective dans le renforcement anthropique de l'effet de serre reste proche des estimations de l'IPCC (2001) traduites dans la figure 1, à savoir environ 60% pour le dioxyde de carbone, 20% pour le méthane et 6% pour l'oxyde nitreux. Il faut noter qu'au niveau de la France, les estimations du CITEPA pour la même période faisaient apparaître des parts respectives assez différentes, car, si le premier reste largement majoritaire en s'approchant des 70%, c'est l'oxyde nitreux qui se trouve au deuxième rang avec presque 16% (essentiellement du fait des émissions en agriculture), le méthane n'intervenant que pour 12%.

Tableau 1. Concentration des principaux GES anthropiques mélangés de façon homogène à la troposphère et évaluation de leur contribution respective au forçage radiatif (d'après IPCC, 2001).

Gaz trace	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	CFC-12	HCFC-22	CF ₄
Concentration pré-industrielle*	280 ppmv	700 ppbv	275 ppbv	0	0	0	40 pptv
Concentration en 1998*	365 ppmv	1745 ppbv	314 ppbv	268 pptv	533 pptv	132 pptv	80 pptv
Augmentation annuelle*	1,5 ppmv/an 0,4%/an	7 ppbv/an 0,6%/an	0,8 ppbv/an 0,25%/an	-1,4 pptv/an 0%/an	4,4 pptv/an 1,4%/an	5 pptv/an 5%/an	1 pptv/an 2%/an
Durée de vie (années)	50 à 200	8,4 à 12	114 à 120	45	100	12	>50 000
Contribution au forçage radiatif							
(W.m ⁻²)	1,46	0,48	0,15	0,07	0,17	0,03	0,003
(%)	60	20	6,2	2,9	7,0	1,2	0,1
Potentiel de réchauffement global							
	1	62	275	6300	10200	4800	3900

* ppmv : partie par million en volume (10⁻⁶) ; ppbv : partie par milliard en volume (10⁻⁹) ; pptv : partie par trillion en volume (10⁻¹²).

La contribution au forçage radiatif est calculée depuis l'ère préindustrielle (1750) jusqu'à l'époque actuelle (fin des années 1990). Le potentiel de réchauffement global (PRG) est calculé pour un horizon de 20 ans en équivalents massiques CO₂. Par exemple, une tonne de CH₄ aura, à cet horizon, 62 fois le PRG d'une tonne de CO₂.

Importance relative des différents gaz dans l'effet de serre additionnel

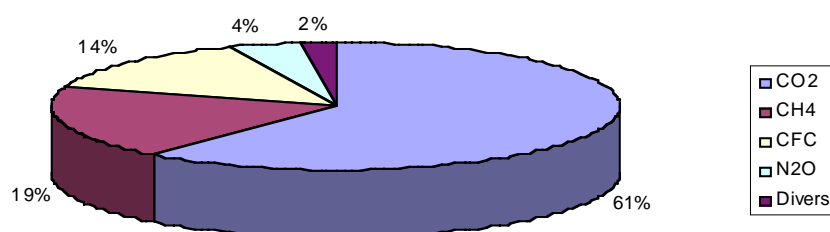


Figure 1. Contribution relative des différents GES dans l'effet de serre à l'échelle globale de 1850 à 2000 (d'après Joussaume, 1999)

Depuis 1750, la concentration atmosphérique de gaz carbonique (CO₂) s'est accrue d'un tiers. D'autres gaz, présents naturellement à l'état de traces, comme le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O), s'accroissent également dans l'atmosphère et contribuent donc au renforcement de l'effet de serre naturel. Pour la fin du siècle, les modèles prévoient des concentrations atmosphériques en CO₂ situées entre 540 et 970 ppm.

1.3.1.2. Le changement climatique : les prédictions pour le futur

A la fin du siècle, les modèles prévoient des concentrations atmosphériques en CO₂ situées entre 540 et 970 ppm, à comparer avec une concentration avant la révolution industrielle de 280 ppm et avec une concentration actuelle d'environ 367 ppm. L'accroissement moyen de la température de surface est estimé devoir être de 1,5 à 6°C de 1990 à 2100. 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. Une élévation du niveau des mers de 0,14 à 0,80 m est prévue de 1990 à 2100, ce qui est deux à quatre fois le taux observé pendant le XX^e siècle. En revanche, une perte majeure de glace de l'Antarctique et une élévation accélérée du niveau des mers sont maintenant jugées comme très peu probables au XXI^e siècle.

Une comparaison des scénarios les plus récents d'évolution de la pluviométrie saisonnière dans 32 régions du monde faite par le groupe II de l'IPCC 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 de l'IPCC concernant les tendances observées et prévues pour différents événements climatiques extrêmes peuvent être classées selon leur niveau de probabilité. 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 chaleur 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.

Au niveau de la France, les tendances principales peuvent être brièvement résumées dans le tableau 2 (d'après Planton, 2005), et illustrées par la figure 2.

Il résulte de ces sorties une tendance claire, d'une part à un réchauffement moyen, d'autre part, à une réduction de la pluviométrie, en particulier en été et dans la partie sud du territoire.

Tableau 2. Valeurs typiques de changements climatiques moyennés sur la France entre la période 2070-2099 et la période 1960-1989 (Simulations climatiques Météo-France et IPSL)

	Températures			Précipitations		
	Année	Hiver	Eté	Année	Hiver	Eté
Scénario B2	+2 à +2,5°	+1,5 à +2°	+2,5 à +3,5°	-5 à 0%	0 à +10%	-25 à -5%
Scénario A2	+3 à +3,5°	+2,5 à +3°	+4 à +5°	-10 à 0%	+5 à +20%	-35 à -20%

L'accroissement moyen de la température de surface est estimé devoir être de 1,5 à 6°C de 1990 à 2100. 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. Les prédictions sur la pluviométrie sont un peu plus incertaines, compte tenu de la complexité du cycle de l'eau, mais elles font état en général d'une légère augmentation de la pluviométrie, avec une tendance à la diminution de la pluviométrie estivale dans les zones tempérées de moyenne latitude, qui serait plus marquée autour du pourtour méditerranéen. Par ailleurs, en dehors de ces variations de climat moyen, il est vraisemblable que le changement climatique s'accompagne d'un accroissement de la variabilité et des extrêmes.

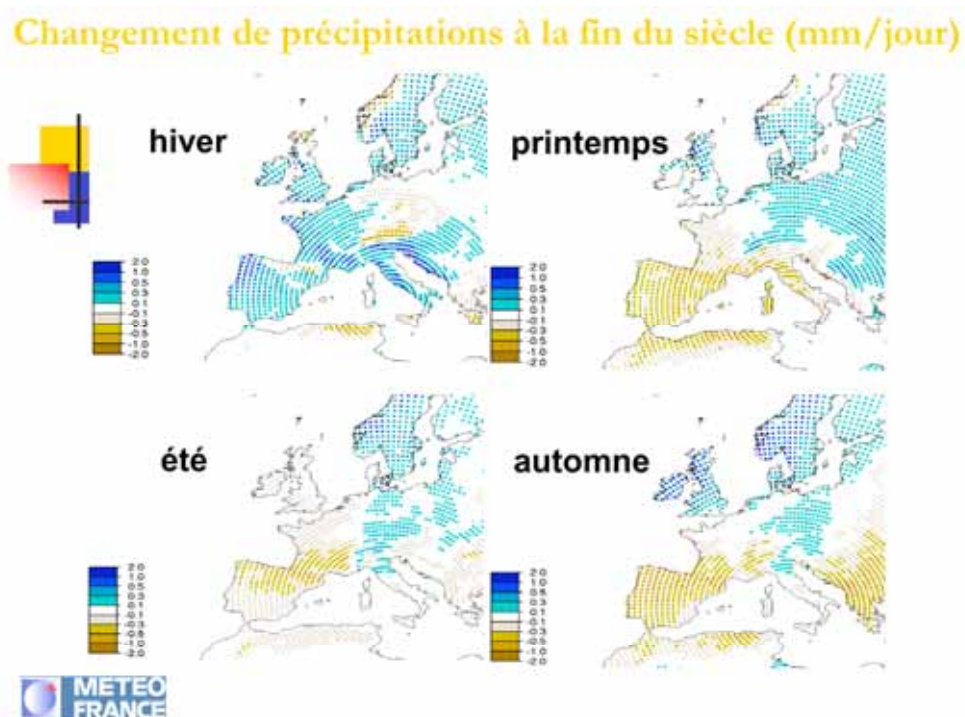
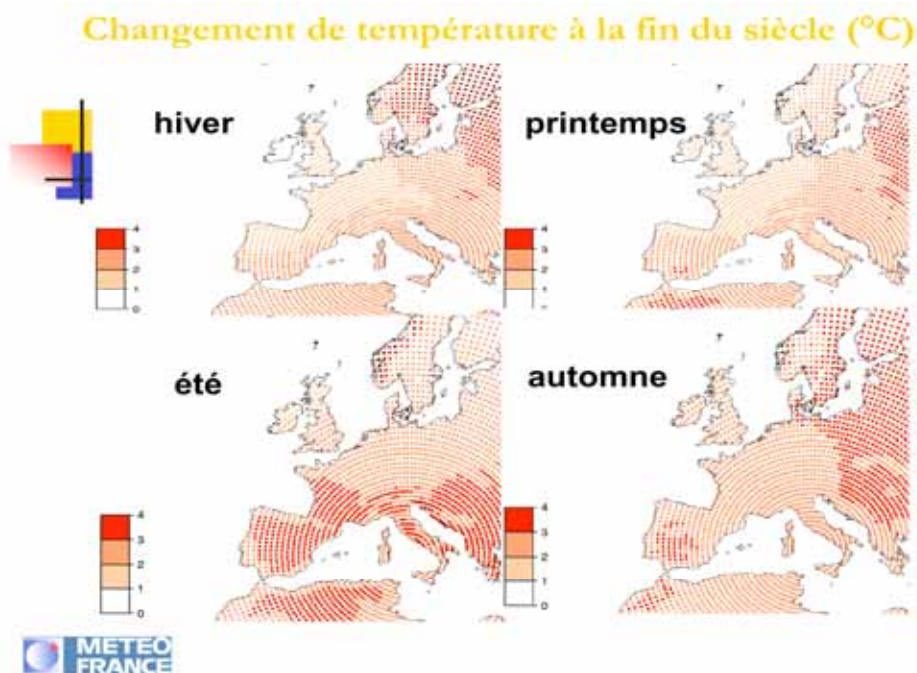


Figure 2. Sorties régionalisées des scénarios 2070 B2 du CNRM (Perarnaud et al., 2005)

1.3.1.3. Le changement climatique : les impacts sur la production végétale

La traduction de ces scénarios climatiques en termes d'impact sur l'agriculture a fait l'objet, pour la France, de travaux combinant expérimentation et modélisation des cultures (Delecote et al., 1999 ; Soussana, 2001). Un bilan actualisé de ces travaux a été récemment établi (Seguin et al., 2005), et nous en présentons ci-après les grandes lignes.

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 CO₂. Avec l'hypothèse d'un doublement du CO₂ 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 résultante de l'assimilation nette de l'ordre de 10 à 20% (en prenant en compte l'augmentation de la respiration liée à l'effet de 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.

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, en particulier la pluie. 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 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 les conditions tempérées, l'augmentation de température peut favoriser la plupart des processus physiologiques, mais elle aura également un impact négatif sur les cultures telles que pratiquées actuellement 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. Au bout du compte, le bilan résultant en la production de biomasse peut prendre des aspects variés, en fonction du type de couvert et des conditions climatiques associées aux conditions culturales pour les plantes cultivées (Figure 3).

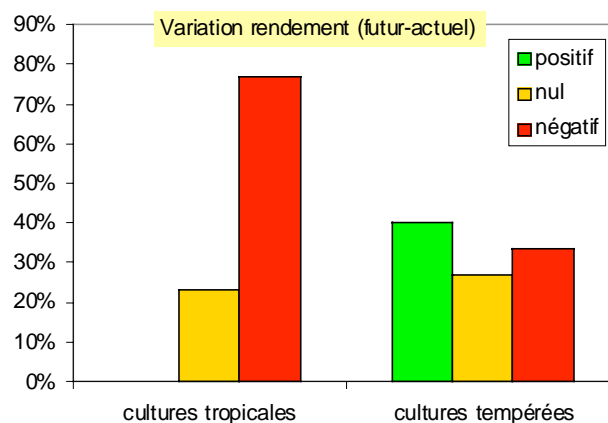


Figure 3. Effet du changement climatique sur le rendement des cultures, à partir de 43 études répertoriées dans le 3^e rapport de l'IPCC (d'après Seguin et al., 2005)

Au niveau des **grandes cultures**, les résultats des simulations effectuées avec les modèles de culture sur le blé et le maïs 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).

Au niveau des **prairies** (Soussana et al., 2002), 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). En termes de système d'élevage, la valorisation de cette augmentation de production devrait permettre une augmentation du chargement animal (en gros de 20%) ou une augmentation de la saison de pâturage de l'ordre de trois semaines, avec un accroissement de l'ingestion de 7 à 20% et de 2 à 20% pour la production de viande.

En ce qui concerne les **cultures pérennes** (arbres fruitiers et vigne), 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, 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 décalée d'après le 15 août à courant juillet, avec des conséquences certaines sur la qualité de la vendange, plus chargée en sucre (et donc en degré alcoolique) et moins chargée en acide.

Il faut relativiser la portée de ces prévisions en notant que la disponibilité de l'eau peut devenir un facteur limitant prédominant, susceptible de fortement handicaper les cultures en cas de sécheresse forte et récurrente comme le montre l'expérience des années récentes, en particulier bien sûr 2003. Par ailleurs, 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, par le dépassement de valeurs-seuils encore mal cernées. Enfin, il faudrait considérer l'impact sur les adventices (mauvaises herbes), les insectes et les maladies cryptogamiques, encore mal cerné à l'heure actuelle. Il a ainsi pu être constaté que, dans certains cas, le carpocapse des pommes est passé, dans le midi, de deux à trois cycles par an. A l'inverse, le phoma du tournesol a été sans doute limité ces dernières années dans le Sud-Ouest par les fortes températures, et pratiquement éradiqué pour le moment par la sécheresse 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 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. Des recherches sont en cours pour établir, par exemple, le rôle du réchauffement sur l'apparition dans les serres du Sud d'une aleurode (*Bemisia tabacci*).

Au niveau des impacts, le changement climatique va modifier la donne en créant des conditions, souvent plus favorables, parfois plus défavorables suivant les productions. L'augmentation du CO₂ va potentiellement stimuler la photosynthèse des couverts végétaux et créer des conditions permettant d'augmenter la production de biomasse de l'ordre de 20%. 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 poser des problèmes de risque de gel au moment de la floraison, et de qualité par avancée des stades sensibles. Une adaptation locale basée sur les composantes techniques (choix des variétés, pratiques culturales), qui a fait ses preuves dans le passé, paraît en mesure d'amplifier les effets positifs et de limiter les effets négatifs, sous réserve que l'eau soit disponible pour l'irrigation. Un déplacement géographique vers le nord est à anticiper, mais il n'est pas directement envisageable pour les productions liées au terroir, comme le sont les AOC.

Adaptations de l'agriculture

S'adapter 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 résultant de la

PAC. Il en est de même pour les prairies et l'élevage. Il faut cependant relativiser cette vision optimiste sur une capacité d'ajustement rapide (en 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 phénologiques constatées, il faut se préoccuper maintenant du choix du matériel végétal adapté. Quant à la vigne, elle pose des problèmes spécifiques, à cause du lien au terroir, qui seront abordés dans le paragraphe suivant.

Ou se déplacer... Au-delà de ce premier niveau, il doit être envisagé un second niveau d'adaptation, 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.

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 desquelles figure 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 implique évidemment un risque de fragilité particulière par rapport à une évolution du climat. Les AOC ne se délocalisent pas ! L'année 2003 a été plutôt rassurante sur ce point : même s'il est encore trop tôt pour en connaître le millésime, et si la conjonction de la sécheresse et de la canicule a eu des effets néfastes par certains aspects, la vigne a démontré une capacité certaine d'adaptation à ces conditions exceptionnelles.

1.3.1.4. Le changement climatique : les évolutions récentes à l'échelle globale

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 (voir le dernier rapport de l'IPCC en 2001, repris par 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 XX^e siècle est probablement le plus important de ceux constatés depuis les dernières mille années, et la dernière décennie est 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 1961-90), avec la seule année 1996 remplacée par 1990 dans ce classement (Jones et Moberg, 2003 ; figure 4). 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.

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.

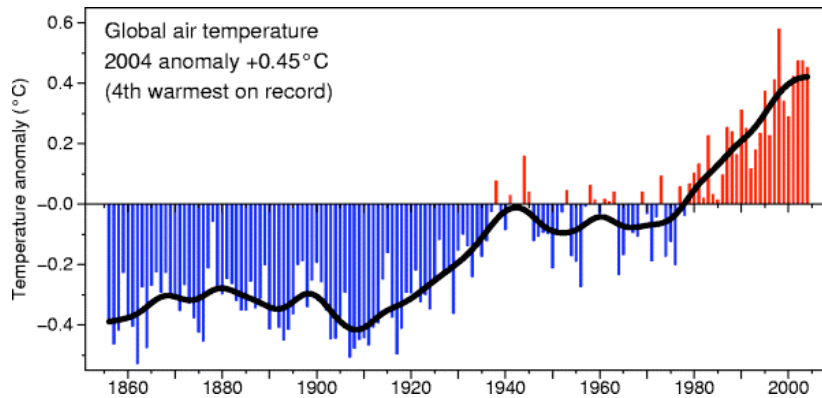


Figure 4. Evolution de la température de l'air depuis 1860
(site <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>).

- 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. En 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, en grande partie sur les vingt dernières années ; Giannakopoulos et al., 2005).

- 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 pour une augmentation sur les 15 dernières années (Wild et al., 2005).

Ces évolutions des facteurs climatiques s'accompagnent d'observations sur les évolutions 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 XX^e siècle. Il y a eu un retrait général des glaciers de montagne dans les régions non polaires durant le XX^e 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 XX^e siècle. Ce rythme de variation du niveau d'élévation des mers a été environ dix fois plus important que pendant les derniers 3 000 ans.

Pour le territoire français, ces grandes lignes se retrouvent, avec des nuances (Moisselin et al., 2002). Pour la température (Figure 5), on observe 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.

Pour les pluies, en reprenant le texte de Moisselin et al. (2002), les séries homogénéisées de précipitations dessinent une pluviométrie plutôt en hausse sur le XX^e 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 précipitations 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.

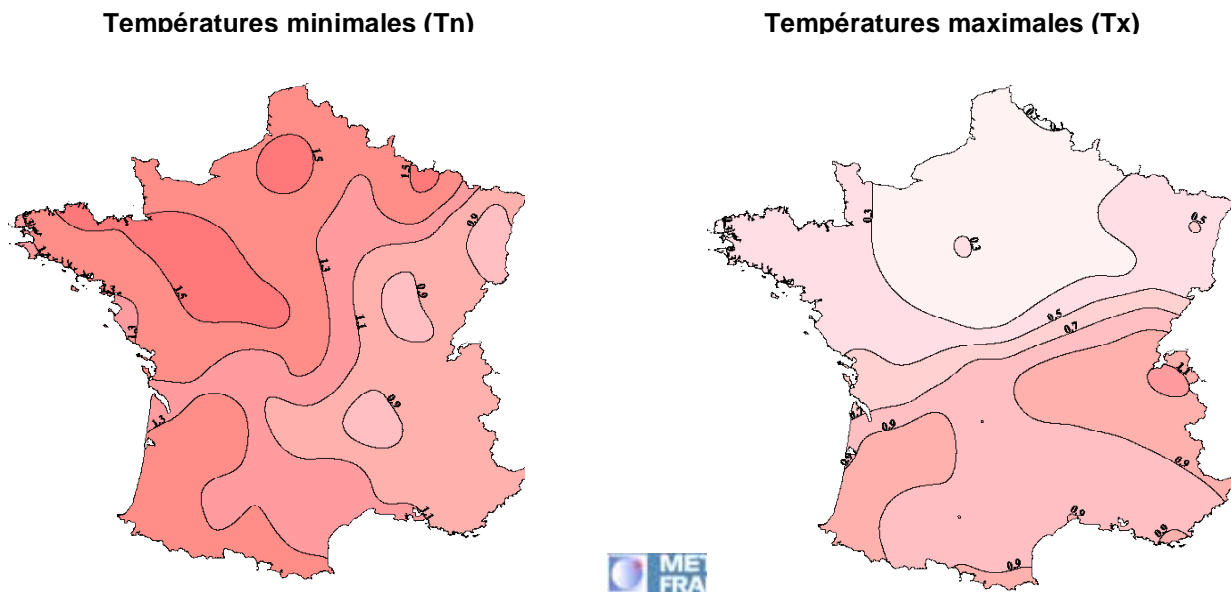


Figure 5. Augmentation des températures minimales et maximales en France au cours du XX^e siècle (d'après Moisselin et al., 2002)

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 al., 2003).

Quant aux événements 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 décembre 1999, 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. Et ceci, malgré l'impact de plus en plus marqué, en particulier pour les compagnies d'assurance, dû pour partie à une amplification par les évolutions des modes d'occupation des sols et des modes de vie en général.

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 XX^e siècle a probablement été le siècle le plus chaud depuis 1 000 ans et la décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important de ce siècle. Ces 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.

1.3.1.5. 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 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 des espèces, 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 Etats-Unis.

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 cette période, 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 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, voir figure 6), 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 culturelles, 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 ; Seguin et al., 2004) ou la date de vendange pour la vigne (presque un mois dans la même région au cours des cinquante dernières années ; Ganichot, 2002).

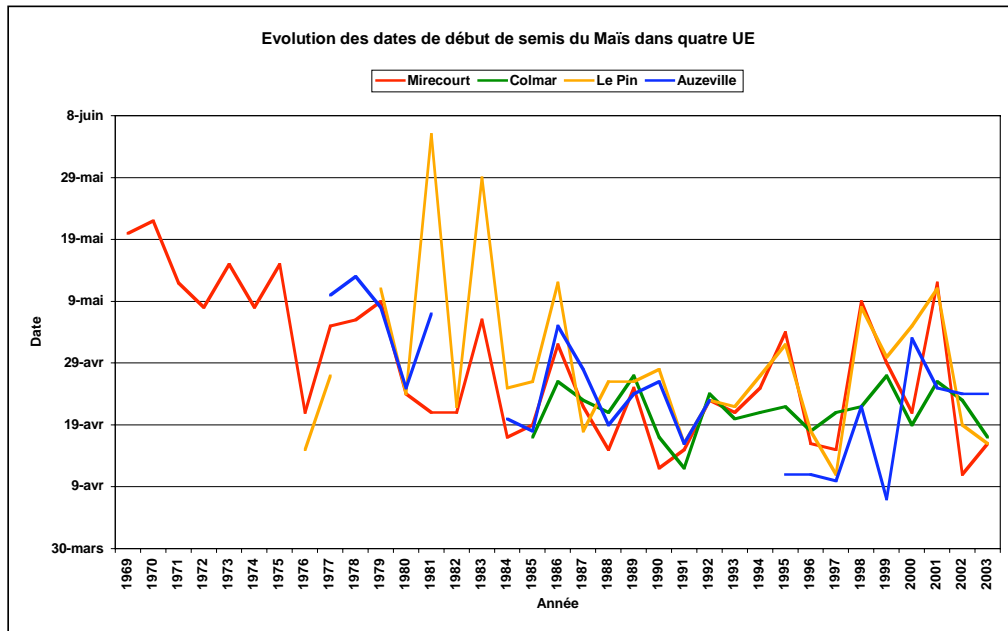


Figure 6. Evolution de la date de semis du maïs sur quatre domaines expérimentaux de l'INRA (d'après Benoit et de la Torre, 2004)

Pour la vigne, l'augmentation de température moyenne s'est traduite par des conditions globalement plus favorables et avec moins de variabilité inter-annuelle 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, qui ont par ailleurs notablement augmenté leur productivité 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.

Au niveau des **insectes et maladies**, il apparaît encore peu de signes indiscutables que l'on pourrait relier directement au changement climatique : extension vers le nord et en altitude de la chenille processionnaire du pin et observations sur le cycle du carpocapse qui a vu l'apparition d'une troisième génération ; 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 l'essentiel, des travaux de l'INRA dans les domaines de l'agriculture et de la forêt. 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).

La confrontation des prédictions issues des scénarios climatiques et des observations récentes renforce de plus en plus notablement la conviction sur l'attribution de ces changements, au-delà des facteurs naturels, à l'accroissement de l'effet de serre par l'action anthropique. Par ailleurs, même s'il est généralement très délicat d'isoler l'action éventuelle du réchauffement climatique de celui d'un grand nombre d'autres facteurs, les impacts déjà observés sur les écosystèmes, en particulier au niveau de leur phénologie mais aussi, dans certains cas, de leur productivité, 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.

1.3.1.6. Réchauffement climatique et ressources en eau

Il paraît donc souhaitable, à l'heure actuelle, de considérer l'hypothèse à l'avenir de sécheresses plus fréquentes et plus marquées, en particulier dans la région Sud de la France. S'il est possible, à partir de scénarios climatiques illustrés dans la figure 2 d'identifier les grandes lignes des impacts du réchauffement climatique sur l'agriculture et la forêt en France (Seguin et al., 2005), ceux-ci prennent surtout en compte une évolution moyenne du climat et ne peuvent pas encore intégrer correctement l'évolution des risques liés aux événements extrêmes tels que les sécheresses.

A l'échelon international, des études existent, telles que celles aux Etats-Unis de Brunbelow et Georgakak (2001) et de Thomson et al. (2005) (qui montrent des risques de réduction significative, plus de 50%, dans les régions semi-arides du Midwest et du Sud-Ouest, avec de plus un accroissement de la variabilité inter-annuelle) ou pour un grand nombre de régions agricoles mondiales en Argentine, Brésil, Chine, Hongrie, Roumanie et Etats-Unis par Rosenzweig et al. (2004) qui concluent à un effet peu significatif pour le maintien de l'irrigation dans les superficies actuelles, mais par contre à une impossibilité d'augmenter les superficies irriguées, sauf pour le cas du Brésil.

Par contre, au niveau national, si des travaux ont permis d'évaluer les conséquences du réchauffement climatique sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants du Rhône et de la Seine dans le cadre du programme GICC, il n'apparaît pas encore d'évaluation précise sur les ressources en eau disponibles pour l'agriculture. L'étude préliminaire de Bouraoui et al. (1997) sur le site de la Côte Saint-André dans l'Isère avait bien conclu en 1997 à une augmentation très forte de l'ETP, qui passerait en valeur annuelle de 850 à 1260 mm alors que la pluviométrie augmenterait seulement de 1050 à 1100 mm dans un scénario de 2 x CO₂, conduisant à un accroissement très important du déficit pluviométrique P-ETP, en particulier en période estivale. Mais, si la tendance apparaît bien conforme à ce qui est attendu, les valeurs obtenues pour l'ETP apparaissent surestimées par la méthode de calcul employée, et ces chiffres demanderaient à être revus à la baisse. De plus, au niveau des couverts végétaux, des travaux plus récents (Seguin et al., 2005) ont établi que l'augmentation de la résistance stomatique résultant de l'accroissement du CO₂ atmosphérique (et conduisant à une amélioration de l'efficacité de l'eau) devrait avoir pour effet de contrebalancer l'augmentation de la composante purement climatique de l'ETP. Par ailleurs, la tendance à un raccourcissement généralisé du cycle (en l'absence de mesures d'adaptation) aurait également pour effet de diminuer la durée de la période de transpiration du couvert. C'est d'ailleurs ce qui a été constaté, en particulier en 2003 sous l'effet des fortes températures : l'ETM des cultures d'été s'est située proche des valeurs normales, en grande partie à cause d'une augmentation notable (15%) du rayonnement solaire.

Au niveau de la demande en eau pour l'irrigation, si l'augmentation de température et surtout celle du rayonnement solaire liée à une couverture nuageuse plus faible conduisent à une demande climatique accentuée, le raccourcissement du cycle du végétal (et à plus long terme l'accroissement de la résistance stomatique avec l'élévation du CO₂ atmosphérique) introduisent des effets de compensation. C'est donc finalement plutôt la baisse prévue de la pluviométrie qui représenterait la composante majeure d'une tendance à l'accentuation de la sécheresse au niveau purement climatique.

1.3.1.7. Conséquences pour l'expertise

Aussi bien la revue des scénarios prévus par les modélisateurs du climat que celle des observations récentes sur son évolution, attestée par ses impacts, conduisent à retenir avec un degré de confiance élevé la probabilité pour la fin du siècle et pour la France d'un réchauffement moyen se situant entre 2 et 3°C, plus marqué en été, accompagné d'une augmentation de la pluviométrie en hiver et d'une réduction de la pluviométrie pouvant atteindre 30% en période estivale. Pour la sécheresse spécifiquement, l'augmentation des précipitations en hiver devrait plutôt tendre à une diminution de la sécheresse hydrologique et leur réduction en été à une accentuation de la sécheresse agricole.

Cette tendance générale pour la fin du siècle ne peut donner qu'une indication partielle, dans la mesure où ne sont pas encore disponibles des données plus complètes sur la variabilité et les événements extrêmes. Les travaux récents sur ce point effectués dans le cadre du projet IMFREX soutenu par le programme GICC coordonné par le MEDD (site <<http://medias.dsi.cnrs.fr/imfrex>>) permettent bien d'avoir une information quantitative détaillée sur ceux-ci pour la variable "température" et sur les épisodes de pluie intense, mais l'information relative à la sécheresse est limitée à l'indicateur "nombre de jours consécutifs sans pluie > 0,1mm", qui est d'une portée applicative très limitée.

Par ailleurs, il est très important de noter que Météo-France se refuse, à l'heure actuelle, à proposer des scénarios climatiques dits "de transition" (avant 2070) car les années entre 2000 et 2050 sont dominées par la variabilité inter-annuelle d'une seule simulation. Il n'y a pas de signal climatique visible, et leur utilisation, très tentante au demeurant, conduirait à dire que les années 2020 vont être plus pluvieuses, les années 2030 plus froides, etc., alors que ce n'est que "l'imagination" du modèle.

L'horizon de ce travail d'expertise est clairement centré sur les 10 à 20 prochaines années. Il ne nous est donc pas paru souhaitable de recourir à l'utilisation des scénarios climatiques de transition existant au niveau international, ce qui nous conduit à considérer les épisodes récents (en particulier 2003, très proche en été des conditions prévues par les scénarios "fin de siècle", mais aussi 2005 avec une sécheresse hydrologique marquée) comme représentatifs des tendances globales liées au réchauffement. En conséquence, l'essentiel du travail a été basé sur la prise en compte des données climatiques en gros des trente dernières années (1972-2005 plus précisément). Sur un plan scientifique, cette démarche se justifie par son appartenance à la catégorie dite des "scénarios analogues" (Carter, 2006). L'analogie temporelle sur laquelle elle s'appuie utilise l'information climatique passée comme analogue du futur climatique possible. Beaucoup utilisée en paléoclimatologie à partir de l'information obtenue sur des enregistrements géologiques, elle a été reprise récemment avec les enregistrements climatiques, généralement du siècle passé, par exemple pour situer les épisodes marqués de sécheresse en Amérique du Nord (Sauchyn et al., 2003). La principale limitation de cette démarche pour se projeter dans le futur (Carter, 2006) est que les épisodes passés se situent dans un contexte qui n'était pas encore marqué par le renforcement anthropique de l'effet de serre. Mais elle ne paraît pas constituer un obstacle majeur, dans la mesure où l'horizon des vingt prochaines années ne sera pas marqué, ni par un effet majeur de l'augmentation du CO₂ sur la production photosynthétique, ni par l'augmentation moyenne de la température (de l'ordre de 1°C, identique à celui constaté pendant les vingt dernières années), au moins pour le cadre de notre analyse.

Si les prédictions pour la fin du siècle sont largement diffusées par les modélisateurs du climat, il leur apparaît encore délicat de proposer des scénarios qui se voudraient fiables pour un horizon plus proche, du type 2025. En tablant sur un réchauffement moyen de l'ordre de 1°C, on peut estimer que le climat d'ici cette échéance restera dans la limite haute de la gamme de résilience de l'agriculture. Dans la mesure où les 20 dernières années ont déjà expérimenté un tel réchauffement moyen, avec une variabilité très forte, voire exceptionnelle au niveau d'une année comme 2003, proche des scénarios 'fin de siècle' pour l'été, il apparaît indiqué, plutôt que de se baser sur des simulations à partir de scénarios hasardeux, d'utiliser cette série récente en la considérant par analogie comme la plus probable pour représenter ce futur proche (à l'exception du réchauffement moyen attendu de l'ordre de 1°C).

Rappel des points essentiels

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 devrait l'établir encore plus clairement le prochain rapport du GIEC prévu pour 2007.

Bien évidemment, les projections sur les impacts reposent sur la crédibilité des scénarios du futur. Si la perspective d'une augmentation significative de la température moyenne apparaît fortement crédible, sa répartition saisonnière et sa variabilité, ainsi que la fréquence des extrêmes demeure un sujet de questionnement, au même titre que les prévisions sur les pluies qui ont un impact tout aussi primordial.

En se projetant dans un avenir proche (horizon 2020-2025), il est permis de penser qu'un réchauffement limité (de l'ordre de 2°C) ne provoquerait qu'un léger déplacement d'équilibre, restant dans les limites des capacités d'adaptation presque traditionnelles : le siècle passé a bien surmonté des variations des températures estivales de l'ordre de plus ou moins 1°C, et la génétique a permis de remonter la culture du maïs-grain au nord de Paris par rapport à l'ancienne limitation géographique au Sud-Ouest ou dans certaines régions de Rhône-Alpes.

Mais le principal changement serait sans doute à attendre de l'accentuation de la sécheresse estivale, en particulier pour la partie sud de l'hexagone. Elle s'accompagnerait d'une tendance accentuée à une avancée généralisée du calendrier agricole et à un raccourcissement de la durée des cycles des cultures. Cet effet sera à prendre en compte pour raisonner les systèmes de culture en fonction du risque de sécheresse. L'exemple de l'été 2003 a montré un impact significatif de cette tendance. Sur un épisode isolé, les conséquences à court terme ont pu être réduites, mais la perspective d'un retour fréquent de tels épisodes met au premier rang des préoccupations les tensions vraisemblables sur la ressource hydrique et la compétition de l'irrigation avec les autres usages.

Références bibliographiques

- Acot P. (2003). *Histoire du climat*, Perrin, Paris, 309 p
- Benoit M., de la Torre C. (2004). *Changement climatique et observation à long terme en unités expérimentales ; évolution des pratiques agricoles et des réponses physiologiques des couverts végétaux*. Journées MICCES 2004, <http://www.avignon.inra.fr/MICCES>
- Bouraoui F., Vachaud G., Chen T., Li L.X., Le Treut H. (1997). Changements climatiques et évolution des ressources en eau souterraines : aspects spatio-temporels, *actes du colloque 'Les temps de l'environnement', journées du PEVS, Toulouse 5-7 novembre 1997, CNRS (ed)*, 45-51
- Brunbelow K., Georgakakos A. (2001). An assessment of irrigation needs and crop yield for the United states under potential climate changes, *Journal of Geophysical Research*, 106, 27, 383-27, 405
- Carter T. (2006). *General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment*. Rapport pour le groupe de travail TGICA de l'IPCC, juin 2006, 70 p.
- Delecolle R., Soussana J.F., Legros J.P. (1999). Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française, *Comptes-rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 85, 45-51
- Dubois P.J., Lefevre L.P. (2003). *Un nouveau climat. Les enjeux du réchauffement climatique*, La Martinière, Paris, 255p.
- Dupouey J.L., Arrouays D., Balesdent J., Gabrielle B., Gosse G., Pignard J., Seguin B., Soussana J.F. (2005). Rôle de l'agriculture et des forêts dans l'effet de serre. In : Colonna. P (ed). *Chimie verte*, Lavoisier, Paris, 447-486
- EEA (2004). *Impacts of Europe changing climate. An indicator-based assessment*, EEA report n°2/2004, 107 p.
- Ganichot B. (2002). Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales, *Actes des 6^e rencontres rhodaniennes*, Institut Rhodanien, Orange, 38-41
- Giannakopoulos C., Bindi M., Moriondo M., LeSager P., Tin T. (2005). *Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2° C global temperature rise*, rapport pour le WWF, 66 p.
- Houghton J.T., Callander B.A., Varney S.K. (1992). *Climate change 1992, The supplementary report to the IPCC scientific assessment*, IPCC Scientific Assessment Working Group, Houghton et al. ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 200 p.
- IPCC (2001). *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the third assessment report of IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge
- 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
- Joussaume S. (1999). *Climat d'hier à demain*, CNRS Editions, 143 p.

- Le Roy Ladurie E. (1983). *Histoire du climat depuis l'an mil*, Collection champs, Flammarion, Paris, deux volumes (tome I : 287 p., tome II : 254 p.).
- Moisselin J.M., Schneider M., Canelas M., Mestre C.O. (2002). Les changements climatiques en France au XXème siècle : étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, *La Météorologie*, 38, 45-56.
- Moisselin J.M., Canelas M., Schneider M., Dubuisson B. (2003). Les longues séries de référence pour l'étude des changements climatiques, *Actes des journées AMA édités par Météo-France*, Toulouse, 95-98
- Perarnaud V., Seguin B., Malezieux., Déqué M., Loustau D. (2005). Agrometeorological research and applications needed to prepare agriculture and forestry adapt to 21st century climate change, *Climatic Change*, 70, 319-340
- Planton S. (2005). Changements climatiques futurs en France. In : Greenpeace (ed), *Impacts climatiques en France*, 48-54 (rapport disponible sur le site www.impactsclimatiquesenfrance.fr)
- RAC-F (2005). *Changement climatique : la nature menacée en France*, brochure éditée collectivement avec FNE, WWF, LPO, Greenpeace, 24 p.
- Roderick M.L., Farquahr G.D. (2002). The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years, *Science*, 298, 1410-1411
- Rosenzweig C., Strzepek K.M., Majo D.C., Iglesias A., Yates D.N., Mc Cluskey A., Hillel D. (2004). Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies, *Global Environmental Change, part A*, 14, 345-360
- Salinger J.M. (2005). Climate variability and change :past, present and future- an overview, *Climatic Change*, 70, 9-29
- Sauchyn D.J., Stroich J., Beriault A. (2003). A paleoclimatic context for the drought of 1999-2001 in the northern Great Plains of North America, *The Geographical Journal*, 169, 158-167
- 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 Pibg-Pmrc France Changement Global*, 16, 50-54
- Seguin B., Brisson N., Loustau D., Dupouey J.L. (2005) *Impact du changement climatique sur l'agriculture et la forêt*. In : L'homme face au climat, actes du symposium du Collège de France, Paris, 12-13/10/2004, Odile Jacob, Paris,177-203
- Soussana J.F. (2001). *Changement climatique. Impacts possibles sur l'agriculture et adaptations possibles*. In : Demeter, Armand Colin, Paris, 195-222.
- Soussana J.F., Teyssonere F., Picon-Cochard C., Casella E., Besle J.M., Lherm M., Loiseau P. (2002). Impacts des changements climatiques et atmosphériques sur la prairie et sa production, *Fourrages*, 169: 3-24
- Tegart W.J.McG., Sheldon G.W., Griffiths D.C. (1990). *Climate change: the IPCC impacts assessment*, Australian Government Publishing Service, Canberra, Australie
- Thomson A.M., Brown R.A., Rosenberg N.J., Srinivasar R., Cesar Izaurrealde R. (2005). Climate change impact for the conterminous USA: an integrated assessment., part 4 water resources, *Climatic Change*, 69,67-88
- Wild M., Gilgen G., Roesch A., Ohmura A., Long C.N., Dutton E.G., Forgan B., Kallis A., Russak V., Tsvetkov A. (2005). From dimming to brightening :decadal changes in solar radiation at earth's surface, *Science*, 308, 847-850