



Station météo miniaturisée dans le vignoble argentin. Monter en altitude ou changer de latitude peut être un moyen de s'adapter au changement climatique.

atmosphériques d'éléments minéraux issus de la pollution atmosphérique, tels que l'azote et le soufre, pourraient renforcer cet effet fertilisant. La contribution des surfaces agricoles est plus variable : en Europe, les prairies représenteraient un puits de carbone, mais les cultures une source.

Le puits de carbone terrestre continuera-t-il à être aussi efficace dans le futur ? Cela n'est pas certain. Il pourrait l'être de moins en moins, voire cesser de fonctionner en raison de deux mécanismes : d'une part, la biomasse forestière et les sols des écosystèmes terrestres risquent d'être saturés, ce qui réduirait la capacité de séquestration du carbone. D'autre part, le réchauffement climatique futur et l'accentuation des sécheresses risquent de faire basculer ces écosystèmes de l'état de puits à celui de source de dioxyde de carbone, car la photosynthèse serait réduite et la décomposition de la matière organique des sols serait stimulée. La réduction de la productivité et de la séquestration de carbone observée à l'échelle de l'Europe à la suite de la sécheresse et de la canicule de 2003 préfigure une telle évolution.

Le dioxyde de carbone n'est pas le seul gaz à effet de serre qui participe au réchauffement climatique. C'est aussi le cas, entre autres, du protoxyde d'azote (N_2O) et du méthane (CH_4), dont les concentrations atmosphériques

sont mesurées en continu depuis 1976 pour le premier et depuis 1983 pour le second.

D'autres gaz à effet de serre

Ces gaz s'accumulent rapidement dans l'atmosphère et contribuent notablement au réchauffement, malgré leurs faibles concentrations atmosphériques, car leur capacité moléculaire de piégeage du rayonnement infrarouge lointain émis par la Terre est supérieure à celle du dioxyde de carbone. Le méthane est pour la moitié environ (entre 35 et 50 pour cent) d'origine naturelle : il est émis par les zones humides. Le reste est issu de l'agriculture (fermentation entérique des ruminants, effluents d'élevage, rizières), de la fermentation des déchets et d'émissions liées aux énergies fossiles et à la combustion de la biomasse. De surcroît, le réchauffement climatique futur prévu aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord aboutirait à la disparition d'une partie des pergélisols, ce qui pourrait entraîner la libération de quantités importantes du méthane actuellement piégé dans ces sols gelés en permanence. Quant au protoxyde d'azote, il est pour les deux tiers d'origine naturelle, lié à la dénitrification des sols et des océans, et pour un tiers d'origine anthropique en lien avec l'utilisation des engrais azotés, de la combustion de biomasse et d'émissions associées aux dépôts atmosphériques d'azote.

Ainsi, la biomasse et les sols permettent aujourd'hui d'atténuer en partie les impacts du changement climatique parce qu'ils séquestrent du carbone. Toutefois, non seulement les puits de carbone terrestres actuels risquent de devenir moins efficaces, mais d'autres sources de gaz à effet de serre pourraient apparaître au moment où les émissions liées à l'agriculture ne cessent de croître. Dès lors, s'il faut continuer à tenter d'atténuer les impacts du changement climatique, il faut aussi chercher comment s'y adapter.

Comment s'adapter au changement climatique ?

D'abord en anticipant mieux l'évolution du climat. Les modèles climatiques ont été notablement améliorés, grâce à une meilleure prise en compte de l'ensemble des gaz à effet de serre et de l'ensemble des phénomènes dits de forçage radiatif, c'est-à-dire de la différence entre l'énergie reçue et celle émise par le système climatique planétaire qui, *in fine*, détermine le réchauffement planétaire. Les puissances de calcul ont été renforcées, les méthodes de modélisation améliorées et on a assisté à une mobilisation sans précédent de la communauté des modélisateurs avec une approche dite ensembliste, permettant de comparer divers modèles. Enfin, la résolution spatiale des modèles a été considérablement améliorée. Par exemple, la maille élémentaire du système de simulation Euro-CORDEX est égale à 12 kilomètres sur 12, de sorte que la représentation des phénomènes locaux et des événements extrêmes – telles les vagues de chaleur et les sécheresses – est bien plus fine.

Quatre nouveaux types de scénarios climatiques, ou plutôt d'hypothèses de scénarios formulées par le GIEC, sont fondés sur différentes valeurs de forçage radiatif, liées à autant d'hypothèses d'atténuation des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Les simulations faites à partir de ces modèles ont montré que le réchauffement depuis 1950 (+ 0,6 °C), ainsi que la fréquence des événements extrêmes ne peuvent être expliqués que par le forçage externe (lié aux activités humaines) du climat. D'après les simulations, le réchauffement à moyen terme (2035) resterait assez

limité quel que soit le scénario ; le réchauffement à long terme (2100) serait important et contrasté en fonction des scénarios, mais pourrait dépasser 4°C en Europe.

L'Europe du Sud devrait subir un réchauffement beaucoup plus rapide que l'Europe du Nord en été, et le réchauffement hivernal serait plus rapide sur l'Est et le Nord de l'Europe. Les précipitations devraient être plus fortes sur le Nord de l'Europe et plus faibles sur le Sud (y compris sur la partie méridionale de la France). Des périodes sèches plus prononcées et nombreuses et des vagues de chaleur plus fréquentes surviendront vraisemblablement.

À court et moyen termes, la concentration atmosphérique élevée du dioxyde de carbone et le réchauffement pourraient avoir des conséquences positives sur la production des écosystèmes et de l'agriculture sous les latitudes élevées notamment. En revanche, à plus long terme, les effets négatifs liés aux températures élevées et aux sécheresses pourraient l'emporter. Ils menacent déjà les zones tropicales sèches et la Méditerranée.

L'adaptation aux changements climatiques nécessite aussi une bonne connaissance des réponses des organismes, populations et communautés vivantes et plus largement des écosystèmes, qu'ils soient naturels ou plus ou moins artificiels. Des processus biologiques et écologiques essentiels risquent d'être modifiés, à commencer par la production, ainsi que le début et la fin de périodes actives, qui, chaque année, déterminent les interactions des espèces au sein des écosystèmes. Par ailleurs, les aires de répartition des espèces risquent d'être modifiées. Aux latitudes de la France, une augmentation de 1°C est associée à un déplacement des zones thermiques de 150 kilomètres vers le Nord en plaine ou de 150 mètres d'altitude en montagne.

Cet effet déclenchera une migration des organismes les plus mobiles (micro-organismes, animaux, végétaux à dispersion rapide et cycle de reproduction court), alors que les organismes moins mobiles, tels les arbres, ou confinés dans leur milieu, comme les espèces lacustres, subiront des déséquilibres menaçant leur survie. Dans certains cas, des réponses naturelles, telle l'ap-

titude d'une population ou d'une espèce à s'acclimater sans variation génétique quand le milieu varie, ou des adaptations génétiques rapides, pourraient réduire ces impacts. Mais il sera nécessaire d'assister ces phénomènes, par exemple en établissant des corridors pour favoriser les migrations d'espèces, ou en déplaçant artificiellement des espèces par le transfert de graines, la régénération assistée ou les plantations forestières.



Pavel Barsukov, Russian Academy of Sciences

L'impact du changement climatique sur les sols gelés de Sibérie est suivi avec attention.

Les progrès réalisés dans la modélisation du fonctionnement des cultures ou de la dynamique des forêts et des écosystèmes seront utiles à la définition des options d'adaptation au changement climatique futur. Ainsi, dans le projet CLIMATOR, les scientifiques ont croisé modèles climatiques et modèles d'impacts agronomiques et forestiers. Les impacts agricoles et forestiers futurs du changement climatique ont été analysés aussi bien en termes de rendement, que de qualité des produits agricoles, de calendriers des cultures, de besoins en eau, ou encore de santé des plantes, sans

oublier les éventuels déplacements des cultures pouvant offrir de nouvelles opportunités.

L'ampleur limitée des modifications climatiques attendues à moyen terme (2035) pourra être palliée en grande partie par des adaptations relevant de la gestion courante des systèmes et favorisant leur résilience par rapport aux fluctuations interannuelles du climat. Toutefois, l'augmentation des événements extrêmes pourrait, dès maintenant, perturber les productions agricoles et avoir des conséquences économiques graves. Le changement climatique plus important prévu pour la seconde moitié du XXI^e siècle nécessitera des options d'adaptation et de changement plus radicales. Les zones de production devront être modifiées, ce qui imposera d'adapter les filières économiques et la gestion des territoires et de développer des innovations techniques acceptables par la société.

Anticiper les changements

Il est particulièrement important d'anticiper ces changements pour les systèmes à dynamique lente (forêts, prairies permanentes, lacs). La maîtrise des adaptations est plus aisée pour les systèmes très anthropisés dont les conditions sont plus contrôlables (cultures annuelles, élevage) que pour les systèmes plus naturels (prairies permanentes ou forêts non cultivées, lacs et rivières, zones sauvages) pour lesquels on ne peut envisager que des mesures d'accompagnement ou palliatives.

Ainsi, les défis posés par le changement climatique à la société et aux chercheurs sont considérables. Il est urgent de définir des modes de gestion appropriés des ressources, des milieux et des territoires (agriculture, sylviculture, milieux naturels) en anticipant les conséquences de ce changement. Il faudra notamment préserver tous les systèmes contribuant à l'atténuation du changement climatique, qui séquestrent le carbone et limitent les émissions de gaz à effet de serre.

Bibliographie

- N. Brisson et F. Levrault, *Changement climatique, agriculture et forêt en France : Simulations d'impacts sur les principales espèces*, Le livre vert du projet Climator (2007-2010), Ademe, 2012.
J.-F. Soussana, *S'adapter au changement climatique*, Agriculture écosystèmes et territoires, Quae, 2013.

En partenariat avec

