# L'adaptation au changement climatique

Jean-Marc Guehl, Jean-François Soussana

▶ **To cite this version:**

Jean-Marc Guehl, Jean-François Soussana. L'adaptation au changement climatique. Pour la science, 2015, pp.6-9. hal-02630192

**HAL Id: hal-02630192**
**https://hal.inrae.fr/hal-02630192**

Submitted on 27 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Shutterstock / Artens

Face au réchauffement enregistré à la surface du globe depuis quelques décennies et à la multiplication des événements extrêmes, l'heure n'est plus seulement à la lutte contre l'effet de serre et à l'estimation de l'amplitude du changement climatique. Il s'agit aujourd'hui d'évaluer les conséquences des modifications pour anticiper les adaptations qu'il convient d'envisager. Dans ce cadre, l'Institut national de la recherche agronomique, INRA, a créé un métaprogramme nommé Adaptation au changement climatique de l'agriculture et de la forêt, ACCAF.

La parution du cinquième rapport du GIEC fournit l'occasion d'un tour d'horizon des principales recherches réalisées sur l'adaptation au changement climatique. Ce cahier spécial regroupe une série d'articles faisant un bilan des adaptations des différents types de milieux ou d'activités (forêts, milieux aquatiques, agriculture, élevage) et des principaux enjeux pour les sociétés (ressources en eau, santé, migrations humaines, économie).

AGRICULTURE, FORÊTS ET ÉCOSYSTÈMES

# L'adaptation au **changement climatique**

**Jean-Marc Guehl**
Directeur du métaprogramme ACCAF de l'INRA,
Directeur de l'UMR Écologie et écophysiologie forestières
INRA-Université de Lorraine à Nancy

**Jean-François Soussana**
Directeur scientifique environnement de l'INRA

**Le premier volume du cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le GIEC,** a été publié le 27 septembre 2013. Il porte sur le système climatique et l'évolution du climat. Ce rapport confirme le réchauffement observé depuis les années 1950 (0,6 °C). Les projections pour 2100 dépendent des activités humaines et des incertitudes sur les modèles, de sorte que le réchauffement prévu varie entre 1,1 et 4,8 °C. Un deuxième volume publié le 29 mars 2014 a été consacré aux impacts du changement climatique, aux adaptations possibles et à la vulnérabilité des systèmes et des populations humaines exposées. Un troisième volet consacré aux recherches visant à atténuer les impacts du changement climatique est paru le 11 avril 2014. Enfin, en octobre 2014, une synthèse a été diffusée. Ses conclusions seront examinées par la Conférence des parties sur le climat, à Paris en décembre 2015.

Cet exercice d'expertise scientifique collective et de raisonnement prospectif a impliqué plus de 800 chercheurs de par le monde. Il est fondé sur l'analyse minutieuse des publications scientifiques et des méthodes utilisées. Chaque conclusion est caractérisée par un indice de confiance et un indice d'incertitude. Si le premier rapport de 1990 n'avait impliqué que des spécialistes des sciences du climat, le nouveau met en relief le caractère interdisciplinaire des approches. Sciences de la nature et sciences de la société y ont participé, ce qui dénote le souci d'éclairer au mieux les orientations politiques, économiques et sociales que les impacts du changement climatique, variant notablement selon les régions du monde, imposeront de prendre.

Les surfaces continentales, dans leur diversité de nature ou d'usage, qu'elles soient cultivées ou proches des milieux naturels (forêts, prairies permanentes, milieux aquatiques, zones humides et sauvages), ont un statut complexe quand il s'agit de changement climatique. D'abord, les impacts et les risques potentiels sont considérables, puisqu'ils touchent les ressources végétales et animales, les milieux, les activités économiques qui y sont liées, la sécurité alimentaire, le fonctionnement des écosystèmes, la biodiversité, les ressources en eau, la santé. Ensuite, ces surfaces sont émettrices de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote), en raison de processus naturels, mais aussi du fait des activités humaines (agriculture, élevage, déforestation). Mais nous verrons que, simultanément, elles peuvent absorber et séquestrer des quantités importantes de carbone et ainsi atténuer l'importance du changement climatique.

Le chimiste suédois Svante Arrhenius a été le premier à prévoir, en 1896, que l'accumulation du



© Pour la Science - INRA 2015

dioxyde de carbone dans l'atmosphère liée à l'utilisation de combustibles fossiles entraînerait un réchauffement de la planète. Mais c'est en 1958, à l'occasion de l'année géophysique internationale, que les géochimistes Charles Keeling et Roger Revelle, de l'Institution Scripps d'océanographie, ont installé à l'Observatoire de Mauna Loa, situé au sommet de l'île volcanique de l'archipel d'Hawaii, le premier système de mesure en continu de la concentration du dioxyde de carbone atmosphérique. Ces mesures représentent la série la plus longue dont on dispose aujourd'hui.

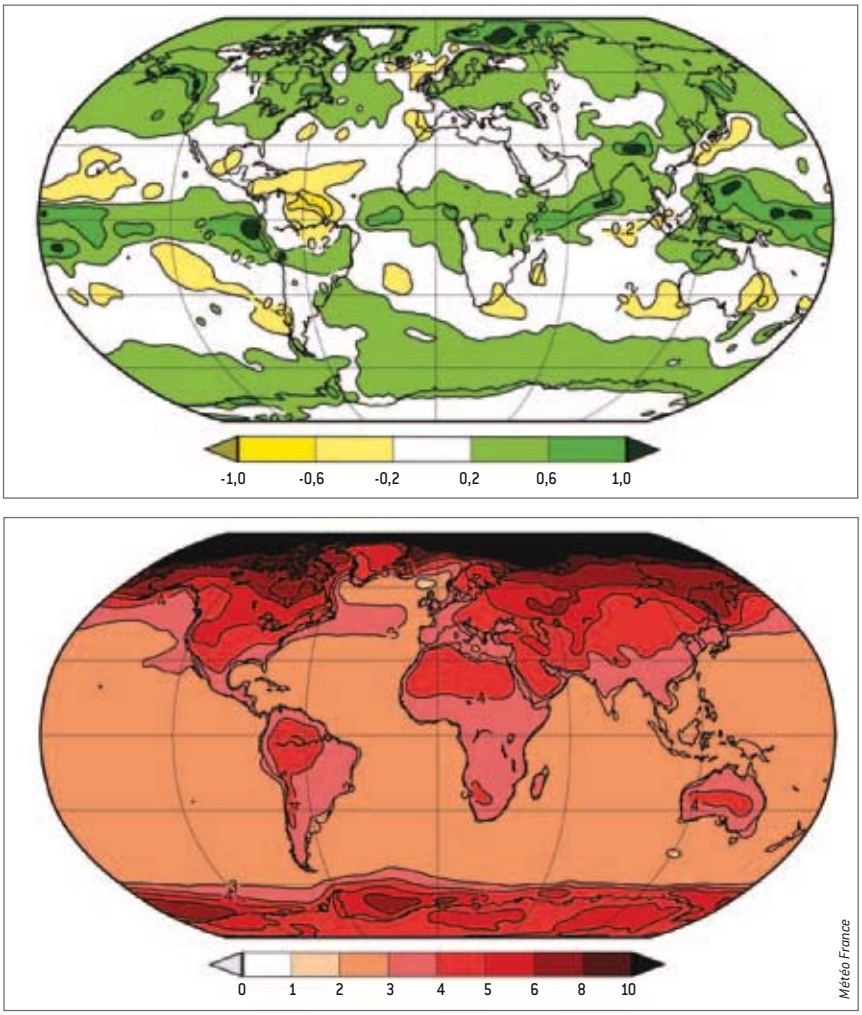
**Des sources et des puits de dioxyde de carbone en évolution**

Quels en ont été les principaux résultats ? La concentration atmosphérique du dioxyde de carbone augmente de façon spectaculaire depuis 1958. Voisine de 315 ppm (nombre de molécules par million de molécules d'air hormis la vapeur d'eau) en 1958, elle a dépassé 400 ppm pour la première fois en mai 2013. Les valeurs obtenues à partir de bulles d'air emprisonnées dans la glace de l'Arctique et de l'Antarctique avant l'ère industrielle (à la fin du XVIII$^{e}$ siècle), sont proches de 280 ppm. La vitesse d'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone croît aussi : de 0,7 ppm par an au début des années 1960, elle est passée à 2,0 ppm par an entre 2000 et 2010. Cette accélération est à rapprocher de l'emballement des émissions de dioxyde de carbone d'origine fossile (charbon, pétrole, gaz), dû notamment à la production de ciment : ces émissions ont atteint 35 gigatonnes (milliards de tonnes) en 2011. La déforestation, autre source d'émission de dioxyde de carbone, présente une contribution par les forêts tropicales de quatre gigatonnes de dioxyde de carbone par an.

Mais à côté de ces chiffres inquiétants, les recherches révèlent qu'il existe des « amortisseurs » limitant l'ampleur de ces augmentations. Ainsi, on ne retrouve dans l'atmosphère que la moitié environ des quantités de dioxyde de carbone émises. Ce phénomène s'applique aux bilans réalisés au cours de la dernière décennie, mais aussi aux chiffres enregistrés depuis le début de l'ère industrielle. On estime que 2000 (±312) gigatonnes de dioxyde de carbone ont été émises dans l'atmosphère de 1750 à 2011, du fait des activités humaines, dont 1340 (±110) sont attribuées à l'utilisation de combustibles fossiles et à la production de ciment, et 660 (±295) à la déforestation et au changement d'usage des terres ; 880 gigatonnes « seulement » se sont accumulées dans l'atmosphère.

Les progrès réalisés dans l'évaluation des flux et des bilans de carbone à l'interface océan-atmosphère et à l'interface continents-atmosphère, par des mesures et la modélisation des processus, ont permis d'élucider ce phénomène. Il existe des échanges de dioxyde de carbone intenses entre les océans et les surfaces terrestres, d'une part, et l'atmosphère, d'autre part. Ces échanges qui ont lieu dans les deux sens sont de l'ordre de 290 gigatonnes de dioxyde de carbone par an pour les océans et de 440 pour les surfaces terrestres. Toutefois, le bilan fait apparaître un léger déséquilibre se traduisant par une accumulation nette de l'ordre de 9 gigatonnes par an dans les océans et à peu près autant dans les systèmes terrestres. Ainsi, ces systèmes atténuent l'augmentation du dioxyde de carbone atmosphérique.

La décomposition des flux par régions a révélé que les forêts tempérées et boréales de l'hémisphère Nord représentent un puits de carbone important. De fait, ces surfaces sont globalement en expansion, accroissant le stock de carbone dans la biomasse. En outre, l'augmentation de la concentration du dioxyde de carbone a un effet « fertilisant », c'est-à-dire qu'elle stimule la photosynthèse et la productivité forestière, donc améliore l'efficacité du « piège ». De surcroît, les dépôts




*Résultats des modélisations (modèle CNRM-CM5) indiquant en moyenne annuelle la différence des précipitations (en millimètres par jour, en haut) et des températures (en °C, en bas) entre la période 1970-2000 et la période 2071-2100 dans le scénario RCP8.5 du V$^{e}$ rapport du GIEC. Il pleuvrait moins sur certaines régions intertropicales, dont l'Amazonie. La température pourrait augmenter de dix degrés dans les régions les plus septentrionales.*

© Pour la Science - INRA 2015

Hervé Quénol, CNRS

*Station météo miniature 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



© Pour la Science - INRA 2015

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'aptitude 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 XXIe 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** (éd.), *Le livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : Simulations d'impacts sur les principales espèces*, , Ademe, 2010.

**J.-F. Soussana** (coord.), *S'adapter au changement climatique, Agriculture écosystèmes et territoires*, Quae, 2013.


© Pour la Science - INRA 2015