



HAL
open science

Impacts prévisibles du changement climatique à l'échelle régionale : exemple des prairies et de l'élevage herbager

Jean-François J.-F. Soussana, Anne-Isabelle Graux, Amélie Cantarel, Remi R. Pilon, Juliette Bloor, Catherine Picon-Cochard

► To cite this version:

Jean-François J.-F. Soussana, Anne-Isabelle Graux, Amélie Cantarel, Remi R. Pilon, Juliette Bloor, et al.. Impacts prévisibles du changement climatique à l'échelle régionale : exemple des prairies et de l'élevage herbager. L'environnement : un pôle de compétences en Auvergne. Recherche - Formation - Valorisation - Sensibilisation, Revue d'Auvergne. Les presses d'Albédia Imprimeurs, 14 p., 2009. hal-02824016

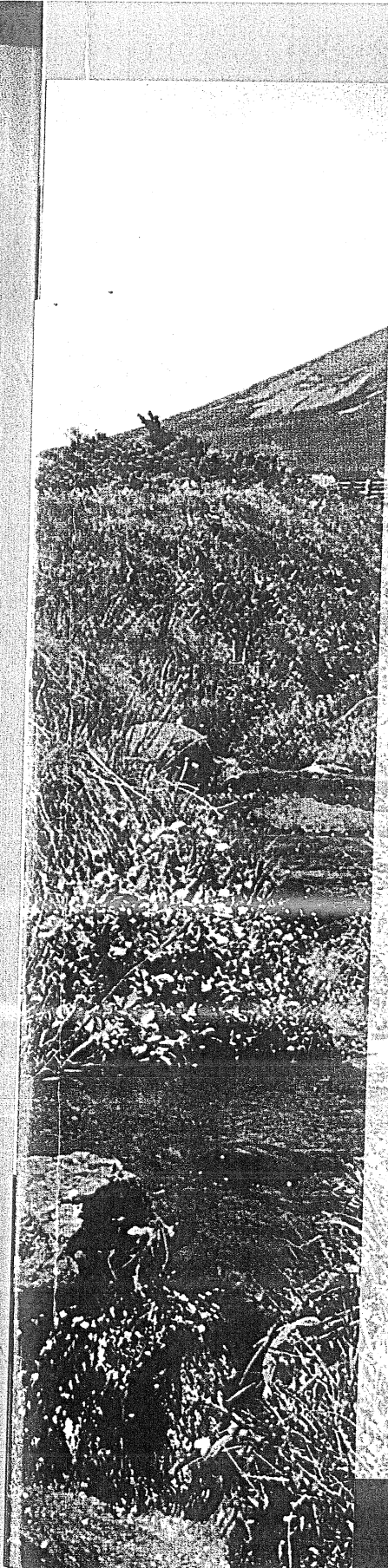
HAL Id: hal-02824016

<https://hal.inrae.fr/hal-02824016>

Submitted on 6 Jun 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.



L'ENVIRONNEMENT :
UN PÔLE
DE COMPÉTENCES
EN AUVERGNE

Recherche - Formation
Valorisation - Sensibilisation

REVUE D'AUVERGNE

REVUE D'AUVERGNE

Publication de la Société des Amis des Universités de Clermont-Ferrand, Alliance Universitaire d'Auvergne.
Siège social : Chancellerie-Rectorat des Universités, 3, avenue Veraingéfortix F-63000 Clermont-Ferrand.

BUREAU DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Anciens Présidents : M. Pierre Pochet (1973-1984) + Henri Peuchot (1984-1997) +
Président : Jean-Paul Fanget
Vice-Présidents : Bernard Decors, Alain Yannaire
Secrétaire Général : Olivier Bonnet
Directeur de la Revue d'Auvergne et responsable de la publication : Jean-Paul Fanget
Théorier : Marie-Thérèse Gotorbe, adjoint : Jean Blanchon
Gestionnaire de la Revue d'Auvergne : André Gotorbe
Commissaire aux comptes : Michel Troquet

MEMBRES D'HONNEUR

M. le Préfet de la Région Auvergne
M. le Président du Conseil régional d'Auvergne
MM. les Présidents des Conseils généraux : Allier, Cantal, Haute-Loire et Puy-de-Dôme
M. le Maire de Clermont-Ferrand
M. le Président de Clermont Communauté
M. le Président du Conseil Economique et Social d'Auvergne
M. le Recteur de l'Académie de Clermont-Ferrand - Chancelier des Universités
M. le Président de l'Université d'Auvergne
Mme la Présidente de l'Université Blaise-Pascal
M. le Président de la Chambre de commerce et d'Industrie de Clermont-Ferrand / Issouire

L'environnement : un pôle de compétences en Auvergne

Millénaire 2009-3-4. Tome 123. Numéro 592-593 - ISSN 1269-8946.
Photo de couverture : Montagne du massif du Sancy - Photo Christian Amblard.

Tables générales 1884-2000. Achat de numéros séparés. Liste des publications 2001-2008.

• Les Tables Générales 1884-2000 de la Revue d'Auvergne sont disponibles au prix de 22 euros ttc franco. Une liste des publications 2001-2008 peut être adressée sur simple demande auprès du gestionnaire de la revue : M. André Gotorbe, 31 route du Mont-Dore - Thèix - 63122 - Saint-Genès-Champagnelle. Tél. 04 73 87 00 08 - Fax 07 73 87 00 07.

• Achat de numéros séparés, hors abonnement. Les volumes de la Revue d'Auvergne sont en vente commerciale dans les principales librairies de Clermont-Ferrand. Le prix varie d'une parution à l'autre en fonction de l'importance dans métrique et de la facture technique du numéro. On peut aussi se procurer les volumes récents et anciens (encore disponibles) directement à l'association : Alliance Universitaire d'Auvergne, Société des amis des Universités. Toutes les demandes de renseignement, de devis volumes au-delà de 2 ans et d'achat doivent être adressées à M. André Gotorbe, 31 route du Mont-Dore - Thèix - 63122 - Saint-Genès-Champagnelle. Tél. 04 73 87 00 08 - Fax 07 73 87 00 07

• **Tarif des abonnements : années 2009 (rappe) et 2010.**
France et Union européenne

		2009 (rappe)	2010
1-Individuel / personnes physiques	Ordinaire	40 €	40 €
	Etudiant (sur justificatif) Soutien	libre à partir de 70 €	libre à partir de 70 €
2-Institutionnel	Abonnement direct	60 €	60 €
	Abonnement par société de service Soutien	80 € libre à partir de 100 €	80 € libre à partir de 100 €
Autres pays.			

	2009	2010
1-Individuel / personnes physiques	Ordinaire	60 €
	Etudiant (sur justificatif) Soutien	30 € libre à partir de 70 €

L'ENVIRONNEMENT : UN PÔLE DE COMPÉTENCES EN AUVERGNE

Recherche - Formation
Valorisation - Sensibilisation

SOMMAIRE

Préface	3
<hr/>	
<i>Christian Lévêque</i>	
Introduction générale du numéro	11
<hr/>	
<i>Christian Amblard</i>	
CHAPITRE I: VOLET RECHERCHE	
Introduction volet recherche	15
<hr/>	
<i>Christian Amblard</i>	
La recherche dans le domaine de l'environnement en Région Auvergne	17
<hr/>	
<i>Christian Amblard</i>	
Les nuages : réacteurs photochimiques et biologiques	29
<hr/>	
<i>Laurent Deguillaume, Nadine Chaumerliac, Andréa Flossmann, Pierre Amato, Mickaël Vaitilingom, Martine Sancelme, Anne-Marie Delort, Marius Parazols, Gilles Mailhot</i>	
Les xénobiotiques : devenir et impact dans l'environnement	39
<hr/>	
<i>Isabelle Batisson, Jacques Bohatier, Jean-Louis Bonnet, Frédérique Bonnemoy, Pascale Besse-Hoggan, Bruno Combourieu, Martine Sancelme, Alexandra Ter Halle, Jean-François Pilichowski, Claire Richard, Mohamed Sarakha, Pascal Wong-Wah-Chung</i>	
Le Lac Pavin au cœur du projet METANOX	55
<hr/>	
<i>Gérard Fonty et collaborateurs</i>	
Dynamique hydrogéomorphologique et paysagère de la rivière Allier dans la Réserve Naturelle du Val d'Allier (1840-2005)	73
<hr/>	
<i>Jean-Luc Peiry, Stéphane Petit, Pierre Lepicek</i>	

Les biopuces ADN en écologie microbienne	95
<i>Pierre Peyret</i>	
Des arbres qui tiennent debout longtemps dans un environnement de plus en plus fluctuant	107
<i>Bruno Moulia, Eric Badel, Nicole Brunel, Catherine Coutand, Nathalie Fournier-Leblanc, Jérôme Franchel, Catherine Lenne, Patricia Roeckel-Drevet, Jean-Louis Julien</i>	
Interaction herbivores/plantes : conséquences sur la dynamique de la végétation en prairie	121
<i>René Baumont, Pascal Carrère, Cécile Ginane, Frédérique Louault, Sophie Prache, Bertrand Dumont</i>	
Impacts prévisibles du changement climatique à l'échelle régionale : exemple des prairies et de l'élevage herbager	135
<i>Jean-François Soussana, Anne Isabelle Graux, Amélie Cantarel, Rémi Pilon, Juliette Bloor, Catherine Picon-Cochard</i>	
IBISCA : une exploration raisonnée de la biodiversité forestière, du Panama à la Comté d'Auvergne	151
<i>Bruno Corbara</i>	
Les politiques environnementales menées par les conseils généraux : l'exemple des quatre conseils généraux d'Auvergne	173
<i>Christophe Depres, Olivier Aznar, Clovis Sabau, Sébastien Segas</i>	
Le tout et la partie en écologie	189
<i>Christian Godin</i>	
Présentation des laboratoires de recherche dans le domaine de l'environnement en Région Auvergne	207
CHAPITRE II :	
VOLET FORMATION	
Introduction volet formation	239
<i>Jean-Louis Julien</i>	
Le BTSA gestion et protection de la nature, spécialité gestion des espaces naturels	241
<i>Lycée Agricole Rochefort-Montagne (63)</i>	

BTSA-GEMEAU	243
<i>Institut des sciences de la vie et de la terre Le Puy-en-Velay (43)</i>	
BTSA technologies végétales : agronomie et systèmes de cultures	246
<i>Lycée Agro Environnemental privé Saint-Joseph Le Breuil-sur-Couze (63)</i>	
DUT Génie Biologique, option génie de l'environnement	250
<i>IUT de Clermont-Ferrand - Université d'Auvergne site d'Aurillac (15)</i>	
Licence professionnelle agronomie, gestion durable des ressources en agriculture	254
<i>UFR Sciences et technologies de l'Université Blaise Pascal, ENITA de Clermont-Ferrand et Lycée Agricole de Marmilhat (63)</i>	
Licence professionnelle agriculture biologique : conseil et développement	257
<i>Auvergne-Limousin, Rhône-Alpes, Bretagne et Midi-Pyrénées</i>	
Licence professionnelle « expertise agro-environnementale et conduite de projet »	261
<i>Université d'Auvergne - IUT Clermont-Ferrand - Site d'Aurillac (15)</i>	
Licence professionnelle industries chimiques et pharmaceutiques spécialité chimie analytique et environnement	264
<i>UFR Sciences et technologies de l'université Blaise Pascal, Aubière (63)</i>	
Licence professionnelle plasturgie et matériaux spécialité polymères dans l'environnement	267
<i>UFR Sciences et technologies de l'université Blaise Pascal - IUT Clermont-Ferrand - Université d'Auvergne</i>	
Master mention « biologie et environnement » spécialité professionnelle ou recherche « fonctionnement et restauration des milieux aquatiques continentaux »	270
<i>Université Blaise Pascal - U.F.R. Sciences et Technologies, Aubière (63)</i>	
Master mention « biologie et environnement » spécialité professionnelle ou recherche « génomique, écophysologie et production végétales »	274
<i>Université Blaise Pascal - U.F.R. Sciences et Technologies, Aubière (63)</i>	
Master mention « biologie et environnement » spécialité professionnelle ou recherche « microbiologie : génome, écologie, biotechnologies »	278
<i>Université Blaise Pascal - U.F.R. Sciences et Technologies, Aubière (63)</i>	

Master mention « chimie » spécialité recherche « chimie organique, bio-organique et environnementale » **281**

Université Blaise Pascal - U.F.R. Sciences et Technologies, Aubière (63)

Master mention « géoenvironnement » spécialité recherche « géoenvironnement » **285**

Université Blaise Pascal - U.F.R. Lettres Langues et Sciences Humaines, Clermont (63)

Master mention « physique » spécialité recherche « physico-chimie de l'atmosphère et climat » **288**

Université Blaise Pascal - U.F.R. Sciences et Technologies, Aubière (63)

Master mention « sciences de la terre » spécialité professionnelle « géologie de l'aménagement » **292**

Université Blaise Pascal - U.F.R. Sciences et Technologies, Aubière (63)

Master mention « sciences de la terre » spécialité recherche « magmas et volcans » **296**

Université Blaise Pascal - U.F.R. Sciences et Technologies, Aubière (63)

Master mention « économie et développement international » (EDI) spécialité « développement durable dans les pays en développement et en transition » **299**

Université d'Auvergne - Faculté des Sciences Économiques et de Gestion, Clermont (63)

Option de dernière année d'ingénieur spécialité « agriculture, environnement, territoire » **302**

ENITA à Clermont (63)

Option de dernière année d'ingénieur spécialité « agronomie, productions végétales et environnement » **304**

ENITA à Clermont (63)

CHAPITRE III :

VOLET VALORISATION

Introduction volet valorisation **309**

Christophe Déprés

La biodiversité au service de l'homme : connaître les plantes et les microalgues pour les valoriser **311**

Jean-Christophe Sergere

Des entreprises innovantes dans le domaine de l'environnement	327
<i>E2IA, Biobasic Environnement, Biovitis, Ceies, Numtech, Sol Solution, Véodis-3D</i>	
Un outil simple de diagnostic de la biodiversité des prairies d'Auvergne	353
<i>Dominique Orth, Claire Balay, Pierre Loiseau, Jean-Pierre Dulphy</i>	
Le profil environnemental de l'Auvergne	367
<i>Agnès Delsol, François Noisette</i>	
La plate-forme 21, un outil original pour mettre en œuvre le développement durable	379
<i>Virginie Forest, Marie-Hélène Moinet</i>	
 CHAPITRE IV :	
VOLET SENSIBILISATION	
Introduction volet sensibilisation	391
<i>Dominique Orth, Pascal Carrère</i>	
La Société d'Histoire Naturelle d'Auvergne : une association au service de la Nature depuis plus d'un siècle	393
<i>Nathalie Vidal</i>	
Le groupe Mammalogique d'Auvergne : une association régionale d'étude et de connaissance des Mammifères sauvages	397
<i>Charles Lemarchand</i>	
Chauve-Souris Auvergne : l'étude et la conservation des chiroptères	401
<i>Matthieu Bernard</i>	
La Ligue de Protection des Oiseaux Auvergne : l'oiseau, clef d'entrée et support d'éducation à l'environnement et de sensibilisation	405
<i>Stéphanie Besse</i>	
Les herbiers universitaires de Clermont-Ferrand	409
<i>Gilles Thébaud</i>	
Le Conservatoire Botanique national du Massif central : connaître, faire connaître et conserver le patrimoine végétal de l'Auvergne	413
<i>Laurent Seytre</i>	

L'Association H2O : faire partager un enjeu vital, un patrimoine commun	417
<i>Jean-Pierre Wauquier</i>	
Pesticides dans l'eau en Auvergne : mieux connaître et réduire les pollutions	421
<i>Nathalie Nicolau, Christophe Bras, Annick Jordan</i>	
Atmo Auvergne : l'air auvergnat sous surveillance	427
<i>Justine Gourdeau</i>	
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie : Agir ensemble pour protéger l'environnement	431
<i>Brigitte Lauterbach</i>	
Le collectif régional d'éducation à l'environnement	435
<i>Myriam Sylla</i>	
Les centres permanents d'initiatives pour l'environnement : des associations au service de l'environnement et du développement durable sur les territoires	439
<i>Pierre Feltz</i>	
Sensibiliser et former aux enjeux du patrimoine naturel : les actions en cours des Conservatoires d'Espaces Naturels en Auvergne	445
<i>Romain Legrand</i>	
Le parc naturel régional livradois forez : une salle de travaux pratiques grandeur nature	451
<i>Serge Chaleil</i>	
L'information et la sensibilisation en matière d'environnement au sein du Parc des Volcans d'Auvergne	455
<i>Philippe Boichut</i>	
Sigles et abréviations	461

Impacts prévisibles du changement climatique à l'échelle régionale :

Exemple des prairies et de l'élevage herbager

Jean-François SOUSSANA, Anne Isabelle GRAUX, Amélie CANTAREL,
Rémi PILON, Juliette BLOOR et Catherine PICON-COCHARD

INRA, UR Ecosystème Prairial (UR 874)

Introduction

La publication du 4^{ème} rapport du GIEC au cours de l'année 2007 a renforcé la crédibilité scientifique et sociétale de la réalité du phénomène du changement climatique. C'est, en particulier, la confrontation des scénarios climatiques pour le XXI^{ème} siècle et des observations récentes qui permet maintenant d'attribuer les changements observés, au-delà des facteurs naturels, à l'accroissement de l'effet de serre par l'action anthropique. La température moyenne de surface de notre planète a augmenté de 0,6° C (avec une incertitude en plus ou en moins de 0,2° C) depuis 1860. Le XX^{ème} 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. Les 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. Par ailleurs, même s'il est généralement très délicat d'isoler l'action éventuelle du réchauffement global de celui d'un grand nombre d'autres facteurs, il est possible d'observer des impacts sur les écosystèmes cultivés ou naturels, en particulier au niveau de leur phénologie (pour la France, dates de floraison des arbres fruitiers, de vendange et de semis du maïs, par exemple) mais aussi, dans certains cas, de leur productivité (forêts). Ils 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 gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère.

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 (CO_2), dont le niveau actuel dépasse 380 ppm, contre 260 ppm à l'époque préindustrielle. Depuis 1750, la concentration atmosphérique de gaz carbonique (CO_2) 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 CO_2 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. D'autres gaz, présents naturellement à l'état de traces, comme le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N_2O), s'accumulent également dans l'atmosphère et contribuent donc au renforcement de l'effet de serre naturel. D'après les dernières estimations du GIEC, on peut estimer qu'en 2004, le dioxyde de carbone a contribué pour un peu plus de 75 % à ce renforcement, le méthane pour 14 % et l'oxyde nitreux pour 8 %.

Pour la fin du siècle, les différents scénarii évaluent les conséquences de concentrations atmosphériques en CO_2 situées approximativement entre 540 et 970 ppm. L'accroissement moyen de la température de surface, d'après les simulations réalisées pour le 4^{ème} rapport du GIEC, devrait être situé entre 1,8 et 4° C entre 1990 et 2100. Cette augmentation serait sans précédent dans les 10 000 dernières années. Il est très probable 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 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.

1 - Le renforcement anthropique de l'effet de serre

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. Celui-ci

est augmenté par l'accroissement des concentrations en gaz à effet de serre provoqué par les activités humaines. Un doublement de concentration du seul CO₂ par rapport à sa concentration préindustrielle entraînerait un forçage additionnel de 4 W m⁻² environ.

Le taux d'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère a atteint 1.9 ppm par an durant la dernière décennie 1995-2005, contre 1.4 de 1960 à 2005 (GIEC/IPCC¹). Toujours d'après ce rapport, l'accroissement de la concentration en CO₂ pendant les cent dernières années résulte de la combustion d'énergies fossiles (au niveau maintenant de 7,2 GtC/an) et des changements d'utilisation des terres, notamment la déforestation (pour 1,6 Gt/an).

La concentration en méthane (CH₄) dans l'atmosphère a été multipliée par 2,5 et elle continue de s'accroître actuellement. Les sources de méthane sont, à la fois, « naturelles » (élevage, rizières, zones humides, feux de biomasse) et industrielles (gaz naturel, charbon). Quant au protoxyde d'azote (N₂O), 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 deux 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 le GIEC,
- 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. Cet indicateur permet ainsi d'établir des équivalences entre les gaz impliqués sur une période de temps donnée et de les convertir en équivalents CO₂.

2 - Le changement climatique : les prédictions pour le futur

À la fin du siècle, les modèles prévoient des concentrations atmosphériques en CO₂ situées entre 540 et 970 ppm (parties par million). L'accroissement moyen de la température de surface est estimé entre 1,5 et 6° C de 1990 à 2100, et les simulations effectuées pour le 4^{ème} rapport du GIEC ne changent pas fondamentalement la donne : pour la fin du siècle, la gamme de réchauffement en fonction des scénarios d'émission de GES va de 1,8° C (avec une fourchette de vraisemblance de 1,1 à 2,9) à 4,0° C (fourchette de 2,2 à 6,4).

L'élévation du niveau des mers est due à la fois à la dilatation thermique de l'eau et à l'apport supplémentaire d'eau douce issue de la fonte des

glaces d'origine terrestre. L'élévation prévue en 2001 était de 0,14 à 0,80 m de 1990 à 2100 ; elle a été réactualisée avec une fourchette plus resserrée de 0,18 à 0,59 m, ce qui reste deux à quatre fois plus élevé que le taux observé pendant le XX^{ème} siècle. Une perte majeure de glace de l'Antarctique et une élévation accélérée du niveau des mers sont jugées comme très peu probables au XXI^{ème} siècle, mais de fortes incertitudes pèsent sur les conséquences de la fonte, déjà significative, des glaciers, et d'une fonte ultérieure du Groenland.

Une comparaison des scénarios les plus récents d'évolution de la pluviométrie saisonnière dans 32 régions du monde, faite par le groupe II du GIEC, montre une tendance à l'augmentation pour l'Europe du Nord (0 à + 3 % par décennie) au printemps, à l'automne et en hiver. En revanche, pour la zone Europe du Sud et Afrique du Nord, les modèles prédisent une réduction de la pluviométrie estivale (de - 0,2 à - 6 % par décennie), qui pourrait également intervenir en Europe du Nord (de - 1,8 à + 0,8 % par décennie). Une tendance similaire de réduction des précipitations estivales 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 du GIEC concernant les tendances observées et prévues pour différents événements climatiques extrêmes avaient été classées en 2001 selon leur niveau de probabilité, et le rapport de 2007 n'a pas fondamentalement changé le diagnostic actuel. Il est possible de retenir, 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 conséquences probables (probabilité supérieure à 2/3) concernent une diminution de l'amplitude thermique journalière, des précipitations plus fréquentes et plus intenses, des vagues de chaleurs 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.

3 - Quels impacts prévisibles pour les prairies et l'élevage ?

En France, la prairie constitue une formation végétale majeure puisqu'elle occupe près de 25 % de la superficie du territoire national, contre 20 % en moyenne en Europe. La prairie permanente² représente

80 % de cette superficie. Elle correspond, le plus souvent, à des formations secondaires qui ne sont maintenues au stade herbacé que par le pâturage et la fauche. L'existence même de la prairie dépend donc d'activités d'élevage, importantes au plan national, puisque 60 % des exploitations agricoles professionnelles élèvent des herbivores.

La Région Auvergne se place au 4^{ème} rang national pour l'élevage des bovins et au 5^{ème} rang pour les ovins. Avec 80 % du territoire agricole voué à l'élevage d'herbivores, l'Auvergne est la plus grande prairie de France. L'herbe y occupe plus de 1,2 million d'hectares³.

Les années 2003 et 2005 ont rappelé la sensibilité des systèmes fourragers au déficit hydrique estival et à la canicule. En 2003, la production fourragère a été réduite de 30 %, en moyenne en France, et les stocks de foin et d'ensilage constitués pour l'hiver ont partiellement été utilisés durant l'été. De tels événements climatiques, considérés aujourd'hui comme exceptionnels, pourraient à la fin du siècle se reproduire une année sur deux ou trois.

3.1 - Réponses des espèces prairiales au CO₂ et au réchauffement

Les réponses des principales espèces cultivées à une augmentation du CO₂ atmosphérique ont été étudiées expérimentalement depuis une trentaine d'années au moins. À partir de la fin des années 1980, de nouvelles techniques d'enrichissement en CO₂ de l'atmosphère des cultures ont vu le jour. La technique de référence (FACE, « Free Air Carbon dioxide Enrichment ») permet de réaliser une fumigation contrôlée en CO₂ d'un écosystème (voir figure 1). La fumigation consiste à injecter de l'air fortement enrichi en gaz carbonique

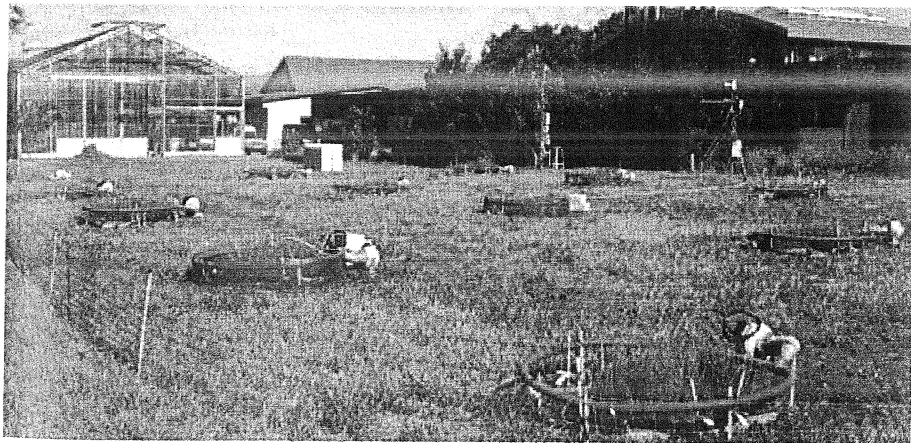


Figure 1 : Dispositif expérimental de changement climatique installé sur les sites INRA de Crouël (Clermon-Ferrand) et de Theix (St. Genès Champanelle). Ce dispositif combine les facteurs réchauffement (transplantation de monolithes de prairie depuis Theix), sécheresse estivale (écrans contre la pluie) et augmentation du CO₂ atmosphérique (fumigation contrôlée de CO₂ à l'air libre ; anneaux).

dans un anneau creux, placé autour d'une ou de plusieurs parcelles expérimentales. Cette fumigation est contrôlée en fonction de la concentration en CO₂ mesurée au centre de l'anneau et de la vitesse du vent. Une douzaine de dispositifs FACE de grande dimension sont utilisés aux USA. En Europe, un seul dispositif a été consacré à l'étude des plantes fourragères (à Zürich en Suisse).

Pour le climat continental de Zürich, les résultats obtenus avec cette technique indiquent une augmentation de 7 % environ du rendement d'une graminée fourragère comme le ray-grass anglais lorsque la concentration atmosphérique en CO₂ est portée à 550 ppm. Ces chiffres sont représentatifs de la fourchette généralement observée pour les prairies (+ 15 % pour un doublement de la concentration ambiante en CO₂, Soussana et Lüscher, 2007) ; mais ils sont nettement plus faibles que ceux qui avaient été publiés initialement pour des plantes de « laboratoire ».

Chez les plantes d'origine tempérée à métabolisme photosynthétique en C₃, l'augmentation de la température renforce la stimulation de la photosynthèse obtenue par enrichissement en CO₂. L'optimum thermique de la photosynthèse augmente ainsi de quelques degrés Celsius dans une atmosphère enrichie en CO₂. D'un autre côté, l'augmentation de la température accroît en valeur absolue la respiration végétale et, par conséquent, les pertes de carbone (Tubiello *et al.*, 2007).

L'utilisation de l'eau par les végétaux est également affectée (Soussana *et al.*, 2007) selon différents processus :

- L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ entraîne une fermeture partielle des stomates foliaires, ce qui tend à réduire la perte en eau des feuilles. Toutefois, cet effet est souvent compensé par une augmentation de la surface transpirante (feuillage plus développé).
- L'efficacité d'utilisation de l'eau augmente sous forte teneur en CO₂. L'effet relatif du CO₂ sur la croissance est ainsi généralement plus fort en présence d'une contrainte hydrique modérée qu'en son absence.
- L'augmentation de la température de l'air et des feuilles accroît la demande climatique et l'évapotranspiration.

À l'échelle du peuplement végétal, les interactions entre température, CO₂ et disponibilité en eau sont donc importantes et affectent à la fois la production végétale et le bilan hydrique.

Des expériences préliminaires ont permis d'évaluer les impacts d'un réchauffement climatique accompagné d'une augmentation du CO₂ sur des prairies semées.

3.2 - Une expérience pour déterminer les impacts sur une prairie temporaire⁴

Une expérience a été conduite durant trois ans à l'INRA (Clermont-Ferrand) afin de tester les impacts d'un scénario de changement climatique

(700 ppm CO₂ et + 3° C sans variation de la pluviométrie) (Déqué, 2000) sur une prairie temporaire de ray-grass anglais (*Lolium perenne*) associée ou non au trèfle blanc (*Trifolium repens*) et cultivée à deux niveaux d'apport d'azote sans limitation par P, K et S.

Le doublement de la concentration en CO₂ a accru la production moyenne des peuplements semés de ray-grass de 16 %. Cette augmentation a été faible et parfois non significative (+ 6 %, en moyenne) au printemps et à l'automne, tandis que la réponse estivale était nettement plus forte (+ 48 %, en moyenne). En effet, en été, l'augmentation du CO₂ atmosphérique a permis de conserver une teneur en eau du sol plus forte, ce qui a renforcé la stimulation de la production (Casella *et al.*, 1996).

Un réchauffement de 3°C ajouté au doublement de CO₂ (700 ppm de CO₂) n'a pas modifié significativement la production annuelle de matière sèche : l'augmentation de la productivité végétale au printemps et à l'automne a été compensée par un déficit estival de production. Le réchauffement de l'air s'est traduit par un assèchement du sol au printemps et par un stress hydrique accentué en été. La saison de croissance a été rallongée de trois semaines environ au printemps comme à l'automne. Ces résultats montrent que les impacts du changement climatique sur la production fourragère seront particulièrement sensibles en été, malgré l'effet d'économie d'eau obtenu grâce au doublement du CO₂ atmosphérique.

La qualité du fourrage a également été affectée : sous fort CO₂ (seul), la teneur en protéines a diminué d'un tiers et les teneurs en sucres solubles ont pratiquement doublé ; un réchauffement de 3° C a entraîné, en plus, une légère baisse de la digestibilité du fourrage.

La baisse de la teneur en protéines du fourrage ne tenait pas seulement à une « dilution » accrue des protéines par les sucres solubles. Les graminées cultivées sous fort CO₂ étaient, en effet, plus carencées en azote que dans le traitement témoin. Des études détaillées des cycles C et N dans le sol grâce aux isotopes stables ¹³C et ¹⁵N ont permis de montrer une immobilisation plus forte en CO₂ par les microorganismes du sol. Le réchauffement de 3°C a réduit l'ampleur des effets négatifs sur la nutrition azotée des graminées.

Un autre aspect important a été mis en évidence par ces expériences : la fixation symbiotique des légumineuses est fortement stimulée (de 40 à 50 %) sous l'effet de l'enrichissement en CO₂. La légumineuse la plus fréquente dans les prairies françaises (le trèfle blanc, *Trifolium repens*) a été fortement stimulée par l'enrichissement en CO₂, devenant plus productive en culture pure et plus abondante dans les associations avec les graminées. L'augmentation de la fixation symbiotique, qui intervenait également dans le climat réchauffé de 3°C, indique qu'il sera possible d'utiliser les légumineuses pour compenser la carence en azote induite par l'augmentation du CO₂ atmosphérique (Soussana et Hartwig, 1996).

Cette expérience montre également que le changement climatique aura des impacts sur le bilan environnemental de la prairie :

- Le drainage hivernal, qui permet de réalimenter les nappes, a été réduit de 40 à 50 mm dans le climat réchauffé de 3° C.
- Les pertes hivernales en nitrate dans les eaux de drainage ont diminué dans les peuplements exposés à un doublement du CO₂ atmosphérique.

Enfin, le stockage de carbone dans la matière organique du sol a augmenté significativement sous l'effet de l'augmentation du CO₂ et ce stockage n'a pas été affecté dans les conditions de l'expérience par un réchauffement de 3°C. Toutefois, la canicule et la sécheresse de 2003 se sont traduites par un déstockage de carbone dans les sites prairiaux les plus exposés (Ciais *et al.*, 2005), alors que les prairies européennes stockent en année moyenne du carbone organique dans les sols (Soussana *et al.*, 2007). Des événements climatiques extrêmes, comme celui de 2003, pourraient donc avoir de forts impacts négatifs qu'il est difficile d'anticiper en étudiant seulement les conséquences d'un réchauffement progressif de quelques degrés Celsius.

Les services environnementaux rendus par une prairie temporaire pourraient donc évoluer avec les changements du climat et de la composition de l'atmosphère. La moindre réalimentation des nappes souterraines est préoccupante puisque l'on craint une fréquence accrue des sécheresses dans un climat modifié. En revanche, la réduction des pertes de nitrate et l'augmentation des stocks de carbone organique du sol constitueraient un avantage du point de vue de l'environnement. Mais il n'est pas certain que ces résultats soient extrapolables, l'expérience ayant imposé un doublement instantané de la concentration atmosphérique en CO₂, alors que celle-ci augmentera graduellement au cours du siècle, ce qui pourrait limiter les déséquilibres entre cycles du carbone et cycle de l'azote.

3.3 - Des expériences sur la prairie permanente et sa biodiversité

Des monolithes⁵ d'une prairie permanente comprenant une vingtaine d'espèces herbacées (graminées, légumineuses et dicotylédones non fixatrices⁶) ont été exposés durant trois ans à un enrichissement continu en CO₂ (600 ppm) dans un dispositif de fumigation contrôlée de CO₂ à l'air libre (Mini-FACE). Au cours de cette première expérience, réalisée simultanément à l'INRA (Clermont-Ferrand) et dans plusieurs sites européens, seule la concentration atmosphérique en CO₂ a été manipulée. La richesse spécifique de la prairie n'a pas été modifiée par l'enrichissement en CO₂. En revanche, la composition botanique de la prairie a fortement dérivé (figure 2). Les graminées, qui étaient initialement dominantes, ont forte-

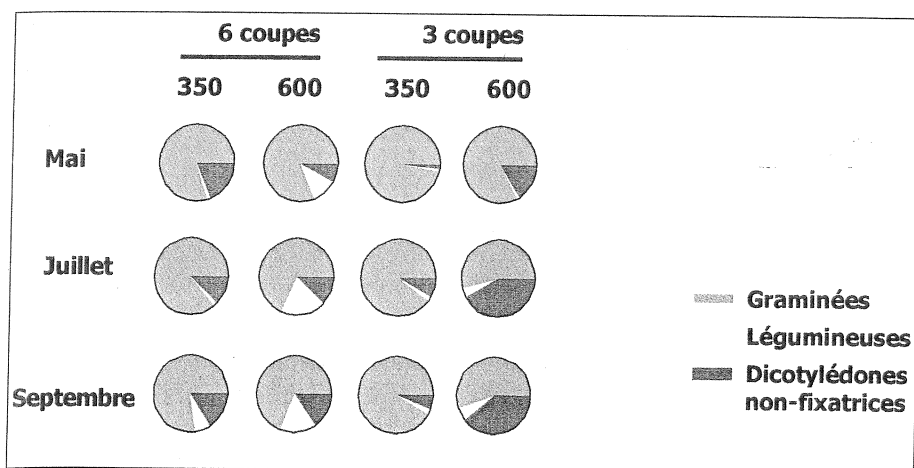


Figure 2. Proportion de graminées, légumineuses et dicotylédones non-fixatrices d'azote dans des monolithes soumis en CO₂ ambiant (350 ppm) et élevé (600 ppm) à deux fréquences de coupe (6 et 3 coupes annuelles, coupe + et coupe -, respectivement) en Mai, Juillet et Septembre (d'après Teyssonneyre *et al.*, 2002).

ment régressé dans le traitement soumis à une augmentation du CO₂ atmosphérique, au profit soit des légumineuses - lorsque la prairie était fauchée fréquemment - soit, des dicotylédones non-fixatrices - lorsque la prairie n'était coupée que trois fois par an - (Teyssonneyre *et al.*, 2002).

La production de la prairie permanente a augmenté graduellement en réponse au CO₂, en partie du fait d'un accroissement de la fixation symbiotique des légumineuses (Picon-Cochard *et al.*, 2005). L'augmentation de production sous l'effet du CO₂ est intermédiaire entre le cas des graminées pures (10 à 15 %) et celui des légumineuses pures (20 à 40 %). La valeur nutritive du fourrage récolté en prairie permanente a également été étudiée. Si les mêmes tendances ont été obtenues pour les graminées (diminution des protéines, augmentation des sucres solubles), l'augmentation des légumineuses et des dicotylédones non-fixatrices a permis de préserver la valeur azotée du fourrage en compensant la réduction des protéines chez les graminées.

Ces résultats soulignent donc que les impacts sur la production de la prairie et sa valeur alimentaire pour des herbivores dépendront largement des changements de composition botanique induits par l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂.

Afin de disposer de références expérimentales concernant les impacts de scénarios climatiques prévus pour 2050, une nouvelle expérience a été entreprise en 2005 à l'INRA (Clermont-Ferrand). Un scénario climatique a été retenu qui correspond à la moyenne des prédictions pour le centre de la France dans le cas d'une augmentation rapide des émissions de gaz à effet de serre (scénario A2, GIEC) : réchauffement de 3,5° C, diminution de

20 % de la pluviométrie estivale et augmentation de 200 ppm du CO₂ atmosphérique.

Afin de reproduire expérimentalement ce scénario climatique, des monolithes de prairie permanente ont été prélevés en moyenne montagne (Theix, 900 m d'altitude) puis transportés, ou non, en plaine (Clermont-Ferrand, 350 m altitude). Ces deux sites étant distants de 20 km seulement, leurs climats sont assez proches mais le site de plaine est plus chaud (+ 3,5° C) et plus sec que le site de moyenne montagne. Dans le site de plaine, l'irrigation est contrôlée de manière à obtenir des apports d'eau mensuels égaux aux précipitations du site de montagne, ou réduits de 20 % en été. Enfin, les monolithes sont exposés, ou non, à un enrichissement en CO₂ de 200 ppm par rapport à la concentration atmosphérique actuelle (figure 1). On peut ainsi comparer le scénario climatique 2050 au climat actuel de la moyenne montagne. De plus, ce dispositif permet d'analyser les effets de chaque facteur (réchauffement, réduction de la pluviométrie et enrichissement en CO₂). Les premiers résultats indiquent une variation de la production de matière sèche au printemps : celle-ci augmente avec le réchauffement et l'enrichissement en CO₂, mais elle est réduite par les effets du déficit hydrique estival. Il est cependant encore trop tôt pour pouvoir conclure en ce qui concerne les impacts sur la production et sur la biodiversité de la prairie.

4 - Modélisation des impacts et de l'adaptation

Depuis une vingtaine d'années, de nombreuses études ont tenté de modéliser numériquement les impacts du changement climatique sur la production agricole (Gitay *et al.*, 2001). Cette démarche repose sur le couplage entre des modèles du climat et des modèles d'écosystèmes.

Des premières simulations des impacts du changement climatique avaient été réalisées pour trois sites de moyenne montagne du Massif central : Allier (420 m d'altitude moyenne), Cantal (1025 m) et Puy de Dôme (910 m), qui selon un scénario déjà ancien du modèle ARPEGE de Météo-France (Déqué *et al.*, 2000) subiraient un réchauffement moyen de 2,3° C sans variation significative de la pluviométrie annuelle.

Un modèle d'écosystème prairial (PaSim, Riedo *et al.*, 1998) a été couplé au modèle ARPEGE. Les résultats indiquent une assez grande stabilité des impacts climatiques sur la production des prairies fauchées (+ 20 % environ). Pour les prairies pâturées, le changement climatique simulé augmente faiblement les performances zootechniques et la production de viande (+ 7 %).

L'effet relatif d'une adaptation de la conduite des prairies a ensuite été testé. L'augmentation de 20 % du chargement animal a eu un effet positif sur les variables liées au pâturage (ingestion totale et production animale, + 7 à + 20 %). Une extension de 3 semaines de la saison de pâturage aurait également, selon le modèle, des effets positifs. L'adaptation permettrait ainsi de mieux bénéficier du changement climatique pour la production de viande à l'herbe et l'ingestion totale par les animaux (Soussana *et al.*, 2002).

Ces premiers résultats indiquent donc la possibilité d'une adaptation autonome des éleveurs en réponse au changement climatique, adaptation qui pourrait se traduire par une augmentation du nombre d'animaux et par une extension de la saison de pâturage. Il convient toutefois de souligner les incertitudes qui accompagnent ces premières simulations : incertitudes concernant l'évolution de la pluviométrie (qui ne diminuait pas dans le scénario étudié, contrairement aux projections actuelles), ainsi que de la composition botanique de la prairie (considérée comme constante dans ces simulations).

La modélisation du changement climatique s'accompagne, en effet, d'une cascade d'incertitudes, qui deviennent plus fortes à l'échelle régionale. En effet, à cette échelle, se cumulent les incertitudes liées non seulement aux scénarii d'émission de gaz à effet de serre et aux modèles climatiques, mais aussi à la démarche de régionalisation des projections climatiques. En effet, pour passer de l'échelle des modèles climatiques (typiquement 200 x 200 km) à une échelle régionale à haute résolution (typiquement 10 x 10 km), des méthodes spécifiques (anomalies, désagrégation statistique, etc.) sont requises. Ces méthodes rendent plus réalistes les distributions des températures et des précipitations et permettent de prendre en compte les effets du relief et du micro-climat régional.

À ces incertitudes, concernant le changement climatique futur, s'ajoutent des questions sur le domaine de validité des modèles d'impact. La plupart des modèles actuels d'agro-écosystèmes n'ont pas été évalués dans des conditions extrêmes de températures, qui sont susceptibles de modifier la physiologie et la phénologie des végétaux, le fonctionnement du sol et la dynamique des communautés (Tubiello *et al.*, 2007). En particulier, des interactions de grande ampleur entre la dynamique de la diversité biologique et le changement climatique sont prévisibles.

Une démarche de modélisation est en cours dans le cadre d'un projet ANR (projet VALIDATE). Deux modèles d'écosystème prairial (dont PASIM) seront revus, en incluant notamment la dynamique de la végétation, afin d'inclure les effets de cette dynamique sur le fonctionnement de la prairie et la mortalité déclenchée par des événements extrêmes (sécheresse et canicule).

Ces modèles seront paramétrés et évalués grâce à une expérience réalisée en quatre sites étagés entre les Alpes (col du Lautaret, 2200 m), le

Massif-Central (Theix, 900 m) et des conditions de plaine Atlantique (Lusignan) ou Méditerranéenne (Montpellier). Cette expérience permet de reproduire *in-situ* les effets de la canicule 2003 et ceux des canicules et des sécheresses prévues au cours de la période 2040-2060 sur ces sites. Elle combine une technique d'exclusion de pluie et deux techniques de réchauffement par infra-rouge ; une technique passive consistant à bloquer le rayonnement infra-rouge émis par le sol (couverture par un rideau réfléchissant) durant la nuit et une technique de réchauffement infra-rouge actif (émetteurs) pour créer les conditions temporaires de canicule.

Des projections des impacts seront réalisées en forçant les modèles d'écosystème prairial par des scénarios climatiques régionalisés. Un ensemble de scénarii de concentrations en CO₂ et de modèles climatiques sera comparé, en utilisant des méthodes avancées de désagrégation statistique du climat pour la régionalisation. On évaluera en particulier la vulnérabilité, en calculant la probabilité de dépasser des seuils de perte de production agricole et d'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (perte de carbone du sol) sous l'effet du changement climatique.

Dans le cadre de ce projet, on testera également par modélisation plusieurs scénarios d'adaptation (Howden *et al.*, 2007) de la gestion des prairies et de la conduite des systèmes d'élevage. En particulier, on évaluera des options concernant :

- les calendriers des opérations agricoles (constitution de stocks fourragers en été, pâturage en arrière saison, voire en hiver, récoltes précoces) et de conduite des troupeaux (saisonnalité des mise bas, mobilisation des réserves corporelles, traite une fois par jour...),
- l'utilisation de cultures fourragères résistantes à la sécheresse et économes en eau, de légumineuses et de prairies à plus forte biodiversité,
- des modifications des systèmes fourragers et des systèmes d'élevage : utilisation accrue de surfaces fourragères extensives permettant de disposer d'un volant de sécurité, réduction du chargement animal.

Enfin, un couplage entre modèles biophysiques et socio-économiques sera entrepris afin d'évaluer la pertinence économique de stratégies contrastées d'adaptation.

Conclusion

Il est maintenant bien établi que nous avons, collectivement, le choix, par notre action dans les vingt à trente prochaines années, d'aller vers un réchauffement encore modéré de l'ordre de 2 à 3° C ou au contraire dépassant les 5° C, si on prolonge la tendance actuelle. Les impacts de ce cas de

figure sont beaucoup plus difficiles à cerner, mais sont porteurs, dans tous les cas, de risques notablement amplifiés pour l'agriculture et pour les écosystèmes anthropisés, comme les prairies. Les adaptations des pratiques agricoles peuvent permettre de gagner du temps pour un changement climatique modéré. Cependant, l'efficacité de cette adaptation autonome est probablement insuffisante pour un changement climatique sévère ou pour des événements extrêmes. La mise au point d'une stratégie d'adaptation compatible avec des objectifs de développement durable et de réduction des émissions de gaz à effet de serre est donc incontournable pour limiter la vulnérabilité des prairies et des élevages face à des changements climatiques sévères.

Références

- Campbell B.D., Smith D.M.S. (2000). «A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications», *Agri. Ecosyst. Environ.*, 82, 39-55.
- Casella E., Soussana J.F., Loiseau P. (1996). «Long-term effect of CO₂ enrichment and temperature increase on a temperate grassward. I. Productivity and water use», *Plant Soil*, 182, 83-99.
- Ciais P., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Ogee J., Allard V., Aubinet M., Buchmann N., Bernhofer C., Carrara A., Chevallier F., De Noblet N., Friend A. D., Friedlingstein P., Grunwald T., Heinesch B., Keronen P., Knohl A., Krinner G., Loustau D., Manca G., Matteucci G., Miglietta F., Ourcival J. M., Papale D., Pilegaard K., Rambal S., Seufert G., Soussana J. F. Sanz, M. J. Schulze E. D., Vesala T., Valentini R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437, 529-533.
- Déqué M. (2000). « Modélisation numérique des changements climatiques » *Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^e siècle* (2nd édition).
- Easterling W., P. Aggarwal, P. Batima, K. Brander, L. Erda, M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.F. Soussana, J. Schmidhuber, F. Tubiello. 'Food, fibre, and forest products', In "Climate Change 2007: Impacts, Adaptations et Vulnerability, Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". ML Parry, OF Canziani, JP Palutikov, PJ van der Linden, and CE Hanson Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 273-313.
- Howden S. M., Soussana J. F., Tubiello F. N., Chhetri N., Dunlop M., Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *PNAS*, 104, 50, 19691-19696.
- Picon-Cochard C., Teyssonneyre F., Besle J.-M., Soussana J. F. (2004). Effects of elevated CO₂ and cutting frequency on the productivity and herbage quality of a semi-natural grassland. *Eur. J. Agron.*, 20, 363-377.
- Riedo M., Grub A., Rosset M., Fuhrer J. (1998). A pasture simulation model for dry matter production and fluxes of carbon, nitrogen, water and energy, *Ecol. Model.*, 105, 141-183.
- Soussana J.F., Hartwig U.A. (1996). The effects of elevated CO₂ on symbiotic N₂ fixation : a link between the carbon and nitrogen cycles in grassland ecosystems, *Plant Soil*, 187, 321-332.

- Soussana J.-F., T. 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.
- Soussana, J. F., Lüscher A. (2007a). Temperate grasslands and global atmospheric change: a review. *Grass Forage Sci.*, 62, 127-134.
- Soussana J. F., Allard V., Pilegaard K., Ambus C., Campbell C., Ceschia E., Clifton-Brown J., Czobel S., Domingues R., Flechard C., Fuhrer J., Hensen A., Horvath L., Jones M., Kasper G., Martin, C. Nagy Z., Neftel A., Raschi A., Baronti S., Rees R. M., Skiba U., Stefani P., Manca G., Sutton M., Tuba Z., Valentini R. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites *Agr., Ecosyst. Environ.*, 121, 121-134.
- Teyssonneyre F., Picon-Cochard C., Falcimagne R., Soussana J.F. (2002). Effects of elevated CO₂ and cutting frequency on plant community structure in a temperate grassland, *Global Change Biol.*, 8, 1034-1047.
- Tubiello, F., Soussana J. F., Howden S. M., Easterling W. (2007). Crop and pasture response to climate change. *PNAS*, 104, 50, 19686-19690.

Résumé

La canicule et la sécheresse de l'été 2003 ont entraîné une perte de production fourragère de près de 30 % en France. De tels événements climatiques, considérés aujourd'hui comme exceptionnels, pourraient à la fin du siècle se reproduire une année sur trois. Plusieurs générations d'expériences et de modèles ont été utilisées pour prédire les effets combinés de l'augmentation du CO₂ atmosphérique, d'un réchauffement du climat et d'une réduction de la pluviométrie estivale sur l'écosystème prairial, sa structure, sa dynamique et sa diversité ainsi que sur les services agronomiques et environnementaux qu'il fournit. Des changements de la productivité primaire annuelle, de sa répartition saisonnière et de sa qualité, ainsi que de la diversité floristique et des stocks de carbone des sols sont attendus. L'adaptation des pratiques d'élevage devra être compatible avec la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la préservation de la biodiversité des prairies.

Abstract

The summer 2003 heat and drought event has reduced by 30 % forage production in France. The frequency of such extreme climate events is likely to increase strongly by the end of the century, reaching possibly one year out of three. Ecosystem manipulation experiments and numeric models were used to improve projections of atmospheric CO₂ rise, warming and summer rainfall decline impacts on managed grassland ecosystems. Significant impacts are foreseen for the structure, dynamics and biodiversity of managed grasslands and for their ecological and agronomical serv-

ices. Changes in annual and seasonal net primary productivity, in forage quality, in plant diversity and in soil carbon stocks are expected. The adaptation of livestock breeding practices will need to be compatible with greenhouse gas mitigation, soil carbon sequestration and biodiversity conservation objectives.

NOTES

1. GIEC (2007) : Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, website: www.ipcc.ch, aussi accessible en version française sur le site de la MIES : www.effet-de-serre.gouv.fr/groupe_de_travail_1_du_giec_2007
2. Prairie de plus de cinq ans d'âge.
3. INSEE, Région Auvergne. <http://www.insee.fr/fr/regions/auvergne>
4. Prairie semée de moins de cinq ans d'âge.
5. Bloc de sol non remanié prélevé avec la végétation qu'il recèle.
6. Groupe comprenant l'ensemble des herbacées dicotylédones de la prairie, à l'exception des légumineuses (ou Poacées) qui fixent l'azote atmosphérique grâce à une symbiose racinaire avec des bactéries.

Sigles et abréviations

ADIL : Agence Départementale pour l'Information sur le Logement
ADN : Acide Désoxyribonucléique
ANR : Agence Nationale de la Recherche
ARN : Acide Ribonucléique
ARPEGE : Le modèle Arpège est le nom du logiciel informatique qui est utilisé pour établir chaque jour les prévisions du temps sur l'ensemble de la planète
BRGM : Bureau des Recherches Géologiques et Minières
CAUE : Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement
CEMAGREF : Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
DDE : Direction Départementale de l'Équipement
DIREN : Direction Régionale de l'Environnement
DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture, et de la Forêt
DRASS : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
DRDJS : Direction Régionale et Départementale de la Jeunesse et des Sports
ENGREF : Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts
ENITAC : Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles de Clermont-Ferrand
FEDER : Fonds Européen de Développement Régional
FREDON : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles
GDR : Groupement de Recherche
GES : Gaz à effet de serre
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HPLC : chromatographie en phase liquide à haute performance
IATOSS : ingénieurs, administratifs, techniciens, ouvriers, de service et de santé
IBISCA : Inventaire de la Biodiversité des Insectes du Sol à la Canopée
IFEN : Institut Français de l'Environnement
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
ITA : Ingénieur Technicien et Administratif
LMD : Licence-Master-Doctorat
ONF : Office National des Forêts
PASIM : PASTure SIMulation Model
PCR : réaction en chaîne par polymérase
PCRDT : Programme Cadre de Recherche et Développement Technologique
PDIPR : Plan Départemental des Itinéraires de Promenades et de Randonnées
SAU : Surface Agricole Utile
SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer
TTGE : Temporal Temperature Gradient Gel Electrophoresis
UMR : Unité Mixte de Recherche
UV : Ultra violet
VALIDATE : Programme ANR-Vulnérabilité Milieu-Climat – programme «Vulnerability Assessment of Livestock and grasslands to climate change and Extreme events»

Achévé d'imprimer
Sur papier PEFC
(Papier issu de forêts gérées durablement)
le 30 novembre 2009
sur les presses d'Albédia Imprimeurs
à Aurillac (Cantal)

Le Conseil Général du Puy-de-Dôme est partenaire de la **Revue d'Auvergne**
dans le cadre de la politique d'aide « *aux projets culturels d'envergure* ».



La ville de Clermont-Ferrand soutient par convention « *l'action de développement et de diffusion de la culture scientifique et technique* » de la **Revue d'Auvergne**.



Ce volume de la Revue d'Auvergne a bénéficié de la participation financière
du Conseil Régional d'Auvergne, de l'Université Blaise-Pascal - Clermont II,
de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Unité de recherche Métafort
et de la Fédération des Recherches en Environnement



Fédération des Recherches
en Environnement

Alliance Universitaire, Société des Amis des Universités n'entend pas prendre la responsabilité des travaux ou mémoires insérés dans ses publications. Les faits, opinions ou théories qui peuvent y être émises sont de la seule responsabilité de leurs auteurs qui - de convention expresse - en assument toutes les charges et conséquences intellectuelles matérielles, juridiques et morales.

La préservation et la gestion raisonnée des ressources naturelles nécessitent de connaître l'état de l'environnement, d'en prévoir son évolution et d'évaluer l'impact des activités humaines sur les milieux. L'élaboration d'outils de prévision et de gestion fiables dépend, en effet, de notre capacité à comprendre le fonctionnement des écosystèmes, mais, également, de notre aptitude à mesurer l'impact des perturbations naturelles et anthropiques sur ces derniers. En associant, au sein d'un même document, les activités de recherche, de formation, de valorisation et de sensibilisation, qui sont conduites dans le domaine de l'environnement en Région Auvergne, nous avons souhaité montrer que ces différents secteurs constituent des volets indissociables dans une perspective de développement durable. Les travaux présentés dans cet ouvrage montrent clairement que, dans chacun de ces domaines d'activité, le potentiel régional est important et de nature à faire identifier, au niveau national et européen, la Région Auvergne comme un pôle de compétences en environnement.



Christian Amblard, Directeur de Recherche au CNRS et Docteur d'Etat en sciences naturelles, assure la direction du Laboratoire « Micro-organismes : Génome et Environnement » (Unité CNRS-Université Blaise Pascal). Il est également président de la Fédération des Recherches en Environnement du site clermontois et responsable de l'axe Environnement du Contrat de Projets Etat - Région (CPER 2007 - 2013). En outre, il est expert pour la DGRI du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Ses travaux de recherche portent sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques, notamment lacustres, et sur leurs réponses aux perturbations anthropiques. Par ailleurs, il est président du Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) de la Région Auvergne.



Christophe Déprés, Maître de conférences en économie de l'environnement à l'ENITA Clermont. Ingénieur en Agriculture (Esitpa Rouen) et titulaire d'une thèse de doctorat en économie (Université de Bourgogne, Dijon), il assure des enseignements sur les politiques de l'environnement et de développement durable, en particulier celles mises en place par les collectivités territoriales. Membre de l'UMR Métafort, ses travaux de recherche portent sur l'offre de services environnementaux dans les espaces ruraux.



Jean-Louis Julien, Professeur à l'Université Blaise Pascal et titulaire d'un doctorat en Physiologie et Génétique végétales, assure la direction du Laboratoire PIAF « Physique et Physiologie Intégratives de l'Arbre Fruitier et Forestier » (Unité mixte de recherche INRA-Université Blaise Pascal). Il est également co-responsable du Master mention Biologie et Environnement. En outre, il est expert pour l'AERES (Agence d'Evaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur) dans le domaine de la physiologie végétale. Ses travaux de recherche portent sur les réponses des plantes aux sollicitations mécaniques et en particulier sur les transferts d'information.



Dominique Orth, Maître de conférences en agronomie et écologie à l'ENITA Clermont. Ingénieur agronome et titulaire d'un doctorat en écologie (INA Paris-Grignon), elle est en charge de l'enseignement sur les prairies, depuis le fonctionnement de l'écosystème prairial jusqu'à sa gestion agricole et pastorale. Elle développe ses travaux de recherche sur la biodiversité des prairies au sein de l'UMR Métafort.

Ont également contribué à la réalisation de ce numéro :

Pascal Carrère, Ingénieur de recherche à l'INRA dans l'UR-écosystème prairial. Titulaire d'un DEA en écologie générale et d'une thèse de doctorat en écologie végétale (Université Paris XI), ses projets de recherche portent sur l'analyse de l'interaction entre l'herbe et l'animal en prairie. Sa thématique de recherche combine des aspects très analytiques sur l'analyse de l'impact de la variabilité et les mécanismes créateurs de l'hétérogénéité sur la dynamique de la végétation prairiale, et des dimensions plus finalisées qui visent, dans le cadre de projets recherche-développement, à promouvoir l'utilisation de la prairie permanente dans les systèmes herbagers de moyenne montagne.

Nadine Turpin, Directeur adjoint de l'UMR Métafort. Elle en anime l'équipe EIDER (Evolution des usages, Intervention publique et Développement dans les Espaces Ruraux). Titulaire d'une thèse de doctorat en économie de l'environnement (Université de Paris X), ses travaux portent sur les politiques publiques de régulation de l'offre environnementale en présence d'asymétries informationnelles. Elle modélise en particulier les coordinations entre les acteurs pour la valorisation et/ou la préservation des avantages des territoires comme les aménités ou les produits de qualité.

REVUE D'Auvergne

30 €

ISSN 035 1008