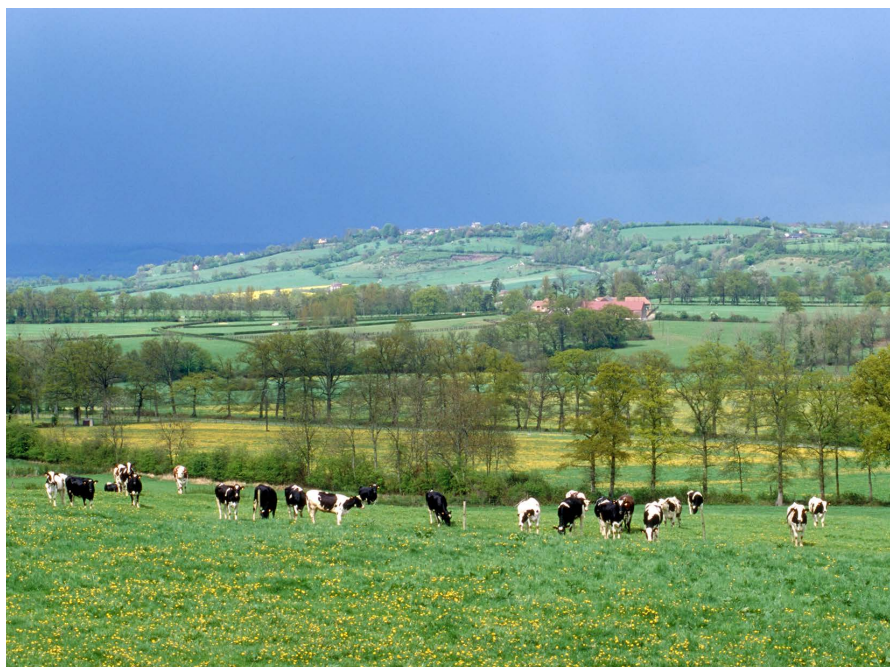


AGRICULTURE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Impacts, adaptation et atténuation

P. Debaeke, N. Graveline, B. Lacor, S. Pellerin,
D. Renaudeau, É. Sauquet, coord.



Agriculture et changement climatique

Impacts, adaptation et atténuation

Philippe Debaeke, Nina Graveline,
Barbara Lacor, Sylvain Pellerin,
David Renaudeau, Éric Sauquet (coordinateurs)

Éditions Quæ

Collection Synthèses

Les mycotoxines

Connaissances actuelles et futurs enjeux
Oswald I., Forget F., Puel O. (Coords),
2024, 272 p.

*Towards pesticide-free agriculture
Research and innovations
in a future crop protection paradigm*
Jacquet F., Jeuffroy M.-H., Jouan J.,
Latruffe L., Le Cadre E., Malausa T.,
Reboud X., Huygue C. (Coords),
2024, 224 p.

Épigénétique

*Mécanismes moléculaires,
biologie du développement
et réponses à l'environnement*
Jammes H., Boudry P., Maury S. (Coords),
2024, 194 p.

De l'arbre en ville à la forêt urbaine
Castagneyrol B., Muller S.,
Paquette A. (Coords),
2024, 188 p.

Pour citer cet ouvrage :

Debaeke P., Graveline N., Lacor B., Pellerin S., Renaudeau D., Sauquet É., coord.,
2025. *Agriculture et changement climatique. Impacts, adaptation et atténuation*,
Versailles, éditions Quæ, 398 p., <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-4012-8>.

L'édition de cet ouvrage a bénéficié du soutien financier du métaprogramme CLIMAE,
de la Direction pour la science ouverte (DipSO) et des départements PHASE, Génétique animale,
AQUA, AgroEcoSystem et ACT d'INRAE.

Les versions numériques de cet ouvrage sont diffusées sous licence CC-by-NC-ND 4.0.

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles Cedex
www.quae.com – www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2025

ISBN papier : 978-2-7592-4011-1
ISBN epub : 978-2-7592-4013-5

ISBN PDF : 978-2-7592-4012-8
ISSN : 1777-4624

Sommaire

Préface	7
<i>Jean-François Soussana</i>	
Introduction	9
<i>Philippe Debaeke, Nina Graveline, Barbara Lacor, Sylvain Pellerin, David Renaudeau, Éric Sauquet</i>	
Des impacts majeurs sur la production agricole.....	9
Adapter les systèmes agricoles et atténuer leurs émissions.....	10
Une référence actualisée des problématiques liées au changement climatique en agriculture.....	11
Références	15

PARTIE 1

ÉTAT DES LIEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Chapitre 1. Aperçu du changement climatique en France	19
<i>Jean-Michel Soubeyroux, Brigitte Dubuisson, Lola Corre, Mathieu Régimbeau, Iñaki García de Cortázar-Atauri</i>	
Climat actuel et tendances en France	19
Évapotranspiration, bilan hydrique et sécheresse du sol.....	26
Climat futur et projections des variables agroclimatiques	28
Conclusion	34
Références	36
Chapitre 2. L'eau, les sols et le changement climatique	37
<i>Éric Sauquet, Annette Bérard, Claude Doussan, Yves Tramblay, Fabienne Rousset</i>	
L'eau verte.....	37
L'eau bleue	46
Conclusion	52
Références	52

PARTIE 2

MÉTHODES D'ANALYSE ET DE PROJECTION DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AGRICULTURE

Chapitre 3. Indicateurs et observatoires pour mettre en évidence et comprendre les impacts du changement climatique en France	59
<i>Iñaki García de Cortázar-Atauri, Maël Aubry, Éric Ceschia, Isabelle Chuine, Dominique Courault, Carina Furusho-Percot, Marie Launay, Renan Le Roux</i>	
L'observation de la phénologie, une histoire de données et de réseaux	60
Les données d'observation de la phénologie : des indicateurs de l'évolution du climat et de la biodiversité.....	63
La modélisation de la phénologie ou comment représenter simplement un processus complexe... 65	

Les indicateurs agroclimatiques : des informations synthétiques pour caractériser les impacts du changement climatique	66
Les indicateurs écoclimatiques : mieux prendre en compte la phénologie pour caractériser les impacts	68
Quelques exemples de services construits à l'aide des indicateurs agroclimatiques et écoclimatiques	72
Conclusion	75
Références	78
Chapitre 4. Modèles biophysiques de projection des impacts du changement climatique sur les cultures de l'échelle locale à l'échelle mondiale	83
<i>Nicolas Guilpart, Erwan Personne, David Makowski</i>	
Les types de modèles	84
L'utilisation des modèles pour estimer les impacts du changement climatique	90
Conclusion	96
Références	98
Chapitre 5. Approches économiques de l'évaluation d'impact du changement climatique sur l'agriculture	103
<i>Loïc Henry</i>	
Les approches mécaniques de l'évaluation d'impact	104
Les approches économétriques de l'évaluation d'impact	108
Les approches par les modèles économiques globaux	113
Conclusion	116
Références	117

PARTIE 3

**IMPACTS OBSERVÉS ET PROJETÉS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
SUR LES FILIÈRES ANIMALES ET VÉGÉTALES**

Chapitre 6. Impacts observés et projetés du changement climatique sur les grandes cultures et les prairies	123
<i>Philippe Debaeke, Jean-Louis Durand</i>	
Effets des changements climatiques sur la réponse écophysologique des plantes	124
Conséquences pour la production et la conduite en grandes cultures	132
Conséquences pour la production et pour la gestion des prairies	148
Conclusion	152
Références	152
Chapitre 7. Impacts observés et projetés du changement climatique sur les filières de production : cas des cultures pérennes (vigne, arbres fruitiers)	161
<i>Nathalie Ollat, Bénédicte Quilot, Cornelis Van Leeuwen, Bénédicte Wenden</i>	
La phénologie	162
Les rendements	166
La qualité de la récolte	170
La résilience face aux fortes contraintes	174
Conclusion	180
Références	180

Chapitre 8. Santé des plantes et changement climatique	187
<i>Marie Launay, Marie-Odile Bancal, Nathalie Colbach, Sylvain Pincebourde, Tiphaine Vidal</i>	
Les différents concepts au cœur de la santé des plantes.....	189
Impacts observés et attendus du changement climatique sur les bioagresseurs.....	192
Comment étudier un phénomène qui n'a pas encore eu lieu?	202
Conclusion	211
Références	212
Chapitre 9. Impacts du changement climatique sur l'élevage	221
<i>David Renaudeau, Hélène Gilbert, Anne Collin, Aurélie Vinet, Stephan Zientara</i>	
Vulnérabilité du secteur de l'élevage face au changement climatique.....	222
Impacts du changement climatique sur l'élevage.....	223
Conclusion	235
Références	237
PARTIE 4	
ADAPTATION DE L'AGRICULTURE	
AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	
Chapitre 10. Construire un cadre d'analyse et d'action pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique	243
<i>Jean-Marc Touzard, Gabrielle Bouleau</i>	
Adaptation : de l'usage commun à un concept scientifique pour l'agriculture face au changement climatique.....	244
Enseignements des projets conduits dans le cadre du métaprogramme Accaf	251
Conclusion	255
Références	256
Chapitre 11. Les leviers d'adaptation au changement climatique en production végétale	261
<i>Philippe Debaeke, Jean-Louis Durand, Nathalie Ollat</i>	
Grandes cultures	263
Prairies	271
Vigne et productions fruitières	274
Conclusion	279
Références	281
Chapitre 12. Adaptation de l'élevage au changement climatique	291
<i>David Renaudeau, Jean-Christophe Bambou, Anne Collin, Luc Delaby, Jean-Luc Gourdine, Sylvie Lecollinet, Sandra Novak, Aurélie Vinet, Hélène Gilbert</i>	
Adaptation des conduites générales des animaux ou des troupeaux	292
Stratégies d'adaptation basées sur le levier génétique	300
Stratégies de lutte contre l'émergence ou la réémergence de nouvelles maladies.....	305
Vers une reconception des systèmes d'élevage pour répondre aux enjeux du changement climatique.....	307
Dispositifs permettant une prise en charge collective des risques.....	309
Conclusion	310
Références	311

Chapitre 13. Accompagner les acteurs du monde agricole pour l'adaptation au changement climatique : enjeux, postures, approches	317
<i>Nina Graveline, Laure Hossard, Jouanel Poulmarch, Jean-Marc Touzard</i>	
Les différentes formes d'accompagnement pour l'adaptation	319
Approches d'accompagnement par la recherche.....	323
Illustration avec trois exemples d'accompagnements.....	328
Conclusion	330
Références	332

PARTIE 5
APPROCHES GLOBALES
DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AGRICULTURE

Chapitre 14. Agriculture, émissions de gaz à effet de serre et contribution à l'atténuation	339
--	-----

Sylvain Pellerin

Le secteur agricole, source et puits de gaz à effet de serre	340
Contribution du secteur agricole aux émissions de gaz à effet de serre.....	343
Les leviers de réduction des émissions directes et indirectes de CH ₄ et de N ₂ O.....	345
La séquestration de carbone dans des compartiments à temps de résidence long (sol et biomasse ligneuse).....	347
La production d'énergie renouvelable et les effets de substitution.....	348
Transition agroécologique et émissions de gaz à effet de serre.....	349
Le lien à l'alimentation	350
Conclusion	351
Références	351

Chapitre 15. Relations entre atténuation et adaptation au changement climatique en agriculture : favoriser les synergies, éviter les antagonismes	353
--	-----

Thierry Caquet

Une complémentarité nécessaire... mais pas systématique.....	354
Interactions entre atténuation et adaptation en agriculture.....	356
Des leviers individuels aux démarches intégrées.....	357
Un enjeu : éviter la maladaptation et ses conséquences.....	360
Conclusion	362
Références	363

Chapitre 16. Les politiques publiques d'atténuation et d'adaptation de l'agriculture française au changement climatique : entre mise à l'agenda tardive et marqueterie institutionnelle complexe	367
---	-----

Marie Hrabanski, Bétina Boutroue, Gilles Massardier, Alban Thomas

La mise à l'agenda tardive de l'adaptation de l'agriculture au changement climatique à l'échelle internationale, européenne et en France.....	367
Les instruments d'adaptation en France : quelques innovations et de nombreux recyclages.....	371
La marqueterie institutionnelle complexe de la gouvernance de la transition agricole française ..	378
Conclusion	382
Références	383

Conclusion et perspectives	387
---	-----

Philippe Debaeke, Nina Graveline, Barbara Lacor, Sylvain Pellerin, David Renaudeau, Eric Sauquet

Liste des auteurs	395
--------------------------------	-----

Préface

L'année 2024 a été la plus chaude jamais enregistrée à l'échelle mondiale, atteignant pour la première fois le seuil de +1,5°C de réchauffement par rapport aux niveaux préindustriels. En France, sur les dix dernières années, l'augmentation de la température dépasse déjà +2°C, avec une occurrence six fois plus importante des vagues de chaleur et une augmentation d'un facteur 1,5 des sécheresses comparativement à la période s'étendant de 1961 à 1990. Le changement climatique représente désormais une menace directe et tangible pour les biens et les personnes. Ainsi, en 2022, les événements climatiques extrêmes ont causé trois mille décès en France et onze milliards d'euros de dommages non assurés.

L'agriculture constitue l'un des secteurs d'activité les plus exposés au changement climatique. Celui-ci affecte les cycles de production, la disponibilité de l'eau, le fonctionnement des sols, la biodiversité, les maladies animales et végétales, et cause des pertes de production qui, elles-mêmes, se répercutent sur l'ensemble du système alimentaire. Sans investissements dans l'adaptation, ces pertes de production augmenteront au cours des prochaines décennies, puisque la trajectoire de référence pour la France anticipe un réchauffement de +4°C d'ici à 2100. Des limites d'adaptation ont déjà été atteintes localement et les risques de maladaptation existent, par exemple pour la gestion des ressources en eau.

D'un autre côté, l'alimentation constitue 22% de l'empreinte carbone des Français, et les émissions qu'elle génère diminuent de manière insuffisante par rapport aux objectifs climatiques. Pour stabiliser les températures, il est indispensable d'atteindre la neutralité carbone en 2050, ce qui suppose dans la plupart des scénarios une division par deux des émissions nettes du secteur agricole. Au défi de l'adaptation de l'agriculture s'ajoute donc celui de l'atténuation qui consiste à réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en mobilisant le stockage du carbone dans les sols et dans la biomasse.

En proposant une synthèse rigoureuse et actualisée, ce livre s'inscrit dans une démarche nécessaire de prise de conscience et d'action, tout en mettant en lumière les synergies nécessaires entre adaptation et atténuation. Il fait état des connaissances actuelles sur les impacts du changement climatique sur l'agriculture, tout en proposant des solutions pragmatiques et adaptées à la diversité des systèmes de production. Les données présentées soulignent l'urgence d'une adaptation systémique, qui doit se substituer à une approche réactive.

L'ouvrage se divise en plusieurs chapitres qui explorent les défis posés par le changement climatique, les méthodes de recherche pertinentes et les impacts spécifiques sur les différentes filières agricoles. En outre, il examine les initiatives politiques en cours, tout en mettant en avant des exemples concrets de pratiques agricoles durables. Ce livre est le fruit d'une collaboration entre chercheurs et praticiens, et son objectif est d'éclairer les décideurs, les agriculteurs, les enseignants et le grand public sur ces enjeux cruciaux.

En définitive, *Agriculture et changement climatique* se veut un outil de sensibilisation et de mobilisation. Il invite à une réflexion collective sur les solutions possibles, en soulignant l'importance d'une approche intégrée et durable pour l'agriculture. L'avenir de notre système alimentaire et de notre environnement dépend de notre capacité à nous adapter et à atténuer les effets du changement climatique. Il est temps d'agir, et cet ouvrage est une ressource précieuse pour tous ceux qui souhaitent contribuer à un avenir agricole résilient et durable.

Jean-François Soussana
Président du Haut Conseil pour le climat
Conseiller international, INRAE

Introduction

*Philippe Debaeke, Nina Graveline, Barbara Lacor, Sylvain Pellerin,
David Renaudeau, Éric Sauquet*

Les défis auxquels l'agriculture du XXI^e siècle doit faire face sont nombreux : assurer la sécurité alimentaire et produire une alimentation de qualité, tout en évoluant vers des systèmes de production plus sobres en intrants (pesticides, fertilisants, eau, énergie), préservant, voire restaurant la biodiversité, mais aussi s'adaptant au changement climatique et contribuant à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES). Dans le même temps, l'activité agricole doit permettre aux agriculteurs de vivre de leur travail et de se préparer au renouvellement des générations. L'ampleur de ces défis fixe des priorités absolues, mais complexes pour la recherche et pour les politiques publiques.

Le changement climatique, dont on perçoit chaque jour davantage les manifestations inquiétantes, constitue à l'évidence la préoccupation majeure (avec le déclin de la biodiversité) pour le devenir de l'humanité, en raison des enjeux évidents quant à la sécurité alimentaire. Ce changement se caractérise en particulier par un réchauffement mondial, une variabilité accrue des précipitations, une augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la durée des épisodes de sécheresse, mais aussi par la survenue plus fréquente d'événements extrêmes (vagues de chaleur, gels tardifs, précipitations intenses, tempêtes, par exemple) qui menacent gravement la production agricole (en quantité et en régularité) et qui génèrent de fortes incertitudes en amont pour les agriculteurs, et plus globalement pour les filières en aval qui collectent et transforment les productions animales et végétales (IPCC, 2023).

► Des impacts majeurs sur la production agricole

Les manifestations du changement climatique sont perceptibles depuis de nombreuses années et provoquent régulièrement des pertes significatives pour les productions agricoles, végétales et animales. Ainsi, la canicule de 2003 a entraîné une perte de 30 % de la production primaire en Europe (Ciais *et al.*, 2005). Dans l'ouest de la France, 1,7 million de poulets sont morts dans les poulaillers à la suite des excès de chaleur cette même année. Les fortes précipitations printanières en 2016 et en 2024 ont induit des pertes de rendement importantes pour le blé en France : -24 % et -11 % selon Agreste (2016 et 2024). En 2022, 35 % des sols ont été en situation de sécheresse et la production de maïs française a baissé de 18 % par rapport à la moyenne quinquennale, en raison notamment de restrictions d'irrigation. La croissance de l'herbe et l'évolution de la composition des

prairies sont également fortement affectées par les événements récurrents de sécheresse et de canicule. Les productions fruitières et viticoles sont de plus en plus menacées par la douceur hivernale qui les expose fréquemment aux gels printaniers (comme en 2021) (Legave, 2022). Selon Bras *et al.* (2021), les pertes de récoltes liées aux sécheresses et aux canicules auraient triplé ces cinquante dernières années en Europe. Ces épisodes, qualifiés d'exceptionnels au cours des dernières décennies, sont de moins en moins rares et se répéteront fréquemment dans les années à venir en Europe (Spinoni *et al.*, 2018). À cela, il faut associer le risque d'incendie, accru durant les périodes de sécheresse et de canicule, qui met en péril non seulement les surfaces forestières, mais aussi les terres agricoles exposées. L'ensemble de ces risques climatiques, auxquels il faut ajouter la hausse du niveau des mers et l'érosion côtière, a des effets déjà visibles sur la perte en terres, sur la dégradation des sols et sur la baisse de leur fertilité.

Les conséquences économiques du changement climatique sont déjà importantes et vont s'accroître avec les aléas et l'exposition des systèmes agricoles, mais leur estimation est difficile à réaliser, et les prévisions sont incertaines. Ainsi, une part de ces coûts, les dépenses d'indemnisation et de gestion des crises agricoles liées aux aléas climatiques, a fortement augmenté ces cinq dernières années en France (gel en 2021, sécheresse en 2022) pour atteindre 2,1 milliards d'euros, soit près du tiers du budget du ministère de l'Agriculture (Bonvillain *et al.*, 2024). Cela ne couvre pas toutes les pertes financières subies par les producteurs, dont la grande majorité n'a pas souscrit à une assurance multirisque climatique, ni tous les efforts d'adaptation supportés par le monde agricole.

À l'échelle nationale, Tremblay et Ruiz (2022) et Dépoues *et al.* (2024) ont estimé respectivement à plus de 1 milliard d'euros par an (jusqu'à 2050) et à 1,5 milliard d'euros par an (sur la décennie à venir) les dépenses nécessaires aux filières agricoles et alimentaires françaises pour adapter leurs activités au changement climatique. Ces dépenses concernent par exemple la prise en charge de dispositifs de stockage de l'eau et d'infrastructures d'irrigation, le conseil agricole massifié, le renouvellement des vergers et l'extension de l'agroforesterie, etc.

► Adapter les systèmes agricoles et atténuer leurs émissions

Depuis plus de trente ans, les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec)¹ ont permis de synthétiser et d'affiner l'état des connaissances sur l'évolution du climat, sur ses causes et ses impacts, mais aussi d'évaluer les possibilités de limiter l'ampleur du réchauffement et la gravité de ses impacts, et de s'adapter aux changements attendus. Cette production scientifique est au cœur des négociations internationales sur le climat et vise à alerter les décideurs et la société civile.

À travers ces rapports successifs, il apparaît que le secteur agricole (35 % des terres émergées) subit de plein fouet les impacts du changement climatique tout en étant un contributeur majeur aux émissions de GES, aussi bien par les pratiques d'élevage que par la conduite des cultures et des systèmes de culture (23 % des émissions au niveau mondial).

1. Giec : créé en 1988 en vue de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et sur les stratégies de parade (en anglais, Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC).

L'urgence est d'adapter les systèmes de culture et d'élevage au changement climatique pour les rendre plus résilients face aux évolutions tendanciennes et aux événements extrêmes, c'est-à-dire à la fois plus robustes, et capables de s'adapter, voire de se transformer. Dans le même temps, il est nécessaire de réduire les émissions de GES du secteur agricole et d'augmenter la séquestration du carbone pour atténuer les effets sur le climat à plus long terme. Des synergies sont à trouver entre ces deux impératifs (adapter et atténuer), sans oublier les autres enjeux et les contraintes du monde agricole énoncés plus haut.

La figure I.1, extraite du 3^e rapport du Giec (2001) d'après Smit *et al.* (1999), illustre bien les synergies entre le changement climatique, les impacts sur les agroécosystèmes, les mesures d'adaptation et d'atténuation avec un retour attendu sur le ralentissement des émissions de GES. Précisons que les deux objectifs « adapter et atténuer » sont nécessaires et indissociables, mais que les effets des mesures mises en œuvre ne s'évaluent pas à la même échelle spatiale : l'adaptation s'apprécie à l'échelle locale et l'atténuation, à l'échelle mondiale. Par ailleurs, la temporalité est bien différente : il est tout aussi urgent de s'adapter aux aléas actuels que d'atténuer les émissions de GES pour éviter des effets à plus long terme.

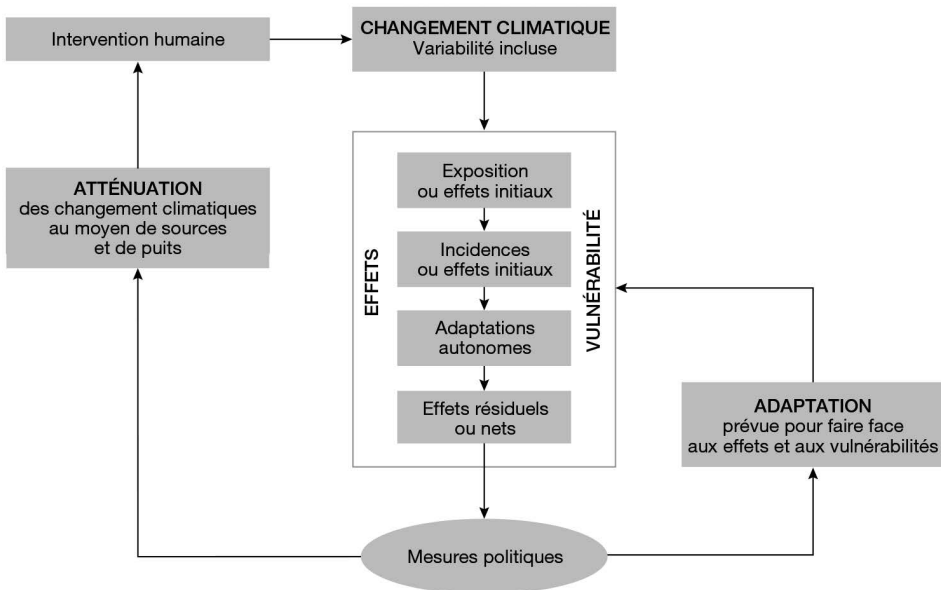


Figure I.1. Place de l'atténuation et de l'adaptation en réponse aux effets induits par le changement climatique. Source : d'après Smit *et al.*, 1999.

► Une référence actualisée des problématiques liées au changement climatique en agriculture

Afin de contribuer à l'apport de connaissances objectives sur les relations entre l'agriculture (au sens large) et le changement climatique, et d'éclairer ainsi les enjeux pour la production agricole, l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) a souhaité proposer cet ouvrage de synthèse.

L'agriculture des milieux tempérés et méditerranéens en est la principale cible, mais des références provenant des milieux tropicaux ont également été intégrées.

Une première partie dresse un état des lieux de la réalité du changement climatique et de ses conséquences pour l'agriculture. Après avoir exposé un bilan actualisé des évolutions climatiques en France (aspects historiques, projections) (chapitre 1), l'ouvrage montre leurs impacts sur les ressources en eau et en sols pour l'agriculture (chapitre 2).

Une deuxième partie présente les méthodes utilisées par la recherche pour analyser et pour prévoir les impacts sur la production et sur le fonctionnement des filières (observatoires, indicateurs, modèles, etc.) (chapitres 3, 4 et 5).

Dans une troisième partie, les impacts observés ou prévisibles pour les principales filières végétales (grandes cultures, prairies, vignes, arbres fruitiers) et animales sont décrits et quantifiés (chapitres 6, 7, 8 et 9).

Une quatrième partie propose un tour d'horizon de l'accompagnement des acteurs en vue de concevoir, d'évaluer puis de mettre en œuvre des solutions et des leviers pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique (chapitres 10, 11, 12 et 13).

Enfin, la dernière partie s'intéresse d'une part aux services apportés par l'agriculture en vue d'atténuer les émissions de GES et de stocker davantage de carbone dans les terres agricoles (chapitre 14), et d'autre part aux synergies et aux compromis entre atténuation et adaptation (chapitre 15). Le chapitre 16 analyse les politiques publiques d'atténuation et d'adaptation mises en œuvre dans le secteur agricole face au changement climatique.

Chacun de ces chapitres est resitué dans le cadre d'évaluation intégrée proposé par le Giec en 2001 (figure I.2).

La plupart des questions posées au sujet de l'adaptation de l'agriculture, des écosystèmes et des territoires avaient déjà été évoquées dans un précédent ouvrage (Soussana, 2013). Depuis, les travaux de la communauté scientifique se sont amplifiés, notamment à INRAE par le biais de programmes de recherche (Accaf puis CLIMAE), de méthodes d'analyse et de scénarisation, mais aussi par l'accompagnement des acteurs et par l'émergence de solutions. Les résultats de ces recherches sont présentés dans les différents chapitres de cet ouvrage.

Plus récemment, d'autres ouvrages coordonnés par INRAE ont été publiés par les éditions Quæ, le plus souvent dans cette même collection *Synthèses*, et pourront être consultés pour approfondir les thèmes développés ici : la gestion de l'eau en agriculture (Leenhardt *et al.*, 2020), l'adaptation au changement climatique des arbres fruitiers (Legave, 2022), l'adaptation de la filière vigne et vin (Ollat et Touzard, 2024), l'atténuation des émissions de GES et le stockage du carbone (Pellerin *et al.*, 2015 et 2021). Notre ambition ici est de couvrir de manière assez large l'ensemble des problématiques associées au changement climatique en agriculture pour fournir au lecteur une vision la plus complète possible.

Cet ouvrage en français s'adresse aussi bien aux chercheurs et enseignants-chercheurs qu'aux étudiants de l'enseignement supérieur et aux ingénieurs des structures de développement. Il devrait constituer une référence actualisée, accessible aux acteurs du secteur agricole et aux décideurs politiques. À notre connaissance, il n'existe pas aujourd'hui d'ouvrage de synthèse pour ce public dans la communauté francophone.

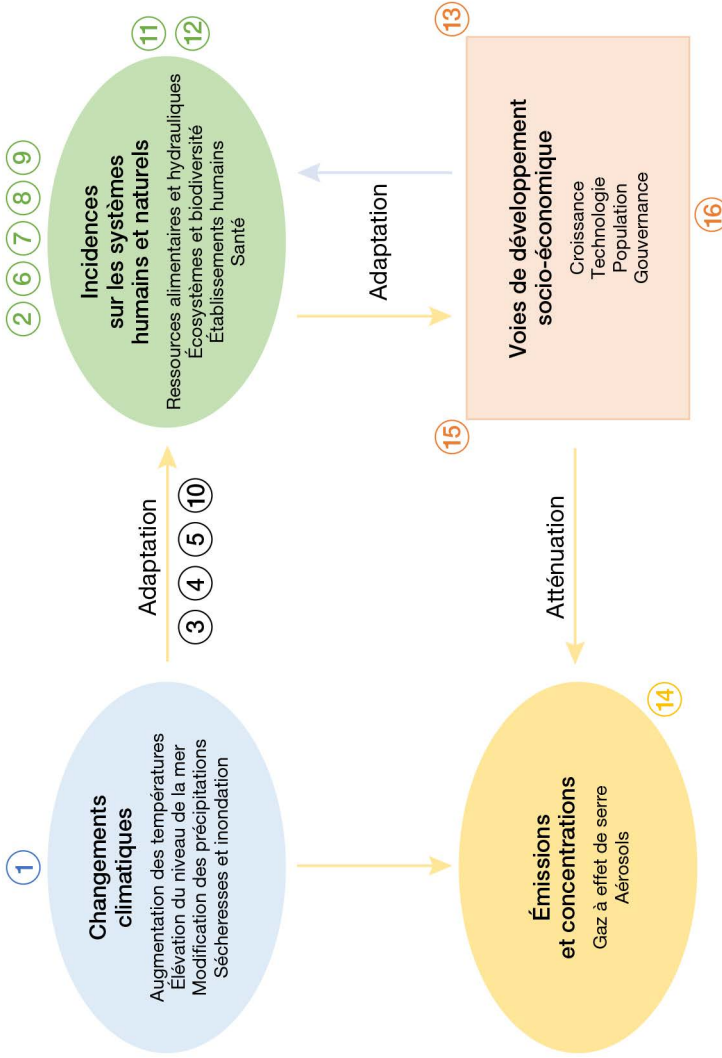


Figure I.2. Représentation schématique et simplifiée d'un cadre d'évaluation intégrée pour l'étude des changements climatiques anthropiques.

Source : d'après IPCC, 2001.

Les flèches jaunes indiquent le cycle de causes et effets dans les quatre secteurs représentés, et les flèches bleues indiquent la réponse sociale aux effets des changements climatiques. Les numéros renvoient aux chapitres de cet ouvrage.

Une terminologie à préciser

Avant toute chose, il est important de préciser un certain nombre de termes qui seront utilisés tout au long de cet ouvrage.

En 2001, le Giec a défini la notion de vulnérabilité climatique que l'on peut résumer ainsi (figure I.3) :

vulnérabilité = $f(\text{exposition, sensibilité, capacité d'adaptation})$.

La notion d'exposition au changement climatique fait référence, pour un système naturel ou anthropique, au niveau de contrainte climatique et à la fréquence avec laquelle il y est soumis. L'exposition s'exprime, par exemple, par la probabilité d'un déficit hydrique ou d'un excès thermique pendant une période donnée. Elle est ainsi associée à la notion de risque.

La sensibilité mesure l'ampleur des effets négatifs ou bénéfiques que le climat exerce sur un organisme vivant ou sur un système biologique ou sociotechnique qui est exposé au changement climatique.

La capacité d'adaptation des systèmes aux aléas climatiques auxquels ils sont exposés fait référence à leur capacité de se prémunir contre d'éventuels dommages, de tirer parti des opportunités liées au changement climatique ou de réagir à ses conséquences.

Enfin, la vulnérabilité, qui conjugue ces trois notions, évalue dans quelle mesure un système est sensible aux effets néfastes du changement climatique (caractérisé par des valeurs tendancielles, de la variabilité interannuelle et des événements extrêmes) et s'avère incapable d'y faire face. Elle est donc fonction du caractère, de l'ampleur et du rythme des variations climatiques auxquelles ce système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation (Giec, 2001). Cette définition fait largement consensus au sein de la communauté scientifique (Tao *et al.*, 2011).

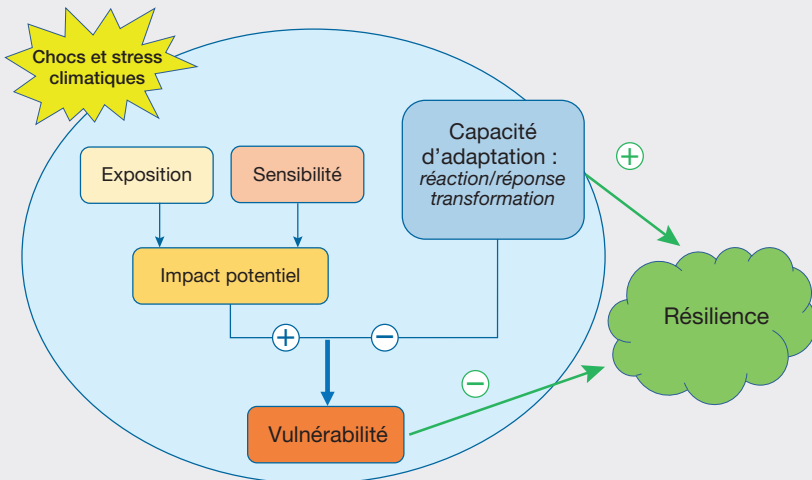


Figure I.3. Schéma illustrant la manière dont les composantes de l'adaptation interagissent pour parvenir à la résilience. Pour renforcer celle-ci, il faut accroître la capacité d'adaptation (+) et réduire la vulnérabilité des systèmes agricoles (-). Les capacités d'adaptation permettent de réduire (-) la vulnérabilité des systèmes aux impacts potentiels (+). Source : adaptée de Leippert *et al.*, 2020.

D'autres notions sont également mobilisées pour qualifier la réponse et les capacités de réaction des systèmes biologiques ou sociotechniques en agriculture face au changement climatique (Urruty *et al.*, 2016; Giec, 2021) :

- la robustesse désigne la capacité des systèmes biologiques et techniques à maintenir les niveaux souhaités de production agricole (stabilité) malgré l'apparition de perturbations qui peuvent être fortes et variables ;

- la résilience caractérise la capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux — tous interdépendants — à faire face à une évolution, à une perturbation ou à un événement aléatoire et potentiellement néfaste. Cette résilience leur permet d'y répondre ou de se réorganiser de façon à préserver leur fonction, leur identité et leur structure fondamentales tout en gardant leurs capacités d'adaptation, d'apprentissage et de transformation. Par exemple, la résilience d'une exploitation agricole, d'une filière ou d'un territoire sera mesurée par sa capacité à anticiper, à agir (à faire face aux chocs), à s'adapter et à se transformer de manière rapide et efficace pour réduire sa vulnérabilité face aux aléas climatiques. Ainsi, accroître la résilience d'un système passe par la réduction de sa vulnérabilité et par le renforcement de ses capacités d'adaptation (figure I.3).

D'autres notions sont apparentées à la résilience, comme la résistance ou la tolérance des systèmes face à une perturbation.

► Références

Agreste, 2016. Bilan conjoncturel 2016, *Agreste Panorama*, n° 5, 44 p.

Agreste, 2024. Grandes Cultures, *Conjoncture-Infos rapides*, n° 130.

Bonvillain T., Rogissart L., Féret S., 2024. Estimation des dépenses publiques liées aux crises agricoles en France entre 2013 et 2022, rapport Institute for Climate Economics (I4CE), 36 p.

Bras T.A., Seixas J., Carvalhais N., Jägermer J., 2021. Severity of drought and heatwave crop losses tripled over the last five decades in Europe, *Environmental Research Letters*, 16(6), 065012, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf004>.

Ciais P., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Ogée J., Allard V. *et al.*, 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003, *Nature*, 437, 529-533, <https://doi.org/10.1038/nature03972>.

Dépoues V., Dolques G., Nicol M., 2024. Anticiper les effets d'un réchauffement de + 4°C : quels coûts de l'adaptation?, rapport Institute for Climate Economics (I4CE), 39 p.

Giec, 2021. Annexe VII – Glossaire, in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Royaume-Uni.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Royaume-Uni, 1032 p.

IPCC, 2023. Sections, in *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Genève, Suisse, p. 35-115, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.

Leenhardt D., Voltz M., Barreteau O. (Coords), 2020. *L'Eau en milieu agricole. Outils et méthodes pour une gestion territoriale*, Versailles, éditions Quæ, 288 p.

Legave J.M. (Coord.), 2022. *Les Productions fruitières à l'heure du changement climatique. Risques et opportunités en régions tempérées*, Versailles, éditions Quæ, 464 p.

Leippert F., Darmaun M., Bernoux M., Mphesha M., 2020. The potential of agroecology to build climate-resilient livelihoods and food systems, FAO and Biovision, Rome, 136 p., <https://doi.org/10.4060/cb0438en>.

- Ollat N., Touzard J.-M. (Coords), 2024. *Vigne, vin et changement climatique*, Versailles, éditions Quæ, 284 p.
- Pellerin S., Bamière L., Pardon L. (Coords), 2015. *Agriculture et gaz à effet de serre. Dix actions pour réduire les émissions*, Versailles, éditions Quæ, 200 p.
- Pellerin S., Bamière L., Savini I., Réchauchère O. (Coords), 2021. *Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel et à quel coût ?*, Versailles, éditions Quæ, 232 p.
- Smit B., Burton I., Klein R.J.T., Street R., 1999. The science of adaptation: A framework for assessment, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4, 199-213, <https://doi.org/10.1023/A:1009652531101>.
- Soussana J.F. (Coord.), 2013. *S'adapter au changement climatique. Agriculture, écosystèmes et territoires*, Versailles, éditions Quæ, 296 p.
- Spinoni J., Vogt J.V., Naumann G., Barbosa P., Dosio A., 2018. Will drought events become more frequent and severe in Europe?, *International Journal of Climatology*, 38, 1718-1736, <https://doi.org/10.1002/joc.5291>.
- Tao S., Xu Y., Liu K., Pan J., Gou S., 2011. Research progress in agricultural vulnerability to climate change, *Advances in Climate Change Research*, 2(4), 203-210, <https://doi.org/10.3724/SPJ.1248.2011.00203>.
- Tremblay D., Ruiz J., 2022. Évaluation du coût du changement climatique pour les filières agricoles et alimentaires, rapport du CGAAER n° 21044, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 117 p.
- Urruty N., Tailliez-Lefebvre D., Huyghe C., 2016. Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 15, <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0347-5>.

Partie 1

État des lieux du changement climatique

