



AGRICULTURES
ET DÉFIS DU MONDE
Collection Cirad-AFD

Changement climatique et agricultures du monde

Emmanuel Torquebiau,
éditeur scientifique



éditions
Quæ

Changement climatique et agricultures du monde

Emmanuel Torquebiau,
éditeur scientifique

Éditions Quæ

La série Agricultures et défis du monde présente annuellement un ouvrage issu des travaux de recherche que le Cirad mène pour le développement durable des agricultures du monde tropical. Elle est coéditée par les Éditions Quæ, l'AFD et le Cirad. Cette série est dirigée par Patrick Caron, directeur général délégué Recherche et stratégie du Cirad.

Le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) est un centre de recherche français qui répond, avec les pays du Sud, aux enjeux internationaux de l'agriculture et du développement. Il produit et transmet, en partenariat avec ces pays, de nouvelles connaissances pour accompagner le développement agricole et contribuer au débat sur les grands enjeux mondiaux de l'agriculture, de l'alimentation et des territoires ruraux. Le Cirad dispose d'un réseau mondial de partenaires et de directions régionales, à partir desquelles il mène des activités de coopération avec plus de quatre-vingt-dix pays.

Cirad, 42 rue Scheffer, 75116 Paris
www.cirad.fr

L'AFD, Agence française de développement, est un établissement public qui agit depuis soixante-dix ans pour combattre la pauvreté et favoriser le développement dans les pays du Sud et dans l'Outre-Mer français. Elle met en œuvre une politique définie par le gouvernement français.

Présente sur le terrain dans plus de cinquante pays et dans neuf départements et collectivités d'Outre-mer, l'AFD finance et accompagne des projets qui améliorent les conditions de vie des populations, soutiennent la croissance économique et protègent la planète : scolarisation, santé maternelle, appui aux agriculteurs et aux petites entreprises, adduction d'eau, préservation de la forêt tropicale, lutte contre le réchauffement climatique...

Agence française de développement,
5 rue Roland Barthes, 75598 Paris Cedex 12, France
www.afd.fr

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

© Éditions Quæ, 2015

ISBN : 978-2-7592-2300-8

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Préface

Que répondre à tous ceux qui se posent des questions sur l'impact du changement climatique sur l'agriculture et la sécurité alimentaire ? À tous ceux qui se demandent comment proposer des réponses, comment aider les gens qui seront (ou sont déjà !) affectés par le changement climatique ? Ces questions prennent une gravité particulière dans les pays en développement, au Sud, où les changements climatiques attendus sont importants et vont toucher des populations nombreuses et souvent en situation de pauvreté. Les ouvrages qui traitent du dérèglement climatique dans cette partie du monde ne sont pas légion. Celui-ci arrive donc à point nommé en explorant en détail de multiples configurations touchant les agricultures du monde.

L'agriculture subit le changement climatique mais en est aussi responsable, tout en étant une partie de la solution. Il faut qu'elle adapte ses pratiques mais aussi qu'elle atténue ses émissions de gaz à effet de serre et contribue à stocker du carbone. Est-ce possible ? Est-ce réaliste ? Le débat sur la place à donner à ces deux dimensions, adaptation et atténuation, est au cœur des négociations en cours dans le cadre de la préparation de la 21^e Conférence des Parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP 21), qui se tiendra à Paris en décembre 2015. La question est particulièrement cruciale dans les pays du Sud car l'ambition de la COP 21 est celle d'un accord audacieux et volontaire face au défi du dérèglement climatique qui s'appliquerait à tous les pays, alors même que les pays du Sud hésitent à s'engager sur l'atténuation, dont ils ne se sentent pas historiquement responsables. Les analyses que nous propose cet ouvrage sont une contribution essentielle à ce débat. En faisant le point sur les dernières recherches en cours et en proposant des perspectives scientifiques pour les années à venir, les auteurs réussissent à amener le lecteur au cœur des enjeux de ce débat adaptation-atténuation afin de disposer d'éléments objectifs de décision.

Le concept d'agriculture climato-intelligente, c'est-à-dire l'équation qui vise à optimiser simultanément les dimensions adaptation, atténuation et sécurité alimentaire, présentée en détail, permet d'approfondir le débat. Les exemples fournis montrent que les trois termes de l'équation sont parfois en équilibre, mais pas toujours, et qu'il faudra faire des choix. Sans surprise, le changement imposé par le dérèglement climatique est une question majeure et ce livre aidera sans aucun doute à prendre des décisions. Ces choix ne concernent pas que les pratiques agricoles ou forestières de terrain, mais également les filières de production, les habitudes de consommation, les politiques publiques et les instruments économiques. L'ensemble de ces paramètres permettra *in fine* de clarifier la place — pas encore stabilisée — de l'agriculture dans les négociations climatiques internationales, ce qui est essentiel pour qu'aboutissent ces négociations mais également pour l'équilibre du monde à venir.

Cet ouvrage montre que des solutions existent. Les auteurs proposent des options, et elles sont nombreuses. Nous devons tous changer nos habitudes. Si vous êtes en mesure de reprendre les messages de ce livre et de les mettre en application, c'est possible.

Laurence Tubiana

Ambassadrice chargée des négociations sur le changement climatique,
représentante spéciale pour la conférence Paris Climat 2015

Fondatrice-directrice de l'Institut du développement durable
et des relations internationales (Iddri)

Présidente du conseil d'administration de l'AFD

Membre du conseil d'administration du Cirad

Sommaire

Préface	3
Avant-propos	7
Remerciements	8
Chapitre 1. Comment le changement climatique modifie la donne agricole	9
<i>Emmanuel Torquebiau, José Tissier, Jean-Yves Grosclaude</i>	

PARTIE I – RÉPONDRE AU STRESS CLIMATIQUE

Chapitre 2. Aléa, vulnérabilité et risque	27
<i>Olivier Gilard</i>	
Chapitre 3. Stratégies d'adaptation du riz en réponse à la chaleur au stade de la floraison	37
<i>Tanguy Lafarge, Cécile Julia, Alpha Baldé, Nourollah Ahmadi, Bertrand Muller, Michael Dingkuhn</i>	
Chapitre 4. Adaptation à la salinité	50
<i>Nourollah Ahmadi, Jean-François Baroiller, Helena D'Cotta, Raphaël Morillon</i>	
Chapitre 5. Amélioration de l'adaptation des cultures à la sécheresse en zone de savane africaine	63
<i>Jean-Marc Lacape, Romain Loison, Daniel Foncéka</i>	
Chapitre 6. Bioagresseurs des cultures tropicales face au changement climatique : quelques exemples	75
<i>Christian Cilas, François-Régis Goebel, Régis Babin, Jacques Avelino</i>	
Chapitre 7. La bonne santé des plantes tropicales pour atténuer les effets du changement climatique : l'exemple du caféier	84
<i>Benoît Bertrand, Pierre Marraccini, Luc Villain, Jean-Christophe Breitler, Hervé Etienne</i>	
Chapitre 8. Changement climatique et maladies animales à transmission vectorielle	96
<i>Véronique Chevalier, Fabrice Courtin, Hélène Guis, Annelise Tran, Laurence Vial</i>	
Chapitre 9. Les relations entre systèmes de culture annuels tropicaux et changement climatique	107
<i>Edward Gérardiaux, François Affholder, Martial Bernoux, Bertrand Muller</i>	

PARTIE II – À LA RECHERCHE DE NOUVELLES PRATIQUES

Chapitre 10. Contraintes sur l'élevage dans les pays du Sud : les ruminants entre adaptation et atténuation	123
<i>Mathieu Vigne, Vincent Blanfort, Jonathan Vayssières, Philippe Lecomte, Philippe Steinmetz</i>	
Chapitre 11. Exploitations agricoles climato-intelligentes ? Études de cas au Burkina Faso et en Colombie	136
<i>Nadine Andrieu, Philippe Pédelahore, Fanny Howland, Katrien Descheemaeker, Éric Vall, Osana Bonilla-Findji, Caitlin Corner, Ana-Maria Loboguerero, Eduardo Chia</i>	
Chapitre 12. La gestion des territoires hydrologiques à l'épreuve du changement climatique	147
<i>Olivier Barreteau, Stefano Farolfi, Sylvain Perret</i>	
Chapitre 13. La réduction des émissions de gaz à effet de serre par la valorisation agricole des résidus organiques	157
<i>Tom Wassenaar, François Dumoulin, Jean-Luc Farinet, Jean-Marie Paillat, Laurent Thuriès, Emmanuel Tillard, Jonathan Vayssières, Mathieu Vigne</i>	

Chapitre 14. Les forêts tropicales humides résisteront-elles au changement climatique ?	171
<i>Bruno Héroult, Sylvie Gourlet-Fleury</i>	

Chapitre 15. Adaptation au changement climatique et atténuation dans les plantations d'arbres tropicaux	185
--	-----

Jean-Paul Laclau, Frédéric Gay, Jean-Pierre Bouillet, Jean-Marc Bouvet, Gilles Chaix, André Clément-Demange, Frédéric Do, Daniel Epron, Bénédicte Favreau, Jean-Marc Gion, Yann Nouvellon, Valérie Pujade-Renaud, Philippe Thaler, Daniel Verhaegen, Philippe Vignerot

Chapitre 16. Production de café et de cacao en agroforesterie : un modèle d'agriculture climato-intelligente	196
---	-----

Philippe Vaast, Jean-Michel Harmand, Bruno Rapidel, Patrick Jagoret, Olivier Deheuvels

PARTIE III – STIMULER DES TRANSFORMATIONS

Chapitre 17. Changement climatique : impact sur la consommation alimentaire et la nutrition ...	213
<i>Michelle Holdsworth, Nicolas Bricas</i>	

Chapitre 18. Le concept « Une seule santé » pour mieux articuler politiques sanitaires et changement climatique	225
--	-----

François Roger, Pascal Bonnet, Philippe Steinmetz, Pierre Salignon, Marisa Peyre

Chapitre 19. Les services écosystémiques face au changement climatique	236
---	-----

Miguel Pedrono, Bruno Locatelli, Driss Ezzine-de-Blas, Denis Pesche, Serge Morand, Aurélie Binot

Chapitre 20. L'analyse de cycle de vie pour élucider les liens entre agriculture et changement climatique	246
--	-----

Cécile Bessou, Claudine Basset-Mens, Anthony Benoist, Yannick Biard, Julien Burte, Pauline Feschet, Sandra Payen, Thierry Tran, Sylvain Perret

Chapitre 21. Les paiements pour services environnementaux dans les politiques de changement climatique	257
---	-----

Driss Ezzine-de-Blas, Marie Hrabanski, Jean-François Le Coq

Chapitre 22. Relever les défis du changement climatique : quels rôles pour la certification et les labels ?	268
--	-----

Sylvaine Lemeilleur, Gaëlle Balineau

Chapitre 23. L'évaluation des politiques climatiques à l'échelle globale et nationale	279
--	-----

Franck Lecocq

PARTIE IV – VOIR PLUS LOIN

Chapitre 24. Que penser de l'agriculture climato-intelligente ?	291
--	-----

José Tissier, Jean-Yves Grosclaude

Chapitre 25. L'agriculture climato-intelligente et les arènes de la négociation internationale sur le changement climatique	303
--	-----

Patrick Caron, Sébastien Treyer

Chapitre 26. De nouvelles perspectives de recherche au regard des enjeux climatiques concernant les agricultures du Sud	314
--	-----

Emmanuel Torquebiau, Dominique Berry, Patrick Caron, Jean-Yves Grosclaude

Liste des encadrés	325
---------------------------------	-----

Liste des auteurs	326
--------------------------------	-----

Avant-propos

L'objectif de cet ouvrage est de faire le point sur les liens entre changement climatique et agriculture des pays du Sud, y compris élevage et foresterie, sur la base des travaux du Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), de l'AFD (Agence française de développement) et de leurs partenaires. Nous tentons de démontrer que ce changement exige que nous, chercheurs — et nos partenaires les agriculteurs —, modifions de nombreuses habitudes. Les auteurs ouvrent des perspectives scientifiques tout en faisant référence aux dernières recherches sur la question. Notre but est aussi de contribuer à un positionnement de la recherche sur les enjeux de production de connaissances à venir. Nonobstant cette ambition, la cible de l'ouvrage concerne les chercheurs non spécialistes des questions traitées, les ingénieurs, les opérateurs divers du secteur agricole et forestier dans les pays du Sud, les étudiants et le grand public averti. Nous avons voulu un livre avec du contenu scientifique mais d'un abord aisé.

Les analyses présentées se situent dans le contexte du changement climatique tel qu'il est exposé dans les documents du cinquième Rapport d'évaluation du Giec¹, publiés de septembre 2013 à octobre 2014. La mission du Giec est de présenter au monde l'état actuel des connaissances scientifiques sur les changements climatiques et leur incidence potentielle sur l'environnement et la sphère socio-économique sur la base de la littérature scientifique, technique et socio-économique la plus récente. Les rapports publiés portent sur les éléments scientifiques du changement climatique (groupe de travail I), les incidences, l'adaptation et la vulnérabilité (groupe de travail II) et l'atténuation du changement climatique (groupe de travail III).

Les principales notions utilisées fréquemment dans cet ouvrage sont ici définies, d'après le Giec :

- changement climatique : variation de l'état du climat, qu'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus ;
- risque : conséquences éventuelles et incertaines d'un événement sur quelque chose ayant une valeur, compte dûment tenu de la diversité des valeurs ;
- adaptation : démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences ;
- atténuation : intervention humaine pour réduire les sources ou augmenter les puits de gaz à effet de serre ;
- résilience : capacité des systèmes sociaux, économiques ou écologiques à faire face aux événements dangereux, tendances ou perturbations, à y réagir et à se réorganiser de façon à conserver leurs fonctions essentielles, leur identité et leur structure, tout en maintenant leurs facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation.

Les grandes tendances du changement climatique sont exposées dans le chapitre 1. Le fil directeur du livre se lit dans les quatre grandes parties qui en constituent l'ossature : d'abord des exemples de réponses à des stress climatiques, puis des exemples de pratiques que le changement climatique modifie. Suivent en troisième partie des approches pour stimuler les modifications nécessaires et enfin une partie conclusive apportant un regard critique sur les grandes

1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, <<http://www.ipcc.ch/>>.

manœuvres en cours et ce que cela implique pour la recherche. Le grand domaine de l'adaptation au changement climatique apparaît donc essentiellement dans la première partie sur la réponse au stress. Après une mise au point sur la notion de risque, les stress étudiés sont successivement la chaleur, la salinité, la sécheresse, les bioagresseurs et les maladies. Une analyse au niveau des systèmes de culture montre que ce sont parfois des combinaisons inédites de différents stress qu'il faut prendre en compte. Dans la deuxième partie sur la recherche de nouvelles pratiques et d'innovations, adaptation et atténuation se partagent la scène, parfois au sein d'une même pratique, l'agroforesterie par exemple. On traite ici à la fois d'expérimentations et d'innovations des agriculteurs. Dans la troisième partie, nous nous demandons comment encourager les modifications nécessaires, qu'elles concernent les services à fournir ou les outils nécessaires pour stimuler, accompagner, rémunérer les changements de pratiques, ou qu'elles concernent les politiques publiques et les réglementations, y compris celles qui portent sur la demande en produits agricoles.

Les thèmes retenus sont ceux qui sont objets d'étude à la fois pour les équipes du Cirad et de l'AFD, importants pour la problématique du changement climatique et pour lesquels nous pouvions disposer d'une analyse récente et originale. Certaines questions ne répondant pas à ces trois critères n'apparaissent pas dans l'ouvrage, par exemple la question de la bioénergie, celle des politiques climatiques forestières ou celle des instruments économiques pour l'atténuation des émissions. Nous avons privilégié des exemples d'options techniques et des instruments politiques et économiques permettant de faire les arbitrages menant à ces options ou pouvant inciter les consommateurs et les producteurs à faire ces choix.

Les contributions présentées dans ce livre ne sont sans doute qu'une goutte d'eau dans l'océan des questions qui se posent et vont se poser aux agriculteurs du Sud, mais nous espérons que cet ouvrage contribuera à ces débats.

Remerciements

La dimension globale de la question du changement climatique et la nature interdisciplinaire de cet ouvrage imposaient la multiplicité des contributions et des regards évaluateurs. Nous avons tenté de répondre à cette exigence en mobilisant des auteurs d'horizons complémentaires, parfois très éloignés, et en faisant appel à des relecteurs tout autant diversifiés — chaque chapitre a été évalué par deux spécialistes du thème traité. Le partenariat entre le Cirad et l'AFD a par ailleurs permis que se manifestent des points de vue complémentaires venant du monde de la recherche et de celui du développement. Nos remerciements s'adressent donc aux auteurs (voir liste en fin de volume), mais aussi aux relecteurs, aux membres du comité de pilotage et du comité de rédaction, sans oublier bien entendu l'appui patient de l'équipe d'édition. Nous remercions ici toutes ces personnes.

Relecteurs : Gaëlle Balineau, Dominique Berry, Estelle Biénabe, Alain Billand, Lilian Blanc, Nicolas Bricas, Éric Cardinale, Patrick Caron, Karen Colin de Verdière, Jean-René Cuzon, Christophe Ducastel, Guy Faure, Pierre Forestier, Jean-Luc François, Edward Gérarddeaux, Jean-Christophe Glaszmann, Emmanuel Guiderdoni, François Henry, Marcel Kuper, Thierry Lefrançois, Anne Legile, Thifaine Leménager, Bruno Locatelli, Éric Malézieux, Florent Maraux, Serge Morand, Florence Mouton, Bertrand Muller, Jean-Louis Noyer, Jean Ollivier, Sylvain Perret, Denis Pesche, Marcel de Raïssac, Alain Ratnadass, Virginie Ravigné, Bernard Reynaud, François Roger, Nicolas Rossin, Hervé Saint-Macary, Jean-Michel Sourisseau.

Membres du comité de pilotage : Gaëlle Balineau, Dominique Berry, Patrick Caron, Hubert Devautour, Jean-Luc François, Claire Jourdan-Ruf, Sylvain Perret, Fanny Pingault, François Roger, Hervé Saint-Macary, Jean-Michel Sourisseau, José Tissier, Emmanuel Torquebiau.

Membres du comité de rédaction : Dominique Berry, Patrick Caron, Jean-Yves Grosclaude, Emmanuel Torquebiau.

Membres des Éditions Quæ : Jean-Marc Barros, Joëlle Delbrayère, Claire Jourdan-Ruf.

Comment le changement climatique modifie la donne agricole

Emmanuel Torquebiau, José Tissier, Jean-Yves Grosclaude

« Il n'est de permanent que le changement »

Héraclite

Résumé. L'agriculture subit les effets du changement climatique mais contribue également à ce changement. Le risque agricole peut être local, par un impact sur les récoltes, ou global, par un impact sur la sécurité alimentaire. Le secteur des terres contribue à 24 % des émissions de gaz à effet de serre. L'adaptation au changement et son atténuation constituent deux réponses distinctes qui peuvent être rapprochées dans les propositions de l'agriculture climatique-intelligente. Dans les pays du Sud, un impact plus important qu'au Nord et la pauvreté rendent l'adaptation difficile. Vers 2050, la majorité des pays africains connaîtront des climats actuellement inconnus sur plus de la moitié de leur surface cultivable. Des politiques publiques, des institutions et des financements appropriés sont nécessaires pour accroître la résilience et l'efficacité des systèmes de production agricoles et mettre en œuvre les changements nécessaires.

Changer d'habitudes n'est pas chose aisée. Consciemment ou inconsciemment, nous préférons ce que nous connaissons bien, ce que nous avons l'habitude de faire. Le dérèglement climatique qui touche notre planète depuis quelques années nous réserve pourtant quelques inconnues qu'il va falloir prendre en compte. On en connaît les grandes lignes mais ses effets sont difficiles à prévoir dans le détail et pour des situations locales. Il ne suffit pas de dire qu'il fera plus chaud. Les modifications de la teneur en gaz à effet de serre (GES) affectent aussi la saisonnalité, le régime pluviométrique, la biodiversité, le niveau de la mer, la dynamique des glaciers et des océans, et forment un réseau complexe d'interactions.

L'agriculture, activité humaine sans doute la plus liée au climat, est particulièrement concernée. Le changement climatique accroît la fréquence et l'amplitude des aléas climatiques auxquels les agriculteurs sont confrontés depuis des générations.

L'agriculture subit le changement climatique mais y contribue aussi. À l'intersection des problématiques d'adaptation au changement climatique et de son atténuation, elle est également une partie de la solution. Elle est la seule activité humaine qui puisse non seulement réduire ses émissions de GES, mais également fixer du carbone dans le sol ou la biomasse et contribuer à la sobriété d'autres secteurs (énergie, transports, construction) en permettant la substitution de produits conventionnels très émetteurs par des produits issus de la biomasse agricole ou forestière. Pour faire face aux grands défis économiques, sociaux et environnementaux du xxi^{e} siècle et satisfaire durablement les besoins d'une population majoritairement urbanisée d'environ neuf milliards d'habitants en 2050, l'agriculture devra donc évoluer pour s'adapter au changement climatique et à l'érosion de la biodiversité, mais aussi contribuer à atténuer ces évolutions. Dans ce secteur plus que dans d'autres, il va falloir changer nos habitudes.

LES GRANDES LIGNES DU DERNIER RAPPORT DU GIEC ET LE SECTEUR AGRICOLE

Le dernier rapport du Giec (IPCC, 2014) a confirmé que le réchauffement de l'atmosphère et de l'océan, la diminution de glace et de neige, l'augmentation du niveau de la mer et des GES d'origine anthropique ne faisaient aucun doute. De 2000 à 2010, les émissions de GES ont augmenté de 2,2 % par an comparés à 1,3 % entre 1970 et 2000. La concentration de gaz carbonique (CO_2) a augmenté de 40 % depuis l'époque préindustrielle, essentiellement en raison des émissions liées aux combustibles fossiles (énergie, industrie, transports), puis en raison des émissions liées à l'agriculture, à la foresterie et au changement d'utilisation des terres (environ 24 % ; figure 1.1).

Chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude que toutes les décennies depuis 1850 et, si la même tendance se poursuit, la température moyenne de surface pourrait augmenter de 3,7 à 4,8 °C pendant le xxi^{e} siècle, alors qu'elle a augmenté d'environ 0,85 °C de 1880 à 2012. Pour limiter l'augmentation de température à environ 2 °C, les émissions de GES doivent diminuer de 40 à 70 % d'ici 2050 par rapport au niveau de 2010, puis être réduites à zéro en 2100. Dans ce scénario, le plus optimiste du Giec (*representative concentration pathway*, RCP 2,6 ; figure 1.2), la concentration en CO_2 atteint 421 ppm (parties par million) en 2100 contre environ 400 ppm aujourd'hui, et le niveau de la mer augmente de 26 à 55 cm (contre 19 cm de 1901 à 2010). Quelle que soit la trajectoire, de nombreux changements sont désormais inéluctables. Ils concernent la société dans son ensemble et se manifestent sur les systèmes physiques (rivières, glaciers, côtes, etc.), les écosystèmes naturels (biodiversité) et les activités humaines (production de nourriture, bien-être, santé, économie, etc.). Un accroissement de la variabilité des événements climatiques extrêmes est également probable.

De nombreuses options techniques, institutionnelles, réglementaires et comportementales sont possibles pour répondre aux enjeux du changement climatique, mais elles supposent de changer nos habitudes, et plus on attend plus le coût de la réponse sera élevé. Ces options se répartissent entre des stratégies d'adaptation au changement climatique d'une part (modification des systèmes naturels ou humains) et des efforts

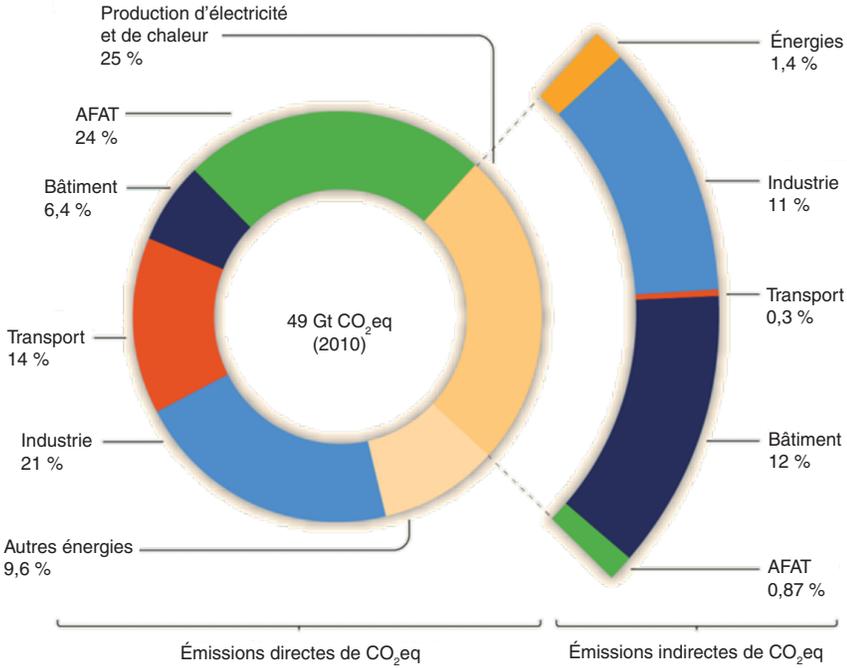


Figure 1.1. Émissions anthropogéniques de gaz à effet de serre (Gt CO₂eq/an) par secteur économique. AFAT : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres (source : IPCC, 2014).

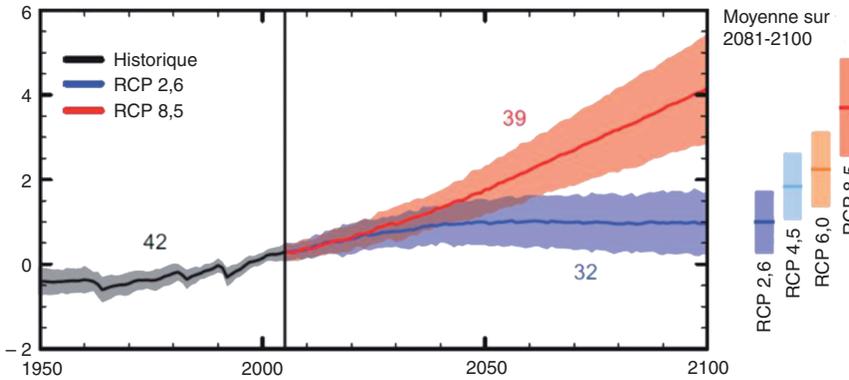


Figure 1.2. Séries chronologiques simulées à partir de plusieurs modèles de 1950 à 2100 pour l'évolution de la température annuelle moyenne du globe en surface par rapport à la période 1986-2005.

Les séries chronologiques des projections et une mesure de l'incertitude (parties ombrées) sont présentées pour les scénarios RCP 2,6 (en bleu) et RCP 8,5 (en rouge). Le noir représente l'évolution historique modélisée à l'aide des forçages historiques reconstruits. Les moyennes et incertitudes associées sur la période 2081-2100 sont fournies pour tous les scénarios RCP sous forme de bandes verticales de couleur. Le nombre de modèles utilisés pour calculer la moyenne multimodèle est indiqué (Giec, 2013).

d'atténuation du changement climatique d'autre part (intervention humaine de réduction des sources de GES ou d'augmentation des « puits » de GES).

Le changement climatique a un impact sur les activités humaines qui se manifeste par une augmentation des risques, lesquels sont fonction de trois facteurs : l'exposition d'une activité (par exemple sa situation dans une zone où augmente la sécheresse), la vulnérabilité de la population concernée (sa prédisposition à subir le risque ou non) et les dommages induits par l'exposition à des aléas climatiques (pour l'homme ou l'environnement) que représente tel ou tel événement climatique (figure 1.3). S'adapter au changement climatique suppose donc de prendre en compte ces trois facteurs, ce qui implique que l'adaptation est forcément spécifique au contexte local et qu'il n'existe pas de solution censée marcher en toutes circonstances. La complémentarité entre les différents niveaux de la société (des individus aux gouvernements et aux organisations internationales) est essentielle pour réussir des stratégies d'adaptation et celles-ci sont en cours dans la plupart des pays. Elles devront cibler en premier lieu la vulnérabilité et l'exposition aux risques afin de contribuer à la résilience des groupes humains touchés. Des mécanismes économiques divers seront indispensables pour stimuler l'adaptation au moyen d'incitations et en anticipant les impacts.

En matière agricole, le risque peut être local, par exemple lorsque les pluies saisonnières font défaut, mais un risque important est celui de la sécurité alimentaire mondiale, risque d'autant plus sérieux que la demande agricole devrait augmenter de 70 à 100 % d'ici 2050

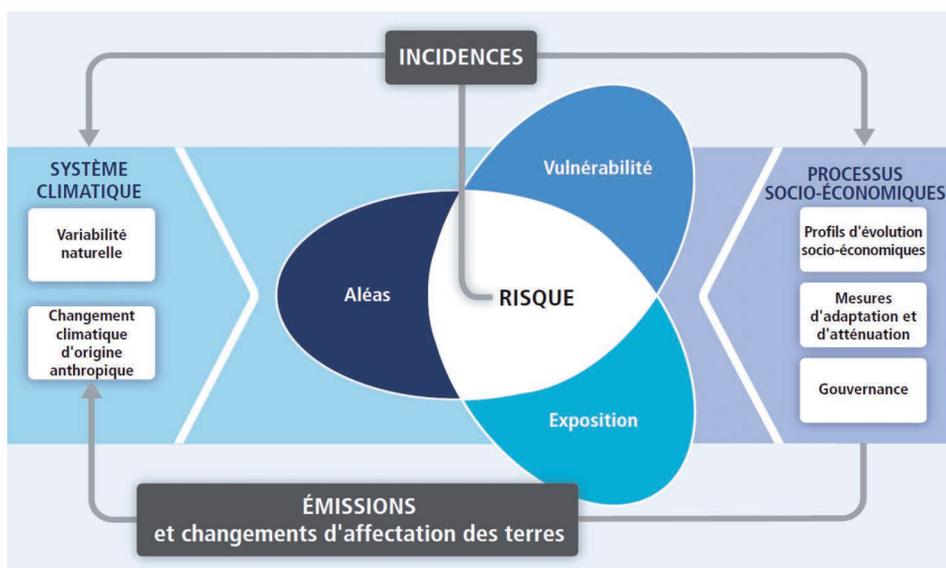


Figure 1.3. Notions essentielles abordées dans la contribution du groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation.

Le risque d'incidences liées au climat découle de l'interaction entre des aléas climatiques (y compris les tendances et les phénomènes dangereux) et la vulnérabilité et l'exposition des systèmes anthropiques et naturels. Les changements qui touchent à la fois le système climatique (à gauche) et les processus socio-économiques, y compris l'adaptation et l'atténuation (à droite), sont les principales causes des aléas, de l'exposition et de la vulnérabilité (Giec, 2014).

(Soussana, 2012). Le risque climatique se conjugue en effet à d'autres facteurs tels que l'augmentation de la demande en terres, la déforestation, la dégradation de certains sols, l'érosion de la biodiversité ou la disponibilité en eau des nappes phréatiques. La question du changement climatique en agriculture s'analyse aussi sous l'angle de la « demande », c'est-à-dire tout ce qu'il est possible de changer pour faire en sorte de diminuer le risque climatique. Le régime alimentaire, le transport des marchandises alimentaires, la régulation des prix des produits agricoles, la gestion des pertes au champ ou après récolte, la gestion des déchets, sont autant de facteurs qu'il faut prendre en compte.

Adaptation et agriculture

L'adaptation peut consister soit à amoindrir des effets indésirables, soit à saisir d'éventuelles opportunités positives, mais en matière agricole, les résultats du Giec montrent que les impacts négatifs sont beaucoup plus fréquents que les impacts positifs. Pour une augmentation de température de 2 °C ou plus, une diminution des rendements est attendue sur les cultures de blé, de maïs et de riz. Ceci aura des conséquences sur l'accès à la nourriture, son utilisation et la stabilité des prix. L'amoindrissement d'effets indésirables est une forme d'extrapolation d'une stratégie bien connue des agriculteurs, celle d'anticiper l'aléa climatique, par exemple en diversifiant les cultures ou en modifiant les dates de semis. Sauf que lorsque l'aléa devient la règle, la stratégie doit changer et il convient alors de modifier fondamentalement l'itinéraire technique, la culture ou... d'aller cultiver ailleurs. Profiter d'effets bénéfiques peut par exemple consister à changer pour une culture plus adaptée aux nouvelles conditions ou étendre en altitude une culture si l'augmentation de la température le permet.

L'agriculture adaptée au changement climatique est dite résiliente, c'est-à-dire qu'elle est capable de continuer à produire en dépit de perturbations imprévues. Un des éléments essentiels de la résilience est la diversité. Une exploitation agricole spécialisée dans une seule culture sera moins résiliente qu'une exploitation de polyculture ou de cultures associées. La prise en compte de la biodiversité locale (haies, bandes enherbées, mosaïques paysagères, etc.) ou de l'agrobiodiversité (espèces auxiliaires, faune et flore du sol, etc.) est une stratégie contribuant fortement à la résilience de l'agriculture (Hainzelin, 2013). Choisir la culture adaptée à un lieu plutôt que modifier l'environnement à coups d'intrants (irrigation, pesticides pour compenser la mauvaise santé des plantes) relève aussi d'une stratégie d'adaptation résiliente. La gestion du risque peut également se faire par des mécanismes d'assurance, mais ceux-ci ne sont pas à la portée de tous les agriculteurs et sont une forme de bombe à retardement lorsque le risque assuré se généralise. Bien entendu, un effort considérable de recherche, coordonné au niveau international, est nécessaire pour fournir aux agriculteurs les variétés, races animales et itinéraires techniques adaptés au climat de demain et pour mettre au point l'accompagnement nécessaire tel que des politiques publiques incitatives ou des dispositifs de surveillance météorologique efficaces.

Atténuation et agriculture

Le secteur des terres (AFAT, voir figure 1.1) comprend des émissions directes, des émissions liées au changement d'usage commandé par l'agriculture et l'élevage et des

émissions indirectes attribuées classiquement aux autres secteurs, comme le transport des produits agricoles. Les émissions de GES produites par l'agriculture augmentent à un rythme moins soutenu que celles résultant d'autres activités humaines (FAO, 2014). Dans le scénario de base du Giec (pas d'atténuation), alors que les émissions agricoles autres que le CO₂ augmentent, les émissions nettes de CO₂ du secteur des terres diminuent en raison d'une réduction des taux de déforestation et d'une augmentation de la reforestation — cependant, l'incertitude des émissions de ce secteur est supérieure à celle des autres secteurs. Avec presque un quart des émissions provenant de la déforestation et des émissions agricoles liées à l'élevage et à la gestion du sol et des nutriments, le secteur des terres n'est pas à négliger. Il a ceci de particulier qu'il est un secteur pour lequel le potentiel d'atténuation du changement climatique peut provenir à la fois d'une augmentation de la capture de GES (« puits de carbone », par le stockage du carbone dans la biomasse et le sol) et d'une réduction des émissions (« sources de carbone », par des modifications dans la gestion des terres et des troupeaux). La fermentation entérique, le fumier, les engrais de synthèse et le riz irrigué sont les principales sources de GES agricoles, à côté des émissions liées à la mécanisation et aux bâtiments agricoles (figure 1.4). Le principal puits de ce secteur est représenté par la croissance des forêts et des arbres et le stockage du carbone dans la biomasse épigée et hypogée. Le secteur des terres joue donc un rôle central pour la sécurité alimentaire et le développement durable. Les options les plus

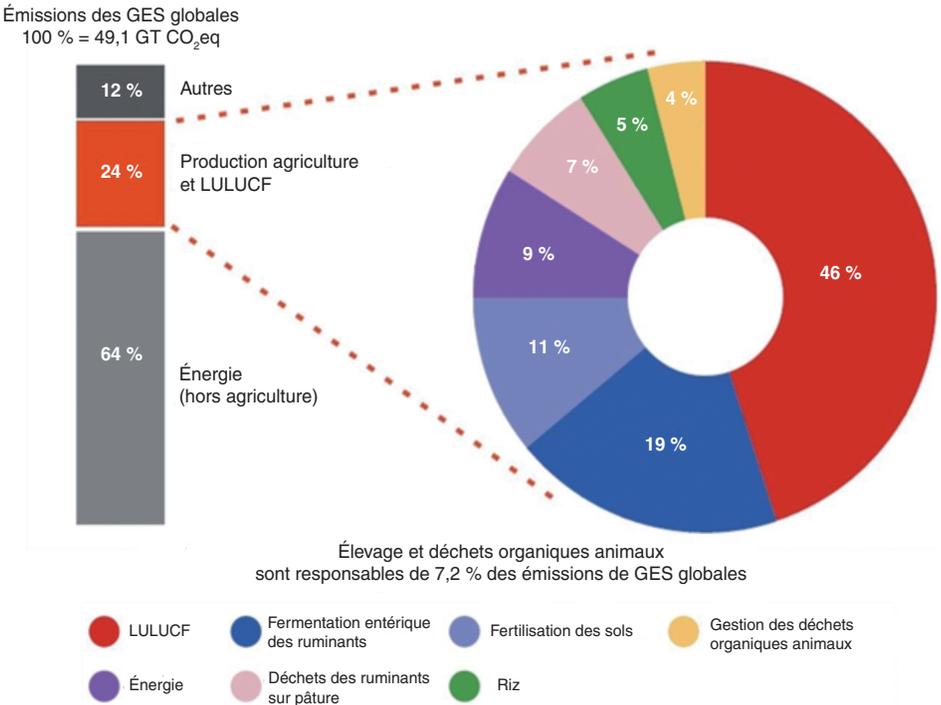


Figure 1.4. Émissions globales AFAT (Agriculture, foresterie et autres affectations des terres) par secteur, 2010 (WRI, 2014).

LULUCF = *land use, land use change and forestry.*

rentables d'atténuation forestière sont l'afforestation, la gestion durable des forêts et la réduction de la déforestation. En agriculture, les options d'atténuation les plus rentables sont la gestion des terres cultivées ou pâturées et la restauration des sols organiques.

La nature du secteur des terres implique de nombreux obstacles à la mise en œuvre d'options d'atténuation liés à la disponibilité des financements, à la pauvreté et à des questions institutionnelles, écologiques, technologiques, de diffusion et de transfert. Des politiques publiques fondées sur les principes du développement durable et de l'équité sont essentielles pour atténuer le changement climatique, mais elles supposent que l'action collective ne soit pas gênée par des intérêts particuliers. L'attitude consistant à dire que le changement climatique est un problème mais que c'est aux autres de s'en occuper n'est pas rare. Ces politiques font appel à des jugements de valeur et des considérations éthiques, et les décisions de nature économique interfèrent avec des objectifs de développement. Les pays du Sud, notamment, rechignent souvent à mettre en œuvre des politiques d'atténuation qui pourraient gêner la croissance économique car ils sont plus vulnérables au changement climatique et ne se sentent pas responsables des émissions de GES du passé. Ils refusent de voir les pays du Nord rejeter la responsabilité de l'atténuation sur les économies en développement. Dans les débats les plus récents, la synergie entre adaptation et atténuation au sein de mêmes options techniques ou réglementaires prend cependant de l'importance. La conception de politiques climatiques est influencée par la manière dont les individus et les organisations perçoivent les risques et les incertitudes et les prennent en compte. Le coût de l'atténuation du changement climatique varie énormément en fonction de l'objectif de réduction retenu, de la zone considérée, des technologies utilisées et d'éventuels effets collatéraux positifs ou négatifs. Les comportements individuels, le style de vie et la culture ont une grande influence. Les mesures concernant la demande, comme les changements de régime alimentaire et les réductions de pertes dans les filières d'approvisionnement alimentaire, ont un potentiel significatif, mais d'après le Giec encore incertain, de réduction des émissions de GES liées à la production alimentaire.

La question de la bioénergie

La production de bioénergie a un rôle important à jouer pour l'atténuation, mais doit être raisonnée en fonction des autres formes d'utilisation de la terre avec lesquelles elle peut entrer en conflit. Des questions demeurent sur la durabilité des pratiques et l'efficacité de systèmes de bioénergie, notamment l'utilisation d'intrants. Les obstacles au déploiement de la bioénergie à grande échelle concernent donc les émissions de GES des terres (en raison de l'utilisation intensive d'intrants ou de la mécanisation), la sécurité alimentaire (concurrence avec les cultures alimentaires), les ressources en eau (irrigation) et la conservation de la biodiversité (grandes étendues de monocultures). Bien que les technologies de bioénergie soient variées et couvrent une large gamme d'options et de trajectoires techniques, le débat scientifique sur l'impact climatique d'ensemble lié à la compétition pour l'usage des terres de trajectoires spécifiques de bioénergie n'est pas clos. Les résultats disponibles montrent que les options ayant un cycle de vie d'émissions court (par exemple canne à sucre, *Miscanthus*, arbres à croissance rapide et utilisation durable des résidus de biomasse), dont certaines sont déjà

disponibles, peuvent réduire les émissions de GES. La biomasse forestière, quant à elle, peut être utilisée à des fins de bioénergie mais l'impact de cette option sur le stock de carbone n'est favorable que dans le cas de forêts ou plantations gérées durablement.

La situation dans les pays en développement

Le troisième volume du rapport du Giec indique que pour les scénarios prévoyant des augmentations locales de 3 à 4 °C ou plus, les modèles prévoient un fort impact négatif sur la productivité agricole et la sécurité alimentaire mondiale. Ces risques seront plus élevés dans les pays tropicaux car l'impact y sera plus important, l'adaptation difficile et la pauvreté prégnante. Sous les tropiques, les rendements de maïs et de blé commencent à décliner avec une augmentation de température de 1 à 2 °C, le riz avec une augmentation de 3 à 5 °C. Mais le Giec estime aussi que le potentiel d'atténuation de l'agriculture correspond aux trois quarts de ses émissions, l'essentiel de celui-ci étant lié non pas tant à la réduction des émissions qu'à la gestion du stock de carbone des sols et résidant principalement dans les pays en développement.

Vers 2050, la majorité des pays africains subiront des climats actuellement inconnus sur plus de la moitié de leur surface cultivable. À partir de 2080, un impact négatif sur les rendements sous les tropiques est très probable, quel que soit le scénario d'adaptation ou d'émissions retenu. L'Afrique est l'une des régions les plus vulnérables pour la sécurité alimentaire mais le changement climatique affectera aussi les rendements des cultures, la sécurité alimentaire et l'économie locale en Amérique centrale, dans le nord-est du Brésil, dans une partie de la région andine et en Asie du Sud. Seules certaines zones tropicales d'altitude pourraient voir le rendement de certaines cultures augmenter, par exemple le riz à Madagascar. Des cultures comme le café arabica devront migrer en altitude pour trouver des conditions de température moins élevées.

Dans les conditions actuelles d'adaptation au changement climatique, au moins sept risques liés au climat en Afrique sont considérés comme moyens ou élevés, dès 2030 : les changements de répartition des biomes, la dégradation des coraux, la diminution de la productivité des cultures, les effets délétères sur le bétail, les maladies à vecteur, la sous-nutrition et les migrations humaines. En Amérique latine, les risques importants concernent les ressources en eau, les récifs coralliens, la production alimentaire et les maladies à vecteur. En Asie, ce sont la productivité des cultures, le manque d'eau, les inondations et la mortalité liée à la chaleur. De nombreux facteurs de changement dans les régions tropicales ont donc un impact potentiellement négatif sur l'agriculture. Le rapport du groupe de travail III du Giec indique que si les émissions de GES ne diminuent pas et provoquent une augmentation de 4 °C vers 2080-2100, la sécurité alimentaire en Afrique sera menacée, même si des progrès d'adaptation sont réalisés. Si dans un premier temps, les effets du changement climatique en Afrique peuvent être compensés par des pratiques agroécologiques, les études de modélisation montrent que dans le cas du maïs, au-delà de 2040, les effets des températures extrêmes et du stress hydrique ne pourront être compensés que par de nouveaux cultivars ou des pratiques d'irrigation (Folberth *et al.*, 2014).

Dans un contexte de pauvreté, l'impact du changement climatique exacerbe d'autres facteurs de stress et a souvent des répercussions sur le bien-être des gens les plus vulnérables. Des risques d'insécurité alimentaire et de rupture des systèmes d'alimentation sont réels en cas de forte augmentation de température, de sécheresse, d'inondation ou de grande variabilité des extrêmes de précipitation. Un accès insuffisant à l'eau potable ou à l'eau d'irrigation a évidemment des conséquences négatives, surtout pour les agriculteurs et pasteurs des régions semi-arides. Un impact sur les écosystèmes marins et côtiers et leur biodiversité peut fortement menacer les pêcheurs.

Les secteurs les plus menacés de la zone tropicale en développement concernent les ressources d'eau douce (réduction significative de l'eau de surface renouvelable et des ressources d'eau souterraine dans les régions subtropicales sèches), les systèmes marins (taux élevés d'extinctions locales dans les mers semi-fermées des tropiques), la nourriture (effet majoritairement négatif de l'augmentation de température sur les rendements), les ménages ruraux sous la responsabilité de femmes ou ayant peu d'accès à la terre, aux intrants agricoles, aux infrastructures et à l'éducation, la santé humaine et la sécurité des populations (risques liés aux déplacements et migrations). Autant de risques qui indiquent que le changement climatique exacerbera la pauvreté dans les pays déjà pauvres. La lutte contre le changement climatique est donc intimement liée au développement durable et à l'équité mais il peut y avoir contradiction entre l'adaptation nécessaire et certains objectifs d'atténuation. Il faut donc imaginer des politiques climatiques et des solutions techniques allant au-delà d'un focus sur l'adaptation ou l'atténuation et examiner des trajectoires de développement au sens large afin de dépasser cette contradiction.

Il existe cependant de nombreuses initiatives qui prennent déjà en compte les contraintes du changement climatique dans les pays en développement, notamment en matière d'adaptation. Celle-ci est souvent liée à des opérations de développement comme la gestion intégrée des ressources en eau, l'agroforesterie ou la reforestation côtière des mangroves. Dans certains cas, l'adaptation basée sur les écosystèmes inclut des zones protégées, des accords de conservation et la gestion communautaire de zones naturelles. On observe l'adoption de variétés de cultures résilientes et la mise en place de prévisions climatiques et de systèmes d'alerte précoce. Les connaissances traditionnelles sur l'environnement sont progressivement mises à contribution dans les efforts d'adaptation.

LES PROPOSITIONS DE L'AGRICULTURE CLIMATO-INTELLIGENTE

De nombreuses interactions sont possibles entre adaptation et atténuation et entre les différentes options d'adaptation. Ces interactions peuvent prendre la forme de cobénéfices (influence sur d'autres objectifs sociétaux tels que la santé ou la biodiversité), de synergies (atteinte simultanée d'objectifs d'atténuation et d'adaptation) ou de compromis (choix entre atténuation et adaptation). D'une manière générale, les politiques agricoles et forestières sont plus efficaces lorsqu'elles associent l'atténuation et l'adaptation. Malgré ces liens évidents entre adaptation et atténuation, la plupart des initiatives traitent des deux approches séparément, l'atténuation plutôt dans le cadre des négociations des Nations unies sur le changement climatique (UNFCCC)

et l'adaptation dans le cadre des Objectifs de développement pour le millénaire. Les choses sont cependant en train de changer. Lors des négociations des Nations unies à Varsovie en novembre 2013, des débats ont porté sur « le secteur des terres », rapprochant ainsi les négociations anciennes sur l'atténuation dans le secteur forestier et les négociations plus récentes sur l'agriculture, plutôt orientées sur l'adaptation. Si la forêt était déjà dans les négociations, l'agriculture y apparaissait clairement pour la première fois. Il ressort de ces débats que l'agriculture (et pas uniquement la forêt) doit jouer un rôle d'atténuation du changement climatique et qu'atténuation et adaptation doivent être liées. L'atténuation peut même être une des fonctions de l'adaptation, par exemple lorsqu'on met au point un itinéraire technique qui améliore la production tout en augmentant le stock de biomasse. Il existe des solutions techniques qui peuvent répondre en même temps aux défis de la sécurité alimentaire, de l'atténuation et de l'adaptation, ce qui constitue pour l'agriculture une opportunité à saisir pour évoluer vers des pratiques plus agroécologiques.

Le concept d'agriculture climato-intelligente (ACI, ou Climate-Smart Agriculture), popularisé par la FAO depuis 2010 (FAO, 2013), est fondé sur cette synergie entre adaptation et atténuation. L'agriculture climato-intelligente repose sur trois objectifs : la sécurité alimentaire (production), l'adaptation au changement climatique (ou la résilience de l'agriculture face à la perturbation climatique) et l'atténuation du changement climatique (réduction des émissions ou stockage de carbone). Le concept est né du constat que l'agriculture des pays en développement devait faire l'objet de transformations significatives pour répondre aux enjeux de la sécurité alimentaire et du changement climatique.

L'argumentation développée par la FAO repose sur trois grands domaines :

- il existe des pratiques qui répondent à la définition ci-dessus, mais les approches qui relèvent de l'écosystème, de l'échelle du paysage et qui sont intersectorielles (agriculture, élevage, foresterie, sécurité alimentaire, etc.) sont essentielles ;
- un soutien institutionnel et des politiques publiques est nécessaire pour permettre aux petits agriculteurs de réaliser la transition nécessaire, ce qui suppose un gros effort d'information et de coordination et une meilleure harmonisation entre les politiques des secteurs de l'agriculture, de la sécurité alimentaire et du changement climatique ;
- les financements disponibles sont insuffisants pour assurer cette transition, et de nouveaux montages financiers doivent être trouvés qui associent sources publiques et privées d'une part, lutte contre le changement climatique et sécurité alimentaire d'autre part, et qui prennent en compte les caractéristiques des différents secteurs concernés.

L'ACI n'est donc pas définie comme une technique agronomique mais comme une approche holistique prenant en compte les pratiques, les politiques publiques et les financements (Lipper *et al.*, 2014). Approche qui est censée permettre que les trois défis (adaptation, atténuation, sécurité alimentaire) soient simultanément relevés. Il convient donc, pour promouvoir cette approche, de décrire à la fois les pratiques et les conditions supplémentaires permettant la mise en œuvre des pratiques. À défaut, les pratiques en question pourraient n'être que des options techniques d'agriculture durable déjà connues (cultures en courbe de niveau, gestion intégrée des bioagresseurs, rétention de l'eau, cultures associées, etc.).