



Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture

2016

LA SITUATION MONDIALE DE L'ALIMENTATION ET DE L'AGRICULTURE

**CHANGEMENT CLIMATIQUE,
AGRICULTURE ET
SÉCURITÉ ALIMENTAIRE**

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à autres de nature analogue qui ne son pas cités.

ISBN 978-92-5-209374-9

La FAO encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Sauf indication contraire, le contenu peut être copié, téléchargé et imprimé aux fins d'étude privée, de recherches ou d'enseignement, ainsi que pour utilisation dans des produits ou services non commerciaux, sous réserve que la FAO soit correctement mentionnée comme source et comme titulaire du droit d'auteur et à condition qu'il ne soit sous-entendu en aucune manière que la FAO approuverait les opinions, produits ou services des utilisateurs.

Toute demande relative aux droits de traduction ou d'adaptation, à la revente ou à d'autres droits d'utilisation commerciale doit être présentée au moyen du formulaire en ligne disponible à www.fao.org/contact-us/licence-request ou adressée par courriel à copyright@fao.org.

Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être achetés par courriel adressé à publications-sales@fao.org.

© FAO 2016

PHOTO DE COUVERTURE ©FAO/D. Hayduk

KIROKA, RÉPUBLIQUE-UNIE DE TANZANIE.

Le désherbage manuel des champs de riz fait partie du Système de riziculture intensive (RSI) dans ce projet d'agriculture intelligente face au climat.

2016

**LA SITUATION
MONDIALE DE
L'ALIMENTATION ET
DE L'AGRICULTURE**

**CHANGEMENT CLIMATIQUE,
AGRICULTURE ET
SÉCURITÉ ALIMENTAIRE**

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Rome, 2016

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	v		
REMERCIEMENTS	viii		
LISTE DES ABRÉVIATIONS	x		
RÉSUMÉ	xi		
CHAPITRE 1: FAIM, PAUVRETÉ ET CHANGEMENT CLIMATIQUE: LES DÉFIS D'AUJOURD'HUI ET CEUX DE DEMAIN	1		
Messages clés	3		
Des interactions complexes et des liens inextricables	4		
L'urgence d'une intervention mondiale concertée, maintenant	11		
Le rôle et la responsabilité spécifiques de l'agriculture	15		
Structure du rapport	18		
CHAPITRE 2: COUP DE PROJECTEUR SUR LES LIENS QUI EXISTENT ENTRE LE CLIMAT, L'AGRICULTURE ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE	21		
Messages clés	23		
Des effets en cascade sur les populations	24		
Les incidences sur l'agriculture	26		
Les incidences sur les revenus et les moyens d'existence	34		
Des millions de personnes supplémentaires exposées à la faim	39		
Le rôle des secteurs de l'agriculture dans le changement climatique	43		
Conclusion	47		
CHAPITRE 3: L'ADAPTATION DES PETITES EXPLOITATIONS AGRICOLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	49		
Messages clés	51		
Repenser les voies à suivre pour sortir de la pauvreté	52		
Les principales vulnérabilités face aux risques liés au changement climatique	53		
Vers des systèmes de production et des moyens d'existence résilients	56		
Quel sera le coût de l'adaptation?	71		
Gérer la transition des petits exploitants vers des systèmes de production intelligents face au climat	72		
Conclusion	75		
CHAPITRE 4: LE RÔLE DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES ET AGRICOLES DANS L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	77		
Messages clés	79		
Le potentiel technique d'atténuation lié à l'adaptation	82		
			Le renforcement de la sécurité alimentaire grâce aux retombées bénéfiques conjointes de l'adaptation et de l'atténuation
			86
			Le coût de l'atténuation, les mesures d'incitation et les obstacles
			94
			Vers une évolution des systèmes alimentaires: réduire au minimum les pertes et les gaspillages et promouvoir des régimes alimentaires durables
			96
			Conclusion
			99
			CHAPITRE 5: LA VOIE À SUIVRE: RÉALIGNER LES POLITIQUES, RENFORCER LES CAPACITÉS INSTITUTIONNELLES
			101
			Messages clés
			103
			L'agriculture: désormais un élément central des «contributions prévues»
			104
			Des intentions à l'action: l'agriculture dans les stratégies relatives au changement climatique
			107
			Des approches intégrées qui mettent en cohérence les objectifs climatiques et les objectifs de développement
			108
			Renforcer la coopération régionale et internationale
			114
			Conclusion
			117
			CHAPITRE 6: FINANCER LA VOIE À SUIVRE
			119
			Messages clés
			121
			Le financement de l'action climatique destiné à l'agriculture
			122
			Faire beaucoup avec peu: utilisation stratégique du financement de l'action climatique
			130
			Conclusion
			135
			Annexe: Données relatives au financement public international de l'action climatique destiné à l'agriculture, à la foresterie et à la pêche
			136
			ANNEXE STATISTIQUE
			139
			Notes relatives aux tableaux annexes
			140
			Tableau A.1 – Variations des rendements agricoles du fait du changement climatique au niveau mondial - projections
			144
			Tableau A.2 – Émissions nettes (déduction faite de la différence des puits) imputables à l'agriculture, aux forêts et aux autres utilisations des terres en équivalent CO ₂ , 2014
			151
			Tableau A.3 – Émissions imputables à l'agriculture en équivalent CO ₂ , par source, 2014
			158
			RÉFÉRENCES
			166
			CHAPITRES SPÉCIAUX DE LA SITUATION MONDIALE DE L'ALIMENTATION ET DE L'AGRICULTURE
			190

TABLEAUX, FIGURES ET ENCADRÉS

TABLEAUX

1. Effets du changement climatique sur les rendements de certaines cultures dans le monde et dans les régions tropicales, en fonction d'un réchauffement de 1,5 °C ou de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels au cours du XXI ^e siècle	12
2. Quelques effets possibles du changement climatique, par région	28
3. Nombre de personnes vivant dans l'extrême pauvreté en 2030, avec et sans changement climatique, dans différents scénarios climatiques et socioéconomiques	37
4. Évolution des revenus agricoles découlant de la hausse des températures, dans certains pays d'Amérique latine	37
5. Émissions des principaux gaz à effet de serre par tous les secteurs et par l'agriculture, la foresterie et les autres utilisations des terres (AFAUT), et puits de carbone en 2010	44
6. Les trois principales sources d'émissions de gaz à effet de serre dans le secteur agricole en 2014, par région	45
7. Incidences des chocs climatiques sur la production et la productivité agricoles	53

8. Incidences sur les rendements des cultures, dans différentes conditions météorologiques, en Zambie

9. Utilisation de l'azote dans les petites exploitations d'Asie de l'Est et d'Afrique subsaharienne

10. Coût d'opportunité de la gestion améliorée du pâturage dans la province du Qinghai, en Chine

11. Potentiel d'atténuation des émissions annuelles de N₂O selon cinq scénarios faisant intervenir des pratiques améliorées, 2030 et 2050 (effets cumulés)

12. Exemples de pratiques agricoles entraînant une réduction des stocks de carbone dans le sol

FIGURES

1. Effets du changement climatique sur les rendements céréaliers dans les différentes régions du monde d'ici à 2050

2. Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur économique en 2010

3. Cheminement des impacts: du changement climatique à la sécurité alimentaire

4. Évolution prévue des rendements agricoles du fait du changement climatique toutes localisations confondues dans le monde **30**

5. Évolution prévue des rendements agricoles du fait du changement climatique dans les régions en développement **31**

6. Évolution prévue des rendements agricoles du fait du changement climatique dans les régions développées **31**

7. Effets du changement climatique sur les rendements agricoles, la superficie cultivée, la production, les prix et le commerce au niveau mondial à l'horizon 2050 **40**

8. Effets du changement climatique sur les populations risquant de souffrir de la faim en 2050, par région **40**

9. Population risquant de souffrir de la faim, avec et sans changement climatique **40**

10. Insécurité alimentaire et vulnérabilité face au changement climatique: aujourd'hui, scénario pessimiste et scénario optimiste **41**

11. Émissions annuelles nettes (déduction faite de la différence des puits) imputables à l'AFAUT en équivalent CO₂ **44**

TABLEAUX, FIGURES ET ENCADRÉS

12. Émissions nettes (déduction faite de la différence des puits) imputables à l'AFAUT en équivalent CO ₂ en 2014, par région	46	3. L'agriculture au cœur des orientations sur les actions à entreprendre par les pays	12	17. Les techniques nucléaires et isotopiques d'atténuation	85
13. Part des émissions agricoles en équivalent CO ₂ en 2014, par source et à l'échelon mondial	46	4. Une vision commune de l'alimentation et de l'agriculture durables	17	18. La réduction du méthane dans l'élevage et la production de riz paddy	87
14. Variation, en 2050, du nombre de personnes risquant de souffrir de la faim, par rapport au scénario de référence, après l'adoption de techniques agricoles améliorées	61	5. Les effets du changement climatique sur l'agriculture, en bref	25	19. La remise en état de prairies dégradées en Chine	92
15. Potentiel économique d'atténuation dans les secteurs AFAUT en 2030, par région	95	6. Les effets des événements climatiques extrêmes	30	20. Les émissions des systèmes alimentaires: la consommation d'énergie le long des chaînes d'approvisionnement	97
16. Des engagements et mécanismes internationaux aux politiques et institutions nationales	109	7. Projections relatives au changement climatique: RCP et SSP	35	21. Les secteurs de l'agriculture et la CCNUCC	106
17. Financement public international de l'atténuation et/ou de l'adaptation – moyenne annuelle par secteur et par source, 2010-2014	123	8. Les femmes rurales comptent parmi les personnes les plus vulnérables	55	22. La nécessaire cohérence des politiques dans les domaines de l'agriculture et de l'énergie	111
18. Financement multilatéral – moyenne annuelle des engagements et décaissements, par secteur, 2010-2014	127	9. La diversité génétique améliore la résilience	55	23. La réduction des risques de catastrophe au service de la sécurité alimentaire et de la nutrition	113
ENCADRÉS		10. Effets positifs des économies d'eau en Chine	59	24. Lacunes dans les connaissances et problèmes concernant les données	115
1. Les quatre dimensions de la sécurité alimentaire	9	11. Aquaculture intelligente face au climat au Viet Nam	61	25. Fonds spécifiquement consacrés au climat et secteurs de l'agriculture	125
2. Changement climatique et nutrition	9	12. Risques liés au climat, diversification et bien-être des petits exploitants au Malawi et en Zambie	63	26. Vers la durabilité et la résilience en Afrique subsaharienne	127
		13. Les coûts et les avantages d'un investissement dans l'adaptation des petits agriculteurs	67	27. Intégrer le changement climatique dans les évaluations économiques	131
		14. Les facteurs qui limitent la capacité d'adaptation	70	28. L'intégration du changement climatique dans les institutions financières internationales	135
		15. Réorienter la recherche pour relever le défi climatique	71		
		16. Le carbone et l'azote dans les secteurs de l'agriculture	81		

AVANT-PROPOS

Après une année 2015 marquée par la signature historique de l'Accord de Paris et par l'adoption du Programme de développement durable à l'horizon 2030 – deux jalons importants ouvrant la voie vers un avenir plus durable –, l'enjeu en 2016 est de passer des engagements aux actes. L'évolution rapide du climat au niveau mondial engendre une multiplication et une intensification des phénomènes climatiques extrêmes, comme les vagues de chaleur et les sécheresses, ainsi qu'une élévation du niveau de la mer.

Les incidences du changement climatique sur l'agriculture et les conséquences en termes de sécurité alimentaire sont d'ores et déjà alarmantes. C'est pourquoi nous en avons fait l'objet du présent rapport. Une des principales conclusions qui s'en dégagent concerne l'urgence de soutenir l'adaptation des petites exploitations au changement climatique. Agriculteurs, pasteurs, pêcheurs et petits exploitants forestiers sont tous tributaires d'activités qui sont étroitement et inextricablement liées au climat – et ces groupes s'avèrent également les plus vulnérables au changement climatique. Sans une amélioration significative de leur accès aux technologies, aux marchés, aux informations et aux crédits à l'investissement, ils ne seront pas en mesure d'adapter leurs systèmes et leurs pratiques de production au changement climatique.

Si nous ne prenons pas dès maintenant des mesures pour renforcer la durabilité, la productivité et la résilience de l'agriculture, les effets du changement climatique feront peser une lourde menace sur la production alimentaire de pays et de régions déjà fortement exposés à l'insécurité alimentaire. En plus de mettre en péril la réalisation des objectifs de développement durable clés consistant à éliminer la faim et la pauvreté d'ici à 2030, ces effets continueront de prendre de l'ampleur au-delà de 2030 et les

dommages qu'ils causeront à l'agriculture seront considérables.

De par son impact sur l'agriculture, sur les moyens d'existence et sur les infrastructures, le changement climatique menace la sécurité alimentaire dans toutes ses dimensions. Il exposera les pauvres, aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural, à une hausse des prix des denrées alimentaires, lesquels deviendront aussi plus instables. Par ailleurs, il nuira à la disponibilité alimentaire en entraînant une baisse de la productivité des cultures, de l'élevage et des pêches, et entravera l'accès aux aliments en compromettant les moyens d'existence de millions de ruraux qui vivent de l'agriculture.

Il convient de s'attaquer dans un même élan à la faim, à la pauvreté et au changement climatique. Il s'agit, pour le moins, d'un impératif moral quand on sait que les populations qui ont contribué le moins au changement climatique sont celles qui, aujourd'hui, en souffrent le plus. Le présent rapport propose un aperçu des solutions possibles pour adapter la production des petits agriculteurs au changement climatique et renforcer la résilience des moyens d'existence des populations rurales. La diversification et une meilleure intégration des systèmes de production alimentaire dans des processus écologiques complexes font naître des synergies avec les habitats naturels, synergies qui préviennent en outre l'appauvrissement des ressources naturelles. L'agroécologie et l'intensification durable sont deux exemples d'approches qui améliorent les rendements et renforcent la résilience par le biais de pratiques telles que l'épandage d'engrais verts, les cultures de couverture fixant l'azote, la gestion durable des sols et l'intégration avec l'agroforesterie et la production animale.

Le développement de secteurs de l'agriculture plus résilients et l'engagement

AVANT-PROPOS

d'investissements intelligents au profit des petits agriculteurs peuvent conduire à un changement en profondeur et améliorer les perspectives et les revenus des personnes les plus démunies de la planète tout en atténuant les effets du changement climatique dont elles sont victimes.

Le présent rapport fait la démonstration que les bénéfices tirés de l'adaptation l'emportent sur le coût de l'inaction, et ce, dans une très large mesure. Dans la perspective de cette mutation vers une agriculture durable et plus équitable, il faudra non seulement améliorer l'accès aux marchés et à des services de vulgarisation adaptés, mais également surmonter les obstacles liés à l'insécurité des régimes fonciers, aux coûts de transaction élevés et aux faibles dotations en ressources, en particulier parmi les femmes en milieu rural.

La diversification des moyens d'existence constitue un autre moyen d'aider les ménages ruraux à mieux gérer les risques climatiques en combinant des activités sur le lieu d'exploitation et un travail saisonnier, que ce soit dans l'agriculture ou dans d'autres secteurs d'activité. Dans tous les cas, les programmes de protection sociale seront appelés à jouer un rôle important pour aider les petits exploitants à mieux gérer les risques, limiter la vulnérabilité face à la fluctuation des prix des denrées alimentaires et améliorer les perspectives d'emploi des ruraux qui quittent les campagnes.

Si l'on souhaite contenir l'augmentation de la température mondiale sous le seuil critique des 2 °C, il faudra réduire les émissions: pas moins de 70 pour cent d'ici à 2050. Or, ce n'est qu'avec la contribution des secteurs de l'agriculture que l'on parviendra à maintenir le changement climatique dans des limites raisonnables. En effet, ces secteurs représentent désormais au moins un cinquième des émissions totales, principalement en raison de la conversion

des forêts en terres agricoles et de la production animale et végétale. Ainsi, nous sommes confrontés à un double défi: réduire ces émissions tout en répondant à une demande alimentaire sans précédent.

Les secteurs de l'agriculture peuvent grandement contribuer à équilibrer le cycle du carbone à l'échelle mondiale.

Par exemple, dans le secteur forestier, la prévention de la déforestation, l'augmentation de la superficie boisée et l'adoption d'une gestion forestière à rendement soutenu dans le cadre de la production de bois d'œuvre sont autant de mesures qui peuvent permettre de fixer de grandes quantités de gaz carbonique (CO₂) rejeté dans l'atmosphère. Les sols jouent également un rôle déterminant dans la régulation des émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre. De fait, grâce à une utilisation des terres et à une gestion des sols appropriées, il est possible d'améliorer la qualité et la fertilité des sols tout en contribuant à ralentir l'accumulation de CO₂ dans l'atmosphère.

Il est primordial que les engagements nationaux – à savoir les contributions qui ont été annoncées par les pays et qui forment la base de l'Accord de Paris de 2015 sur le changement climatique – se traduisent par des mesures concrètes. La Conférence des Parties qui se tiendra en novembre 2016 au Maroc fera de la question de la mise en œuvre des engagements dans les secteurs de l'agriculture un enjeu prioritaire des débats. Le présent rapport met en lumière les stratégies, les modes de financement possibles et les besoins en données et en informations, et dresse un tableau des politiques de transformation et des institutions qui peuvent faire tomber les obstacles à la mise en œuvre. Lorsque les pays réviseront et, espérons-le, accéléreront leurs plans nationaux, le succès avec lequel ils parviendront à appliquer leurs

engagements – en particulier dans les secteurs de l’agriculture –, constituera un facteur clé pour créer un cercle vertueux générateur d’ambitions encore plus grandes.

Le changement climatique est l’une des pierres angulaires des activités menées par la FAO. Afin d’épauler ses Membres, notre Organisation a investi dans divers domaines qui contribuent à la fois à renforcer la sécurité alimentaire et à favoriser l’adaptation au changement climatique et l’atténuation de ses effets. La FAO œuvre en faveur de la réorientation des systèmes alimentaires et agricoles dans les pays les plus exposés aux risques climatiques, en accordant une attention toute particulière aux petits exploitants.

La FAO intervient dans l’ensemble de ses domaines de compétence, avec l’objectif de promouvoir de nouveaux modèles d’agriculture fondés sur les principes de la durabilité et de l’inclusion. Par le biais du Partenariat mondial sur les sols, elle encourage les investissements visant à limiter au maximum la dégradation des sols et à rétablir la productivité dans les régions où les populations sont les plus vulnérables, ce qui contribue à stabiliser les réserves mondiales de matière organique dans le sol.

La FAO participe au Programme mondial pour un élevage durable, et a lancé un programme visant à réduire les émissions de méthane entérique produites par les ruminants à l’aide de mesures adaptées aux systèmes agricoles locaux. Dans le secteur des pêches, l’Initiative de la FAO en faveur de la croissance bleue contribue à l’intégration des pêches et de la gestion durable de l’environnement. Par ailleurs, la FAO participe à un programme mené conjointement avec l’Union européenne, qui vise à protéger les forêts riches en carbone. Elle donne également des indications sur l’intégration de la diversité génétique dans

les plans nationaux d’adaptation au changement climatique, et elle s’est associée au Programme des Nations Unies pour le développement afin de soutenir les pays dans leurs efforts visant à inclure l’agriculture dans leurs plans d’adaptation et dans leurs processus de budgétisation. Enfin, la FAO contribue à créer des liens entre les pays en développement et les sources de financement pour l’action climatique.

La communauté internationale se doit d’agir dès maintenant contre le changement climatique, en donnant aux secteurs de l’agriculture, de la foresterie et de la pêche les moyens d’adopter des pratiques pensées en fonction du climat. De l’efficacité des mesures qui seront prises dépendra la capacité de l’humanité d’éliminer la faim et la pauvreté d’ici à 2030 et de subvenir aux besoins alimentaires de tous. Le statu quo n’est pas envisageable. L’agriculture a toujours fait le lien entre les ressources naturelles et l’activité humaine. Aujourd’hui, c’est elle qui a les cartes en main pour relever les deux plus grands défis de notre temps: éliminer la pauvreté et préserver le fragile équilibre climatique indispensable à la prospérité de l’humanité.



José Graziano da Silva
Directeur général de la FAO

REMERCIEMENTS

La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2016 a été élaborée par une équipe multidisciplinaire de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) sous la direction de Rob Vos, Directeur de la Division de l'économie du développement agricole (ESA), et d'Andrea Cattaneo, Économiste principal et coordonnateur de la publication. Kostas Stamoulis, Sous-Directeur général par intérim chargé du Département du développement économique et social (ESD), a donné des orientations générales. Maria Helena Semedo, Directrice générale adjointe (Coordonnatrice, ressources naturelles), et l'équipe de direction du Département du développement économique et social ont également fourni des indications. René Castro Salazar, Sous-Directeur général chargé du Département des forêts de la FAO, et Martin Frick, Directeur de la Division du climat et de l'environnement, ont apporté des contributions significatives au rapport.

ÉQUIPE CHARGÉE DES RECHERCHES ET DE LA RÉDACTION

Jakob Skøt (Chef d'équipe), Leslie Lipper (Conseillère technique en chef, ESA), Graeme Thomas (Conseiller de rédaction), Astrid Agostini (Division du climat et de l'environnement), Raffaele Bertini (ESA), Cassandra De Young (Département des pêches et de l'aquaculture), Sarah Lowder (ESA), Alexandre Meybeck (Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs), Anne Mottet (Division de la production et de la santé animales), Selvaraju Ramasamy (Division du climat et de l'environnement), Simone Rose (Département des forêts), Henning Steinfeld (Division de la production et de la santé animales).

CONTRIBUTEURS

Documents de référence

Franck Ackermann (Synapse Energy Economics, États-Unis d'Amérique), Benjamin Bodirsky (Institut de recherche sur les incidences du climat, Potsdam, Allemagne), Oscar Cacho (Université de Nouvelle Angleterre, Australie), Angela Cadena Monroy (Université des Andes, Colombie), Alessandro De Pinto (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires), Pierre Gerber (Banque mondiale), Ben Henderson (Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth, Australie), Mario Herrero (Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth, Australie), Ana María Loboguerrero (Programme de recherche sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire, CGIAR), Mario Londoño (Université des Andes, Colombie), Alberto Millán (Centre international d'agriculture tropicale), Jonathan Moss (Université de Nouvelle Angleterre, Australie), Marigold Norman (Overseas Development Institute, Royaume-Uni), Oene Oenema (Université de Wageningen, Pays-Bas), Katherine Ovalle Sanabria (Ministère de l'environnement et du développement durable, Colombie), Vittoria Pinca (Consultante), Dave Robb (Consultant), Marc Sadler (Banque mondiale), Jean-François Soussana (Institut national de recherche agronomique, France), Rita Strohmaier (Karl-Franzens-Universität, Autriche), Rodrigo Suarez Castaño (Ministère de l'environnement et du développement durable, Colombie), Mark Sutton (Centre d'écologie et d'hydrologie, Royaume-Uni), Stacy A. Swann (Banque mondiale), Timothy Thomas (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires), Philip Thornton (Institut international de recherches sur l'élevage), Caroline Van der Does de Willebois (Consultante), Ioannis Vasileiou (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires), Keith Wiebe (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires).

Contributions supplémentaires de la FAO

Adriana Arango Guillen, Aslihan Arslan, Solomon Asfaw, Stephen Baas, Tarub Bahri, Karel Callens, Clayton Campanhola, Frederic Castell, Barbara Cooney, Olivier Dubois, Jean Marc Faurès, Michelle Kendrick, Nancy McCarthy, Matta Rao, Doris Soto, Francesco Tubiello.

Annexe statistique

L'annexe a été mise au point par Raffaele Bertini et Sarah Lowder (ESA).

Le tableau annexe 1 a été établi à partir de données fournies par Andrew Challinor, Julian Ramirez-Villegas et James Watson. Nous tenons à les remercier de nous avoir permis d'utiliser ces données dans le présent rapport. Les tableaux annexes 2 et 3 sont basés sur des données de FAOSTAT produites conjointement par la Division de la statistique et la Division du climat et de l'environnement de la FAO.

Appui administratif

Paola Di Santo et Liliana Maldonado.

La FAO est reconnaissante des avis et indications fournies dans le cadre de l'atelier technique auquel ont participé les personnes suivantes: Alessandro De Pinto (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires), Fiona Guy (Programme alimentaire mondial), Ada Ignaciuk (Organisation de coopération et de développement économiques), Alberto Millán (Banque mondiale), Torben Nilsson (Fonds international pour le développement agricole), Marigold Norman (Institut britannique de développement outre-mer, Royaume-Uni), Shivaji Pandey (expert indépendant), Rita Strohmaier (Karl-Franzens-Universität, Autriche), Terry Sunderland (Centre pour la recherche forestière internationale), Keith Wiebe (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires).

Les services de traduction et d'imprimerie ont été réalisés par le Service de programmation et de documentation des réunions de la FAO.

Le **Groupe de l'édition** du Bureau de la communication de la FAO a offert son appui éditorial et s'est chargé de la conception et de la mise en page dans les six langues officielles.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AFAUT

agriculture, foresterie et autres utilisations des terres

AgMIP

Projet d'intercomparaison et d'amélioration des modèles de simulation de cultures

AID

Association internationale de développement

ASAP

Programme d'adaptation de l'agriculture paysanne

C

carbone

CCNUCC

Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

CDN

contributions déterminées au niveau national

CFU

Climate Fund Update de l'ODI

CH₄

méthane

CO₂

dioxyde de carbone

COP

Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC)

CPDN

contributions prévues déterminées au niveau national

FEM

Fonds pour l'environnement mondial

FIDA

Fonds international de développement agricole

GES

gaz à effet de serre

GIEC

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Gt

gigatonne (milliards de tonnes)

GtC

gigatonne de carbone

Gt-équiv.-CO₂

gigatonne d'équivalent dioxyde de carbone

ha

hectare

IFPRI

Institut international de recherche sur les politiques alimentaires

IMPACT

modèle international pour l'analyse de politiques de la production et du commerce agricoles

MAAP

mesures d'atténuation adaptées au pays

N

azote

N₂O

oxyde nitreux

OCDE

Organisation de coopération et de développement économiques

ODI

Overseas Development Institute

OMC

Organisation mondiale du commerce

PIB

produit intérieur brut

PMA

pays les moins avancés

PME

petites et moyennes entreprises

PNA

plan national pour l'adaptation

PNACC

programme national d'adaptation aux changements climatiques

PNUD

Programme des Nations Unies pour le développement

RCP

Representative Concentration Pathway (profils représentatifs d'évolution de concentration définis par le GIEC)

REDD

réduction des émissions causées par le déboisement et la dégradation des forêts

SNPC

Système de notification des pays créanciers de l'OCDE

SSP

Shared Socio-economic Pathway (profil commun d'évolution socioéconomique)

t

tonne

UTCATF

utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie

VAN

valeur actuelle nette

RÉSUMÉ

LE MONDE FAIT FACE À UN DOUBLE DÉFI – PAR AILLEURS SANS PRÉCÉDENT: ÉLIMINER LA FAIM ET LA PAUVRETÉ ET STABILISER LE CLIMAT MONDIAL AVANT QU'IL NE SOIT TROP TARD

En adoptant les objectifs énoncés dans le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et dans l'Accord de Paris sur le changement climatique, la communauté internationale a pris l'engagement de construire un avenir durable. Cependant, pour éliminer la faim et la pauvreté d'ici à 2030 tout en s'attaquant à la menace que constitue le changement climatique, une transformation profonde des systèmes alimentaires et agricoles sera nécessaire partout dans le monde.

La transformation à opérer pour parvenir à une agriculture durable pose un défi majeur. Il faudra apporter ces changements sans compromettre la capacité des secteurs de l'agriculture (culture, élevage, pêche et foresterie) de répondre aux besoins alimentaires de la planète. En 2050, la demande alimentaire mondiale devrait avoir augmenté de 60 pour cent au moins par rapport à son niveau de 2006, sous l'effet de l'accroissement de la population, de l'augmentation des revenus et de l'urbanisation rapide. Dans les décennies à venir, la croissance démographique sera concentrée dans les régions où la prévalence de la sous-alimentation est la plus forte, régions qui sont en outre très vulnérables face aux répercussions du changement climatique. Dans le même temps, les efforts déployés par les secteurs de l'agriculture pour contribuer à un monde neutre en carbone entraînent des demandes concurrentes d'eau et de terres pour produire de la nourriture et de l'énergie, et donnent lieu à des initiatives de conservation des forêts qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre mais limitent les terres disponibles pour la production végétale et animale.

Il faudra également amener des millions de producteurs d'aliments à s'adapter aux effets du

changement climatique, qui se font déjà sentir dans les différents secteurs de l'agriculture, surtout dans les régions tropicales, où se trouve la majorité des populations pauvres en situation d'insécurité alimentaire. On devra en outre inverser le processus de dégradation généralisée de la base de ressources naturelles de l'agriculture – ressources du sol et des forêts et ressources aquatiques –, qui met en péril la viabilité même de la production alimentaire.

Il est donc nécessaire de procéder à une vaste transformation des systèmes alimentaires et agricoles pour instaurer la sécurité alimentaire mondiale, offrir à chaque être humain des possibilités économiques et sociales, protéger les services écosystémiques dont l'agriculture dépend et renforcer la résilience face au changement climatique. Sans adaptation au changement du climat, il ne sera pas possible de parvenir à la sécurité alimentaire pour tous et de venir à bout de la faim, de la malnutrition et de la pauvreté.

LES EFFETS NÉFASTES S'AGGRAVANT AU FIL DU TEMPS, IL FAUT LANCER DÈS À PRÉSENT LA TRANSFORMATION NÉCESSAIRE À L'ÉCHELLE MONDIALE POUR PARVENIR À UNE ALIMENTATION ET UNE AGRICULTURE DURABLES

On s'attend à ce que les effets du changement climatique sur la production agricole et les moyens d'existence s'intensifient au fil du temps et varient selon les pays et les régions. Après 2030, les répercussions négatives du changement climatique sur la productivité de la culture, de l'élevage, de la pêche et de la foresterie devraient s'aggraver dans toutes les régions du monde.

Un recul de la productivité aurait de lourdes conséquences pour la sécurité alimentaire. Les pénuries alimentaires entraîneraient de fortes hausses des prix, dont l'instabilité serait

par ailleurs accentuée par la variabilité accrue du climat. Étant donné que les régions les plus touchées seraient celles qui connaissent déjà des taux élevés de sous-alimentation et de pauvreté, l'augmentation des prix des produits alimentaires aurait une incidence directe sur des millions de personnes à faible revenu. Les plus vulnérables seront notamment les personnes tributaires de l'agriculture pour subvenir à leurs besoins et avoir accès à un revenu, en particulier les petits exploitants des pays en développement.

Le changement climatique n'est pas le seul facteur de pauvreté et d'insécurité alimentaire, mais on redoute que ses effets soient considérables. Sans changement du climat et sous réserve que le progrès économique se poursuive, la plupart des régions devraient voir diminuer le nombre de personnes exposées à la faim d'ici à 2050. Avec le changement climatique, en revanche, entre 35 et 122 millions de personnes supplémentaires pourraient vivre dans la pauvreté d'ici à 2030, en grande partie à cause des effets négatifs du changement du climat sur les revenus dans les secteurs de l'agriculture. C'est en Afrique subsaharienne que l'augmentation du nombre de pauvres serait la plus forte, notamment parce que la population y est davantage tributaire de l'agriculture.

Les initiatives mondiales d'adaptation au changement climatique doivent réserver une place centrale à l'alimentation et à l'agriculture, par des politiques et des mesures qui s'attaquent aux vulnérabilités et aux risques et qui visent à mettre en place des systèmes agricoles résilients et durables. Il faut commencer à agir maintenant, car avec l'intensification des répercussions du changement climatique, il deviendra de plus en plus difficile de renforcer la résilience. Retarder la transformation des secteurs de l'agriculture forcera les pays pauvres à mener de front la lutte contre la pauvreté, la faim et le changement climatique.

IL EXISTE DES PRATIQUES AGRICOLES DURABLES ET ÉCONOMIQUEMENT VIABLES, MAIS UN CERTAIN NOMBRE D'OBSTACLES À LEUR ADOPTION DOIVENT ÊTRE SURMONTÉS

Il est possible d'améliorer considérablement la sécurité alimentaire et la résilience face au changement climatique en introduisant des pratiques agricoles durables. La généralisation de pratiques telles que la culture de variétés utilisant efficacement l'azote et résistantes à la chaleur, le zéro labour et la gestion intégrée de la fertilité des sols permettrait d'accroître la productivité ainsi que les revenus des agriculteurs et contribuerait à faire baisser les prix des produits alimentaires. On estime qu'à lui seul, le recours généralisé à des variétés de cultures utilisant efficacement l'azote pourrait réduire de plus de 120 millions le nombre de personnes exposées à la sous-alimentation dans les pays en développement d'ici à 2050.

Or l'adoption de pratiques améliorées par les agriculteurs demeure très limitée. Souvent, elle est freinée par des politiques – comme les subventions aux intrants – qui entretiennent des pratiques de production non durables aux dépens de pratiques favorisant une utilisation plus efficace des ressources, la conservation des sols et la réduction de l'intensité des émissions agricoles de gaz à effet de serre. Les petits exploitants, en particulier, doivent surmonter toutes sortes d'obstacles pour parvenir à une agriculture durable, notamment des problèmes d'accès aux marchés, au crédit, aux services de vulgarisation, aux informations météorologiques, aux outils de gestion des risques et à la protection sociale. Les femmes, qui représentent 43 pour cent environ de la main-d'œuvre agricole dans les pays en développement, sont particulièrement défavorisées: elles ont moins de ressources et de droits que les hommes; ont encore plus de difficultés qu'eux à accéder à l'information et aux services; doivent assumer, au sein du ménage, des responsabilités sexospécifiques; et effectuent de plus en plus de travaux agricoles du fait de l'exode des hommes.

Il n'existe pas de «solution technique» simple. Ce qu'il faut, c'est réorienter les politiques de développement agricole et rural en redéfinissant les incitations et en levant les obstacles à la transformation des systèmes alimentaires et agricoles. Un soutien particulier doit être apporté aux petits exploitants à faible revenu afin de renforcer leur capacité de gérer les risques et d'adopter des stratégies efficaces d'adaptation au changement climatique.

IL NE FAUT PAS S'ARRÊTER AUX PRATIQUES AGRICOLES: L'ADAPTATION DES PETITS EXPLOITANTS AUX RISQUES LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE SERA ESSENTIELLE POUR RÉDUIRE LA PAUVRETÉ ET AMÉLIORER LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE DANS LE MONDE

À lui seul, le nombre de familles de petits exploitants vivant dans les pays en développement, soit 475 millions de foyers, justifie que l'on s'intéresse de près à la menace que le changement climatique fait peser sur leurs moyens d'existence et au besoin urgent de pérenniser ces derniers. Il sera difficile, voire impossible, d'éliminer la pauvreté et la faim dans le monde sans renforcer la résilience des petits exploitants face au changement climatique en généralisant l'adoption de pratiques durables de gestion des terres, de l'eau, de la pêche et des forêts. On sait que conjuguées à d'autres facteurs favorables – comme un accès adéquat au crédit et aux marchés, mais aussi des mesures visant à lever les contraintes juridiques et socioculturelles et les freins à la mobilité auxquels se heurtent les femmes en milieu rural –, ces pratiques permettent d'augmenter nettement la productivité. L'amélioration des pratiques de gestion risque cependant de ne pas suffire pour maintenir les revenus des agriculteurs.

La résilience des agriculteurs peut être renforcée grâce à la diversification, qui permet de réduire l'effet des bouleversements climatiques sur les

revenus et d'offrir aux ménages un plus large éventail d'options pour gérer les risques futurs. L'une des formes de diversification consiste à intégrer la culture, l'élevage et la plantation d'arbres – ainsi, dans certains systèmes d'agroforesterie, le bétail est nourri avec des feuilles d'arbres de la famille des légumineuses qui fixent l'azote, le fumier est utilisé pour fertiliser le sol et des légumes secs sont cultivés en vue de disposer de protéines supplémentaires pendant les périodes d'insécurité alimentaire saisonnière.

Pour les ménages qui disposent de peu de possibilités de diversification sur leur exploitation, l'emploi rural non agricole ou la migration vers les villes peuvent s'avérer essentiels pour trouver d'autres moyens d'existence. Il sera ainsi peut-être nécessaire de combiner l'intensification durable et la diversification agricole avec des possibilités d'activité en dehors des exploitations, à la fois localement et par le renforcement des liens entre zones rurales et urbaines. Il faudra également s'attaquer aux inégalités entre hommes et femmes, car les règles sociales empêchent souvent ces dernières de mener des activités non agricoles. Des politiques en matière de protection sociale, d'éducation et d'emploi devront être mises en place pour atténuer de nombreux risques associés à la diversification et à la migration.

UN CINQUIÈME DES ÉMISSIONS DE GAZ EFFET DE SERRE ÉTANT GÉNÉRÉES PAR L'AGRICULTURE, LA FORESTERIE ET LE CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES, LES SECTEURS DE L'AGRICULTURE DOIVENT CONTRIBUER À LIMITER CES REJETS

Le défi que constitue l'adaptation au changement climatique deviendra de plus en plus grand au fil du temps si nous n'agissons pas maintenant pour réduire les émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement de la planète. Il faudra diminuer considérablement les émissions pour garder le changement climatique sous contrôle et éviter que la température

n'augmente de plus de 1,5 °C ou 2 °C à l'échelle mondiale par rapport aux niveaux préindustriels. Il s'agit là d'une responsabilité mondiale, qui nécessite de passer à une faible intensité des émissions dans tous les secteurs économiques.

L'agriculture et le secteur alimentaire dans son ensemble ont un rôle majeur à jouer dans l'atténuation du changement climatique. Ensemble, l'agriculture, la foresterie et le changement d'affectation des terres représentent un cinquième environ des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Les émissions de dioxyde de carbone issues de l'agriculture sont dues principalement aux pertes de matière organique aérienne et souterraine qui résultent du changement d'affectation des terres, comme la conversion des forêts en pâturages et en terres cultivées, et de la dégradation des sols, provoquée notamment par le surpâturage. La majeure partie des émissions directes de méthane et d'oxyde nitreux, deux gaz à effet de serre puissants, est liée à la fermentation entérique dans les élevages, à la riziculture inondée et à l'utilisation d'engrais et d'effluents azotés. Ces émissions pourraient toutes être réduites avec de meilleures pratiques de gestion.

La part de l'ensemble du système alimentaire dans le total des émissions de gaz à effet de serre est encore plus grande – d'autres émissions sont générées par la fabrication de produits agrochimiques, par l'utilisation de combustibles fossiles dans les exploitations agricoles et par les opérations de transport, de transformation et de commercialisation postérieures à la production.

L'AGRICULTURE PEUT CONTRIBUER À L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET À L'ATTÉNUATION DE CELUI-CI, MAIS IL CONVIENT D'AGIR SUR PLUSIEURS FRONTS

Le développement agricole et rural à grande échelle peut aider à réduire l'exposition et la

sensibilité aux bouleversements climatiques et offrir de nouveaux moyens d'améliorer les moyens d'existence en milieu rural et la sécurité alimentaire. Le présent rapport explique comment l'adoption de meilleures pratiques de gestion contribuera à réduire considérablement le nombre de personnes en situation d'insécurité alimentaire. Pour encourager l'adoption de pratiques plus efficaces et la diversification des moyens d'existence ruraux, il faut toutefois travailler simultanément à l'amélioration des infrastructures, de la vulgarisation, de l'information sur le climat, de l'accès au crédit et de la protection sociale, autant d'aspects qui sont au cœur du développement rural.

D'après les estimations disponibles, il semble que le coût cumulé de l'adaptation et du renforcement de la résilience des systèmes agricoles ne représente qu'une fraction du coût de l'inaction. Les efforts d'adaptation se justifient sur le plan économique et offrent en outre un potentiel énorme de réduction des émissions de gaz à effet de serre générées par l'agriculture, l'exploitation des forêts et le changement d'affectation des terres. L'augmentation de l'efficacité de l'utilisation des ressources, la diminution du recours aux combustibles fossiles et la prévention de la dégradation directe de l'environnement feront économiser de l'argent aux agriculteurs, amélioreront durablement la productivité et réduiront la dépendance à l'égard des intrants externes.

De multiples exemples concrets montrent comment les initiatives peuvent allier adaptation et atténuation. L'amélioration de la production végétale et de la gestion des engrais semble offrir le potentiel le plus intéressant de réduction des émissions d'oxyde nitreux, tout en abaissant le coût des intrants. L'augmentation des stocks de carbone organique du sol permet d'accroître le rendement des cultures et de renforcer la résilience face aux sécheresses et aux inondations, mais aussi de séquestrer le carbone. L'inondation et l'assèchement alternés des rizières réduisent les émissions de méthane de

45 pour cent, tout en économisant de l'eau et en offrant des rendements similaires à ceux des rizières inondées en permanence. Dans les régions tempérées et tropicales, la diversification des systèmes agricoles et l'intégration de la culture, de l'élevage et de la plantation d'arbres pourraient renforcer l'efficacité à l'échelle des exploitations, réduire l'intensité des émissions et augmenter la productivité. Dans le secteur de l'élevage, la généralisation de pratiques durables permettrait de réduire les émissions de méthane des ruminants dans une proportion pouvant atteindre 41 pour cent tout en accroissant la productivité grâce à l'amélioration de l'alimentation et de la santé des animaux et de la gestion de la structure des troupeaux. Dans de nombreuses régions, toutefois, ces pratiques sont peu répandues. Les initiatives visant à favoriser leur adoption par les petits exploitants doivent s'accompagner d'une compréhension approfondie des obstacles financiers et institutionnels et des problèmes liés aux politiques en place.

Plus la production agricole augmentera, en réponse à la demande, plus elle générera d'émissions. Il faudrait améliorer considérablement la gestion des cycles du carbone et de l'azote dans l'agriculture pour réduire l'intensité des émissions (émissions par unité produite) et inverser la tendance des secteurs de l'agriculture à générer de plus en plus d'émissions à mesure que leur production s'accroît. Il ne sera donc pas facile de concrétiser le potentiel qu'offrent ces secteurs en matière d'atténuation, non seulement en raison des profondes transformations nécessaires pour élargir l'adoption de pratiques améliorées, mais aussi du fait de l'augmentation prévue de la demande de produits agricoles.

Toutes les options d'atténuation ne peuvent pas être considérées comme des mesures d'adaptation ayant d'importantes retombées bénéfiques conjointes sur le plan de l'atténuation. De par leur nature, certaines initiatives poursuivent uniquement des objectifs d'atténuation. Ainsi,

l'arrêt de la déforestation et de la dégradation des forêts serait sans doute la mesure susceptible d'offrir la plus forte réduction d'émissions dans les secteurs de l'agriculture. Cet objectif devrait être une priorité, mais il nécessitera d'accepter des compromis: réduire la déforestation a souvent un coût pour l'agriculteur. Des initiatives en ce sens sont en cours dans le cadre du projet REDD+, mené sous les auspices de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Les émissions dues à la conversion des forêts ont nettement reculé ces 20 dernières années, mais les compromis qu'il faut consentir rendent ces gains fragiles. Dans certains secteurs économiques, les mesures d'adaptation et d'atténuation n'ont en général pas de liens entre elles. Il en va différemment des secteurs de l'agriculture, où les objectifs définis en matière de sécurité alimentaire, d'adaptation et d'atténuation sont interdépendants.

Même une adoption généralisée de pratiques agricoles durables et intelligentes face au climat pourrait de ne pas suffire pour atteindre les objectifs climatiques mondiaux. D'importants ajustements sont nécessaires dans l'ensemble des systèmes alimentaires. Un tiers environ de toutes les denrées alimentaires produites dans le monde est perdu ou gaspillé après la récolte. La réduction des pertes et des gaspillages de nourriture permettrait non seulement d'améliorer l'efficacité du système alimentaire, mais aussi de diminuer à la fois les pressions exercées sur les ressources naturelles et les émissions de gaz à effet de serre. Dans les secteurs de la transformation, de la conservation et du transport des produits alimentaires, l'utilisation d'énergie et l'intensité des émissions sont élevées, et en augmentation. Réduire l'intensité des émissions le long de la chaîne alimentaire nécessitera une véritable prise de conscience des consommateurs ainsi que des incitations par les prix destinées à favoriser les denrées à faible empreinte environnementale. Le rééquilibrage des régimes

alimentaires vers une diminution de la consommation d'aliments d'origine animale serait un pas important dans cette direction, et aurait probablement des avantages connexes sur le plan de la santé humaine.

LES MESURES PRISES À L'ÉCHELLE DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES ET AGRICOLES DOIVENT S'APPUYER SUR LES ENGAGEMENTS DE L'ACCORD DE PARIS

La transformation des systèmes agricoles et alimentaires semble être économiquement et techniquement réalisable. Ce changement ne pourra cependant se faire que s'il est soutenu par des politiques, des cadres institutionnels et des mécanismes de financement des investissements appropriés. Ces facteurs propices jouent un rôle important dans le développement agricole de manière générale, mais sont rendus encore plus nécessaires par le changement climatique. Les cadres d'action doivent être considérablement modifiés pour concilier les objectifs définis en matière de développement agricole, de sécurité alimentaire et de nutrition, et de stabilité du climat.

Les contributions prévues déterminées au niveau national (CPDN), qui ont formé la base de l'Accord de Paris de 2015 sur le changement climatique, doivent maintenant se traduire en contributions déterminées au niveau national (CDN) par des politiques et des mesures concrètes pour aider à la réalisation des objectifs mondiaux relatifs au climat. Les secteurs de l'agriculture jouent un rôle majeur dans ces contributions: 94 pour cent des pays les ont intégrés dans les contributions qu'ils ont fixées en matière d'atténuation et d'adaptation. Les pays en développement soulignent l'importance de l'agriculture et de la sécurité alimentaire en matière d'adaptation; et souvent, les secteurs de l'agriculture font partie des activités qui contribuent à leurs objectifs d'atténuation. Un tiers environ des pays mentionnent dans leurs contributions prévues

les retombées bénéfiques conjointes potentielles des mesures d'atténuation et d'adaptation dans l'agriculture. Les pays affichent clairement leur volonté de lutter contre le changement climatique en transformant les secteurs de l'agriculture et en y réalisant des investissements.

De nombreux pays ont élaboré de vastes politiques et stratégies en matière de lutte contre le changement climatique, dans lesquelles ils ont défini des objectifs et des cibles à l'échelle mondiale. Néanmoins, peu d'entre eux ont établi un plan d'action détaillé pour atteindre les cibles relatives au climat. Les CPDN forment la première étape d'un processus bien plus large consistant à repenser le développement agricole et rural dans le contexte du changement climatique. La CCNUCC a déjà mis en place des mécanismes importants, comme les plans nationaux d'adaptation, destinés à appuyer les actions concertées visant à lutter contre ce changement. Conformément aux recommandations du présent rapport relatives aux actions à mener, ces mécanismes doivent être intégrés dans des politiques plus larges dans le domaine de l'agriculture, de la sécurité alimentaire et de la nutrition, et inversement.

LES POLITIQUES RELATIVES AU CLIMAT, À L'AGRICULTURE, À L'ALIMENTATION ET À LA NUTRITION DOIVENT ÊTRE RÉALIGNÉES ET INTÉGRÉES

Les politiques, les forces du marché et les contraintes environnementales orientent l'utilisation d'intrants et d'autres ressources dans l'agriculture, et influent sur la productivité et le degré de conservation ou d'appauvrissement des ressources naturelles. Dans le contexte du changement climatique, il faudrait que l'élaboration des politiques agricoles commence par un effort de compréhension de ces facteurs et de leurs effets sur les moyens d'existence des exploitants et sur

l'environnement. Il s'agit là d'une tâche complexe, et il n'est pas toujours possible de trouver des solutions bénéfiques à toutes les parties. Les facteurs varient considérablement selon les pays et les régions – les petits exploitants ne disposent pas des moyens des entreprises agro-industrielles mondiales pour répondre aux signaux émis par les politiques et les marchés.

Les décideurs publics doivent reconnaître la nécessité de réaliser des arbitrages, et prendre des mesures concrètes pour mieux harmoniser les différents objectifs et les diverses structures d'incitation. Il convient par exemple d'analyser systématiquement la question de l'équité entre les sexes en relation avec les mesures planifiées – l'adoption de systèmes de cultures intercalaires plus résilients a parfois fait perdre aux femmes la maîtrise de certaines cultures. L'une des approches prometteuses en matière de réorientation des politiques consiste à revoir les mesures de soutien à l'agriculture de façon à faciliter la transition vers une agriculture durable au lieu de la freiner. En 2015, les pays développés et les grands pays en développement ont consacré plus de 560 milliards d'USD au soutien à la production agricole, notamment sous la forme de subventions aux intrants et de paiements directs aux agriculteurs. Certaines mesures, comme les subventions aux intrants, peuvent entraîner une utilisation inefficace des produits agrochimiques et une augmentation de l'intensité des émissions dues à la production. L'un des moyens d'adapter le développement agricole aux objectifs climatiques est de conditionner le soutien à l'adoption de pratiques qui réduisent les émissions et préservent les ressources naturelles.

Il pourra également être nécessaire de réviser les politiques en matière de nutrition, de consommation alimentaire, de soutien des prix, de gestion des ressources naturelles, de développement des infrastructures, d'énergie, etc. Pour trouver des compromis, le processus doit

passer par une ouverture et une transparence plus grandes lors de la prise de décisions, et prévoir des incitations qui offrent des avantages publics et collectifs à long terme. L'expérience montre, par exemple, qu'il est possible de bien gérer les forêts et d'inverser le phénomène de dégradation en associant les communautés locales aux décisions et en faisant appel à des arrangements institutionnels décentralisés légitimes élaborés dans le cadre de processus consultatifs.

Le changement climatique s'accompagne de risques nouveaux. Leur gestion nécessite des formes d'action collective et des systèmes plus efficaces qui permettent d'évaluer les risques, les vulnérabilités et les options d'adaptation. Les programmes de protection sociale bien conçus, qui garantissent un revenu minimum ou l'accès à des denrées alimentaires, ont un rôle important à jouer, mais doivent être adaptés à d'autres formes de gestion des risques climatiques. La réduction des risques de catastrophe ne doit pas se limiter aux phénomènes extrêmes: elle doit être intégrée dans des stratégies plus larges d'adaptation au changement climatique.

En matière de changement climatique, la coopération internationale ainsi que les partenariats et les alliances multipartites sont essentiels. Ainsi, l'évolution du climat entraînera l'apparition de nouveaux ravageurs et de nouvelles maladies et accentuera le risque de voir ces fléaux traverser les frontières. Une coopération régionale et internationale sera nécessaire pour faciliter l'information et le partage des connaissances, gérer des ressources communes comme les stocks de poissons et préserver et exploiter la biodiversité agricole. La coopération permettra également de mieux comprendre les effets du changement climatique sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et la nutrition, d'évaluer les possibilités d'évolution des pratiques agricoles durables et leur viabilité économique et de déterminer l'empreinte écologique des systèmes alimentaires dans leur ensemble.

IL CONVIENT DE LIER LE FINANCEMENT DE L'AGRICULTURE ET LE FINANCEMENT DE L'ACTION CLIMATIQUE ET DE S'EN SERVIR COMME CATALYSEUR POUR TRANSFORMER L'AGRICULTURE

Il faudra accroître le financement de l'action climatique et les investissements agricoles pour faciliter la transition vers des pratiques agricoles durables. Le financement disponible pour des investissements dans l'agriculture est toutefois largement inférieur aux besoins. Dans les pays en développement, les petits exploitants se heurtent à des obstacles considérables pour accéder au crédit et investir dans de nouvelles techniques et pratiques, et le problème est encore plus marqué pour les femmes. Le manque de financement limite les investissements dans l'agriculture et nuit à la sécurité alimentaire et, par voie de conséquence, à la capacité des petits exploitants de s'adapter au changement climatique.

Une plus grande part du financement de l'action climatique doit aller à l'agriculture pour financer les dépenses d'investissement liées à la transformation à grande échelle de ces secteurs et à la mise en place de systèmes de production alimentaire intelligents face au climat. Un financement supplémentaire issu de sources publiques et des produits financiers personnalisés seront nécessaires dans deux domaines.

Premièrement, il faut renforcer le soutien en amont pour accroître la productivité des agriculteurs, augmenter leur capacité d'adaptation au changement climatique et réduire l'intensité des émissions générées par la production. Cette approche appelle un net accroissement du financement disponible ainsi qu'un assouplissement des conditions, notamment des échéanciers de remboursement ajustés aux rentrées d'argent. Elle permettrait aux agriculteurs de réaliser des investissements afin de maintenir les rendements actuels en utilisant moins de ressources et d'opter pour des pratiques et des techniques intelligentes face au climat afin

d'améliorer leur résilience tout en réduisant les émissions. Or, la réussite de cette approche nécessite de consacrer des fonds à un deuxième domaine, à savoir le renforcement des capacités par la mise en place d'institutions et de politiques appropriées, de sorte que les agriculteurs aient les moyens d'entreprendre les transformations souhaitées. Il faut en particulier instaurer des conditions plus propices pour la grande majorité des petits exploitants qui, dans les faits, n'ont pas accès au financement de l'action climatique et n'ont pas la possibilité d'investir dans des activités productives qui leur permettraient d'améliorer leurs moyens d'existence, leur productivité et leurs revenus.

Bien que l'augmentation du financement de l'action climatique soit nécessaire pour la transformation évoquée dans le présent rapport, il faudra également accroître les moyens dont les pays disposent pour changer les choses concrètement sur le terrain. Les problèmes systémiques de capacités font actuellement obstacle aussi bien à l'accès des pays en développement au financement de l'action climatique destiné à l'agriculture qu'à l'utilisation efficace de ces fonds. Le «déficit de capacités» dans les domaines de l'élaboration des politiques et du développement institutionnel, qui se manifeste aussi bien au niveau de la mise à disposition de fonds qu'à celui de leur utilisation, nuit au soutien de la transition vers une agriculture durable. Y remédier devrait être une priorité tant pour les bailleurs de fonds que pour les pays concernés, afin que le financement de l'action climatique puisse jouer son rôle de transformation de l'alimentation et de l'agriculture – sous réserve que les pays augmentent leur financement comme prévu.

Le financement de l'action climatique peut également agir comme un catalyseur et permettre de mobiliser des flux plus importants de fonds publics et privés en faveur de l'agriculture durable, à condition que les politiques et les cadres institutionnels propices à la

transformation soient en place. Il pourrait contribuer à résoudre le manque de financement en montrant la viabilité des investissements dans l'agriculture intelligente face au climat et en facilitant la conception et l'expérimentation de mécanismes innovants susceptibles de tirer parti de sources supplémentaires d'investissement. Les fonds climatiques, s'ils étaient utilisés de manière stratégique pour instaurer l'environnement porteur indispensable au développement d'une agriculture intelligente face au climat, veiller à ce que les investissements agricoles publics tiennent également compte de l'évolution climatique et tirer parti des financements privés, pourraient devenir des éléments moteurs de l'adaptation au changement climatique et de l'atténuation de celui-ci.

En comblant le déficit de financement et en mobilisant des investissements, le financement climatique est en mesure de renforcer les mécanismes de gestion du risque, d'encourager l'élaboration des produits financiers appropriés et de porter remède à l'insuffisance des capacités des prêteurs et des emprunteurs. Il est donc

crucial de renforcer l'environnement porteur qui permettra des investissements agricoles climato-intelligents, d'intégrer les questions de changement climatique dans les allocations et l'exécution des budgets nationaux, et de mobiliser des capitaux privés en faveur d'un développement agricole qui soit également intelligent sur le plan climatique. Tant que ces conditions ne seront pas en place, la part du financement de l'action climatique consacrée aux investissements dans la petite agriculture demeurera insuffisante, ce qui aura de graves conséquences et se traduira en particulier par la perte de moyens d'existence et l'accentuation de l'insécurité alimentaire.

Le moment est venu d'investir dans le développement agricole et rural. Le défi consistera à réunir diverses sources de financement, à harmoniser leurs objectifs autant que possible et à instaurer le cadre d'action publique et l'environnement institutionnel permettant d'introduire les transformations nécessaires pour venir à bout de la pauvreté, s'adapter au changement climatique et contribuer à limiter les émissions de gaz à effet de serre. ■



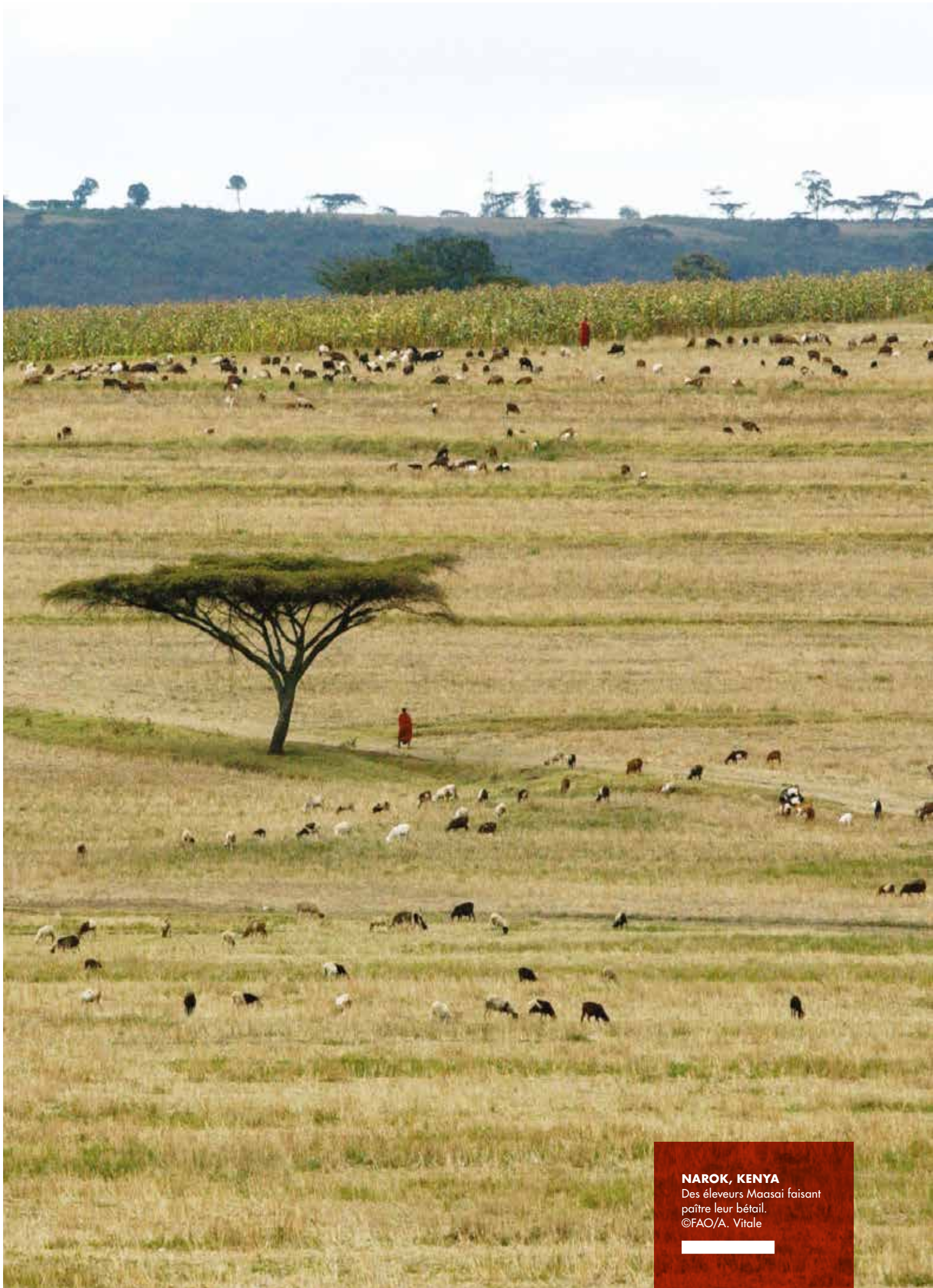
CHAPITRE 1

FAIM, PAUVRETÉ ET CHANGEMENT CLIMATIQUE: LES DÉFIS D'AUJOURD'HUI ET CEUX DE DEMAIN

ARBA GERAMSO, KENYA

Une mère et sa fille préparent du maïs pour dîner dans une région où la plupart des éleveurs ont perdu près de 90 pour cent de leurs bétails à cause de la sécheresse.

©FAO/A. Vitale



NAROK, KENYA
Des éleveurs Maasai faisant
paître leur bétail.
©FAO/A. Vitale



MESSAGES CLÉS

1 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE PÈSE DÉJÀ SUR L'AGRICULTURE ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE et, sans action immédiate, il constituera une menace pour des millions de personnes qui risquent de souffrir de la faim et de la pauvreté.

2 Même si **LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS ET LES MOYENS D'EXISTENCE AGRICOLES** varieront selon les pays et les régions, ils deviendront au fil du temps de plus en plus néfastes, voire catastrophiques dans certaines parties de la planète.

3 LIMITER LA HAUSSE DE LA TEMPÉRATURE MONDIALE À 1,5 °C PAR RAPPORT AUX NIVEAUX PRÉINDUSTRIELS permettrait d'atténuer de manière significative les risques et les répercussions du changement climatique.

4 DE PROFONDS CHANGEMENTS DEVRONT ÊTRE APPORTÉS À L'AGRICULTURE ET AUX SYSTÈMES ALIMENTAIRES, de la préproduction à la consommation, afin de maximiser les retombées bénéfiques conjointes des efforts d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses effets.

5 LES SECTEURS DE L'AGRICULTURE ONT LE POTENTIEL DE LIMITER LEURS ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE, mais pour assurer la sécurité alimentaire des temps à venir, il faut nécessairement mettre l'accent sur l'adaptation.

FAIM, PAUVRETÉ ET CHANGEMENT CLIMATIQUE: LES DÉFIS D'AUJOURD'HUI ET CEUX DE DEMAIN

Le changement climatique fait peser sur la sécurité alimentaire mondiale une lourde menace, qui ne cesse de prendre de l'ampleur. Les effets anticipés du changement climatique – hausse des températures, fréquence accrue des phénomènes climatiques extrêmes, pénuries d'eau, élévation du niveau des mers, acidification des océans, dégradation des terres, perturbation des écosystèmes et appauvrissement de la biodiversité – pourraient gravement compromettre la capacité de l'agriculture de nourrir les populations les plus vulnérables, ce qui mettrait un frein aux progrès réalisés dans l'élimination de la faim, de la malnutrition et de la pauvreté. Il est donc urgent de prendre des mesures pour préparer les secteurs de l'agriculture, de l'élevage, des pêches et des forêts à la perspective d'un changement rapide des conditions environnementales, et pour réduire la propre contribution de l'agriculture aux émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement de la planète.

Sans même tenir compte du changement climatique, les défis pour l'agriculture et la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale sont gigantesques. Sous l'effet de la croissance démographique et de l'augmentation des revenus dans la plupart des pays en développement, la demande de nourriture et d'autres produits agricoles a atteint des niveaux sans précédent. Selon les projections de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), il faudrait, pour répondre à la demande de denrées alimentaires en 2050, que la production végétale et animale annuelle augmente à l'échelle mondiale de 60 pour cent par rapport au niveau de 2006. Environ 80 pour cent de la hausse de production requise devra provenir de meilleurs

rendements et 10 pour cent de l'augmentation du nombre de campagnes agricoles par an (Alexandratos et Bruinsma, 2012). Cependant, la dégradation des terres et la raréfaction de l'eau limitent le potentiel de croissance des rendements. Sans un renforcement des efforts visant à réduire la pauvreté et à faciliter la transition vers une agriculture à la fois productive et durable, il deviendra difficile pour de nombreux pays à faible revenu de garantir l'accès de l'ensemble de leur population à des aliments en quantités suffisantes.

De par son impact sur l'agriculture, le changement climatique accentuera les effets négatifs de toutes ces tendances et rendra encore plus difficile la réalisation des objectifs de développement durable clés consistant à éliminer la faim, à assurer la sécurité alimentaire toute l'année et à garantir la viabilité des systèmes de production alimentaire d'ici à 2030. À plus long terme, l'ampleur et la vitesse du changement climatique, de même que l'efficacité des efforts d'atténuation de ses effets dans tous les secteurs de l'économie et des mesures d'adaptation du secteur agricole, seront autant de facteurs qui auront une influence déterminante sur l'avenir de vastes pans de la population mondiale, voire de l'humanité tout entière. ■

DES INTERACTIONS COMPLEXES ET DES LIENS INEXTRICABLES

Les différents secteurs de l'agriculture (les cultures, l'élevage, la pêche, l'aquaculture et les forêts) présentent des caractéristiques particulières qui les placent au cœur des efforts

menés, à l'échelle mondiale, en matière d'adaptation au changement climatique. Tout d'abord, l'agriculture est essentielle à notre approvisionnement alimentaire et, partant, à la satisfaction des besoins les plus fondamentaux de l'être humain. Ensuite, la production alimentaire est directement tributaire des ressources naturelles, notamment de la biodiversité, des terres, de la végétation, des précipitations et de la lumière du soleil, qui sont elles-mêmes étroitement et inextricablement liées au climat et aux conditions météorologiques. Sachant que l'agriculture fournit également des moyens d'existence à près des deux tiers des habitants de la planète touchés par la pauvreté extrême, soit quelque 750 millions de personnes, les effets du changement climatique sur l'agriculture frappent directement des populations rurales déjà vulnérables, avec des répercussions considérables sur leur sécurité alimentaire.

Les secteurs de l'agriculture contribuent par ailleurs fortement aux émissions de gaz à effet de serre, responsables du réchauffement de la planète et du changement climatique qui en découle. De ce fait, les secteurs de l'agriculture ont également la particularité de pouvoir jouer un rôle dans la stabilisation du climat mondial, en améliorant la gestion des cultures, des terres et de l'élevage de façon à réduire les émissions et à augmenter les puits de carbone dans la biomasse végétale et les sols.

Les effets du changement climatique sur l'agriculture

Dans de nombreuses régions, la production agricole est déjà mise à mal par les manifestations du changement climatique: hausse des températures, plus grande variabilité des

températures, changement des niveaux et de la fréquence des précipitations, augmentation de la fréquence des périodes sèches et des sécheresses, intensification des événements météorologiques extrêmes, élévation du niveau des mers et salinisation des terres arables et de l'eau douce. Plus les effets du changement climatique s'amplifieront, et plus il sera difficile de continuer à assurer la gestion des forêts et à pratiquer l'agriculture, l'élevage et la pêche selon les mêmes modalités et aux mêmes endroits que par le passé.

Les végétaux que nous cultivons pour nos besoins en denrées alimentaires, en fibres et en énergie ne peuvent prospérer que dans des conditions propices à leur croissance, qu'il s'agisse de températures optimales ou d'un apport en eau suffisant. Dans une certaine mesure, il se peut que la hausse des températures favorise le développement de certaines cultures dans certaines parties du monde. Néanmoins, si les températures dépassent le niveau optimal pour la croissance d'une culture donnée ou si l'apport en eau et en nutriments est insuffisant, les rendements vont probablement chuter. L'accroissement de la fréquence des événements extrêmes, en particulier les inondations et les sécheresses, est un autre facteur qui affecte les cultures et réduit leurs rendements. La gestion de la sécheresse pourrait d'ailleurs devenir un problème majeur dans des régions où l'on prévoit à la fois une hausse des températures moyennes et une baisse des précipitations. Un grand nombre d'adventices, d'insectes nuisibles et de maladies prolifèrent dans des climats plus chauds et plus humides et avec une plus grande concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère (CO₂). L'effet combiné de températures plus extrêmes et d'une pluviométrie plus faible peut rendre la croissance de certaines cultures totalement impossible.

Les vagues de chaleur, qui devraient devenir de plus en plus courantes dans le contexte du changement climatique, constituent une menace directe pour l'élevage. Au fil du temps, le stress thermique accroît la vulnérabilité des animaux face aux maladies, ce qui se traduit par une baisse de la fertilité et de la production de viande et de lait. De plus, le changement climatique modifiera la prévalence des parasites et des maladies chez les animaux d'élevage. Dans les régions concernées par une hausse des précipitations, on s'attend à une prolifération des agents pathogènes dépendant de l'humidité. Le changement climatique menace également la capacité de charge des prairies et des parcours, ainsi que la production d'aliments pour les animaux des systèmes sans pâturage.

Les secteurs de la pêche et de l'aquaculture, qui fournissent au moins 50 pour cent des protéines animales à des millions de personnes dans les pays à faible revenu, subissent déjà des pressions de toutes sortes, allant de la surpêche à la pollution aquatique en passant par la destruction des habitats (FAO, 2012). Autant de problèmes qui ne feront que s'amplifier sous l'action du changement climatique. L'augmentation de la température des eaux entraînera probablement l'extinction de certaines espèces de poissons, la modification des zones d'habitat d'autres espèces ainsi qu'une multiplication des risques de maladie d'un bout à l'autre de la chaîne de production. En raison de la hausse des niveaux de CO₂ dans l'atmosphère, les océans du globe deviennent de plus en plus acides, une évolution qui a des conséquences extrêmement graves pour les pêches qui sont tributaires des populations de crustacés, mollusques et calmars, des mangroves et des récifs coralliens. L'accroissement de la fréquence et de l'intensité des tempêtes, des ouragans et des cyclones aura des effets préjudiciables sur l'aquaculture, les mangroves et la pêche côtière.

Les forêts procurent un emploi rémunéré à plus de 100 millions de personnes et offrent des moyens d'existence à une grande partie des populations rurales pauvres de par le monde. Elles abritent plus de 80 pour cent de la biodiversité terrestre de

la planète et fournissent des aliments, des médicaments, des combustibles et des services écosystémiques essentiels. Le changement climatique et l'accroissement de la variabilité du climat ont des effets directs et indirects sur les forêts et sur les personnes qui en dépendent, et limitent la capacité des forêts de procurer ces biens et ces services vitaux. Même si certaines forêts profiteront de la hausse des concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère, du réchauffement climatique et de l'évolution des régimes de précipitations, la plupart d'entre elles seront exposées à des pertes d'espèces importantes, à un déclin des rendements et à une hausse de la fréquence et de l'intensité des tempêtes et autres perturbations (FAO, 2013).

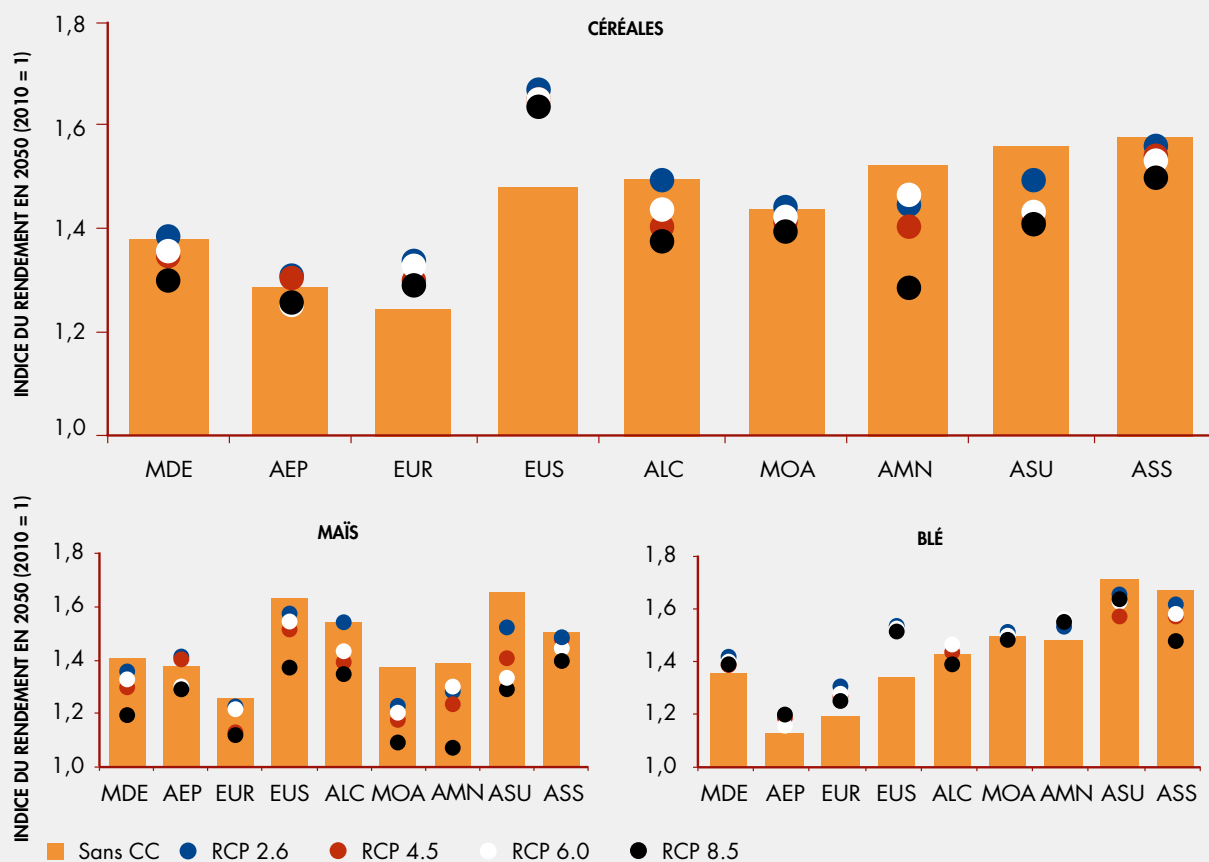
S'il est extrêmement difficile de prévoir les effets précis du changement climatique sur l'agriculture, il ressort de la plupart des études que ceux-ci évolueront au fil du temps et qu'ils varieront d'une région à l'autre. D'après les études conduites aux fins du cinquième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), les prévisions positives et négatives des effets sur les rendements des cultures se neutraliseront à l'échelle mondiale jusqu'en 2030; en revanche, au-delà de cette date, c'est une tendance de plus en plus négative qui s'installera (Porter *et al.*, 2014; voir aussi le chapitre 2).

On observera également des variations très marquées selon les cultures et les régions. La **figure 1** illustre cette variabilité au niveau des rendements céréaliers prévus en 2050 selon différents scénarios de réchauffement climatique, sur la base d'un scénario «médian» pour la croissance économique et démographique, et d'une adaptation limitée, et ne tient pas compte de la «fertilisation par le CO₂», c'est à dire l'effet stimulateur, sur la croissance des végétaux, d'une hausse de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère. Avec l'allongement des périodes de croissance, les régions des hautes latitudes auront tendance à connaître des baisses de rendement moindres, voire des hausses de rendement, pour certaines cultures par rapport aux rendements attendus sans changement



FIGURE 1

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS CÉRÉALIERS DANS LES DIFFÉRENTES RÉGIONS DU MONDE D'ICI À 2050



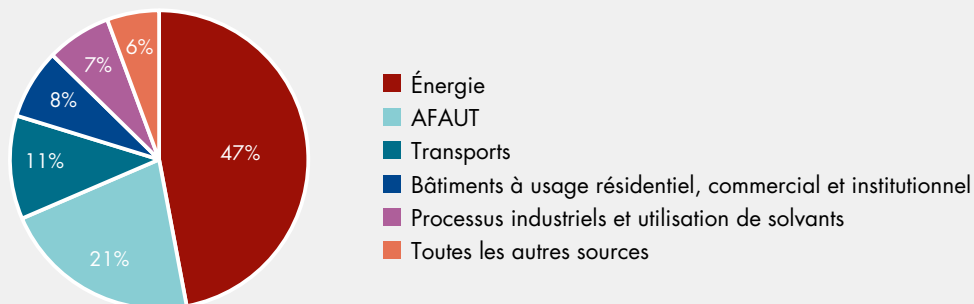
MDE: Monde **EUS:** Ex-Union soviétique **AMN:** Amérique du Nord **Sans CC:** aucun changement climatique
AEP: Asie de l'Est et le Pacifique **ALC:** Amérique latine et les Caraïbes **ASU:** Asie du Sud **RCP:** Representative Concentration Pathways (scénarios de réchauffement climatique mondial)
EUR: Europe **MOA:** Moyen-Orient et l'Afrique du Nord **ASS:** Afrique subsaharienne

Remarques: Les données sur les céréales correspondent à la moyenne pondérée par la surface pour chaque région pour les produits suivants: l'orge, le maïs, le millet, le riz, le sorgho, le blé et les autres céréales prises en compte dans le modèle IMPACT. Les simulations sont basées sur un scénario socioéconomique SSP (Shared Socioeconomic Pathway: profils communs d'évolution socioéconomique), de type intermédiaire. Voir l'encadré 7 du chapitre 2 pour obtenir une explication sur les scénarios RCP et SSP.

SOURCE: Simulations fondées sur le modèle IMPACT de l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), tel que cité dans De Pinto, Thomas et Wiebe (2016).

FIGURE 2

RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE EN 2010



Remarques: Les émissions provenant du secteur de l'énergie englobent les émissions des secteurs industriel et manufacturier ainsi que les émissions fugitives. AFAUT désigne les secteurs de l'agriculture et des forêts, et les autres utilisations des terres. La catégorie «Toutes les autres sources» comprend le transport international, les déchets et d'autres sources.

SOURCE: FAO, à paraître.

- » climatique. En revanche, le recul du rendement sera généralement plus marqué dans les régions situées à des latitudes plus basses. Les rendements du maïs devraient fléchir dans la plupart des régions, et ce, dans la plupart des scénarios climatiques étudiés, sachant que plus ces derniers sont extrêmes, plus les pertes attendues sont importantes. Bien que les impacts sur les rendements du blé soient faibles au niveau mondial, ils sont considérables en Asie du Sud et en Afrique subsaharienne.

La contribution de l'agriculture au changement climatique

L'agriculture est certes touchée par le changement climatique, mais elle contribue aussi significativement de manière directe et indirecte aux émissions des trois gaz à effet de serre principaux: le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitreux. Les émissions de gaz à effet de serre dues à l'action de l'homme, répertoriées dans les rapports du GIEC comme provenant des «secteurs de l'agriculture, des forêts et des autres utilisations des terres» (AFAUT), sont principalement causées par la déforestation, la production animale et la gestion des sols et des nutriments. On estime qu'elles représentent 21 pour cent de l'ensemble des émissions mondiales (figure 2). Si ce chiffre est inférieur aux 27 pour cent enregistrés pendant les années 1990, cette apparente amélioration s'explique simplement par le fait que les émissions ont connu une croissance plus rapide dans les autres secteurs.

Les émissions dues à la conversion nette des forêts et celles dues à l'agriculture représentaient des quantités de gaz à effet de serre globalement comparables dans les années 1990; cependant, depuis le début des années 2000, les premières ont suivi une tendance à la baisse, tandis que les secondes se sont accrues. En particulier, les cultures et l'élevage émettent des quantités considérables de méthane et d'oxyde nitreux, deux gaz à effet de serre puissants. Le méthane est produit par les ruminants au cours de la digestion; il est également dégagé par les

effluents d'élevage et les déchets organiques entreposés. Les émissions d'oxyde nitreux constituent un produit indirect des engrais organiques et minéraux azotés après leur épandage sur les terres cultivées.

La catégorie AFAUT ne comprend pas les gaz à effet de serre produits par les chaînes d'approvisionnement alimentaire modernes avant et après la production; dans les rapports du GIEC, ces gaz sont considérés comme étant émis par d'autres secteurs, principalement ceux de l'industrie, de la production d'énergie et des transports. Il s'agit notamment de la production d'intrants tels que les engrais synthétiques, qui, à la différence de la production d'engrais organique, est un processus très énergivore, et des émissions dues à l'utilisation des énergies fossiles (p. ex. pour faire fonctionner les machines agricoles), au transport après la production, à la transformation et à la vente au détail (Smith *et al.*, 2014). À chaque étape, l'approvisionnement alimentaire émet des gaz à effet de serre qui viennent s'ajouter à ceux déjà accumulés dans l'atmosphère. Si les émissions attribuables directement et indirectement à l'utilisation d'énergie par la chaîne agroalimentaire étaient prises en compte, la contribution de la catégorie AFAUT à l'ensemble des émissions augmenterait d'un tiers (FAO, 2011).

La contribution des systèmes alimentaires aux émissions totales varie d'un pays et d'une région à l'autre, selon la structure des chaînes d'approvisionnement locales. D'après les estimations du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR), dans les pays à revenu élevé, les étapes précédant et succédant à la production génèrent autant d'émissions que la production elle-même, tandis que dans les pays en développement, c'est la production agricole qui en dégage le plus (Vermeulen, Campbell et Ingram, 2012).

Les répercussions sur la sécurité alimentaire

De par ses effets sur l'agriculture, le changement climatique aura des répercussions négatives sur la »

ENCADRÉ 1

LES QUATRE DIMENSIONS DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Lors du Sommet mondial de l'alimentation de 1996, les participants ont adopté la définition suivante de la sécurité alimentaire, qui est utilisée par la FAO: «La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active». Cette définition englobe quatre dimensions:

- ▶ La disponibilité d'aliments en quantité suffisante et d'une qualité appropriée, dont l'approvisionnement est assuré par la production nationale ou les importations (y compris l'aide alimentaire).
- ▶ L'accès d'une personne à des ressources (ou encore droits d'accès) suffisantes lui permettant d'acquérir une nourriture adéquate et nutritive.
- ▶ L'utilisation de la nourriture grâce à une alimentation adéquate, une eau propre, un assainissement et des soins de santé suffisants de façon à obtenir un état de bien-être nutritionnel qui permette de satisfaire tous les besoins physiologiques.
- ▶ La stabilité de la disponibilité alimentaire et de l'accès aux aliments, même en cas de choc soudain (par exemple, une crise économique ou climatique) ou d'événement cyclique (par exemple, une pénurie alimentaire saisonnière).

SOURCE: FAO, 2006.

ENCADRÉ 2

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET NUTRITION

Le changement climatique a des répercussions sur la nutrition et sur les choix alimentaires de par ses impacts sur la sécurité alimentaire, les maladies, la sécurité sanitaire de l'eau, l'assainissement, les moyens d'existence et la prestation de soins. Et, par ricochet, la capacité des personnes de s'adapter au changement climatique, ou de l'atténuer, est elle-aussi mise à mal (IFPRI, 2015).

Le changement climatique amplifie les effets des sécheresses, des inondations et des tempêtes et expose de nombreuses personnes – à commencer par les pauvres et les plus vulnérables – au risque de dénutrition après un événement climatique extrême (Confalonieri *et al.*, 2007). Les variations saisonnières de disponibilités alimentaires et d'accès, causes majeures de dénutrition au sein des communautés rurales pauvres, sont accentuées par le changement climatique, qui a par ailleurs des répercussions sur la sécurité des moyens d'existence et sur la répartition de la nourriture au sein des familles et, par voie de conséquence, sur l'état nutritionnel des enfants et des femmes en particulier (Wijesinha-Bettoni *et al.*, 2013). D'autre part, selon certaines études, il est possible que l'on assiste à une détérioration de la qualité nutritionnelle des principales cultures vivrières sous l'effet du changement climatique. Ainsi, une étude menée par Myers *et al.* (2014) a abouti à la conclusion suivante: lorsqu'il est cultivé en étant

exposé aux niveaux élevés de CO₂ prévus pour 2050, le grain de blé contient 9 pour cent de zinc en moins, 5 pour cent de fer en moins et 6 pour cent de protéines en moins, tandis que les pertes observées pour le grain de riz sont de 3 pour cent, 5 pour cent et 8 pour cent respectivement, en comparaison avec les teneurs projetées en l'absence de changement climatique. On observerait une baisse similaire de la teneur en éléments nutritifs pour le maïs; en ce qui concerne le soja, la teneur en protéines resterait stable, mais la teneur en zinc et en fer diminuerait également.

La sécurité sanitaire des aliments pourrait être compromise par une augmentation des agents pathogènes d'origine alimentaire, ainsi que par toute contamination ou modification chimique augmentant la prévalence de composés toxiques dans les aliments. Ainsi, la prolifération d'algues en surface donne lieu à une contamination de l'eau de boisson et des crustacés et mollusques par les cyanotoxines (Paerl et Huisman, 2009), tandis que la hausse des températures et de l'humidité augmentent le risque de contamination aux mycotoxines dans les stocks de céréales et de légumineuses (Paterson et Lim, 2010). De plus, les changements dans la distribution des maladies végétales et animales pourraient conduire à une utilisation accrue de produits chimiques agricoles potentiellement nocifs.

» sécurité alimentaire dans toutes ses dimensions (encadré 1). Bien que d'autres vecteurs entrent en jeu – comme les événements météorologiques extrêmes qui réduisent les revenus des citadins et, par là même, leur accès à la nourriture –, l'agriculture apparaît comme le vecteur principal par lequel le changement climatique affectera la sécurité alimentaire et constitue, à ce titre, le thème central du présent rapport.

Le changement climatique a une influence sur la *disponibilité d'aliments* en raison de ses effets de plus en plus néfastes sur les rendements des cultures, sur les stocks de poissons et sur la santé et la productivité animales, particulièrement en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, les deux régions où l'on retrouve la plus grande proportion de personnes en situation d'insécurité alimentaire. De plus, il restreint l'accès aux aliments, car il entraîne une dégradation des revenus et des moyens d'existence en milieu rural. Outre une plus grande instabilité climatique, on s'attend à une augmentation de l'intensité et de la fréquence des catastrophes naturelles liées au climat. Les populations pauvres, dont bon nombre de petits exploitants et de travailleurs agricoles, sont plus vulnérables face aux impacts de telles catastrophes. Ces populations peuvent subir d'importantes pertes de revenus et de biens à la suite de sécheresses et d'inondations de grande ampleur, ce qui affaiblit d'autant leur capacité future de générer des revenus. En outre, la diminution des disponibilités alimentaires due au changement climatique s'accompagnera d'une hausse du prix des aliments. Aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain, les pauvres seront les plus touchés par ce phénomène, sachant qu'ils consacrent une part bien plus importante de leurs revenus à l'alimentation. Les petits exploitants familiaux en subiront également les conséquences, la plupart d'entre eux étant des acheteurs nets de produits alimentaires (Zezza *et al.*, 2008; Banque mondiale, 2008; Porter *et al.*, 2014).

L'évolution de *l'utilisation de la nourriture* aura un impact sur la situation des populations pauvres et vulnérables en matière de nutrition. Ainsi, étant donné que la hausse des températures favorise le développement d'agents pathogènes et que la

pénurie d'eau affecte la qualité de l'eau et les habitudes d'hygiène, il se pourrait que les effets du changement climatique alourdissent le fardeau que représente la diarrhée, avec une hausse pouvant atteindre les 10 pour cent d'ici à 2030 dans certaines régions. Là encore, ce sont les populations les plus démunies qui seraient les plus gravement touchées, à commencer par les enfants pauvres (OMS, 2003). Le changement climatique aura des conséquences sur la nutrition dans bien d'autres domaines - de la réduction des soins prodigués à la baisse de la teneur en nutriments des cultures de base, en passant par un risque plus élevé de contamination alimentaire (encadré 2).

En dernier lieu, la variabilité du climat ainsi que des événements extrêmes à la fois plus fréquents et plus violents nuiront à la *stabilité* des disponibilités alimentaires, de l'accès aux aliments et de leur utilisation en raison des changements de saisonnalité, des fluctuations plus marquées de la productivité des écosystèmes, et d'une augmentation des risques doublée d'une baisse de la prévisibilité en matière d'approvisionnement. Il s'agira d'un problème majeur, notamment pour les pays enclavés et les petits États insulaires, qui sont plus vulnérables à la fois aux perturbations de l'approvisionnement alimentaire et aux dommages causés par les événements extrêmes et autres phénomènes climatiques.

Le changement climatique ne sera qu'un facteur parmi d'autres des tendances futures qui se dessinent en matière de pauvreté et de sécurité alimentaire. Ces tendances, et la mesure dans laquelle elles seront influencées par le changement climatique, dépendront essentiellement du développement socioéconomique des années à venir. Une récente étude de la Banque mondiale (Hallegatte *et al.*, 2016) a révélé qu'en l'absence de croissance économique, un changement climatique à fort impact entraînerait une augmentation de 122 millions du nombre de personnes qui, selon les projections, vivraient en situation d'extrême pauvreté en 2030; cette hausse se limiterait à 16 millions dans un scénario fondé sur la prospérité. Dans le cadre d'un exercice similaire, réalisé à l'aide du

modèle international pour l'analyse de politiques de la production et du commerce agricoles (IMPACT), conçu par l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), on a estimé que, d'ici à 2050, quelque 50 millions de personnes supplémentaires risqueraient de souffrir de sous-alimentation à cause du changement climatique. Malgré tout, l'impact global du changement climatique jusqu'en 2050 sera moindre que celui d'autres facteurs, tels que la croissance de la population et des revenus (voir le chapitre 2). ■

L'URGENCE D'UNE INTERVENTION MONDIALE CONCERTÉE, MAINTENANT

Toutes les données scientifiques disponibles tendent vers la même conclusion: le climat change et il est peu probable qu'on puisse enrayer ou inverser ces changements dans un avenir proche. Il ne fait aucun doute que le changement climatique affectera les secteurs de l'agriculture et la sécurité alimentaire et que ses effets négatifs s'aggraveront à mesure qu'il s'accélère. Ses effets pourraient même s'avérer catastrophiques dans certains endroits particulièrement vulnérables, comme les petites îles, ou dans des régions exposées à des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes de grande ampleur.

La rapidité du changement climatique, de même que l'ampleur de ses effets, joueront un rôle déterminant. Dans le meilleur des cas, la situation pourrait évoluer à un rythme et dans des proportions qui laisseraient le temps aux secteurs de l'agriculture de s'adapter grâce à des mesures relativement simples, tout au moins sur le moyen terme. Les baisses de productivité, le cas échéant, seraient assez mineures et progressives, avec peu ou pas de changements non linéaires et abrupts. Dans un tel scénario, les effets sur la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale demeureraient modestes.

Selon un scénario sensiblement différent, mais plausible, on assisterait – même à moyen terme – à des cas fréquents de changements non linéaires et abrupts, qui rendraient toute tentative d'adaptation des secteurs de l'agriculture quasiment impossible dans de nombreux endroits et qui entraîneraient des baisses de productivité catastrophiques. Les répercussions en termes de productivité seraient, sinon mondiales, du moins extrêmement vastes tant du point de vue géographique que du point de vue de la taille des populations touchées. La sécurité alimentaire serait fortement compromise. Les pénuries d'approvisionnement conduiraient à des hausses notables des prix des denrées alimentaires, lesquels seraient par ailleurs soumis à de plus fortes fluctuations en raison de la variabilité accrue du climat. Cette variabilité nuirait également à la stabilité des revenus des ménages ruraux dans les régions déjà sujettes à de fortes fluctuations des rendements (Thornton *et al.*, 2014). Les baisses de productivité et les pertes de revenus auraient tendance à être concentrées dans certains des secteurs géographiques et des groupes de population les plus vulnérables et les plus exposés à l'insécurité alimentaire. À plus long terme, à moins que des mesures ne soient prises pour juguler ou inverser le changement climatique, la production alimentaire risquerait de devenir impossible dans des pans entiers du monde.

Il apparaît urgent d'agir pour s'attaquer aux répercussions potentielles du changement climatique tant sur l'agriculture que sur la sécurité alimentaire. L'incertitude ne justifie aucun atermoiement dans la mise en œuvre de mesures d'adaptation et d'atténuation face au changement climatique. Deux raisons principales expliquent l'urgence. Premièrement, les effets du changement climatique se font déjà sentir et ils vont s'aggraver au fil du temps, à tel point qu'ils pourraient effectivement devenir très graves. Deuxièmement, les facteurs du changement climatique, tout comme les mesures de lutte contre ce phénomène, s'inscrivent dans une perspective à long terme. Les émissions de gaz à effet de serre actuelles placent déjà notre planète sur la voie d'un réchauffement irréversible, dont nous subissons les effets dans »

TABLEAU 1

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS DE CERTAINES CULTURES DANS LE MONDE ET DANS LES RÉGIONS TROPICALES, EN FONCTION D'UN RÉCHAUFFEMENT DE 1,5 °C OU DE 2 °C PAR RAPPORT AUX NIVEAUX PRÉINDUSTRIELS AU COURS DU XXI^E SIÈCLE

Culture	Région	Réchauffement par rapport aux niveaux préindustriels (pourcentage)	
		1,5 °C	2,0 °C
Blé	Monde entier	2 (-6 à +17)	0 (-8 à +21)
	Régions tropicales	-9 (-25 à +12)	-16 (-42 à +14)
Maïs	Monde entier	-1 (-26 à +8)	-6 (-38 à +2)
	Régions tropicales	-3 (-16 à +2)	-6 (-19 à +2)
Soja	Monde entier	7 (-3 à +28)	1 (-12 à +34)
	Régions tropicales	6 (-3 à +23)	7 (-5 à +27)
Riz	Monde entier	7 (-17 à +24)	7 (-14 à +27)
	Régions tropicales	6 (0 à +20)	6 (0 à +24)

Remarque: Les chiffres entre parenthèses correspondent à l'intervalle de confiance probable (66 %).
SOURCE: Adapté de Schleusner *et al.* (2016), figure 15.

ENCADRÉ 3

L'AGRICULTURE AU CŒUR DES ORIENTATIONS SUR LES ACTIONS À ENTREPRENDRE PAR LES PAYS

Les objectifs d'adaptation et d'atténuation dans les domaines de l'agriculture, de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie occupent une place de choix dans les contributions prévues déterminées au niveau national qui, en vertu de l'Accord de Paris adopté en décembre 2015, orienteront l'action menée contre le changement climatique à l'échelle des pays dans les années à venir. Non seulement sont-ils assortis de cibles, mais ils prévoient également des stratégies concrètes pour s'attaquer aux causes et réagir aux conséquences du changement climatique.

Selon une analyse des contributions prévues déterminées au niveau national menée par la FAO, il apparaît que, dans toutes les régions, l'agriculture jouera un rôle décisif dans l'atteinte des objectifs liés au changement climatique à l'horizon 2030. Sur les 188 pays ayant présenté des contributions, plus de 90 pour cent considéraient l'agriculture comme l'un des secteurs à prendre en compte pour s'adapter au changement climatique et en atténuer les effets.

L'analyse montre également que les secteurs de l'agriculture devraient offrir les perspectives les plus vastes pour la création de synergies entre les mesures d'adaptation et d'atténuation et pour l'obtention de retombées bénéfiques conjointes sur les plans socioéconomique et environnemental. Environ un tiers de tous les pays reconnaissent que des actions permettraient de créer des synergies entre les mesures d'adaptation et d'atténuation dans l'agriculture et certains vont même jusqu'à placer ces actions en tête de leurs priorités. Près de 30 pour cent des pays font également mention des retombées bénéfiques conjointes sur les plans social, économique et environnemental, notamment en ce qui concerne le développement rural et la santé, la réduction de la pauvreté et la création d'emplois ou encore la conservation des écosystèmes et de la biodiversité. Enfin, sur le plan de l'égalité des sexes, l'agriculture est mise en avant comme étant un secteur qui, plus que tout autre, ouvre de multiples voies vers l'autonomisation des femmes et la réduction de leur vulnérabilité face au changement climatique.

SOURCE: FAO, 2016.

» plusieurs dizaines d'années. C'est principalement en raison de ces risques à long terme que la communauté internationale s'est engagée à stabiliser le climat de la Terre.

Les sociétés dans leur ensemble doivent intervenir de manière décisive, dès maintenant, pour *atténuer le changement climatique*, ou elles courront le risque d'être plongées dans des situations d'insécurité alimentaire graves. On ne peut pas exclure la possibilité que, dans un avenir plus ou moins rapproché, le changement climatique empêche de nourrir l'humanité. Même à plus brève échéance, les répercussions sur la sécurité alimentaire dans certaines régions pourraient s'avérer majeures. L'agriculture et la foresterie présentent toutes deux un fort potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais l'évolution de la sécurité alimentaire dépendra dans une large mesure des progrès réalisés, en matière d'émissions, dans d'autres secteurs économiques. La situation exigera également des ajustements sur le plan de la consommation – la réduction de la demande de produits nécessitant beaucoup de ressources et produisant beaucoup d'émissions contribuera à accélérer la transition vers une agriculture durable –, ainsi que des efforts de sensibilisation aux mesures d'atténuation du changement climatique.

Dans le même temps, les secteurs de l'agriculture et les populations qui en dépendent doivent *s'adapter aux changements climatiques actuels ou prévus*, selon une approche qui permette de réduire au maximum leurs effets indésirables ou de tirer parti des nouvelles perspectives qu'ils pourraient offrir. Il est nécessaire de renforcer la résilience au changement climatique dans les sphères biophysique, économique et sociale à travers le monde. Dans une certaine mesure, l'adaptation de l'agriculture prendra la forme d'une initiative spontanée de la part des agriculteurs, des pêcheurs et des forestiers; nombre d'entre eux, néanmoins, en particulier les petits producteurs, pourraient se trouver dans l'impossibilité d'adopter les solutions appropriées en raison tout autant d'un manque d'options viables que d'un trop grand nombre de contraintes. À cet égard, il apparaît primordial de créer un environnement porteur qui faciliterait l'adaptation.

À court terme, une adaptation au niveau de l'unité de production ou du ménage agricole, lorsqu'elle est possible, pourrait se révéler suffisante. En revanche, des efforts d'adaptation à plus long terme sont nécessaires en raison des changements d'ores et déjà irréversibles que l'augmentation des concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère a provoqués ou est en train de provoquer. Ils exigeront la mise en œuvre de changements plus systémiques, comme des déplacements significatifs des lieux de production de certains produits et de certaines espèces, qui seront compensés par une évolution des tendances en matière de consommation et d'échanges commerciaux.

Les efforts d'adaptation, à eux-seuls, ne seront cependant pas suffisants: seules des mesures d'atténuation pourront garantir la sécurité alimentaire de la population mondiale à long terme. Il existe une différence fondamentale entre l'adaptation et l'atténuation et les mesures d'incitation qui les accompagnent. L'adaptation est un effort que chacun voudra faire dans son propre intérêt. L'atténuation est un effort qui se doit d'être collectif et qui servira les intérêts de tous. Elle représente un bien public mondial et une responsabilité sociale auxquels les secteurs de l'agriculture doivent eux aussi apporter leur contribution.

On comprend parfaitement l'urgence – et les avantages – d'une action concertée et efficace dans la lutte contre le changement climatique à l'échelle mondiale lorsqu'on constate à quel point des hausses de température, aussi faibles soient-elles, peuvent entraîner des variations significatives des effets du changement climatique. Selon une récente méta-analyse, la diminution des quantités d'eau disponibles et l'allongement des périodes sèches s'accroissent entre un réchauffement de 1,5 °C et de 2 °C, et ce, pour plusieurs régions subtropicales, notamment la région méditerranéenne, l'Amérique centrale, les Caraïbes, l'Afrique du Sud et l'Australie. Dans les régions tropicales, il se pourrait que la production agricole soit fortement touchée si les températures augmentaient de plus de 1,5 °C (tableau 1), une situation qui pourrait encore s'aggraver si

d'autres facteurs, tels que le manque de phosphore et d'azote ou le stress thermique, amenuisaient les effets positifs de la fertilisation par le CO₂.

Dans le cas d'un réchauffement de 2 °C, les risques que fait peser la chaleur extrême sur les rendements des cultures dans les régions tropicales de l'Afrique et de l'Asie du Sud et du Sud-Est peuvent devenir critiques si l'on tient compte des projections de croissance démographique. La limitation de l'augmentation de la température à 1,5 °C se traduirait par deux autres avantages de taille: une baisse notable du nombre de zones de récifs coralliens menacées d'une grave détérioration et une diminution de 30 pour cent de l'élévation du niveau de la mer (Schleussner *et al.*, 2016). En réalité, à l'issue du dialogue structuré entre experts mené à bien dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et conclu en 2015, il s'est dégagé le message clé suivant: une hausse de la température mondiale¹ de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels doit s'entendre comme «un seuil maximum, une ligne de défense qu'il faut défendre par tous les moyens, sachant qu'un réchauffement inférieur serait préférable» (CCNUCC, 2015). Le GIEC présentera en 2017 les résultats d'une évaluation sur les différences entre les scénarios 2 °C et 1,5 °C.

L'Accord de Paris, adopté en décembre 2015 dans le cadre de la CCNUCC, a établi l'objectif à long terme de contenir l'augmentation de la température moyenne de la planète «bien en dessous de 2 °C» par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre les efforts pour limiter cette augmentation à 1,5 °C, ce qui permettrait d'atténuer de manière considérable les risques et les répercussions du changement climatique. D'après le GIEC, les scénarios où la hausse de température est maintenue en

dessous de 2 °C comportent des réductions considérables, avant la moitié du siècle, des émissions de gaz à effet de serre dues à l'action de l'homme, grâce à une transformation de grande ampleur des systèmes énergétiques et, potentiellement, de l'utilisation des terres. Ces scénarios prévoient en 2050 des émissions 40 à 70 pour cent plus basses qu'en 2010, et quasi-nulles voire négatives en 2100 (GIEC, 2014b). Si le niveau de croissance requis dans les secteurs de l'agriculture pour garantir la sécurité alimentaire mondiale des générations futures était obtenu avec une progression des émissions similaire à celle observée au cours des dernières années, il serait très difficile de respecter l'objectif de maintien de l'élévation de la température mondiale sous la barre des 2 °C (voir également Searchinger *et al.*, 2015; Wollenberg *et al.*, 2016).

Les décisions que nous prenons aujourd'hui façonneront le monde dans lequel nous vivrons dans 15 ans et au-delà. C'est pourquoi il est capital que les secteurs de l'agriculture réagissent en renforçant leur résilience face aux effets du changement climatique tout en apportant, dans la mesure du possible, leur contribution aux efforts d'atténuation. Les mesures qui seront prises devront l'être dans le respect des objectifs de développement nationaux et des priorités des différents pays, sans pour autant mettre en péril les efforts visant à faire reculer l'insécurité alimentaire. Dans ce contexte, il est important de mentionner que, contrairement aux autres secteurs économiques où les mesures d'adaptation et d'atténuation sont généralement indépendantes les unes des autres, les secteurs de l'agriculture se distinguent par l'existence de synergies – mais aussi par la nécessité de compromis – entre les objectifs en matière de sécurité alimentaire, d'adaptation et d'atténuation. ■

¹ Remarque: «Température mondiale» fait référence à une moyenne pour l'ensemble de la planète sur toute une année. La région Arctique se réchauffera plus rapidement que la moyenne mondiale, et le réchauffement moyen sera plus élevé dans les zones terrestres que dans les zones océaniques. La plupart des terres émergées connaîtront des extrêmes de températures élevées plus fréquents (GIEC, 2014).

LE RÔLE ET LA RESPONSABILITÉ SPÉCIFIQUES DE L'AGRICULTURE

Une réponse agricole face au changement climatique

La mise en œuvre d'une action efficace et durable pour contrer les effets du changement climatique dans l'agriculture – tant sur le plan de l'adaptation que sur celui de l'atténuation – constituera un défi bien plus difficile à relever que dans la plupart, sinon la totalité, des autres secteurs, en raison de la dépendance à l'égard des processus biophysiques et de l'immense variété des conditions agroécologiques et socioéconomiques qui caractérisent le monde agricole. À cela s'ajoute un autre facteur aggravant, à savoir le grand nombre d'acteurs concernés: des centaines de millions d'agriculteurs, de pêcheurs et de personnes tributaires des forêts, dont beaucoup ont un accès par trop restreint aux marchés, aux informations et aux services publics. Cette diversité requiert la mise en place de solutions différentes qui, bien souvent, doivent être entièrement adaptées à chaque contexte. Par conséquent, il est probable que la période d'ajustement des secteurs de l'agriculture soit plus longue que celle des autres secteurs et il faut s'attendre à une forte inertie du système dans son ensemble. Ce constat ne fait que renforcer l'urgence d'agir, maintenant.

La vulnérabilité de l'agriculture face au changement climatique n'a pas toujours reçu l'attention qu'elle mérite. Les évaluations des effets du changement climatique, établies principalement à l'aide de modèles économiques mondiaux, ont le plus souvent négligé les effets sur l'agriculture en raison du déclin de sa contribution, à l'échelle mondiale, au produit intérieur brut (PIB). Aujourd'hui, l'importance d'une action agricole en réponse au changement climatique est largement reconnue. Cette prise

de conscience se reflète de manière évidente dans les contributions prévues déterminées au niveau national qui avaient été présentées par les différents pays dans la perspective de la vingt et unième Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques organisée à Paris en 2015 (encadré 3). Ces contributions seront examinées plus en détail au chapitre 5.

En outre, on admet de plus en plus que l'agriculture a un rôle particulier à jouer dans les efforts d'atténuation du changement climatique. Les scénarios indiquent qu'on ne pourra maintenir l'élévation de la température mondiale sous la barre des 2 °C qu'en ramenant les émissions de gaz à effet de serre générées par les secteurs de l'énergie, de l'industrie et du transport à zéro, et en limitant celles produites par l'agriculture, l'utilisation des terres et le changement d'affectation des terres. Pour commencer, les secteurs de l'agriculture peuvent contribuer à l'atténuation en réduisant l'intensité de leurs émissions (ou la quantité d'émissions par unité produite) tout en jugulant la perte du carbone stocké principalement dans les forêts et les sols. Un tel effort peut s'accompagner d'actions visant à réduire les pertes et gaspillages alimentaires et à changer les modes de consommation alimentaire. Qui plus est, les secteurs de l'agriculture se distinguent par leur capacité de faire office de puits de carbone, en capturant le dioxyde de carbone et en le stockant dans la biomasse et les sols, grâce à la foresterie et à la remise en état des terres (voir le chapitre 4).

L'encadrement des actions dans le domaine de la lutte contre le changement climatique pose un défi majeur: il faut en effet veiller à ne pas mettre en péril la sécurité alimentaire ou les progrès réalisés dans la réduction de la pauvreté, surtout dans les pays où la faim et la pauvreté touchent encore et toujours une frange importante de la population. Cet enjeu est d'ailleurs énoncé dans le préambule de la CCNUCC, qui affirme que «les mesures prises pour parer aux changements climatiques doivent être étroitement coordonnées avec le développement social et économique afin

d'éviter toute incidence néfaste sur ce dernier, compte pleinement tenu des besoins prioritaires légitimes des pays en développement, à savoir une croissance économique durable et l'éradication de la pauvreté» (CCNUCC, 1992). De même, le préambule de l'Accord de Paris, conclu en décembre 2015, reconnaît «la priorité fondamentale consistant à protéger la sécurité alimentaire et à venir à bout de la faim, et la vulnérabilité particulière des systèmes de production alimentaire aux effets néfastes des changements climatiques» (CCNUCC, 2015).

L'agriculture intelligente face au climat

Les mesures à appliquer dans les différents pays pour contrer le changement climatique doivent être envisagées dans la perspective plus vaste du développement agricole durable, et elles refléteront les priorités propres à chaque pays dans ce domaine. Dans le cadre de son approche en matière d'alimentation et d'agriculture durables, la FAO reconnaît que les pays poursuivront plusieurs objectifs en lien avec les dimensions économique, sociale et environnementale de la durabilité, et qu'ils devront parvenir à des compromis entre les différents objectifs et entre les besoins à court et à long terme (encadré 4). Ces compromis varieront selon les pays en fonction de leur richesse en ressources naturelles, de leurs caractéristiques socioéconomiques, de leurs systèmes politiques et de leur stade de développement. Parallèlement, chaque pays aura des priorités différentes, adaptées à sa propre situation, dont il faudra tenir compte lors de l'élaboration des actions à lancer en réponse au changement climatique.

Dans une volonté de faciliter la gestion de l'agriculture dans une perspective de sécurité alimentaire en tenant compte de l'évolution du réchauffement climatique, la FAO a élaboré l'approche de l'«agriculture intelligente face au climat», qu'elle a présentée en 2010 à la Conférence de La Haye sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et les changements

climatiques (FAO, 2010). Les principes de cette approche sous-tendent et orientent de manière implicite le présent rapport ainsi que les mesures envisagées pour contrer les effets du changement climatique dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture.

L'approche de l'agriculture intelligente face au climat a trois objectifs: une croissance durable de la productivité agricole afin de favoriser une amélioration équitable des revenus, de la sécurité alimentaire et du développement; le renforcement des capacités d'adaptation et de la résilience face aux chocs à différents niveaux, de celui des exploitations agricoles jusqu'à celui des pays; et la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'augmentation du stockage du carbone là où cela est possible.

Compte tenu de la variation des conditions à l'échelle locale, un aspect essentiel de l'agriculture intelligente face au climat consiste à identifier les effets des stratégies d'intensification agricole sur la sécurité alimentaire, l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ce dernier dans un endroit donné. Cet exercice revêt une importance particulière pour les pays en développement, où la croissance agricole constitue généralement une priorité de premier plan. Bien souvent, mais pas systématiquement, les pratiques présentant des avantages importants du point de vue de l'adaptation et de la sécurité alimentaire sont aussi associées à une réduction des émissions de gaz à effet de serre et à une augmentation du stockage du carbone. Toutefois, la mise en œuvre de ces pratiques synergiques peut alourdir les coûts, en particulier au départ. C'est pour cette raison que les programmes pour l'agriculture intelligente face au climat comprennent un volet de renforcement des capacités pour aider les parties prenantes locales à mobiliser des ressources destinées à financer les investissements liés à l'agriculture et au climat. On ne suppose pas que chaque pratique mise en œuvre dans chaque lieu permettra, pourrait permettre ou même devrait permettre d'atteindre les trois objectifs susmentionnés; mais il convient de tenir compte de ces trois objectifs pour mettre au point des

ENCADRÉ 4

UNE VISION COMMUNE DE L'ALIMENTATION ET DE L'AGRICULTURE DURABLES

La vision commune de l'alimentation et de l'agriculture durables proposée par la FAO constitue un outil précieux en vue de la définition de mesures d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses effets. Dans le cadre de cette vision, les pratiques et technologies agricoles sont évaluées en fonction de leur degré d'adhésion à cinq principes clés devant guider la transition vers la durabilité à l'échelle mondiale:

- ▶ Accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles;
- ▶ Conserver, protéger et mettre en valeur les ressources naturelles;
- ▶ Améliorer et protéger les moyens d'existence ruraux et le bien-être social;

- ▶ Renforcer la résilience des personnes, des communautés et des écosystèmes;
- ▶ Promouvoir et améliorer la gouvernance.

Ces principes visent à favoriser une approche cohérente et uniforme de la transition vers une alimentation et une agriculture durables dans tous les secteurs et sous-secteurs agricoles. Une telle approche permet de créer des synergies tout en tenant compte des compromis à faire entre les dimensions sociale, économique et environnementale de la durabilité et à l'intérieur même de ces dimensions, mais également entre les différents secteurs, dans le temps et dans l'espace, dans le contexte d'un processus en constante évolution.

SOURCE: FAO, 2014.

solutions acceptables sur le plan local en phase avec les priorités locales ou nationales.

L'analyse réalisée dans le cadre du programme pour l'agriculture intelligente face au climat s'appuie tout d'abord sur les techniques et pratiques retenues par les pays dans le cadre de leur politique et de leur planification agricoles. Les informations sur les tendances récentes et à court terme concernant l'évolution du changement climatique sont utilisées pour évaluer le potentiel en matière de sécurité alimentaire et d'adaptation de ces technologies et pratiques, compte tenu du contexte local du changement climatique ainsi que pour déterminer les ajustements qui pourraient s'avérer nécessaires. Pour ce qui est de ces ajustements, il peut s'agir, par exemple: de modifier le calendrier des semis et plantations ou d'adopter des variétés résistantes à la chaleur et à la sécheresse; de mettre au point de

nouveaux cultivars; de modifier les choix de végétaux et d'animaux de l'exploitation; d'améliorer les pratiques de gestion des sols et de l'eau, y compris au moyen de pratiques agricoles de conservation; d'intégrer le recours aux prévisions climatiques dans le processus décisionnel relatif aux cultures; de développer l'irrigation; de diversifier les activités agricoles à l'échelle régionale; ou de se tourner vers des sources de revenus non agricoles (Asfaw *et al.*, 2014; Branca *et al.*, 2011; FAO, 2010; FAO, 2013).

Depuis l'introduction de l'agriculture intelligente face au climat, le soutien aux niveaux national et international en faveur de l'adoption de ce concept ne cesse de prendre de l'ampleur. Dans leurs contributions prévues déterminées au niveau national, plus de 30 pays, appartenant pour la plupart à l'Afrique subsaharienne, y font expressément référence (voir le chapitre 5). ■

STRUCTURE DU RAPPORT

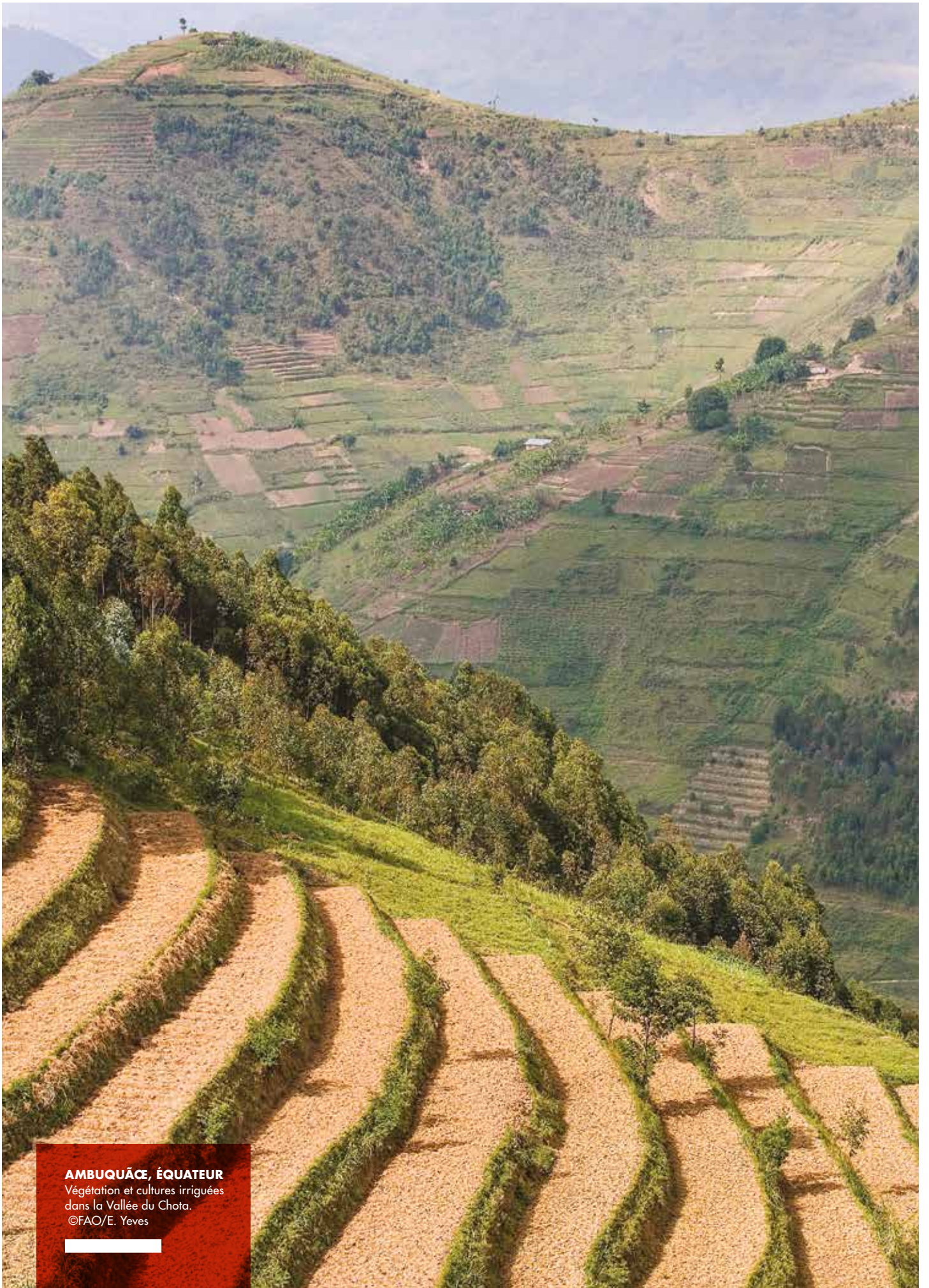
Cette année, le rapport sur *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture* analyse dans le détail les liens qui existent entre changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire, et il explique en quoi les secteurs de l'agriculture peuvent répondre efficacement au changement climatique tant du point de vue de l'adaptation que de l'atténuation. La filière alimentaire dans son ensemble, du producteur au consommateur, est à la fois touchée par le changement climatique, et facteur de changement climatique, parfois dans une plus large mesure que le secteur agricole primaire. Dans le présent rapport, cependant, on se concentrera essentiellement sur les secteurs de l'agriculture primaire: cultures, élevage, pêches et foresterie. Les chapitres suivants sont structurés comme suit:

Le **CHAPITRE 2** passe en revue les éléments empiriques attestant des incidences actuelles et futures du changement climatique sur les secteurs de l'agriculture, la sécurité alimentaire et la nutrition dans diverses régions du monde selon différents scénarios de réchauffement climatique. Il examine également en quoi et dans quelle mesure la production agricole et les systèmes alimentaires actuels contribuent au changement climatique.

Le **CHAPITRE 3** se penche sur le défi que constitue l'adaptation au changement climatique dans les petites exploitations familiales et dans les systèmes de production à petite échelle. Il propose des voies réalistes, pour les foyers d'agriculteurs et d'autres acteurs dépendant de tels systèmes, pour renforcer la résilience au moyen de stratégies d'adaptation et de diversification qui améliorent également les moyens d'existence et qui, partant, contribueront à mettre un point final à la faim et à la pauvreté rurale.

Le **CHAPITRE 4** examine comment les secteurs de l'agriculture peuvent réagir, face au changement climatique, et favoriser dans le même temps la sécurité alimentaire et la stabilisation du climat. Il s'agit essentiellement de réduire l'intensité des émissions provenant du secteur agricole et des systèmes alimentaires et d'optimiser les avantages tirés des efforts d'adaptation et d'atténuation, grâce à une meilleure gestion des cycles du carbone et de l'azote, une utilisation plus efficace des ressources, la conservation des paysages riches en carbone, des mesures visant à renforcer la résilience et, du point de vue de la demande, une réduction des pertes alimentaires et une amélioration des régimes alimentaires.

Le **CHAPITRE 5** aborde l'élaboration de politiques en faveur d'une réponse efficace des gouvernements et des acteurs du secteur agricole au changement climatique, et le **CHAPITRE 6** présente des moyens de tirer parti du financement de l'action climatique et, au sens large, du financement du développement, pour appuyer la réalisation des objectifs d'adaptation et d'atténuation en agriculture.



AMBUQUÃCE, ÉQUATEUR
Végétation et cultures irriguées
dans la Vallée du Chota.
©FAO/E. Yeves



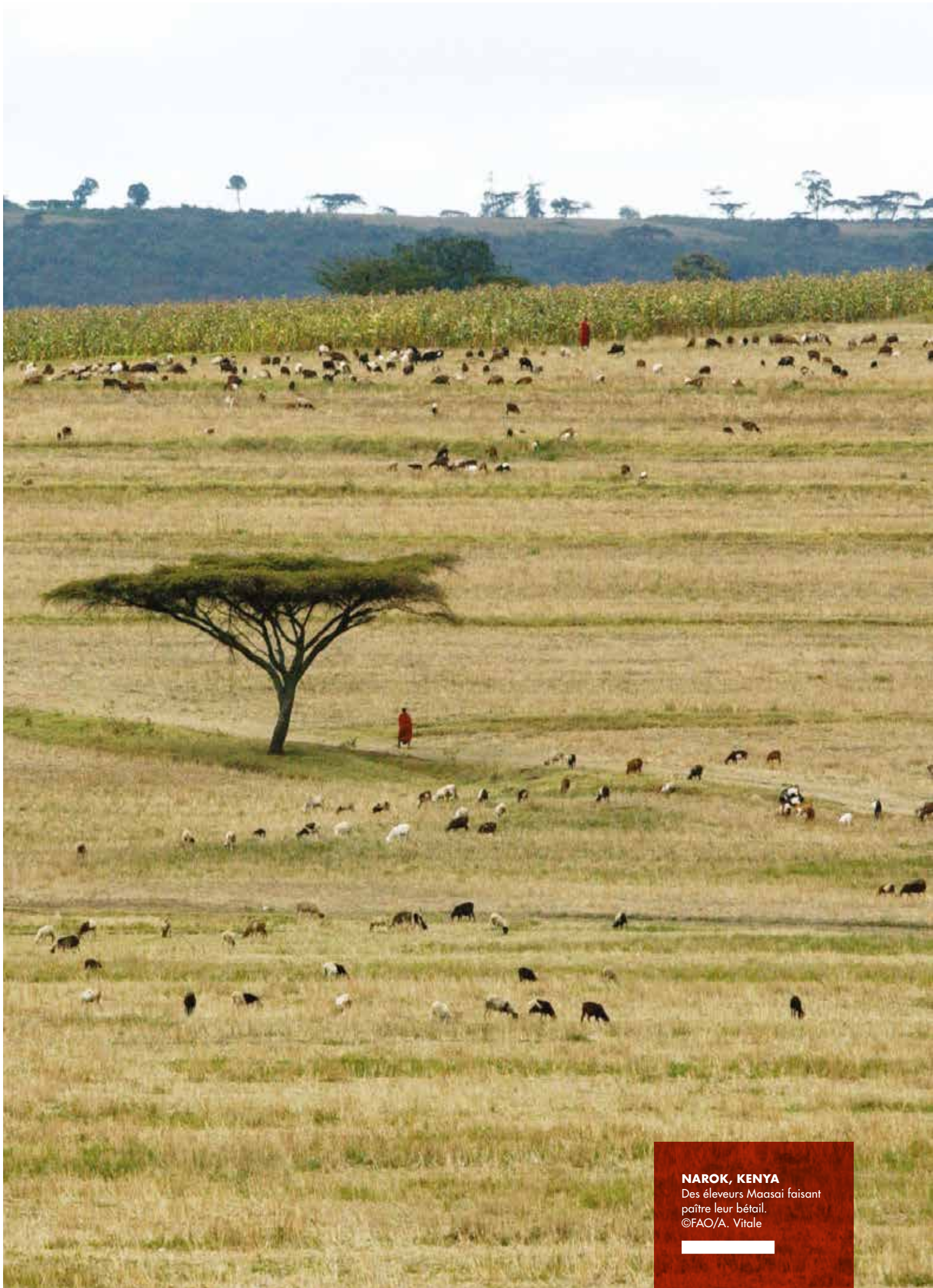
CHAPITRE 1

FAIM, PAUVRETÉ ET CHANGEMENT CLIMATIQUE: LES DÉFIS D'AUJOURD'HUI ET CEUX DE DEMAIN

ARBA GERAMSO, KENYA

Une mère et sa fille préparent du maïs pour dîner dans une région où la plupart des éleveurs ont perdu près de 90 pour cent de leurs bétails à cause de la sécheresse.

©FAO/A. Vitale



NAROK, KENYA
Des éleveurs Maasai faisant
paître leur bétail.
©FAO/A. Vitale



MESSAGES CLÉS

1 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE PÈSE DÉJÀ SUR L'AGRICULTURE ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE et, sans action immédiate, il constituera une menace pour des millions de personnes qui risquent de souffrir de la faim et de la pauvreté.

2 Même si **LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS ET LES MOYENS D'EXISTENCE AGRICOLES** varieront selon les pays et les régions, ils deviendront au fil du temps de plus en plus néfastes, voire catastrophiques dans certaines parties de la planète.

3 LIMITER LA HAUSSE DE LA TEMPÉRATURE MONDIALE À 1,5 °C PAR RAPPORT AUX NIVEAUX PRÉINDUSTRIELS permettrait d'atténuer de manière significative les risques et les répercussions du changement climatique.

4 DE PROFONDS CHANGEMENTS DEVRONT ÊTRE APPORTÉS À L'AGRICULTURE ET AUX SYSTÈMES ALIMENTAIRES, de la préproduction à la consommation, afin de maximiser les retombées bénéfiques conjointes des efforts d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses effets.

5 LES SECTEURS DE L'AGRICULTURE ONT LE POTENTIEL DE LIMITER LEURS ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE, mais pour assurer la sécurité alimentaire des temps à venir, il faut nécessairement mettre l'accent sur l'adaptation.

FAIM, PAUVRETÉ ET CHANGEMENT CLIMATIQUE: LES DÉFIS D'AUJOURD'HUI ET CEUX DE DEMAIN

Le changement climatique fait peser sur la sécurité alimentaire mondiale une lourde menace, qui ne cesse de prendre de l'ampleur. Les effets anticipés du changement climatique – hausse des températures, fréquence accrue des phénomènes climatiques extrêmes, pénuries d'eau, élévation du niveau des mers, acidification des océans, dégradation des terres, perturbation des écosystèmes et appauvrissement de la biodiversité – pourraient gravement compromettre la capacité de l'agriculture de nourrir les populations les plus vulnérables, ce qui mettrait un frein aux progrès réalisés dans l'élimination de la faim, de la malnutrition et de la pauvreté. Il est donc urgent de prendre des mesures pour préparer les secteurs de l'agriculture, de l'élevage, des pêches et des forêts à la perspective d'un changement rapide des conditions environnementales, et pour réduire la propre contribution de l'agriculture aux émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement de la planète.

Sans même tenir compte du changement climatique, les défis pour l'agriculture et la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale sont gigantesques. Sous l'effet de la croissance démographique et de l'augmentation des revenus dans la plupart des pays en développement, la demande de nourriture et d'autres produits agricoles a atteint des niveaux sans précédent. Selon les projections de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), il faudrait, pour répondre à la demande de denrées alimentaires en 2050, que la production végétale et animale annuelle augmente à l'échelle mondiale de 60 pour cent par rapport au niveau de 2006. Environ 80 pour cent de la hausse de production requise devra provenir de meilleurs

rendements et 10 pour cent de l'augmentation du nombre de campagnes agricoles par an (Alexandratos et Bruinsma, 2012). Cependant, la dégradation des terres et la raréfaction de l'eau limitent le potentiel de croissance des rendements. Sans un renforcement des efforts visant à réduire la pauvreté et à faciliter la transition vers une agriculture à la fois productive et durable, il deviendra difficile pour de nombreux pays à faible revenu de garantir l'accès de l'ensemble de leur population à des aliments en quantités suffisantes.

De par son impact sur l'agriculture, le changement climatique accentuera les effets négatifs de toutes ces tendances et rendra encore plus difficile la réalisation des objectifs de développement durable clés consistant à éliminer la faim, à assurer la sécurité alimentaire toute l'année et à garantir la viabilité des systèmes de production alimentaire d'ici à 2030. À plus long terme, l'ampleur et la vitesse du changement climatique, de même que l'efficacité des efforts d'atténuation de ses effets dans tous les secteurs de l'économie et des mesures d'adaptation du secteur agricole, seront autant de facteurs qui auront une influence déterminante sur l'avenir de vastes pans de la population mondiale, voire de l'humanité tout entière. ■

DES INTERACTIONS COMPLEXES ET DES LIENS INEXTRICABLES

Les différents secteurs de l'agriculture (les cultures, l'élevage, la pêche, l'aquaculture et les forêts) présentent des caractéristiques particulières qui les placent au cœur des efforts

menés, à l'échelle mondiale, en matière d'adaptation au changement climatique. Tout d'abord, l'agriculture est essentielle à notre approvisionnement alimentaire et, partant, à la satisfaction des besoins les plus fondamentaux de l'être humain. Ensuite, la production alimentaire est directement tributaire des ressources naturelles, notamment de la biodiversité, des terres, de la végétation, des précipitations et de la lumière du soleil, qui sont elles-mêmes étroitement et inextricablement liées au climat et aux conditions météorologiques. Sachant que l'agriculture fournit également des moyens d'existence à près des deux tiers des habitants de la planète touchés par la pauvreté extrême, soit quelque 750 millions de personnes, les effets du changement climatique sur l'agriculture frappent directement des populations rurales déjà vulnérables, avec des répercussions considérables sur leur sécurité alimentaire.

Les secteurs de l'agriculture contribuent par ailleurs fortement aux émissions de gaz à effet de serre, responsables du réchauffement de la planète et du changement climatique qui en découle. De ce fait, les secteurs de l'agriculture ont également la particularité de pouvoir jouer un rôle dans la stabilisation du climat mondial, en améliorant la gestion des cultures, des terres et de l'élevage de façon à réduire les émissions et à augmenter les puits de carbone dans la biomasse végétale et les sols.

Les effets du changement climatique sur l'agriculture

Dans de nombreuses régions, la production agricole est déjà mise à mal par les manifestations du changement climatique: hausse des températures, plus grande variabilité des

températures, changement des niveaux et de la fréquence des précipitations, augmentation de la fréquence des périodes sèches et des sécheresses, intensification des événements météorologiques extrêmes, élévation du niveau des mers et salinisation des terres arables et de l'eau douce. Plus les effets du changement climatique s'amplifieront, et plus il sera difficile de continuer à assurer la gestion des forêts et à pratiquer l'agriculture, l'élevage et la pêche selon les mêmes modalités et aux mêmes endroits que par le passé.

Les végétaux que nous cultivons pour nos besoins en denrées alimentaires, en fibres et en énergie ne peuvent prospérer que dans des conditions propices à leur croissance, qu'il s'agisse de températures optimales ou d'un apport en eau suffisant. Dans une certaine mesure, il se peut que la hausse des températures favorise le développement de certaines cultures dans certaines parties du monde. Néanmoins, si les températures dépassent le niveau optimal pour la croissance d'une culture donnée ou si l'apport en eau et en nutriments est insuffisant, les rendements vont probablement chuter. L'accroissement de la fréquence des événements extrêmes, en particulier les inondations et les sécheresses, est un autre facteur qui affecte les cultures et réduit leurs rendements. La gestion de la sécheresse pourrait d'ailleurs devenir un problème majeur dans des régions où l'on prévoit à la fois une hausse des températures moyennes et une baisse des précipitations. Un grand nombre d'adventices, d'insectes nuisibles et de maladies prolifèrent dans des climats plus chauds et plus humides et avec une plus grande concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère (CO₂). L'effet combiné de températures plus extrêmes et d'une pluviométrie plus faible peut rendre la croissance de certaines cultures totalement impossible.

Les vagues de chaleur, qui devraient devenir de plus en plus courantes dans le contexte du changement climatique, constituent une menace directe pour l'élevage. Au fil du temps, le stress thermique accroît la vulnérabilité des animaux face aux maladies, ce qui se traduit par une baisse de la fertilité et de la production de viande et de lait. De plus, le changement climatique modifiera la prévalence des parasites et des maladies chez les animaux d'élevage. Dans les régions concernées par une hausse des précipitations, on s'attend à une prolifération des agents pathogènes dépendant de l'humidité. Le changement climatique menace également la capacité de charge des prairies et des parcours, ainsi que la production d'aliments pour les animaux des systèmes sans pâturage.

Les secteurs de la pêche et de l'aquaculture, qui fournissent au moins 50 pour cent des protéines animales à des millions de personnes dans les pays à faible revenu, subissent déjà des pressions de toutes sortes, allant de la surpêche à la pollution aquatique en passant par la destruction des habitats (FAO, 2012). Autant de problèmes qui ne feront que s'amplifier sous l'action du changement climatique. L'augmentation de la température des eaux entraînera probablement l'extinction de certaines espèces de poissons, la modification des zones d'habitat d'autres espèces ainsi qu'une multiplication des risques de maladie d'un bout à l'autre de la chaîne de production. En raison de la hausse des niveaux de CO₂ dans l'atmosphère, les océans du globe deviennent de plus en plus acides, une évolution qui a des conséquences extrêmement graves pour les pêches qui sont tributaires des populations de crustacés, mollusques et calmars, des mangroves et des récifs coralliens. L'accroissement de la fréquence et de l'intensité des tempêtes, des ouragans et des cyclones aura des effets préjudiciables sur l'aquaculture, les mangroves et la pêche côtière.

Les forêts procurent un emploi rémunéré à plus de 100 millions de personnes et offrent des moyens d'existence à une grande partie des populations rurales pauvres de par le monde. Elles abritent plus de 80 pour cent de la biodiversité terrestre de

la planète et fournissent des aliments, des médicaments, des combustibles et des services écosystémiques essentiels. Le changement climatique et l'accroissement de la variabilité du climat ont des effets directs et indirects sur les forêts et sur les personnes qui en dépendent, et limitent la capacité des forêts de procurer ces biens et ces services vitaux. Même si certaines forêts profiteront de la hausse des concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère, du réchauffement climatique et de l'évolution des régimes de précipitations, la plupart d'entre elles seront exposées à des pertes d'espèces importantes, à un déclin des rendements et à une hausse de la fréquence et de l'intensité des tempêtes et autres perturbations (FAO, 2013).

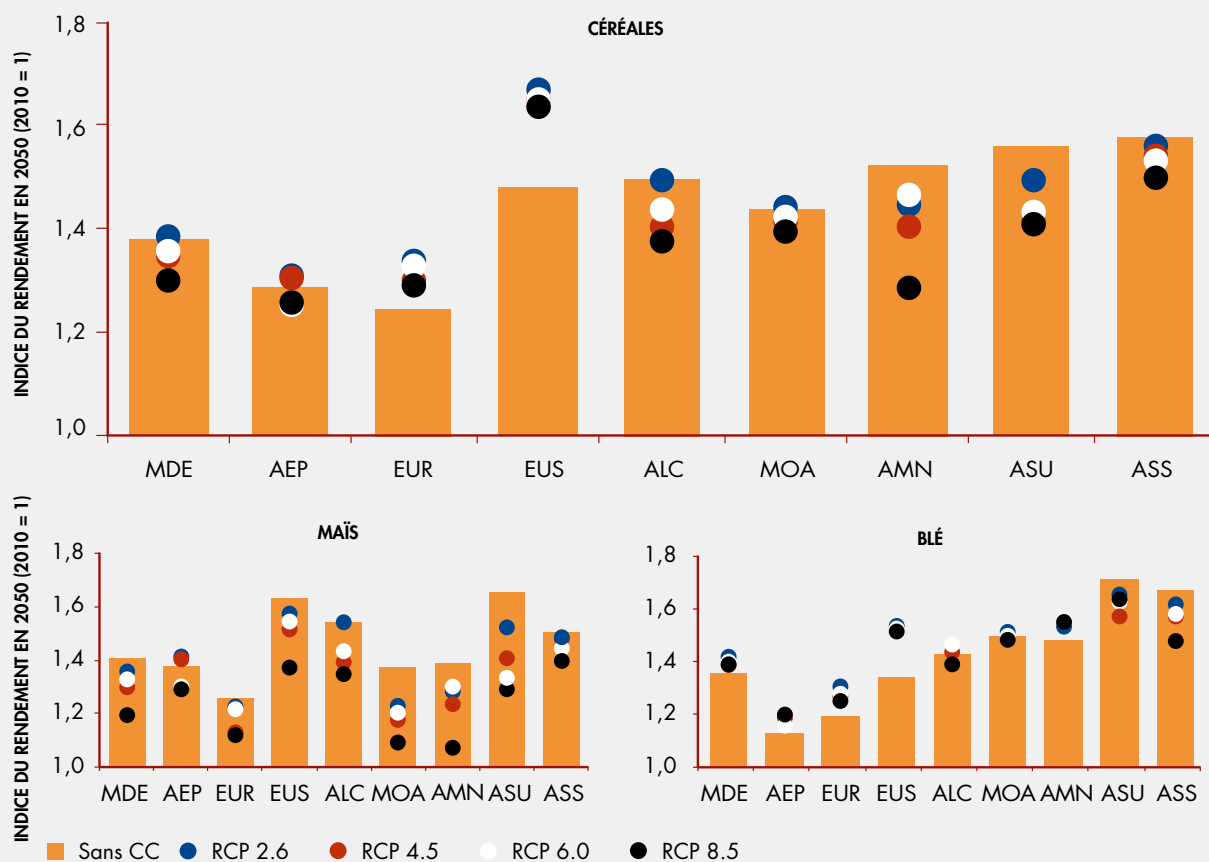
S'il est extrêmement difficile de prévoir les effets précis du changement climatique sur l'agriculture, il ressort de la plupart des études que ceux-ci évolueront au fil du temps et qu'ils varieront d'une région à l'autre. D'après les études conduites aux fins du cinquième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), les prévisions positives et négatives des effets sur les rendements des cultures se neutraliseront à l'échelle mondiale jusqu'en 2030; en revanche, au-delà de cette date, c'est une tendance de plus en plus négative qui s'installera (Porter *et al.*, 2014; voir aussi le chapitre 2).

On observera également des variations très marquées selon les cultures et les régions. La **figure 1** illustre cette variabilité au niveau des rendements céréaliers prévus en 2050 selon différents scénarios de réchauffement climatique, sur la base d'un scénario «médian» pour la croissance économique et démographique, et d'une adaptation limitée, et ne tient pas compte de la «fertilisation par le CO₂», c'est à dire l'effet stimulateur, sur la croissance des végétaux, d'une hausse de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère. Avec l'allongement des périodes de croissance, les régions des hautes latitudes auront tendance à connaître des baisses de rendement moindres, voire des hausses de rendement, pour certaines cultures par rapport aux rendements attendus sans changement



FIGURE 1

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS CÉRÉALIERS DANS LES DIFFÉRENTES RÉGIONS DU MONDE D'ICI À 2050



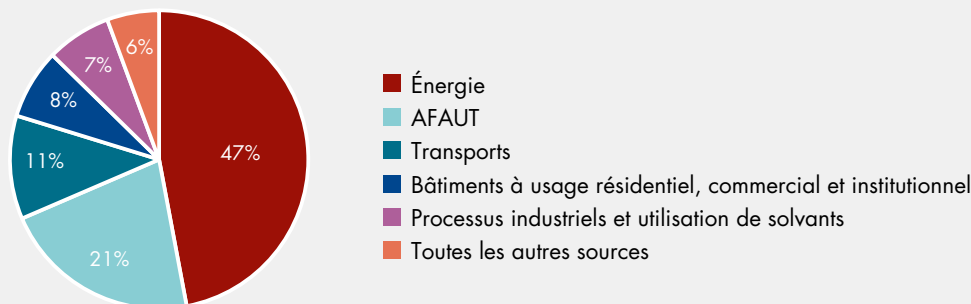
MDE: Monde **EUS:** Ex-Union soviétique **AMN:** Amérique du Nord **Sans CC:** aucun changement climatique
AEP: Asie de l'Est et le Pacifique **ALC:** Amérique latine et les Caraïbes **ASU:** Asie du Sud **RCP:** Representative Concentration Pathways
EUR: Europe **MOA:** Moyen-Orient et l'Afrique du Nord **ASS:** Afrique subsaharienne (scénarios de réchauffement climatique mondial)

Remarques: Les données sur les céréales correspondent à la moyenne pondérée par la surface pour chaque région pour les produits suivants: l'orge, le maïs, le millet, le riz, le sorgho, le blé et les autres céréales prises en compte dans le modèle IMPACT. Les simulations sont basées sur un scénario socioéconomique SSP (Shared Socioeconomic Pathway: profils communs d'évolution socioéconomique), de type intermédiaire. Voir l'encadré 7 du chapitre 2 pour obtenir une explication sur les scénarios RCP et SSP.

SOURCE: Simulations fondées sur le modèle IMPACT de l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), tel que cité dans De Pinto, Thomas et Wiebe (2016).

FIGURE 2

RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE PAR SECTEUR ÉCONOMIQUE EN 2010



Remarques: Les émissions provenant du secteur de l'énergie englobent les émissions des secteurs industriel et manufacturier ainsi que les émissions fugitives. AFAUT désigne les secteurs de l'agriculture et des forêts, et les autres utilisations des terres. La catégorie «Toutes les autres sources» comprend le transport international, les déchets et d'autres sources.

SOURCE: FAO, à paraître.

- » climatique. En revanche, le recul du rendement sera généralement plus marqué dans les régions situées à des latitudes plus basses. Les rendements du maïs devraient fléchir dans la plupart des régions, et ce, dans la plupart des scénarios climatiques étudiés, sachant que plus ces derniers sont extrêmes, plus les pertes attendues sont importantes. Bien que les impacts sur les rendements du blé soient faibles au niveau mondial, ils sont considérables en Asie du Sud et en Afrique subsaharienne.

La contribution de l'agriculture au changement climatique

L'agriculture est certes touchée par le changement climatique, mais elle contribue aussi significativement de manière directe et indirecte aux émissions des trois gaz à effet de serre principaux: le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitreux. Les émissions de gaz à effet de serre dues à l'action de l'homme, répertoriées dans les rapports du GIEC comme provenant des «secteurs de l'agriculture, des forêts et des autres utilisations des terres» (AFAUT), sont principalement causées par la déforestation, la production animale et la gestion des sols et des nutriments. On estime qu'elles représentent 21 pour cent de l'ensemble des émissions mondiales (figure 2). Si ce chiffre est inférieur aux 27 pour cent enregistrés pendant les années 1990, cette apparente amélioration s'explique simplement par le fait que les émissions ont connu une croissance plus rapide dans les autres secteurs.

Les émissions dues à la conversion nette des forêts et celles dues à l'agriculture représentaient des quantités de gaz à effet de serre globalement comparables dans les années 1990; cependant, depuis le début des années 2000, les premières ont suivi une tendance à la baisse, tandis que les secondes se sont accrues. En particulier, les cultures et l'élevage émettent des quantités considérables de méthane et d'oxyde nitreux, deux gaz à effet de serre puissants. Le méthane est produit par les ruminants au cours de la digestion; il est également dégagé par les

effluents d'élevage et les déchets organiques entreposés. Les émissions d'oxyde nitreux constituent un produit indirect des engrais organiques et minéraux azotés après leur épandage sur les terres cultivées.

La catégorie AFAUT ne comprend pas les gaz à effet de serre produits par les chaînes d'approvisionnement alimentaire modernes avant et après la production; dans les rapports du GIEC, ces gaz sont considérés comme étant émis par d'autres secteurs, principalement ceux de l'industrie, de la production d'énergie et des transports. Il s'agit notamment de la production d'intrants tels que les engrais synthétiques, qui, à la différence de la production d'engrais organique, est un processus très énergivore, et des émissions dues à l'utilisation des énergies fossiles (p. ex. pour faire fonctionner les machines agricoles), au transport après la production, à la transformation et à la vente au détail (Smith *et al.*, 2014). À chaque étape, l'approvisionnement alimentaire émet des gaz à effet de serre qui viennent s'ajouter à ceux déjà accumulés dans l'atmosphère. Si les émissions attribuables directement et indirectement à l'utilisation d'énergie par la chaîne agroalimentaire étaient prises en compte, la contribution de la catégorie AFAUT à l'ensemble des émissions augmenterait d'un tiers (FAO, 2011).

La contribution des systèmes alimentaires aux émissions totales varie d'un pays et d'une région à l'autre, selon la structure des chaînes d'approvisionnement locales. D'après les estimations du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR), dans les pays à revenu élevé, les étapes précédant et succédant à la production génèrent autant d'émissions que la production elle-même, tandis que dans les pays en développement, c'est la production agricole qui en dégage le plus (Vermeulen, Campbell et Ingram, 2012).

Les répercussions sur la sécurité alimentaire

De par ses effets sur l'agriculture, le changement climatique aura des répercussions négatives sur la »

ENCADRÉ 1

LES QUATRE DIMENSIONS DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Lors du Sommet mondial de l'alimentation de 1996, les participants ont adopté la définition suivante de la sécurité alimentaire, qui est utilisée par la FAO: «La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active». Cette définition englobe quatre dimensions:

- ▶ La disponibilité d'aliments en quantité suffisante et d'une qualité appropriée, dont l'approvisionnement est assuré par la production nationale ou les importations (y compris l'aide alimentaire).
- ▶ L'accès d'une personne à des ressources (ou encore droits d'accès) suffisantes lui permettant d'acquérir une nourriture adéquate et nutritive.
- ▶ L'utilisation de la nourriture grâce à une alimentation adéquate, une eau propre, un assainissement et des soins de santé suffisants de façon à obtenir un état de bien-être nutritionnel qui permette de satisfaire tous les besoins physiologiques.
- ▶ La stabilité de la disponibilité alimentaire et de l'accès aux aliments, même en cas de choc soudain (par exemple, une crise économique ou climatique) ou d'événement cyclique (par exemple, une pénurie alimentaire saisonnière).

SOURCE: FAO, 2006.

ENCADRÉ 2

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET NUTRITION

Le changement climatique a des répercussions sur la nutrition et sur les choix alimentaires de par ses impacts sur la sécurité alimentaire, les maladies, la sécurité sanitaire de l'eau, l'assainissement, les moyens d'existence et la prestation de soins. Et, par ricochet, la capacité des personnes de s'adapter au changement climatique, ou de l'atténuer, est elle-aussi mise à mal (IFPRI, 2015).

Le changement climatique amplifie les effets des sécheresses, des inondations et des tempêtes et expose de nombreuses personnes – à commencer par les pauvres et les plus vulnérables – au risque de dénutrition après un événement climatique extrême (Confalonieri *et al.*, 2007). Les variations saisonnières de disponibilités alimentaires et d'accès, causes majeures de dénutrition au sein des communautés rurales pauvres, sont accentuées par le changement climatique, qui a par ailleurs des répercussions sur la sécurité des moyens d'existence et sur la répartition de la nourriture au sein des familles et, par voie de conséquence, sur l'état nutritionnel des enfants et des femmes en particulier (Wijesinha-Bettoni *et al.*, 2013). D'autre part, selon certaines études, il est possible que l'on assiste à une détérioration de la qualité nutritionnelle des principales cultures vivrières sous l'effet du changement climatique. Ainsi, une étude menée par Myers *et al.* (2014) a abouti à la conclusion suivante: lorsqu'il est cultivé en étant

exposé aux niveaux élevés de CO₂ prévus pour 2050, le grain de blé contient 9 pour cent de zinc en moins, 5 pour cent de fer en moins et 6 pour cent de protéines en moins, tandis que les pertes observées pour le grain de riz sont de 3 pour cent, 5 pour cent et 8 pour cent respectivement, en comparaison avec les teneurs projetées en l'absence de changement climatique. On observerait une baisse similaire de la teneur en éléments nutritifs pour le maïs; en ce qui concerne le soja, la teneur en protéines resterait stable, mais la teneur en zinc et en fer diminuerait également.

La sécurité sanitaire des aliments pourrait être compromise par une augmentation des agents pathogènes d'origine alimentaire, ainsi que par toute contamination ou modification chimique augmentant la prévalence de composés toxiques dans les aliments. Ainsi, la prolifération d'algues en surface donne lieu à une contamination de l'eau de boisson et des crustacés et mollusques par les cyanotoxines (Paerl et Huisman, 2009), tandis que la hausse des températures et de l'humidité augmentent le risque de contamination aux mycotoxines dans les stocks de céréales et de légumineuses (Paterson et Lim, 2010). De plus, les changements dans la distribution des maladies végétales et animales pourraient conduire à une utilisation accrue de produits chimiques agricoles potentiellement nocifs.

» sécurité alimentaire dans toutes ses dimensions (encadré 1). Bien que d'autres vecteurs entrent en jeu – comme les événements météorologiques extrêmes qui réduisent les revenus des citadins et, par là même, leur accès à la nourriture –, l'agriculture apparaît comme le vecteur principal par lequel le changement climatique affectera la sécurité alimentaire et constitue, à ce titre, le thème central du présent rapport.

Le changement climatique a une influence sur la *disponibilité d'aliments* en raison de ses effets de plus en plus néfastes sur les rendements des cultures, sur les stocks de poissons et sur la santé et la productivité animales, particulièrement en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, les deux régions où l'on retrouve la plus grande proportion de personnes en situation d'insécurité alimentaire. De plus, il restreint l'accès aux aliments, car il entraîne une dégradation des revenus et des moyens d'existence en milieu rural. Outre une plus grande instabilité climatique, on s'attend à une augmentation de l'intensité et de la fréquence des catastrophes naturelles liées au climat. Les populations pauvres, dont bon nombre de petits exploitants et de travailleurs agricoles, sont plus vulnérables face aux impacts de telles catastrophes. Ces populations peuvent subir d'importantes pertes de revenus et de biens à la suite de sécheresses et d'inondations de grande ampleur, ce qui affaiblit d'autant leur capacité future de générer des revenus. En outre, la diminution des disponibilités alimentaires due au changement climatique s'accompagnera d'une hausse du prix des aliments. Aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain, les pauvres seront les plus touchés par ce phénomène, sachant qu'ils consacrent une part bien plus importante de leurs revenus à l'alimentation. Les petits exploitants familiaux en subiront également les conséquences, la plupart d'entre eux étant des acheteurs nets de produits alimentaires (Zezza *et al.*, 2008; Banque mondiale, 2008; Porter *et al.*, 2014).

L'évolution de *l'utilisation de la nourriture* aura un impact sur la situation des populations pauvres et vulnérables en matière de nutrition. Ainsi, étant donné que la hausse des températures favorise le développement d'agents pathogènes et que la

pénurie d'eau affecte la qualité de l'eau et les habitudes d'hygiène, il se pourrait que les effets du changement climatique alourdissent le fardeau que représente la diarrhée, avec une hausse pouvant atteindre les 10 pour cent d'ici à 2030 dans certaines régions. Là encore, ce sont les populations les plus démunies qui seraient les plus gravement touchées, à commencer par les enfants pauvres (OMS, 2003). Le changement climatique aura des conséquences sur la nutrition dans bien d'autres domaines - de la réduction des soins prodigués à la baisse de la teneur en nutriments des cultures de base, en passant par un risque plus élevé de contamination alimentaire (encadré 2).

En dernier lieu, la variabilité du climat ainsi que des événements extrêmes à la fois plus fréquents et plus violents nuiront à la *stabilité* des disponibilités alimentaires, de l'accès aux aliments et de leur utilisation en raison des changements de saisonnalité, des fluctuations plus marquées de la productivité des écosystèmes, et d'une augmentation des risques doublée d'une baisse de la prévisibilité en matière d'approvisionnement. Il s'agira d'un problème majeur, notamment pour les pays enclavés et les petits États insulaires, qui sont plus vulnérables à la fois aux perturbations de l'approvisionnement alimentaire et aux dommages causés par les événements extrêmes et autres phénomènes climatiques.

Le changement climatique ne sera qu'un facteur parmi d'autres des tendances futures qui se dessinent en matière de pauvreté et de sécurité alimentaire. Ces tendances, et la mesure dans laquelle elles seront influencées par le changement climatique, dépendront essentiellement du développement socioéconomique des années à venir. Une récente étude de la Banque mondiale (Hallegatte *et al.*, 2016) a révélé qu'en l'absence de croissance économique, un changement climatique à fort impact entraînerait une augmentation de 122 millions du nombre de personnes qui, selon les projections, vivraient en situation d'extrême pauvreté en 2030; cette hausse se limiterait à 16 millions dans un scénario fondé sur la prospérité. Dans le cadre d'un exercice similaire, réalisé à l'aide du

modèle international pour l'analyse de politiques de la production et du commerce agricoles (IMPACT), conçu par l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), on a estimé que, d'ici à 2050, quelque 50 millions de personnes supplémentaires risqueraient de souffrir de sous-alimentation à cause du changement climatique. Malgré tout, l'impact global du changement climatique jusqu'en 2050 sera moindre que celui d'autres facteurs, tels que la croissance de la population et des revenus (voir le chapitre 2). ■

L'URGENCE D'UNE INTERVENTION MONDIALE CONCERTÉE, MAINTENANT

Toutes les données scientifiques disponibles tendent vers la même conclusion: le climat change et il est peu probable qu'on puisse enrayer ou inverser ces changements dans un avenir proche. Il ne fait aucun doute que le changement climatique affectera les secteurs de l'agriculture et la sécurité alimentaire et que ses effets négatifs s'aggraveront à mesure qu'il s'accélère. Ses effets pourraient même s'avérer catastrophiques dans certains endroits particulièrement vulnérables, comme les petites îles, ou dans des régions exposées à des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes de grande ampleur.

La rapidité du changement climatique, de même que l'ampleur de ses effets, joueront un rôle déterminant. Dans le meilleur des cas, la situation pourrait évoluer à un rythme et dans des proportions qui laisseraient le temps aux secteurs de l'agriculture de s'adapter grâce à des mesures relativement simples, tout au moins sur le moyen terme. Les baisses de productivité, le cas échéant, seraient assez mineures et progressives, avec peu ou pas de changements non linéaires et abrupts. Dans un tel scénario, les effets sur la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale demeureraient modestes.

Selon un scénario sensiblement différent, mais plausible, on assisterait – même à moyen terme – à des cas fréquents de changements non linéaires et abrupts, qui rendraient toute tentative d'adaptation des secteurs de l'agriculture quasiment impossible dans de nombreux endroits et qui entraîneraient des baisses de productivité catastrophiques. Les répercussions en termes de productivité seraient, sinon mondiales, du moins extrêmement vastes tant du point de vue géographique que du point de vue de la taille des populations touchées. La sécurité alimentaire serait fortement compromise. Les pénuries d'approvisionnement conduiraient à des hausses notables des prix des denrées alimentaires, lesquels seraient par ailleurs soumis à de plus fortes fluctuations en raison de la variabilité accrue du climat. Cette variabilité nuirait également à la stabilité des revenus des ménages ruraux dans les régions déjà sujettes à de fortes fluctuations des rendements (Thornton *et al.*, 2014). Les baisses de productivité et les pertes de revenus auraient tendance à être concentrées dans certains des secteurs géographiques et des groupes de population les plus vulnérables et les plus exposés à l'insécurité alimentaire. À plus long terme, à moins que des mesures ne soient prises pour juguler ou inverser le changement climatique, la production alimentaire risquerait de devenir impossible dans des pans entiers du monde.

Il apparaît urgent d'agir pour s'attaquer aux répercussions potentielles du changement climatique tant sur l'agriculture que sur la sécurité alimentaire. L'incertitude ne justifie aucun atermoiement dans la mise en œuvre de mesures d'adaptation et d'atténuation face au changement climatique. Deux raisons principales expliquent l'urgence. Premièrement, les effets du changement climatique se font déjà sentir et ils vont s'aggraver au fil du temps, à tel point qu'ils pourraient effectivement devenir très graves. Deuxièmement, les facteurs du changement climatique, tout comme les mesures de lutte contre ce phénomène, s'inscrivent dans une perspective à long terme. Les émissions de gaz à effet de serre actuelles placent déjà notre planète sur la voie d'un réchauffement irréversible, dont nous subissons les effets dans »

TABLEAU 1

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS DE CERTAINES CULTURES DANS LE MONDE ET DANS LES RÉGIONS TROPICALES, EN FONCTION D'UN RÉCHAUFFEMENT DE 1,5 °C OU DE 2 °C PAR RAPPORT AUX NIVEAUX PRÉINDUSTRIELS AU COURS DU XXI^E SIÈCLE

Culture	Région	Réchauffement par rapport aux niveaux préindustriels (pourcentage)	
		1,5 °C	2,0 °C
Blé	Monde entier	2 (-6 à +17)	0 (-8 à +21)
	Régions tropicales	-9 (-25 à +12)	-16 (-42 à +14)
Maïs	Monde entier	-1 (-26 à +8)	-6 (-38 à +2)
	Régions tropicales	-3 (-16 à +2)	-6 (-19 à +2)
Soja	Monde entier	7 (-3 à +28)	1 (-12 à +34)
	Régions tropicales	6 (-3 à +23)	7 (-5 à +27)
Riz	Monde entier	7 (-17 à +24)	7 (-14 à +27)
	Régions tropicales	6 (0 à +20)	6 (0 à +24)

Remarque: Les chiffres entre parenthèses correspondent à l'intervalle de confiance probable (66 %).
SOURCE: Adapté de Schleusner *et al.* (2016), figure 15.

ENCADRÉ 3

L'AGRICULTURE AU CŒUR DES ORIENTATIONS SUR LES ACTIONS À ENTREPRENDRE PAR LES PAYS

Les objectifs d'adaptation et d'atténuation dans les domaines de l'agriculture, de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie occupent une place de choix dans les contributions prévues déterminées au niveau national qui, en vertu de l'Accord de Paris adopté en décembre 2015, orienteront l'action menée contre le changement climatique à l'échelle des pays dans les années à venir. Non seulement sont-ils assortis de cibles, mais ils prévoient également des stratégies concrètes pour s'attaquer aux causes et réagir aux conséquences du changement climatique.

Selon une analyse des contributions prévues déterminées au niveau national menée par la FAO, il apparaît que, dans toutes les régions, l'agriculture jouera un rôle décisif dans l'atteinte des objectifs liés au changement climatique à l'horizon 2030. Sur les 188 pays ayant présenté des contributions, plus de 90 pour cent considéraient l'agriculture comme l'un des secteurs à prendre en compte pour s'adapter au changement climatique et en atténuer les effets.

L'analyse montre également que les secteurs de l'agriculture devraient offrir les perspectives les plus vastes pour la création de synergies entre les mesures d'adaptation et d'atténuation et pour l'obtention de retombées bénéfiques conjointes sur les plans socioéconomique et environnemental. Environ un tiers de tous les pays reconnaissent que des actions permettraient de créer des synergies entre les mesures d'adaptation et d'atténuation dans l'agriculture et certains vont même jusqu'à placer ces actions en tête de leurs priorités. Près de 30 pour cent des pays font également mention des retombées bénéfiques conjointes sur les plans social, économique et environnemental, notamment en ce qui concerne le développement rural et la santé, la réduction de la pauvreté et la création d'emplois ou encore la conservation des écosystèmes et de la biodiversité. Enfin, sur le plan de l'égalité des sexes, l'agriculture est mise en avant comme étant un secteur qui, plus que tout autre, ouvre de multiples voies vers l'autonomisation des femmes et la réduction de leur vulnérabilité face au changement climatique.

SOURCE: FAO, 2016.

» plusieurs dizaines d'années. C'est principalement en raison de ces risques à long terme que la communauté internationale s'est engagée à stabiliser le climat de la Terre.

Les sociétés dans leur ensemble doivent intervenir de manière décisive, dès maintenant, pour *atténuer le changement climatique*, ou elles courront le risque d'être plongées dans des situations d'insécurité alimentaire graves. On ne peut pas exclure la possibilité que, dans un avenir plus ou moins rapproché, le changement climatique empêche de nourrir l'humanité. Même à plus brève échéance, les répercussions sur la sécurité alimentaire dans certaines régions pourraient s'avérer majeures. L'agriculture et la foresterie présentent toutes deux un fort potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais l'évolution de la sécurité alimentaire dépendra dans une large mesure des progrès réalisés, en matière d'émissions, dans d'autres secteurs économiques. La situation exigera également des ajustements sur le plan de la consommation – la réduction de la demande de produits nécessitant beaucoup de ressources et produisant beaucoup d'émissions contribuera à accélérer la transition vers une agriculture durable –, ainsi que des efforts de sensibilisation aux mesures d'atténuation du changement climatique.

Dans le même temps, les secteurs de l'agriculture et les populations qui en dépendent doivent *s'adapter aux changements climatiques actuels ou prévus*, selon une approche qui permette de réduire au maximum leurs effets indésirables ou de tirer parti des nouvelles perspectives qu'ils pourraient offrir. Il est nécessaire de renforcer la résilience au changement climatique dans les sphères biophysique, économique et sociale à travers le monde. Dans une certaine mesure, l'adaptation de l'agriculture prendra la forme d'une initiative spontanée de la part des agriculteurs, des pêcheurs et des forestiers; nombre d'entre eux, néanmoins, en particulier les petits producteurs, pourraient se trouver dans l'impossibilité d'adopter les solutions appropriées en raison tout autant d'un manque d'options viables que d'un trop grand nombre de contraintes. À cet égard, il apparaît primordial de créer un environnement porteur qui faciliterait l'adaptation.

À court terme, une adaptation au niveau de l'unité de production ou du ménage agricole, lorsqu'elle est possible, pourrait se révéler suffisante. En revanche, des efforts d'adaptation à plus long terme sont nécessaires en raison des changements d'ores et déjà irréversibles que l'augmentation des concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère a provoqués ou est en train de provoquer. Ils exigeront la mise en œuvre de changements plus systémiques, comme des déplacements significatifs des lieux de production de certains produits et de certaines espèces, qui seront compensés par une évolution des tendances en matière de consommation et d'échanges commerciaux.

Les efforts d'adaptation, à eux-seuls, ne seront cependant pas suffisants: seules des mesures d'atténuation pourront garantir la sécurité alimentaire de la population mondiale à long terme. Il existe une différence fondamentale entre l'adaptation et l'atténuation et les mesures d'incitation qui les accompagnent. L'adaptation est un effort que chacun voudra faire dans son propre intérêt. L'atténuation est un effort qui se doit d'être collectif et qui servira les intérêts de tous. Elle représente un bien public mondial et une responsabilité sociale auxquels les secteurs de l'agriculture doivent eux aussi apporter leur contribution.

On comprend parfaitement l'urgence – et les avantages – d'une action concertée et efficace dans la lutte contre le changement climatique à l'échelle mondiale lorsqu'on constate à quel point des hausses de température, aussi faibles soient-elles, peuvent entraîner des variations significatives des effets du changement climatique. Selon une récente méta-analyse, la diminution des quantités d'eau disponibles et l'allongement des périodes sèches s'accroissent entre un réchauffement de 1,5 °C et de 2 °C, et ce, pour plusieurs régions subtropicales, notamment la région méditerranéenne, l'Amérique centrale, les Caraïbes, l'Afrique du Sud et l'Australie. Dans les régions tropicales, il se pourrait que la production agricole soit fortement touchée si les températures augmentaient de plus de 1,5 °C (tableau 1), une situation qui pourrait encore s'aggraver si

d'autres facteurs, tels que le manque de phosphore et d'azote ou le stress thermique, amenuisaient les effets positifs de la fertilisation par le CO₂.

Dans le cas d'un réchauffement de 2 °C, les risques que fait peser la chaleur extrême sur les rendements des cultures dans les régions tropicales de l'Afrique et de l'Asie du Sud et du Sud-Est peuvent devenir critiques si l'on tient compte des projections de croissance démographique. La limitation de l'augmentation de la température à 1,5 °C se traduirait par deux autres avantages de taille: une baisse notable du nombre de zones de récifs coralliens menacées d'une grave détérioration et une diminution de 30 pour cent de l'élévation du niveau de la mer (Schleussner *et al.*, 2016). En réalité, à l'issue du dialogue structuré entre experts mené à bien dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et conclu en 2015, il s'est dégagé le message clé suivant: une hausse de la température mondiale¹ de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels doit s'entendre comme «un seuil maximum, une ligne de défense qu'il faut défendre par tous les moyens, sachant qu'un réchauffement inférieur serait préférable» (CCNUCC, 2015). Le GIEC présentera en 2017 les résultats d'une évaluation sur les différences entre les scénarios 2 °C et 1,5 °C.

L'Accord de Paris, adopté en décembre 2015 dans le cadre de la CCNUCC, a établi l'objectif à long terme de contenir l'augmentation de la température moyenne de la planète «bien en dessous de 2 °C» par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre les efforts pour limiter cette augmentation à 1,5 °C, ce qui permettrait d'atténuer de manière considérable les risques et les répercussions du changement climatique. D'après le GIEC, les scénarios où la hausse de température est maintenue en

dessous de 2 °C comportent des réductions considérables, avant la moitié du siècle, des émissions de gaz à effet de serre dues à l'action de l'homme, grâce à une transformation de grande ampleur des systèmes énergétiques et, potentiellement, de l'utilisation des terres. Ces scénarios prévoient en 2050 des émissions 40 à 70 pour cent plus basses qu'en 2010, et quasi-nulles voire négatives en 2100 (GIEC, 2014b). Si le niveau de croissance requis dans les secteurs de l'agriculture pour garantir la sécurité alimentaire mondiale des générations futures était obtenu avec une progression des émissions similaire à celle observée au cours des dernières années, il serait très difficile de respecter l'objectif de maintien de l'élévation de la température mondiale sous la barre des 2 °C (voir également Searchinger *et al.*, 2015; Wollenberg *et al.*, 2016).

Les décisions que nous prenons aujourd'hui façonneront le monde dans lequel nous vivrons dans 15 ans et au-delà. C'est pourquoi il est capital que les secteurs de l'agriculture réagissent en renforçant leur résilience face aux effets du changement climatique tout en apportant, dans la mesure du possible, leur contribution aux efforts d'atténuation. Les mesures qui seront prises devront l'être dans le respect des objectifs de développement nationaux et des priorités des différents pays, sans pour autant mettre en péril les efforts visant à faire reculer l'insécurité alimentaire. Dans ce contexte, il est important de mentionner que, contrairement aux autres secteurs économiques où les mesures d'adaptation et d'atténuation sont généralement indépendantes les unes des autres, les secteurs de l'agriculture se distinguent par l'existence de synergies – mais aussi par la nécessité de compromis – entre les objectifs en matière de sécurité alimentaire, d'adaptation et d'atténuation. ■

¹ Remarque: «Température mondiale» fait référence à une moyenne pour l'ensemble de la planète sur toute une année. La région Arctique se réchauffera plus rapidement que la moyenne mondiale, et le réchauffement moyen sera plus élevé dans les zones terrestres que dans les zones océaniques. La plupart des terres émergées connaîtront des extrêmes de températures élevées plus fréquents (GIEC, 2014).

LE RÔLE ET LA RESPONSABILITÉ SPÉCIFIQUES DE L'AGRICULTURE

Une réponse agricole face au changement climatique

La mise en œuvre d'une action efficace et durable pour contrer les effets du changement climatique dans l'agriculture – tant sur le plan de l'adaptation que sur celui de l'atténuation – constituera un défi bien plus difficile à relever que dans la plupart, sinon la totalité, des autres secteurs, en raison de la dépendance à l'égard des processus biophysiques et de l'immense variété des conditions agroécologiques et socioéconomiques qui caractérisent le monde agricole. À cela s'ajoute un autre facteur aggravant, à savoir le grand nombre d'acteurs concernés: des centaines de millions d'agriculteurs, de pêcheurs et de personnes tributaires des forêts, dont beaucoup ont un accès par trop restreint aux marchés, aux informations et aux services publics. Cette diversité requiert la mise en place de solutions différentes qui, bien souvent, doivent être entièrement adaptées à chaque contexte. Par conséquent, il est probable que la période d'ajustement des secteurs de l'agriculture soit plus longue que celle des autres secteurs et il faut s'attendre à une forte inertie du système dans son ensemble. Ce constat ne fait que renforcer l'urgence d'agir, maintenant.

La vulnérabilité de l'agriculture face au changement climatique n'a pas toujours reçu l'attention qu'elle mérite. Les évaluations des effets du changement climatique, établies principalement à l'aide de modèles économiques mondiaux, ont le plus souvent négligé les effets sur l'agriculture en raison du déclin de sa contribution, à l'échelle mondiale, au produit intérieur brut (PIB). Aujourd'hui, l'importance d'une action agricole en réponse au changement climatique est largement reconnue. Cette prise

de conscience se reflète de manière évidente dans les contributions prévues déterminées au niveau national qui avaient été présentées par les différents pays dans la perspective de la vingt et unième Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques organisée à Paris en 2015 (encadré 3). Ces contributions seront examinées plus en détail au chapitre 5.

En outre, on admet de plus en plus que l'agriculture a un rôle particulier à jouer dans les efforts d'atténuation du changement climatique. Les scénarios indiquent qu'on ne pourra maintenir l'élévation de la température mondiale sous la barre des 2 °C qu'en ramenant les émissions de gaz à effet de serre générées par les secteurs de l'énergie, de l'industrie et du transport à zéro, et en limitant celles produites par l'agriculture, l'utilisation des terres et le changement d'affectation des terres. Pour commencer, les secteurs de l'agriculture peuvent contribuer à l'atténuation en réduisant l'intensité de leurs émissions (ou la quantité d'émissions par unité produite) tout en jugulant la perte du carbone stocké principalement dans les forêts et les sols. Un tel effort peut s'accompagner d'actions visant à réduire les pertes et gaspillages alimentaires et à changer les modes de consommation alimentaire. Qui plus est, les secteurs de l'agriculture se distinguent par leur capacité de faire office de puits de carbone, en capturant le dioxyde de carbone et en le stockant dans la biomasse et les sols, grâce à la foresterie et à la remise en état des terres (voir le chapitre 4).

L'encadrement des actions dans le domaine de la lutte contre le changement climatique pose un défi majeur: il faut en effet veiller à ne pas mettre en péril la sécurité alimentaire ou les progrès réalisés dans la réduction de la pauvreté, surtout dans les pays où la faim et la pauvreté touchent encore et toujours une frange importante de la population. Cet enjeu est d'ailleurs énoncé dans le préambule de la CCNUCC, qui affirme que «les mesures prises pour parer aux changements climatiques doivent être étroitement coordonnées avec le développement social et économique afin

d'éviter toute incidence néfaste sur ce dernier, compte pleinement tenu des besoins prioritaires légitimes des pays en développement, à savoir une croissance économique durable et l'éradication de la pauvreté» (CCNUCC, 1992). De même, le préambule de l'Accord de Paris, conclu en décembre 2015, reconnaît «la priorité fondamentale consistant à protéger la sécurité alimentaire et à venir à bout de la faim, et la vulnérabilité particulière des systèmes de production alimentaire aux effets néfastes des changements climatiques» (CCNUCC, 2015).

L'agriculture intelligente face au climat

Les mesures à appliquer dans les différents pays pour contrer le changement climatique doivent être envisagées dans la perspective plus vaste du développement agricole durable, et elles refléteront les priorités propres à chaque pays dans ce domaine. Dans le cadre de son approche en matière d'alimentation et d'agriculture durables, la FAO reconnaît que les pays poursuivront plusieurs objectifs en lien avec les dimensions économique, sociale et environnementale de la durabilité, et qu'ils devront parvenir à des compromis entre les différents objectifs et entre les besoins à court et à long terme (encadré 4). Ces compromis varieront selon les pays en fonction de leur richesse en ressources naturelles, de leurs caractéristiques socioéconomiques, de leurs systèmes politiques et de leur stade de développement. Parallèlement, chaque pays aura des priorités différentes, adaptées à sa propre situation, dont il faudra tenir compte lors de l'élaboration des actions à lancer en réponse au changement climatique.

Dans une volonté de faciliter la gestion de l'agriculture dans une perspective de sécurité alimentaire en tenant compte de l'évolution du réchauffement climatique, la FAO a élaboré l'approche de l'«agriculture intelligente face au climat», qu'elle a présentée en 2010 à la Conférence de La Haye sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et les changements

climatiques (FAO, 2010). Les principes de cette approche sous-tendent et orientent de manière implicite le présent rapport ainsi que les mesures envisagées pour contrer les effets du changement climatique dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture.

L'approche de l'agriculture intelligente face au climat a trois objectifs: une croissance durable de la productivité agricole afin de favoriser une amélioration équitable des revenus, de la sécurité alimentaire et du développement; le renforcement des capacités d'adaptation et de la résilience face aux chocs à différents niveaux, de celui des exploitations agricoles jusqu'à celui des pays; et la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'augmentation du stockage du carbone là où cela est possible.

Compte tenu de la variation des conditions à l'échelle locale, un aspect essentiel de l'agriculture intelligente face au climat consiste à identifier les effets des stratégies d'intensification agricole sur la sécurité alimentaire, l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ce dernier dans un endroit donné. Cet exercice revêt une importance particulière pour les pays en développement, où la croissance agricole constitue généralement une priorité de premier plan. Bien souvent, mais pas systématiquement, les pratiques présentant des avantages importants du point de vue de l'adaptation et de la sécurité alimentaire sont aussi associées à une réduction des émissions de gaz à effet de serre et à une augmentation du stockage du carbone. Toutefois, la mise en œuvre de ces pratiques synergiques peut alourdir les coûts, en particulier au départ. C'est pour cette raison que les programmes pour l'agriculture intelligente face au climat comprennent un volet de renforcement des capacités pour aider les parties prenantes locales à mobiliser des ressources destinées à financer les investissements liés à l'agriculture et au climat. On ne suppose pas que chaque pratique mise en œuvre dans chaque lieu permettra, pourrait permettre ou même devrait permettre d'atteindre les trois objectifs susmentionnés; mais il convient de tenir compte de ces trois objectifs pour mettre au point des

ENCADRÉ 4

UNE VISION COMMUNE DE L'ALIMENTATION ET DE L'AGRICULTURE DURABLES

La vision commune de l'alimentation et de l'agriculture durables proposée par la FAO constitue un outil précieux en vue de la définition de mesures d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses effets. Dans le cadre de cette vision, les pratiques et technologies agricoles sont évaluées en fonction de leur degré d'adhésion à cinq principes clés devant guider la transition vers la durabilité à l'échelle mondiale:

- ▶ Accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles;
- ▶ Conserver, protéger et mettre en valeur les ressources naturelles;
- ▶ Améliorer et protéger les moyens d'existence ruraux et le bien-être social;

- ▶ Renforcer la résilience des personnes, des communautés et des écosystèmes;
- ▶ Promouvoir et améliorer la gouvernance.

Ces principes visent à favoriser une approche cohérente et uniforme de la transition vers une alimentation et une agriculture durables dans tous les secteurs et sous-secteurs agricoles. Une telle approche permet de créer des synergies tout en tenant compte des compromis à faire entre les dimensions sociale, économique et environnementale de la durabilité et à l'intérieur même de ces dimensions, mais également entre les différents secteurs, dans le temps et dans l'espace, dans le contexte d'un processus en constante évolution.

SOURCE: FAO, 2014.

solutions acceptables sur le plan local en phase avec les priorités locales ou nationales.

L'analyse réalisée dans le cadre du programme pour l'agriculture intelligente face au climat s'appuie tout d'abord sur les techniques et pratiques retenues par les pays dans le cadre de leur politique et de leur planification agricoles. Les informations sur les tendances récentes et à court terme concernant l'évolution du changement climatique sont utilisées pour évaluer le potentiel en matière de sécurité alimentaire et d'adaptation de ces technologies et pratiques, compte tenu du contexte local du changement climatique ainsi que pour déterminer les ajustements qui pourraient s'avérer nécessaires. Pour ce qui est de ces ajustements, il peut s'agir, par exemple: de modifier le calendrier des semis et plantations ou d'adopter des variétés résistantes à la chaleur et à la sécheresse; de mettre au point de

nouveaux cultivars; de modifier les choix de végétaux et d'animaux de l'exploitation; d'améliorer les pratiques de gestion des sols et de l'eau, y compris au moyen de pratiques agricoles de conservation; d'intégrer le recours aux prévisions climatiques dans le processus décisionnel relatif aux cultures; de développer l'irrigation; de diversifier les activités agricoles à l'échelle régionale; ou de se tourner vers des sources de revenus non agricoles (Asfaw *et al.*, 2014; Branca *et al.*, 2011; FAO, 2010; FAO, 2013).

Depuis l'introduction de l'agriculture intelligente face au climat, le soutien aux niveaux national et international en faveur de l'adoption de ce concept ne cesse de prendre de l'ampleur. Dans leurs contributions prévues déterminées au niveau national, plus de 30 pays, appartenant pour la plupart à l'Afrique subsaharienne, y font expressément référence (voir le chapitre 5). ■

STRUCTURE DU RAPPORT

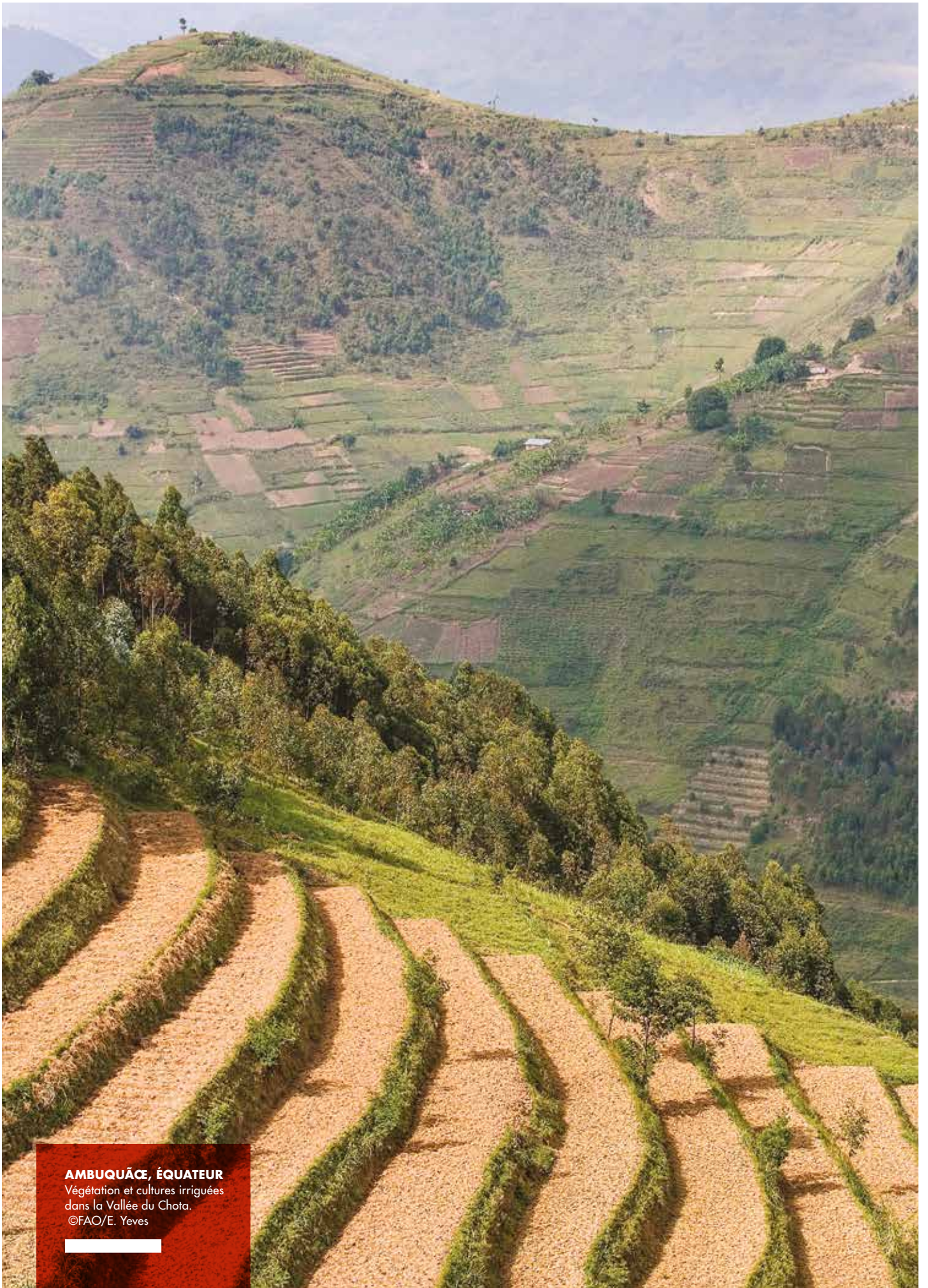
Cette année, le rapport sur *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture* analyse dans le détail les liens qui existent entre changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire, et il explique en quoi les secteurs de l'agriculture peuvent répondre efficacement au changement climatique tant du point de vue de l'adaptation que de l'atténuation. La filière alimentaire dans son ensemble, du producteur au consommateur, est à la fois touchée par le changement climatique, et facteur de changement climatique, parfois dans une plus large mesure que le secteur agricole primaire. Dans le présent rapport, cependant, on se concentrera essentiellement sur les secteurs de l'agriculture primaire: cultures, élevage, pêches et foresterie. Les chapitres suivants sont structurés comme suit:

Le **CHAPITRE 2** passe en revue les éléments empiriques attestant des incidences actuelles et futures du changement climatique sur les secteurs de l'agriculture, la sécurité alimentaire et la nutrition dans diverses régions du monde selon différents scénarios de réchauffement climatique. Il examine également en quoi et dans quelle mesure la production agricole et les systèmes alimentaires actuels contribuent au changement climatique.

Le **CHAPITRE 3** se penche sur le défi que constitue l'adaptation au changement climatique dans les petites exploitations familiales et dans les systèmes de production à petite échelle. Il propose des voies réalistes, pour les foyers d'agriculteurs et d'autres acteurs dépendant de tels systèmes, pour renforcer la résilience au moyen de stratégies d'adaptation et de diversification qui améliorent également les moyens d'existence et qui, partant, contribueront à mettre un point final à la faim et à la pauvreté rurale.

Le **CHAPITRE 4** examine comment les secteurs de l'agriculture peuvent réagir, face au changement climatique, et favoriser dans le même temps la sécurité alimentaire et la stabilisation du climat. Il s'agit essentiellement de réduire l'intensité des émissions provenant du secteur agricole et des systèmes alimentaires et d'optimiser les avantages tirés des efforts d'adaptation et d'atténuation, grâce à une meilleure gestion des cycles du carbone et de l'azote, une utilisation plus efficace des ressources, la conservation des paysages riches en carbone, des mesures visant à renforcer la résilience et, du point de vue de la demande, une réduction des pertes alimentaires et une amélioration des régimes alimentaires.

Le **CHAPITRE 5** aborde l'élaboration de politiques en faveur d'une réponse efficace des gouvernements et des acteurs du secteur agricole au changement climatique, et le **CHAPITRE 6** présente des moyens de tirer parti du financement de l'action climatique et, au sens large, du financement du développement, pour appuyer la réalisation des objectifs d'adaptation et d'atténuation en agriculture.



AMBUQUÃCE, ÉQUATEUR
Végétation et cultures irriguées
dans la Vallée du Chota.
©FAO/E. Yeves



CHAPITRE 2

COUP DE PROJECTEUR SUR LES LIENS QUI EXISTENT ENTRE LE CLIMAT, L'AGRICULTURE ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

SIEM REAP, CAMBODGE

Gestion participative des
ressources naturelles dans la
région de Tonle Sap.

©FAO/J. Thompson



**TEROKHADA,
BANGLADESH**

Les inondations intentionnelles des champs de riz peuvent augmenter leur productivité et réduire la vulnérabilité des agriculteurs à la sécheresse, aux inondations et aux raz-de-marée.

©FAO/M. Zaman



MESSAGES CLÉS

1 **D'ICI À 2030 ENVIRON, LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE DEVRAIT ENTRAÎNER À LA FOIS DES HAUSSES ET DES BAISES** de la productivité des cultures, de l'élevage, des pêches et des forêts, selon les endroits et les conditions.

2 **AU-DELÀ DE 2030, LES EFFETS NÉGATIFS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES** s'accroîtront dans toutes les régions.

3 **DANS LES PAYS TROPICAUX EN DÉVELOPPEMENT**, les incidences négatives pèsent déjà sur les moyens d'existence et la sécurité alimentaire des ménages et des communautés vulnérables.

4 Compte tenu de leur contribution non négligeable aux émissions de gaz à effet de serre, **L'AGRICULTURE ET L'EXPLOITATION DES TERRES ET DES FORÊTS** peuvent jouer un rôle considérable en matière d'atténuation.

COUP DE PROJECTEUR SUR LES LIENS QUI EXISTENT ENTRE LE CLIMAT, L'AGRICULTURE ET LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Le présent chapitre décrit en détail les liens qui existent entre le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire. Il met en lumière les effets biophysiques du changement climatique sur les différents secteurs agricoles et les effets socioéconomiques qui en découlent et influencent la sécurité alimentaire et la nutrition. En outre, il explique en quoi les émissions de gaz à effet de serre et les sources des secteurs de l'agriculture contribuent au changement climatique. Par conséquent, toutes les composantes du secteur agricole doivent à la fois s'adapter au changement climatique en renforçant la résilience et contribuer à atténuer ses effets. ■

DES EFFETS EN CASCADE SUR LES POPULATIONS

Le cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) confirme les principales conclusions de ses rapports antérieurs sur l'évolution du climat au niveau mondial, les changements attendus – hausse des températures, variabilité des pluies et événements météorologiques extrêmes – et les principaux effets biophysiques du réchauffement climatique, comme l'élévation du niveau de la mer, l'acidification des océans, la réduction de l'étendue des glaciers, la dégradation des écosystèmes, un risque accru d'incendies et la recrudescence de ravageurs. Tout en permettant de mieux comprendre les changements qui peuvent intervenir dans le régime des précipitations, le rapport s'appuie

sur les améliorations réalisées en matière de modélisation et de collecte de données pour proposer des projections à moyen terme plus fines. Du fait de ces évolutions, il est désormais possible d'imputer les effets en cascade du changement climatique à toute une chaîne d'éléments, allant du climat au sens physique jusqu'aux populations en passant par des systèmes intermédiaires (Kirtman *et al.*, 2014).

Le changement climatique influence en profondeur les conditions dans lesquelles se pratiquent les activités agricoles. Dans chaque région du monde, les végétaux, les animaux et les écosystèmes se sont adaptés aux conditions climatiques locales. L'évolution de ces conditions aura sur eux une incidence qu'il est difficile de prévoir précisément. Plusieurs études concernent les effets biophysiques que les changements attendus pourraient avoir sur les écosystèmes agricoles en particulier (encadré 5). Ces effets sont extrêmement divers: réduction des rendements, variabilité accrue des rendements, déplacement des cultures, appauvrissement de la biodiversité agricole et disparition de certains services écosystémiques. Les effets du changement climatique devraient être négatifs pour la plupart, ce qui n'exclut pas quelques exceptions. Tous les secteurs de l'agriculture – cultures, élevage, pêches et forêts – seront concernés, chacun à leur manière.

Le changement climatique a déjà des conséquences sur les secteurs de l'agriculture dans de nombreuses régions du monde, conséquences qui s'amplifieront dans les années et les décennies à venir. Un large faisceau d'éléments indique que les résultats négatifs prévaudront: nombre de systèmes agricoles deviendront de moins en moins productifs et certaines espèces animales et végétales

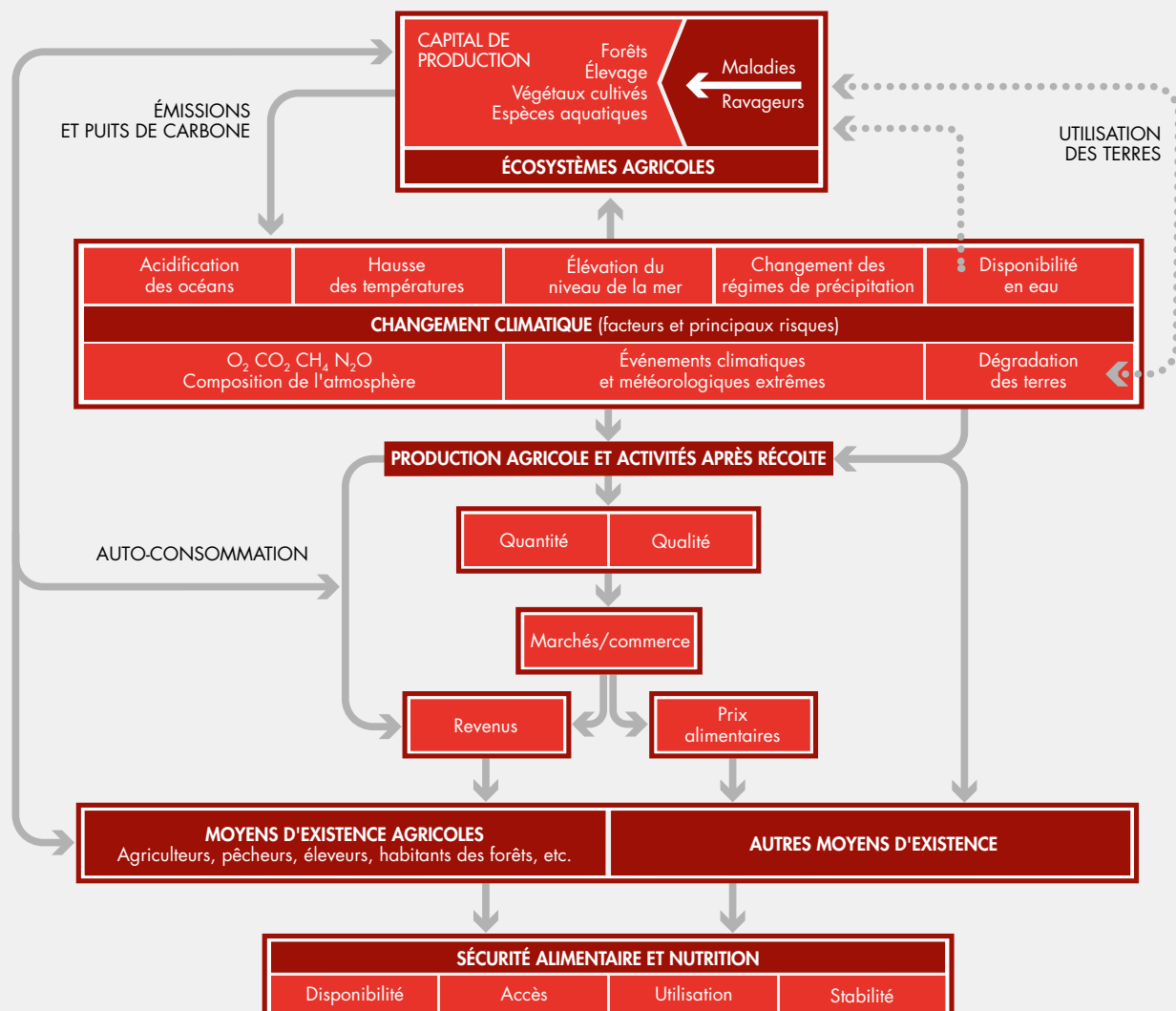
LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE, EN BREF

- ▶ Multiplication et intensification des événements climatiques extrêmes comme les vagues de chaleur, les sécheresses et les inondations, qui se traduiront par des pertes d'infrastructures et de moyens d'existence agricoles
- ▶ Diminution des ressources en eau douce, d'où une pénurie d'eau sur les terres arables
- ▶ Élévation du niveau de la mer et inondations côtières, d'où une salinisation des terres et des eaux et des risques pour la pêche et l'aquaculture
- ▶ Problèmes liés à l'eau, à l'hygiène alimentaire et à l'assainissement
- ▶ Évolution des débits hydriques ayant une incidence sur la pêche continentale et l'aquaculture
- ▶ Hausse des températures et pénurie d'eau ayant une incidence sur la physiologie et la productivité des végétaux et des animaux
- ▶ Effets bénéfiques sur la production végétale grâce à la «fertilisation» par le dioxyde de carbone
- ▶ Effets néfastes de l'augmentation de la quantité d'ozone troposphérique sur les rendements agricoles
- ▶ Changements des maladies et des ravageurs des végétaux, des animaux d'élevage et des poissons
- ▶ Dégâts sur les forêts, l'élevage, la pêche et l'aquaculture
- ▶ Acidification des océans, ayant pour effet l'extinction de certaines espèces de poissons

SOURCES: Adapté de Tirado *et al.* (2010) et mis à jour à partir de Porter *et al.* (2014), HLPE (2012) et GIEC (2014).

FIGURE 3

CHEMINEMENT DES IMPACTS: DU CHANGEMENT CLIMATIQUE À LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE



SOURCE: FAO.

disparaîtront. Ces changements auront des effets directs sur la production agricole, ce qui aura des incidences économiques et sociales et, à terme, des conséquences sur la sécurité alimentaire (figure 3). Les effets se répercuteront, par différentes voies, sur les quatre dimensions de la sécurité alimentaire: accès, disponibilité, utilisation et stabilité. À chaque étape de la chaîne de transmission, la gravité des effets dépendra à la fois du choc proprement dit et de la vulnérabilité du système ou du groupe de population soumis à ce stress (FAO, 2016a). ■

LES INCIDENCES SUR L'AGRICULTURE

Les incidences du changement climatique sur les différents secteurs de l'agriculture sont multiples et varient d'une région à l'autre (tableau 2). Le changement climatique accroît la variabilité des températures et des précipitations, limite le caractère prévisible des régimes climatiques saisonniers et augmente la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes comme les inondations, les cyclones et les ouragans, entre autres effets. Certaines régions devraient être exposées à des sécheresses prolongées et à des pénuries d'eau. La fonte massive des glaciers et de la couverture neigeuse dans les principales chaînes de montagnes, en particulier en Asie, influera sur le débit hydrique et la saisonnalité des flux d'eau, ce qui réduira à terme la disponibilité en eau d'irrigation en aval. La hausse des températures modifie la répartition géographique et l'incidence des foyers de ravageurs et des flambées épidémiques. Un réchauffement, même minime, diminuera les rendements dans les régions de basse latitude. En outre, la multiplication et l'intensification des événements météorologiques extrêmes, à l'instar de l'oscillation australe El Niño, auront une incidence de plus en plus marquée sur les régimes climatiques et la production alimentaire (encadré 6).

Les cultures

Les effets du changement climatique sur les rendements des principales cultures sont probablement la question relative à la sécurité alimentaire sur laquelle il existe le plus de travaux. Les effets observés ou prévus sur les rendements, étudiés depuis plus de 20 ans, font l'objet d'une documentation pléthorique depuis l'évaluation globale de Rosenzweig et Parry (1994), de l'incidence potentielle du changement climatique sur les disponibilités alimentaires mondiales et d'autres travaux importants, comme ceux de Parry, Rosenzweig et Livermore (2005), de Cline (2007), de la Banque mondiale (2010) et de Rosenzweig *et al.* (2014). Les études se limitant pour la plupart aux principaux végétaux cultivés, on en sait beaucoup moins au sujet des effets du changement climatique sur de nombreuses autres cultures néanmoins importantes.

Les conséquences de l'évolution climatique que l'on a pu observer sur la production agricole sont manifestes dans plusieurs régions du monde (Porter *et al.*, 2014), et sont plus souvent négatives que positives. Des éléments indiquent que le changement climatique a d'ores et déjà une incidence néfaste sur les rendements du blé et du maïs. Selon des estimations fréquemment citées pour la période 1980-2008, les rendements du blé sont inférieurs de 5,5 pour cent et ceux du maïs de 3,8 pour cent au niveau auquel ils se seraient établis si le climat était demeuré stable (Lobell, Schlenker et Costa-Roberts, 2011).

Il est extrêmement difficile de prédire avec précision les incidences futures du changement climatique sur les rendements agricoles car ils dépendront de nombreux paramètres: des éléments physiques, comme la température, le régime des pluies et la fertilisation par le CO₂; l'évolution des écosystèmes agricoles (liée notamment à la disparition de pollinisateurs et à l'incidence accrue de foyers de ravageurs et de maladies); et les mesures d'adaptation des systèmes humains. En général, on connaît bien les conséquences des changements de température jusqu'aux niveaux optimaux pour le développement végétatif mais beaucoup moins au-delà de ces seuils. Des résultats récents ont

confirmé les effets préjudiciables d'un taux élevé d'ozone troposphérique sur les rendements, les pertes en 2000 étant estimées à 8,5-14 pour cent pour le soja, 3,9-15 pour cent pour le blé et 2,2-5,5 pour cent pour le maïs (Porter *et al.*, 2014). Le changement climatique pourrait avoir aussi plusieurs incidences sur le fonctionnement des écosystèmes – l'équilibre entre les cultures et les ravageurs, et les effets sur les pollinisateurs, par exemple – mais elles sont difficiles à évaluer et les modèles utilisés pour réaliser des projections concernant les rendements agricoles n'en tiennent généralement pas compte.

Dans certaines limites, le changement climatique pourrait avoir à la fois des effets positifs et des effets négatifs sur les cultures. En effet, la hausse des températures et du taux de gaz carbonique dans l'atmosphère peuvent être utiles à certains végétaux dans certains endroits. Les rendements du blé et du soja, par exemple, pourraient croître du fait de l'augmentation de la concentration en CO₂ dans les conditions de température optimale. Cependant, bien que les projections concernant les rendements futurs varient en fonction du scénario, du modèle et de l'échelle de temps utilisés, elles s'accordent sur le principal axe du changement: les rendements devraient souffrir davantage dans les régions tropicales que sous de plus hautes latitudes et les conséquences devraient être plus marquées du fait du réchauffement (Porter *et al.*, 2014).

Il est important de noter que le cinquième rapport d'évaluation du GIEC fournit de nouveaux éléments indiquant que les rendements agricoles devraient baisser dans des régions déjà touchées par l'insécurité alimentaire. Il présente des estimations concernant l'évolution des rendements agricoles que le changement climatique devrait provoquer au cours du XXI^e siècle (figure 4). Les données utilisées incluent les résultats de 91 études ayant abouti à 1 722 estimations réalisées par Challinor *et al.*, 2014. Il existe des disparités importantes entre les études sur plusieurs points: période de référence, cultures visées, modèles cultureux et climatiques et niveaux d'émission. Certaines études, mais pas toutes, portent également sur les effets des mesures d'adaptation. L'échelle et la couverture

géographique varient aussi: certaines estimations concernent des localités, tandis que d'autres correspondent à des chiffres nationaux, régionaux ou mondiaux.

En dépit de l'hétérogénéité des études, les projections à long terme suggèrent clairement que les résultats négatifs prévaudront. À moyen terme, c'est à dire jusqu'en 2030 environ, les effets positifs et négatifs sur les rendements pourraient s'équilibrer au niveau mondial. Après cette date, cependant, les effets négatifs devraient devenir prédominants à mesure que le changement climatique s'accélérera. Les données montrent également que les incidences prévues du changement climatique sur les rendements du maïs, du blé et du riz dans la deuxième moitié du XXI^e siècle seront plus souvent négatives dans les régions tropicales que dans les zones tempérées. Cependant, les rendements agricoles pourraient aussi reculer dans de nombreuses régions tempérées (Porter *et al.*, 2014 et Challinor *et al.*, 2014).

Une analyse plus approfondie des mêmes données, réalisée par la FAO aux fins du présent rapport, révèle que la situation des pays en développement est bien différente de celle des pays développés. Dans le cas des pays en développement, la plupart des estimations concernant les effets sur les rendements agricoles sont négatives, la part des incidences négatives augmentant encore lorsque les projections portent sur un avenir plus lointain (figure 5). Dans les pays développés, en revanche, la part des changements positifs devrait être bien plus importante (figure 6)².

Continue à la page 32 »

2 Les ensembles de données analysés contiennent davantage d'estimations sur les pays en développement que sur les pays développés. Pour ce qui est des régions en développement, les pays d'Afrique subsaharienne sont ceux pour lesquels on dispose du plus grand nombre d'estimations; viennent ensuite ceux d'Asie de l'Est et du Pacifique, puis ceux d'Asie du Sud. Enfin, les estimations intéressant l'Amérique latine et les Caraïbes, l'Afrique du Nord et l'Asie de l'Ouest représentent une part plus faible. S'agissant des cultures, la majorité des estimations concernent les rendements du maïs et du blé, suivis de ceux du riz et du soja. Pour la plupart des groupes de pays, on dispose de très peu de projections ayant trait à la période 2090-2109: cinq pour des pays développés et 16 pour des pays en développement; toutes les projections portant sur des pays en développement concernent l'Afrique subsaharienne et tout porte à croire que la baisse des rendements agricoles dépassera 10 pour cent. Toutefois, ces chiffres découlent de deux études seulement.

TABLEAU 2

QUELQUES EFFETS POSSIBLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE, PAR RÉGION



AMÉRIQUE DU NORD



AMÉRIQUE LATINE ET CARAÏBES



EUROPE

CULTURES ET ÉLEVAGE

- ▶ Les rendements des principales cultures diminuent modérément d'ici à 2050 mais plus brutalement entre 2050 et 2100
- ▶ Le climat est favorable à la production de fruits dans la région des Grands Lacs, tandis que le stress lié à la chaleur tardive met à mal le rendement du soja aux États-Unis d'Amérique
- ▶ La baisse des précipitations limite les disponibilités en eau alors que la demande aux fins de l'irrigation augmente
- ▶ Le stress lié à la chaleur et la moindre qualité du fourrage réduisent la production laitière et le gain de poids des bovins

- ▶ Dans les zones tempérées, la productivité du soja, du blé et des pâturages augmente
- ▶ La sécheresse accrue des sols et le stress lié à la chaleur réduisent la productivité dans les zones tropicales et subtropicales
- ▶ La salinisation et la désertification s'aggravent dans les zones arides du Brésil et du Chili
- ▶ Dans les zones semi-arides, l'agriculture pluviale voit les pertes de récoltes s'accroître

- ▶ Les zones tempérées et polaires tirent parti des changements
- ▶ Dans les pays de latitude moyenne, les avantages initiaux prennent une tournure négative avec la hausse des températures
- ▶ La variabilité de la production de blé imputable au climat s'exacerbe en Europe du Sud et en Europe centrale
- ▶ Les températures élevées et le fort taux d'humidité accroissent le risque de mortalité du bétail

PÊCHE ET AQUACULTURE

- ▶ De nombreuses espèces d'eau chaude ou tempérée se déplacent vers des latitudes plus élevées
- ▶ L'eau douce de l'Arctique connaît le réchauffement le plus marqué et les effets les plus négatifs
- ▶ La hausse de la température aquatique et la moindre qualité de l'eau accroissent les risques de maladie pour les cétacés de l'Atlantique Nord et les récifs coralliens tropicaux

- ▶ La production primaire baisse dans le Pacifique tropical et certaines espèces migrent vers le sud
- ▶ Les tempêtes, les ouragans et les cyclones, plus fréquents, mettent à mal l'aquaculture et la pêche dans les Caraïbes
- ▶ Changement de physiologie des espèces de poisson d'eau douce; effondrement de systèmes de récifs coralliens

- ▶ Le réchauffement contraint certaines populations de poissons à migrer vers le nord ou à vivre en eaux plus profondes
- ▶ Des espèces tropicales envahissantes altèrent les écosystèmes côtiers dans les mers semi-fermées d'Europe du Sud
- ▶ L'élévation du niveau de la mer, l'acidification et la hausse des températures ont une incidence sur l'aquaculture

FORESTIERIE

- ▶ Les dommages causés par les ravageurs des pinèdes augmentent du fait de la hausse des températures printanières
- ▶ La hausse des températures estivales accroît de 30 pour cent le risque d'incendie de forêt
- ▶ Les hivers plus doux favorisent la prolifération de scolytes, responsable de la disparition d'espaces forestiers

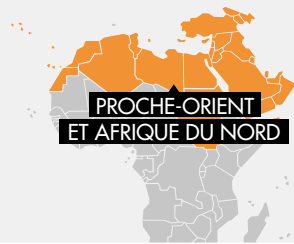
- ▶ L'évolution des disponibilités en eau et la fertilisation par le CO₂ ont davantage de répercussions sur les forêts tropicales que les changements de température
- ▶ En Amazonie, les risques d'incendie de forêt, de perte forestière et de «savanisation» augmentent
- ▶ En Amérique centrale, 40 pour cent des espèces de mangrove sont menacées d'extinction

- ▶ En Europe du Nord et dans la zone Atlantique, la hausse des températures et du taux de CO₂ dans l'atmosphère stimule l'accroissement forestier et la production de bois
- ▶ Les arbustes remplacent progressivement les arbres en Europe du Sud
- ▶ La multiplication des incendies de forêt entraîne une augmentation considérable des émissions de gaz à effet de serre

SOURCE: D'après GIEC (2007, 2014) et FAO (2011, 2016c).



**AFRIQUE
SUBSAHARIENNE**



**PROCHE-ORIENT
ET AFRIQUE DU NORD**



ASIE



Océanie

- ▶ Globalement, les effets sur les rendements des céréales, en particulier du maïs, sont négatifs dans l'ensemble de la région
 - ▶ L'intervalle entre les années extrêmement sèches ou humides se réduit
 - ▶ L'Afrique australe est en grande partie sèche mais la pluviométrie augmente en Afrique de l'Est et de l'Ouest
 - ▶ Dans le Sahel, la dégradation des parcours et la sécheresse réduisent la productivité en fourrage
- ▶ La hausse des températures menace la production de blé en Afrique du Nord et les rendements du maïs dans l'ensemble de la région
 - ▶ Baisse généralisée des disponibilités en eau, malgré une légère augmentation au Soudan, en Somalie et dans le sud de l'Égypte
 - ▶ Sous les latitudes moyennes, la hausse des températures enrichit les pâturages et accroît la production animale
 - ▶ Des températures hivernales plus douces constituent un avantage pour l'élevage mais le stress lié à la chaleur estivale a des effets négatifs
- ▶ Les zones agricoles se décalent vers le nord à mesure que les disponibilités en eau douce diminuent en Asie du Sud, de l'Est et du Sud-Est
 - ▶ La hausse des températures pendant les périodes de croissance essentielles entraîne une diminution des rendements du riz sur une grande partie du continent
 - ▶ La demande en eau d'irrigation connaît une hausse significative dans les zones arides et semi-arides
 - ▶ Le stress lié à la chaleur limite le développement des cheptels
- ▶ En Nouvelle-Zélande, les rendements du blé augmentent légèrement mais la production animale recule vers les années 2030
 - ▶ En Australie, la dégradation des sols, la pénurie d'eau et les adventices réduisent la productivité des pâturages
 - ▶ Dans les îles du Pacifique, les agriculteurs doivent faire face à des sécheresses plus longues mais aussi à des précipitations plus fortes
 - ▶ La hausse des températures accroît les besoins en eau pour la culture de la canne à sucre

- ▶ L'élévation du niveau de la mer menace les zones côtières, en particulier en Afrique de l'Ouest
 - ▶ À l'horizon 2050, le recul de la production halieutique en Afrique de l'Ouest fera disparaître 50 pour cent des emplois dans le secteur
 - ▶ En Afrique de l'Est, le réchauffement, le déficit en oxygène, l'acidification et les agents pathogènes ont des répercussions sur la pêche et l'aquaculture
 - ▶ Les changements survenant dans les zones côtières et les deltas (mort de récifs coralliens, par exemple) ont une incidence sur la productivité
- ▶ Dans de nombreux bassins hydrographiques de Méditerranée et du Proche-Orient, les ressources en eau exploitables continuent de diminuer
 - ▶ Le réchauffement stimule la productivité en mer d'Oman
 - ▶ Le potentiel de capture diminue de 50 pour cent dans certaines zones de la Méditerranée et de la mer Rouge
- ▶ Les inondations côtières ont de graves répercussions sur la pêche de capture et l'aquaculture dans les grands deltas
 - ▶ Diminution généralisée de la production de la pêche côtière et risque accru d'événements extrêmes dans les systèmes aquatiques
 - ▶ Redistribution de la pêche de capture maritime, dont les prises diminuent en zone tropicale
 - ▶ L'aquaculture d'eau douce est confrontée à un risque important de pénurie d'eau
 - ▶ À l'horizon 2050, le poids des poissons marins chute de 24 pour cent
- ▶ L'évolution de la température de l'eau et des courants marins élargit l'aire de répartition pour certaines espèces pélagiques mais la réduit pour d'autres
 - ▶ L'évolution de la température et les modifications hydrochimiques ont une forte incidence sur la pêche et l'aquaculture
 - ▶ La diminution des éléments nutritifs réduit les populations de krill sur la côte est de l'Australie
 - ▶ Les petits États insulaires, très exposés et extrêmement dépendants de la pêche, sont les plus durement touchés

- ▶ La déforestation, la dégradation et les incendies concernent la plupart des forêts
 - ▶ La perte forestière appauvrit la faune et la flore sauvages et limite l'exploitation de la viande de brousse et d'autres produits forestiers non ligneux
 - ▶ La pénurie d'eau a davantage de répercussions sur l'accroissement forestier que la hausse des températures
- ▶ L'épuisement de l'humidité du sol réduit la productivité des principales espèces forestières, favorise les incendies de forêt et modifie l'activité des ravageurs et les tendances des maladies
 - ▶ Au Proche-Orient, la baisse de la pluviométrie en été entraîne de graves pénuries d'eau qui influent sur l'accroissement forestier
- ▶ La végétation alpine des forêts boréales et du plateau tibétain migre vers le nord
 - ▶ De nombreuses espèces forestières risquent de s'éteindre sous l'effet conjugué du changement climatique et de la fragmentation des habitats
 - ▶ Augmentation généralisée de la fréquence et de l'ampleur des incendies de forêt et des risques liés aux espèces envahissantes, aux ravageurs et aux maladies
- ▶ L'augmentation de la productivité due à la fertilisation par le CO₂ est contrebalancée par les effets de la hausse des températures et de la baisse de la pluviométrie
 - ▶ Dans le Pacifique, les événements météorologiques extrêmes endommagent les mangroves

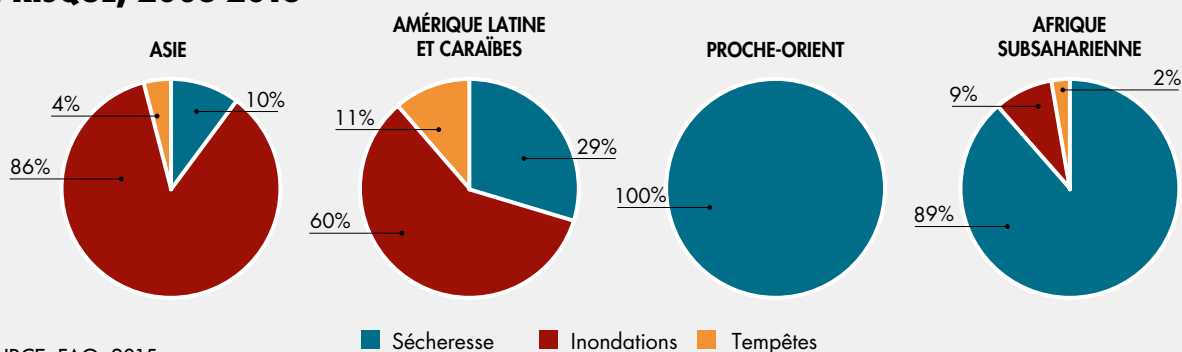
LES EFFETS DES ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES

L'oscillation australe El Niño correspond à une hausse de la température de surface dans l'océan Pacifique tropical, qui se produit généralement tous les deux à sept ans et dure entre six et 24 mois. Elle peut provoquer notamment une augmentation de la pluviométrie, des cyclones tropicaux, des sécheresses, des incendies de forêt, des inondations et d'autres événements météorologiques extrêmes dans le monde entier. L'épisode en cours est parmi les plus marqués et les plus étendus des 100 dernières années. Il porte préjudice à la production végétale et animale et aux moyens d'existence agricole sur l'ensemble de la

planète, et menace la sécurité alimentaire et la nutrition de 60 millions de personnes (FAO, 2016b).

Les événements météorologiques extrêmes revêtent une importance particulière dans le secteur agricole. Selon une étude de la FAO, quelque 25 pour cent des conséquences économiques des catastrophes d'origine climatique survenues dans des pays en développement entre 2003 et 2013 se sont manifestées dans le secteur agricole; ce chiffre atteint 84 pour cent si l'on considère uniquement la sécheresse (FAO, 2015). La nature du danger varie considérablement d'une région à l'autre (voir la figure).

PERTES ENREGISTRÉES DANS LA PRODUCTION VÉGÉTALE ET ANIMALE À LA SUITE D'UNE CATASTROPHE CLIMATIQUE DE MOYENNE À GRANDE AMPLIEUR, PAR CATÉGORIE DE RISQUE, 2003-2013

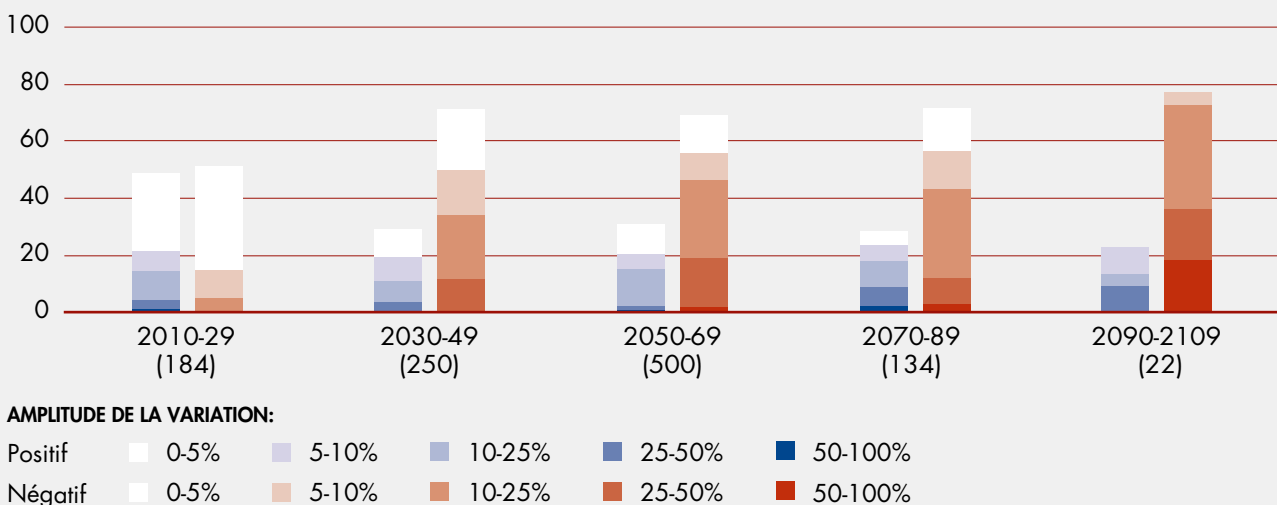


SOURCE: FAO, 2015.

FIGURE 4

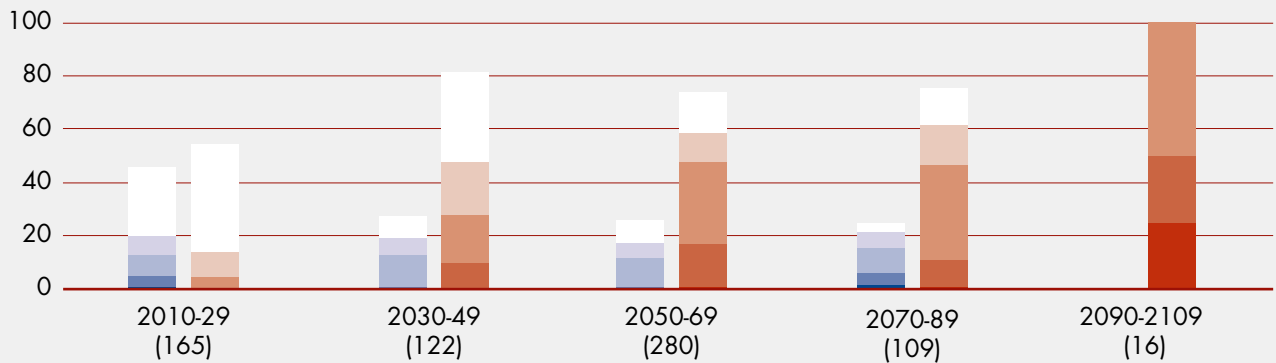
ÉVOLUTION PRÉVUE DES RENDEMENTS AGRICOLES DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE TOUTES LOCALISATIONS CONFONDUES DANS LE MONDE

POURCENTAGE DE PROJECTIONS RELATIVES AUX RENDEMENTS (n = 1 090)



Remarque: Le nombre de changements estimés est indiqué entre parenthèses.

SOURCES: Les données sont celles utilisées par Porter *et al.* (2014) et Challinor *et al.* (2014). Voir le tableau A.1 figurant en annexe pour de plus amples informations. Une version actualisée des données est disponible dans le cadre du CGIAR, du Programme de recherche sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire (CGIAR) et l'Université de Leeds (2016).

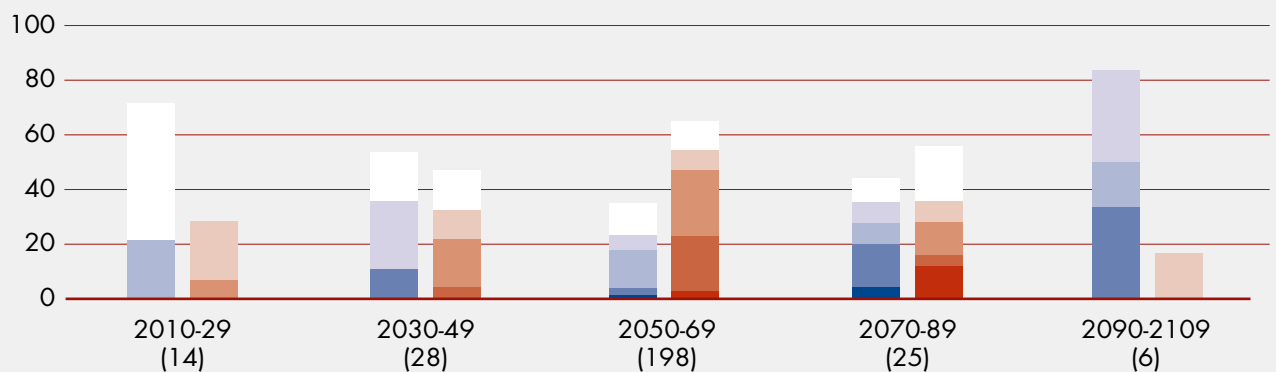
FIGURE 5**ÉVOLUTION PRÉVUE DES RENDEMENTS AGRICOLES DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES RÉGIONS EN DÉVELOPPEMENT**POURCENTAGE DE PROJECTIONS RELATIVES AUX RENDEMENTS ($n = 692$)

AMPLITUDE DE LA VARIATION:

Positif 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%
 Négatif 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%

Remarques: Le nombre de changements estimés est indiqué entre parenthèses. Tient compte de toutes les observations réalisées dans des pays en développement d'Afrique, d'Amérique latine, d'Océanie et d'Asie, à l'exception de l'Asie centrale. Voir le tableau A.1 figurant en annexe pour de plus amples informations.

SOURCES: Voir la figure 4.

FIGURE 6**ÉVOLUTION PRÉVUE DES RENDEMENTS AGRICOLES DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES RÉGIONS DÉVELOPPÉES**POURCENTAGE DE PROJECTIONS RELATIVES AUX RENDEMENTS ($n = 271$)

AMPLITUDE DE LA VARIATION DES RENDEMENTS:

Positif 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%
 Négatif 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%

Remarques: Le nombre de changements estimés est indiqué entre parenthèses. Tient compte de toutes les observations réalisées dans les régions développées, notamment l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Australasie. Voir le tableau A.1 figurant en annexe pour de plus amples informations.

SOURCES: Voir la figure 4.

» Commence à la page 27

D'autres estimations concernant les effets du changement climatique sur les rendements agricoles découlent de l'étude consolidée qui a été menée récemment dans le cadre du Projet d'intercomparaison et d'amélioration des modèles de simulation de cultures (AgMIP) et du Projet intersectoriel d'intercomparaison des modèles de simulation d'impact. Tous deux suggèrent que les effets à long terme seront considérables, comparé à un scénario sans changement climatique, en l'absence de mesures d'atténuation du changement climatique³. Dans le cas où les émissions demeureraient élevées, d'ici à 2100, les effets du changement climatique sur les rendements agricoles devraient atteindre -20 à -45 pour cent pour le maïs, -5 à -50 pour cent pour le blé, -20 à -30 pour cent pour le riz et -30 à -60 pour cent pour le soja (Rosenzweig *et al.*, 2013). Cependant, si l'on retient l'hypothèse d'une fertilisation optimale par le dioxyde de carbone, les impacts sont moins élevés: -10 à -35 pour cent pour le maïs, +5 à -15 pour cent pour le blé, -5 à -20 pour cent pour le riz et 0 à -30 pour cent pour le soja. Si l'on tient compte explicitement des facteurs limitant l'accès à l'azote, la fertilisation par le dioxyde de carbone profite moins aux cultures et les effets négatifs du changement climatique s'en trouvent amplifiés (Müller et Elliott, 2015).

L'élevage

Le changement climatique a de multiples effets, directs et indirects, sur la production animale (tableau 2). Les conséquences les plus significatives concernent la productivité, la santé animale et la biodiversité, ainsi que la qualité et la quantité des aliments pour animaux disponibles et la capacité de charge des pâturages. La variabilité accrue des précipitations

entraîne des pénuries d'eau potable, augmente l'incidence des foyers de ravageurs et de maladies touchant les animaux d'élevage et modifie leur répartition et leur diffusion. Elle a aussi une influence sur l'éventail d'espèces composant les pâturages, le rendement des pâturages et la qualité du fourrage.

Une hausse des températures peut provoquer un stress chez les animaux, ce qui s'accompagne de divers effets négatifs: diminution de la consommation alimentaire des animaux et de la productivité, baisse du taux de reproduction et hausse du taux de mortalité. En outre, le stress lié à la chaleur réduit la résistance des animaux aux agents pathogènes, aux parasites et à leurs vecteurs (Thornton *et al.*, 2009; Niang *et al.*, 2014). De multiples facteurs de stress affectent considérablement la production, la reproduction et l'état immunitaire des animaux.

Des recherches effectuées en Inde ont montré que la conjonction de plusieurs facteurs de stress liés au climat – chaleur excessive et apport nutritionnel plus faible, par exemple – avait une forte influence sur les mécanismes biologiques de résistance du mouton (Sejian *et al.*, 2012).

Les conséquences de la hausse des températures sur les unités de production intensive de bovins, de porcs et de volaille peuvent être amoindries grâce à la régulation climatique (Thornton *et al.*, 2009), à condition que l'infrastructure et les conditions énergétiques le permettent. Sur les parcours extensifs d'Afrique australe, en revanche, la baisse de la pluviométrie attendue devrait aggraver la pénurie d'eau et, au Botswana, accroître le coût d'utilisation des pompes de forage de 23 pour cent à l'horizon 2050.

Au Proche-Orient, la baisse de qualité du fourrage, l'érosion des sols et la pénurie d'eau seront très probablement accentuées sur les parcours semi-arides (Turrall, Burke et Faurès, 2011).

Les effets du changement climatique sur la santé animale ont aussi été étudiés, en particulier pour ce qui est des maladies à transmission vectorielle, la hausse des températures permettant aux vecteurs et aux agents pathogènes de mieux résister à la saison froide. En Europe, il est probable que le réchauffement climatique stimule

³ Le Projet d'intercomparaison et d'amélioration des modèles de simulation de cultures est un cadre qui met en lien le climat, les cultures, l'élevage et l'économie. Il fournit des analyses à différentes échelles, du champ jusqu'à la région, et propose des simulations fondées sur des essais guidés de sensibilité climatique et des scénarios de changement climatique. Les protocoles du projet ont permis de réduire le degré d'incertitude et d'expliquer la disparité des résultats de modélisation et des projections concernant les effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire.

l'activité des tiques du mouton et accroisse le risque de maladies transmises par les tiques en automne et en hiver (Gray *et al.*, 2009). En Afrique de l'Est, l'augmentation de la pluviométrie et la multiplication des inondations imputables à l'oscillation australe El Niño provoquent des épidémies de fièvre de la vallée du Rift (Lancelot, de La Rocque et Chevalier, 2008; Rosenthal, 2009; Porter *et al.*, 2014).

Les pêches et l'aquaculture

Le changement et la variabilité climatiques et les événements météorologiques extrêmes menacent également la durabilité de la pêche de capture et de l'aquaculture en milieu marin ou en eau douce (tableau 2). Dans les régions tropicales moins développées et pauvres au plan économique, la pêche artisanale est particulièrement vulnérable aux effets du changement climatique (Porter *et al.*, 2014). Les systèmes de pêche et d'aquaculture pâtiront probablement d'effets plus forts, notamment de la température de l'eau, du déficit en oxygène, de l'élévation du niveau de la mer, de la diminution du pH et des changements intervenant dans les schémas de productivité.

Plusieurs espèces de poisson ont déjà entamé une migration vers les pôles. Les modèles fondés sur la prévision des changements relatifs aux conditions environnementales, aux types d'habitat et à la production primaire de phytoplancton prévoient une redistribution à grande échelle du potentiel de prise de la pêche de capture au niveau mondial: on devrait observer une augmentation moyenne de 30 à 70 pour cent sous les hautes latitudes et une chute de 40 pour cent sous les tropiques (Cheung *et al.*, 2010). La production de la pêche et de l'aquaculture continentales est menacée par l'évolution du régime des précipitations et de la gestion des eaux, l'accentuation du stress subi par les ressources en eau douce, ainsi que la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes (Brander, 2007; Porter *et al.*, 2014).

Les récifs coralliens, qui accueillent une espèce marine sur quatre, seront soumis à un risque accru du fait des pressions conjuguées de la hausse des températures et de l'acidification

des océans. Les fluctuations de la température de surface de la mer ont provoqué un blanchissement massif et une forte mortalité des coraux autour des îles Phoenix (Kiribati) en 2002-2003, d'où la disparition de quelque 60 pour cent de la couverture corallienne (Alling *et al.*, 2007; Obura et Mangubhai, 2011). En octobre 2015, l'Administration nationale des océans et de l'atmosphère (États-Unis d'Amérique) a déclaré la survenue d'un troisième épisode mondial de décoloration des coraux, les deux premiers s'étant produits en 1998 et 2010. Ces chocs mondiaux, imputables au changement climatique et associés à des phénomènes comme El Niño, constituent la menace la plus importante et la plus généralisée qui pèse sur les récifs coralliens du monde (Administration nationale des océans et de l'atmosphère, 2015).

Les forêts

Le changement et la variabilité climatiques compromettent la fourniture de divers biens et services environnementaux essentiels par les forêts (tableau 2): approvisionnement fiable en eau propre, protection contre les glissements de terrain, l'érosion et la dégradation des terres, habitats ou amélioration des habitats d'animaux aquatiques ou terrestres, produits ligneux et non ligneux destinés à l'usage domestique ou à la vente et création d'emplois.

Selon des études récentes, la hausse des températures et les changements relatifs au régime des précipitations accroissent la mortalité des arbres dans un large éventail de systèmes forestiers du fait du stress lié à la chaleur, des sécheresses et de l'apparition de foyers de ravageurs (Allen *et al.*, 2010). Dans de nombreuses forêts boréales, la productivité en biomasse a baissé en raison, semble-t-il, de la sécheresse causée par le réchauffement (Williams *et al.*, 2013).

Le réchauffement et l'assèchement, associés à la diminution de la productivité, à la perturbation par les insectes et à la mortalité des arbres qui en découle, favorisent les perturbations causées par le feu (Settele *et al.*, 2014).

Dans les forêts tempérées, on a constaté une augmentation globale de l'accroissement jusqu'à une période récente. Cette tendance s'expliquait par la conjonction de plusieurs facteurs: allongement de la période de croissance, élévation du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et dépôt d'azote, et gestion des forêts (Ciais *et al.*, 2008). Les modèles prédisent que, pour la plupart des espèces arborescentes, la fenêtre climatique se décalera vers de plus hautes latitudes et des altitudes plus élevées, ce à un rythme plus rapide que celui de la migration naturelle.

S'agissant des forêts tropicales, la principale incertitude concerne les effets directs du dioxyde de carbone sur la photosynthèse et la transpiration. Les forêts tropicales humides abritent de nombreuses espèces vulnérables à la mortalité par la sécheresse et les incendies. En outre, des éléments indiquent que, dans de nombreuses forêts, y compris en Amazonie, la fréquence et la gravité des incendies augmentent sous l'effet conjugué du changement d'affectation des terres et de la sécheresse. En raison du changement climatique, de la déforestation, du morcellement, des incendies et des pressions liées aux activités humaines, presque toutes les forêts tropicales sèches risquent d'être dégradées voire remplacées (Miles *et al.*, 2006). En Asie du Sud-Est, la variabilité accrue des incendies de forêt d'une année sur l'autre du fait des sécheresses causées par El Niño augmente les risques sanitaires, aggrave la perte de biodiversité et limite la fourniture de services écosystémiques (Marlier *et al.*, 2013). ■

LES INCIDENCES SUR LES REVENUS ET LES MOYENS D'EXISTENCE

Les effets du changement climatique sur la production et la productivité des différents secteurs agricoles se traduiront de façon essentiellement négative aux plans économique et social et influenceront les quatre dimensions de la sécurité

alimentaire. Le changement climatique est susceptible de faire baisser les revenus à la fois au niveau des ménages et à l'échelle nationale. Étant donné que des centaines de millions de ruraux pauvres en situation d'insécurité alimentaire sont fortement tributaires de l'agriculture, les conséquences possibles sur les revenus agricoles – qui peuvent se répercuter à l'ensemble de l'économie dans les pays à faible revenu extrêmement dépendants de l'agriculture – constituent un sujet de préoccupation central. En accentuant la pauvreté, le changement climatique aurait de graves répercussions sur la sécurité alimentaire.

Beaucoup d'incertitudes demeurent quant à l'évolution future du changement climatique, à ses effets réels et aux mesures permettant d'y remédier. Les conséquences du point de vue de l'environnement et de la société découleront donc non seulement de la réaction du système terrestre aux changements de la composition atmosphérique mais aussi des forces à l'origine de ces évolutions et des réponses apportées par les humains (modification des technologies, de l'économie et des modes de vie, notamment).

Pour évaluer les effets du changement climatique sur l'agriculture, il est nécessaire de s'appuyer sur des modèles intégrés qui associent le climat, les cultures et les aspects économiques de façon à tenir compte de la réaction du secteur à l'évolution des conditions, y compris les décisions de gestion, les choix d'affectation des terres, le commerce et les cours internationaux, ainsi que l'attitude des consommateurs. C'est pourquoi les acteurs de la recherche climatique ont élaboré, au cours des 20 dernières années, des ensembles de scénarios décrivant des perspectives plausibles et représentant nombre des principaux déterminants qui permettent d'étayer les politiques en matière de changement climatique.

Plusieurs de ces scénarios ont servi à analyser les effets du changement climatique sur les écosystèmes agricoles, les différentes composantes du secteur agricole, les tendances socioéconomiques et, en dernier lieu, la sécurité alimentaire. Afin que l'analyse du climat futur et de ses effets soit plus précise et plus cohérente, le GIEC a adopté, dans son cinquième rapport d'évaluation, des profils »

PROJECTIONS RELATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE: RCP ET SSP

Aux fins de son cinquième rapport d'évaluation, le GIEC a adopté des profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP); ceux-ci correspondent à quatre hypothèses décrivant la trajectoire que la concentration des gaz à effet de serre est susceptible de suivre au cours du XXI^e siècle (Moss *et al.*, 2008). Les RCP couvrent un large éventail de changements qui pourraient découler des émissions de gaz à effet de serre imputables aux activités humaines* :

RCP 2.6 – pic entre 2010 et 2020, puis baisse sensible.

RCP 4.5 – pic vers 2040, puis baisse.

RCP 6.0 – pic vers 2080, puis baisse.

RCP 8.5 – augmentation tout au long du XXI^e siècle.

Le profil RCP 2.6 est en accord avec l'objectif qui consiste à limiter le réchauffement climatique en dessous du seuil de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels. Les scénarios qui ne prévoient pas d'efforts supplémentaires de restriction des émissions correspondent aux profils RCP 6.0 et RCP 8.5.

Les profils communs d'évolution socioéconomique (SSP) décrivent différentes hypothèses plausibles d'évolution future de la société et des écosystèmes au cours du XXI^e siècle. Ils sont utilisés parallèlement aux RCP pour analyser la rétroaction entre le changement climatique et certains facteurs comme l'accroissement de la population mondiale, le développement économique et le progrès technologique. Ils se fondent sur des scénarios décrivant des évolutions possibles qui posent différents problèmes en matière d'adaptation et d'atténuation (O'Neill *et al.*, 2014; Van der Mensbrugge, 2015):

SSP1: Durabilité. Le développement durable suit un rythme rapide, les inégalités se réduisent et la technologie progresse vite, dans le respect de l'environnement (utilisation accrue de sources d'énergie bas carbone et productivité élevée des terres, notamment).

SSP2: Statu quo (ou trajectoire médiane).

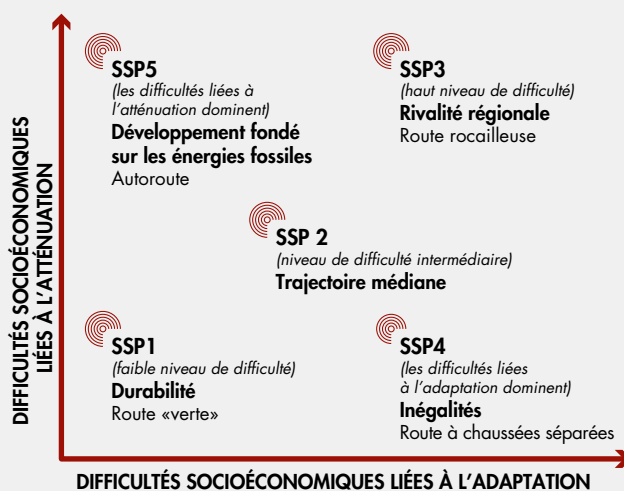
La population atteint un pic en 2070, la croissance du PIB est modérée, les inégalités se réduisent à un rythme régulier et la part des pays d'Afrique subsaharienne et d'Asie du Sud dans le PIB mondial augmente considérablement.

SSP3: Rivalité régionale. Accroissement démographique rapide, croissance économique modérée et progrès technologique lent dans le secteur énergétique. De fortes inégalités entraînent une réduction des flux commerciaux, de nombreuses régions du monde se trouvant ainsi vulnérables et peu à même de s'adapter.

SSP4: Inégalités. Le développement rapide des technologies énergétiques bas carbone dans les principales régions émettrices de gaz à effet de serre permet aux pays concernés de disposer de capacités d'atténuation relativement importantes mais, dans d'autres régions, le développement est lent, les inégalités sont marquées et les capacités d'adaptation sont limitées.

SSP5: Développement fondé sur les énergies fossiles. Forte croissance du PIB fondée sur des technologies énergétiques traditionnelles, qui maintiennent un niveau d'émissions élevé. Cependant, la croissance étant relativement équitable, le monde est mieux à même de s'adapter aux effets du changement climatique.

LES CINQ PROFILS COMMUNS D'ÉVOLUTION SOCIOÉCONOMIQUE



Remarque: SSP = profil commun d'évolution socioéconomique. SOURCE: O'Neill *et al.* (2015).

* La dénomination choisie pour chaque RCP est fonction de la valeur possible du forçage radiatif pour l'année 2100, qui correspond à la variation par rapport à l'époque préindustrielle: +2,6, +4,5, +6,0 et +8,5 watts par mètre carré (W/m²). Le forçage radiatif est la différence entre l'énergie solaire absorbée par la Terre et l'énergie réverbérée dans l'espace.

» représentatifs d'évolution de concentration (RCP), qui correspondent à des hypothèses climatiques fondées sur le volume annuel des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial. Par ailleurs, le GIEC a contribué à accélérer l'établissement de profils communs d'évolution socioéconomique (SSP), qui décrivent différentes hypothèses d'évolution future du développement. Utilisés parallèlement aux RCP, les SSP permettent d'analyser la rétroaction entre le changement climatique et les facteurs socioéconomiques (encadré 7).

Nelson *et al.* (2014a) ont établi un protocole commun afin de pouvoir comparer les résultats de neuf modèles relatifs au climat, aux cultures et aux aspects économiques en utilisant le scénario RCP 8.5 (augmentation des émissions annuelles de gaz à effet de serre au niveau mondial tout au long du XXI^e siècle), sans tenir compte de la fertilisation par le dioxyde de carbone. Les auteurs ont comparé les effets du choc exogène lié au changement climatique sur les rendements de quatre agrégats de cultures (céréales secondaires, graines oléagineuses, blé et riz), qui couvrent 70 pour cent de la superficie récoltée mondiale. L'effet biophysique de ce choc sur les rendements sera une chute de 17 pour cent en moyenne. Les modèles économiques permettent de répercuter l'effet du choc sur les variables-réactions. Les producteurs réagissent à la hausse des prix découlant du choc à la fois en intensifiant les pratiques de gestion, d'où une évolution finale des rendements de -11 pour cent en moyenne, et en augmentant la superficie cultivée de 11 pour cent en moyenne.

En combinant la baisse du rendement et l'augmentation de la superficie, on obtient une diminution de la production de 2 pour cent seulement. La consommation baisse légèrement (3 pour cent en moyenne). En ce qui concerne la part des échanges commerciaux, les changements observés dans les différentes régions s'équilibrent mais la part du commerce mondial dans la production mondiale croît de 1 pour cent en moyenne. Les prix moyens à la production connaissent une augmentation de 20 pour cent. Les réactions suivent la même direction quel que soit le modèle utilisé. En revanche, leur ampleur varie considérablement en fonction des modèles, des cultures et des régions. Bien que la baisse

moyenne de la consommation soit relativement modérée, la hausse des prix découlant de l'absence d'élasticité de la demande mondiale est susceptible de faire augmenter fortement les dépenses alimentaires des plus pauvres.

Une étude de la Banque mondiale comparant le scénario le plus pessimiste et le scénario le plus optimiste avec un scénario sans changement climatique (Hallegate *et al.*, 2015) a confirmé le rôle central de l'agriculture dans les moyens d'existence de la majorité des ménages pauvres du monde et la vulnérabilité particulière de cette catégorie de population face au changement climatique. Si le changement climatique avait un fort impact, que la population connaissait un accroissement rapide et que la croissance économique stagnait, 122 millions de personnes supplémentaires vivraient dans l'extrême pauvreté d'ici à 2030 (tableau 3). Dans l'hypothèse où le changement climatique aurait le même niveau d'impact mais où l'accès aux services de base serait universel, les inégalités seraient réduites et l'extrême pauvreté toucherait moins de 3 pour cent de la population mondiale; il n'y aurait ainsi que 16 millions de pauvres en plus (Rozenberg et Hallegate, 2015). Dans le pire scénario, ce serait en Afrique et en Asie du Sud que le nombre de pauvres augmenterait principalement (43 millions et 62 millions de plus, respectivement). La baisse des revenus dans le secteur agricole explique pourquoi ce sont ces régions qui contribueront le plus à l'augmentation de la pauvreté imputable au changement climatique. En effet, l'Afrique et l'Inde, où vivent une grande partie des habitants de la planète touchés par la pauvreté, connaissent la baisse la plus drastique de la production alimentaire et la hausse la plus marquée des prix alimentaires. Les autres facteurs qui contribuent à aggraver la pauvreté sont, par ordre d'importance, les conséquences sanitaires et les effets de la hausse des températures sur la productivité de la main d'œuvre.

Les études menées récemment par la FAO sur l'adaptation au changement climatique dans les systèmes agricoles à petite échelle en Afrique subsaharienne mettent en évidence les conséquences des périodes sèches, de l'arrivée tardive de la saison des pluies et des températures »

TABLEAU 3

NOMBRE DE PERSONNES VIVANT DANS L'EXTRÊME PAUVRETÉ EN 2030, AVEC ET SANS CHANGEMENT CLIMATIQUE, DANS DIFFÉRENTS SCÉNARIOS CLIMATIQUES ET SOCIOÉCONOMIQUES

Scénario socioéconomique		Scénario de changement climatique			
		Pas de changement climatique	Faible incidence		Forte incidence
		Nombre de personnes vivant dans l'extrême pauvreté	Nombre de personnes supplémentaires vivant dans l'extrême pauvreté du fait du changement climatique		
Prospérité	142 millions	+3 millions		+16 millions	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
		+3 millions	+6 millions	+16 millions	+25 millions
		+35 millions		+122 millions	
Pauvreté	900 millions	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
		-25 millions	+97 millions	+33 millions	+165 millions
		+35 millions		+122 millions	
		+3 millions		+16 millions	

Notes: Les principaux résultats s'appuient sur les deux scénarios représentatifs de la prospérité et de la pauvreté. Les fourchettes ont été établies à partir de 60 scénarios possibles pour chaque catégorie. Les notions de RCP et de SSP sont expliquées dans l'encadré 7.

SOURCE: Adapté de Rozenberg et Hallegatte (2015).

TABLEAU 4

ÉVOLUTION DES REVENUS AGRICOLES DÉCOULANT DE LA HAUSSE DES TEMPÉRATURES, DANS CERTAINS PAYS D'AMÉRIQUE LATINE

Pays ou région	Référence	Hausse des températures	Évolution des revenus
		(en degrés Celsius)	(en %)
Argentine	Lozanoff et Cap (2006)	entre 2,0 et 3,0	entre -20 et -50
Brésil	Sanghi et Mendelsohn (2008)	entre 1,0 et 3,5	entre -1,3 et -38,5
Mexique	Mendelsohn, Arellano et Christensen (2010)	entre 2,3 et 5,1	entre -42,6 et -54,1
			-20, -38 et -64 (petites exploitations)
Amérique du Sud	Seo et Mendelsohn (2007)	1,9, 3,3 et 5	-8, -28 et -42 (grandes exploitations)
	Seo et Mendelsohn (2008)	1,9, 3,3 et 5 d'ici à 2020	entre 2,3 et -14,8
		1,9, 3,3 et 5 d'ici à 2060	entre -8,6 et -23,5
		1,9, 3,3 et 5 d'ici à 2100	entre -8,4 et -53
			entre 17 et -36 (irrigation privée)
Seo (2011)	1,2, 2,0 et 2,6	entre -12 et -25 (irrigation publique)	
		entre -17 et -29 (culture pluviale)	

SOURCE: Adapté de Bárcena *et al.* (2014).

» élevées sur les revenus au niveau de l'exploitation⁴. Dans tous les cas, les chocs climatiques ont réduit considérablement la productivité ou la valeur des récoltes, ce qui, par voie de conséquence, a limité l'accès aux aliments. Les chocs rognent le capital physique lorsque des moyens de production sont détruits – en cas de mort du bétail, par exemple – ou lorsque des agriculteurs sont contraints de vendre leur capital de production (bovins, par exemple) pour absorber le choc de revenu. Ils réduisent aussi les capacités d'investissement des agriculteurs, ce qui a une incidence négative sur la sécurité alimentaire future.

Bárcena *et al.* (2014) ont synthétisé les résultats d'une série d'études concernant les effets attendus du changement climatique sur les revenus agricoles en Amérique du Sud. Malgré les grandes disparités observées selon les modèles et les scénarios, les effets attendus sont généralement négatifs dans un grand nombre de régions. Le **tableau 4** fournit des résultats concernant quelques pays d'Amérique du Sud, ainsi que des chiffres relatifs à l'ensemble de la région.

Au niveau national, la baisse de la production imputable au changement climatique peut entraîner une hausse des prix des denrées alimentaires et des aliments pour animaux, ce qui a des conséquences négatives sur la situation socioéconomique et la sécurité alimentaire de l'ensemble de la population. Ces effets revêtent une importance particulière dans les pays où les ménages consacrent une grande partie de leur budget à l'alimentation. Ils peuvent s'accompagner de graves conséquences macroéconomiques lorsque l'agriculture apporte une grande contribution au PIB et/ou à l'emploi au niveau national.

Lam *et al.* (2012) ont modélisé les répercussions économiques et sociales des modifications imputables au changement climatique en ce qui concerne la disponibilité des espèces pêchées en mer dans 14 pays d'Afrique de l'Ouest à l'horizon 2050. En s'appuyant sur le scénario A1B

figurant dans le rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émissions, ils prévoient une baisse de 21 pour cent de la valeur des poissons débarqués et une perte annuelle totale de 311 millions d'USD par rapport à 2000, ainsi que la disparition de près de 50 pour cent des emplois liés à la pêche, les pays les plus durement touchés étant la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Libéria, le Nigéria, la Sierra Leone et le Togo.

La plupart des projections relatives aux effets du changement climatique sur les prix des denrées alimentaires suggèrent une hausse, dont l'ampleur et la répartition géographique varient toutefois considérablement selon le modèle et le scénario climatique choisis. Une étude associant des hypothèses d'accroissement démographique et de croissance des revenus à des scénarios de changement climatique a permis de mettre en évidence les effets possibles de 15 combinaisons différentes. En choisissant un scénario optimiste (faible accroissement démographique et forte croissance des revenus) et en s'appuyant sur les résultats moyens de quatre scénarios de changement climatique, les chercheurs ont ainsi pu établir des hausses de prix moyennes pour la période 2010-2050: 87 pour cent pour le maïs, 31 pour cent pour le riz et 44 pour cent pour le blé (Nelson *et al.*, 2010). L'un des autres effets possibles du changement climatique est la volatilité des prix des denrées alimentaires (Porter *et al.*, 2014), bien que l'ampleur de celle-ci soit déterminée en grande partie par les politiques nationales, comme les interdictions d'exporter et d'autres mesures de restriction du commerce qui accentuent les fluctuations des cours sur les marchés internationaux.

Le développement des échanges commerciaux devrait apporter une contribution importante en ce qu'il permettra de s'adapter à l'évolution des systèmes de production agricole et alimentaire que le changement climatique induira (Nelson *et al.*, 2010; Chomo et De Young, 2015). Dans le cadre de leur étude sur le rôle adaptatif du commerce, Valenzuela et Anderson (2011) ont montré que le changement climatique pouvait faire baisser le taux d'autosuffisance alimentaire des pays en développement d'environ 12 pour cent d'ici à 2050. Bien que le commerce puisse participer à l'adaptation au changement climatique

⁴ Voir pour l'Éthiopie: Asfaw, Coromaldi et Lipper (2015a, b); pour le Niger: Asfaw, DiBattista et Lipper (2015); pour le Malawi: Asfaw, Maggio et Lipper (2015); pour la République-Unie de Tanzanie: Arslan, Belotti et Lipper (2016); et pour la Zambie: Arslan *et al.* (2015).

et à la transformation des systèmes de production internationaux, les marchés mondiaux ne seront accessibles, à terme, qu'aux pays et aux segments de population disposant d'un pouvoir d'achat suffisant. Une croissance économique inclusive est donc un préalable indispensable à une sécurité alimentaire pérenne.

Par ailleurs, le changement climatique est aussi susceptible de modifier les modèles d'investissement, ce qui pourrait réduire à long terme la productivité et la résilience des systèmes agricoles aux niveaux des ménages et des pays. L'incertitude décourage les investissements dans la production agricole, ce qui peut annuler les avantages découlant d'une hausse des prix du point de vue des producteurs. Ce constat se vérifie tout particulièrement dans le cas des petits exploitants pauvres, qui n'ont qu'un accès limité – quand ils en ont un – au crédit et à l'assurance. En l'absence de marchés de l'assurance performants, une plus grande exposition au risque peut avoir plusieurs conséquences: les agriculteurs mettent davantage l'accent sur des cultures de subsistance à bas risque et à rentabilité faible; ils sont moins susceptibles d'utiliser des intrants qu'ils doivent acheter, comme les engrais et d'adopter de nouvelles technologies; les investissements sont moindres (Antle et Crissman, 1990; Dercon et Christiaensen, 2011; Fafchamps, 1992; Feder, Just et Zilberman, 1985; Heltberg et Tarp, 2002; Kassie *et al.*, 2008; Roe et Graham-Tomasi, 1986; Sadoulet et de Janvry, 1995; Skees, Hazell et Miranda, 1999). Toutes ces réactions entraînent généralement une diminution des bénéfices actuels et futurs des exploitations (Hurley, 2010; Rosenzweig et Binswanger, 1993). ■

DES MILLIONS DE PERSONNES SUPPLÉMENTAIRES EXPOSÉES À LA FAIM

Bien que le changement climatique constitue partout une menace concrète du point de vue de la sécurité alimentaire future, ses effets possibles

seront différents selon la région, le pays et le lieu et toucheront divers groupes de population selon leur vulnérabilité. Par ailleurs, les tendances futures en matière de sécurité alimentaire seront influencées par les conditions socioéconomiques globales, qui exacerberont elles aussi la vulnérabilité des pays et des populations du monde entier.

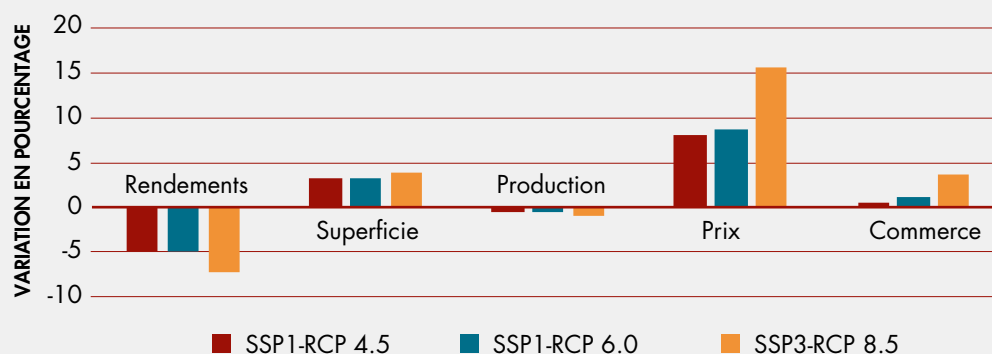
Dans son quatrième rapport d'évaluation, le GIEC a estimé que, selon le scénario de changement climatique et la trajectoire de développement socioéconomique qui se concrétiseront, entre 34 millions et 600 millions de personnes supplémentaires pourraient souffrir de la faim à l'horizon 2080 (Yohe *et al.*, 2007; Parry, Rosenzweig et Livermore, 2005). Selon les projections réalisées par Arnell *et al.* (2001), en l'absence de changement climatique, 312 millions de personnes dans le monde seraient exposées au risque de souffrir de la faim dans les années 2050 et 300 millions dans les années 2080.

Dans l'hypothèse où le changement climatique ne ferait pas l'objet de mesures d'atténuation, les chiffres pourraient atteindre 321 millions et 391 millions, respectivement. Parmi les régions en développement, l'Asie du Sud et l'Afrique seraient les plus exposées à un risque accru de voir leur population souffrir de la faim du fait du changement climatique. La fourchette d'estimation du nombre de personnes susceptibles de souffrir de la faim en raison du changement climatique, très large, témoigne des incertitudes concernant certains processus, tant biophysiques que socioéconomiques; toutefois, les chiffres indiquent que les effets ne devraient pas être sous-estimés.

Lorsque l'on analyse les effets que le changement climatique pourrait avoir sur la sécurité alimentaire future, il est important d'avoir à l'esprit que d'autres facteurs de transformation, comme l'accroissement démographique et la croissance des revenus, auront aussi une influence sur l'alimentation et l'agriculture. C'est ce qu'illustre une analyse des effets du changement climatique basée sur 15 scénarios, qui sont le fruit de la combinaison de trois scénarios de développement économique et de cinq scénarios de changement climatique. En effet, l'étude a montré que, jusqu'en 2050, la croissance économique aura bien plus d'influence

FIGURE 7

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES, LA SUPERFICIE CULTIVÉE, LA PRODUCTION, LES PRIX ET LE COMMERCE AU NIVEAU MONDIAL À L'HORIZON 2050



Remarques: Les cultures concernées sont les céréales secondaires, le maïs, le riz, le blé, les graines oléagineuses et le sucre. Les notions de RCP et de SSP sont expliquées dans l'encadré 7.

SOURCE: Wiebe *et al.*, 2015.

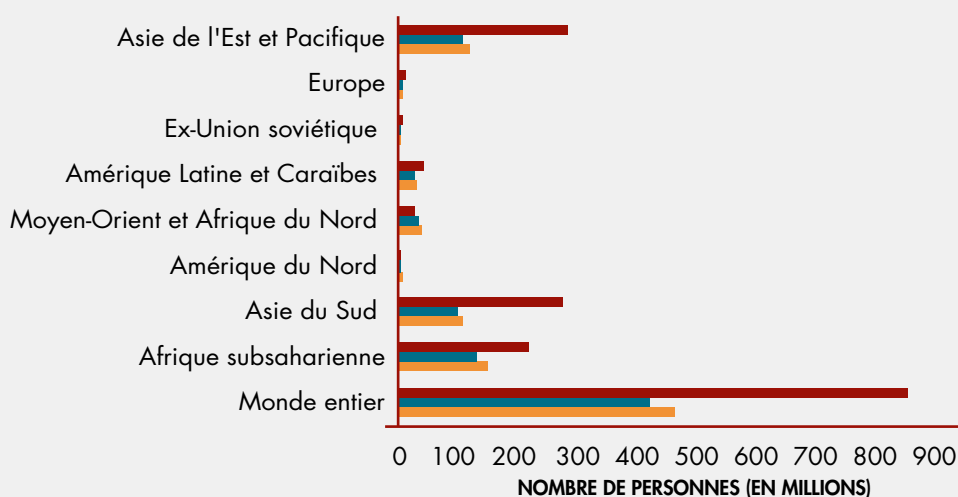
FIGURE 8

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES POPULATIONS RISQUANT DE SOUFFRIR DE LA FAIM EN 2050, PAR RÉGION

- 2010
- 2050-sans CC
- 2050-avec CC

Remarques: Résultats du modèle IMPACT pour SSP2 et RCP 8.5. Les notions de RCP et de SSP sont expliquées dans l'encadré 7. Le nombre de personnes risquant de souffrir de la faim est estimé en fonction du rapport entre les disponibilités énergétiques alimentaires et les besoins énergétiques.

SOURCE: Wiebe *et al.*, 2015.

**FIGURE 9**

POPULATION RISQUANT DE SOUFFRIR DE LA FAIM, AVEC ET SANS CHANGEMENT CLIMATIQUE

Remarques: Les RCP 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 définissent l'amplitude du changement climatique; les résultats de simulation supposent un profil socioéconomique médian (SSP2). Les notions de RCP et de SSP sont expliquées dans l'encadré 7.

SOURCE: Simulations fondées sur le modèle IMPACT de l'IFPRI, tel que cité dans De Pinto, Thomas et Wiebe (2016).

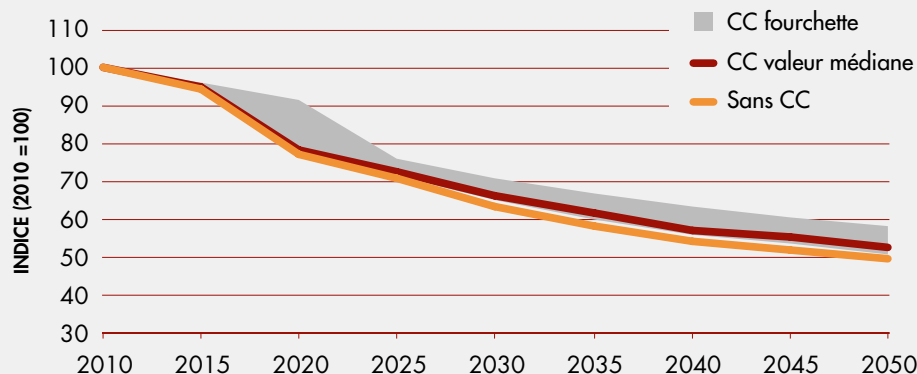
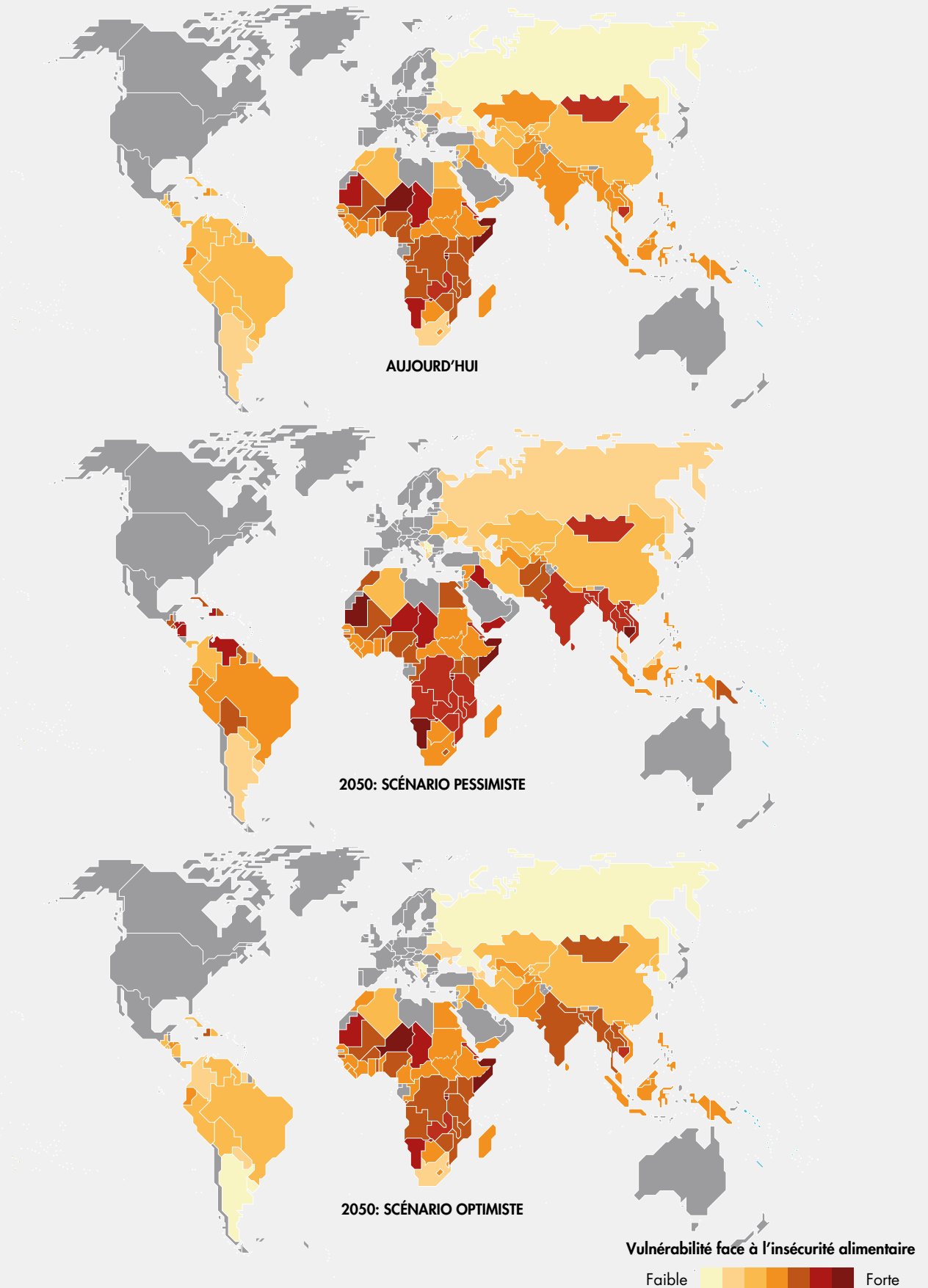


FIGURE 10

**INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET VULNÉRABILITÉ FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE:
AUJOURD'HUI, SCÉNARIO PESSIMISTE ET SCÉNARIO OPTIMISTE**



SOURCE: Met Office Hadley Centre et PAM, 2015.

» Commence à la page 39

sur la sécurité alimentaire mondiale que le changement climatique, qui accentuera néanmoins les incidences négatives (Nelson *et al.*, 2009).

L'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI) et plusieurs autres groupes travaillant sur les modèles économiques globaux, qui collaborent dans le cadre du Projet d'intercomparaison et d'amélioration des modèles de simulation de cultures et s'appuient sur les travaux antérieurs de Nelson *et al.* (2014b), ont expérimenté plusieurs combinaisons de RCP et de SSP afin d'étudier les effets possibles du changement climatique – associés à d'autres changements socioéconomiques – sur la production, les rendements, les superficies exploitées, les prix et le commerce pour les principales cultures (Wiebe *et al.*, 2015).

Les résultats obtenus montrent qu'à l'horizon 2050 – par rapport à une situation exempte de changement climatique – les rendements agricoles moyens à l'échelon mondial diminueront de 5 à 7 pour cent, selon les hypothèses relatives aux évolutions socioéconomiques et au changement climatique, tandis que la superficie récoltée augmentera de quelque 4 pour cent (figure 7). Les effets du changement climatique sur la production totale seront relativement modérés. Cependant, la superficie récoltée et les prix alimentaires augmenteront à un rythme environ deux fois supérieur à celui attendu en l'absence de changement climatique, ce qui pourrait avoir des conséquences non négligeables du point de vue à la fois de l'environnement et de la sécurité alimentaire.

Les effets varieront selon le végétal cultivé, la région et le rythme du changement climatique. La baisse des rendements sera moindre dans les régions de hautes latitudes, qui pourront même tirer parti de l'allongement de la période de croissance. Elle sera en revanche plus marquée sous les basses latitudes. Les rendements du maïs diminuent dans la plupart des régions et des scénarios, tandis que les conséquences sur le blé sont modérées au niveau mondial, étant donné que les pertes enregistrées en Asie du Sud et en

Afrique subsaharienne sont compensées par les hausses constatées ailleurs (voir la figure 1).

Dans une analyse connexe, l'IFPRI a établi qu'en l'absence de changement climatique, le nombre de personnes exposées au risque de souffrir de la faim baisserait dans la plupart des régions entre 2010 et 2050. Toutefois, le changement climatique annulera en partie ces gains. Les résultats obtenus grâce au modèle IMPACT de l'IFPRI pour le scénario à fortes émissions (RCP 8.5) indiquent que, à l'horizon 2050, la sous-alimentation risque de concerner 40 millions de personnes de plus qu'en l'absence de changement climatique. Bien que la hausse imputable au changement climatique soit inférieure à la réduction du nombre de personnes sous-alimentées dans le monde que l'on prévoit d'atteindre grâce à la croissance économique et au développement, le chiffre n'en demeure pas moins considérable. En outre, il s'agit probablement d'une estimation prudente car elle se fonde sur l'hypothèse SSP2 («statu quo»), qui comporte une croissance économique, et ne tient pas compte des effets des événements extrêmes, de l'élévation du niveau de la mer, de la fonte des glaciers, des changements en matière de ravageurs et de maladies ni d'autres facteurs que le climat devrait modifier, en particulier après 2050.

Dans le cadre du scénario RCP 8.5, le plus gros du ralentissement attendu en matière de réduction du nombre de personnes risquant de souffrir de la faim concerne l'Afrique subsaharienne (figure 8), où la perte serait concentrée pour deux raisons: dans d'autres régions, une partie de la production est réalisée sous de hautes latitudes et la population est moins tributaire de l'agriculture du point de vue des revenus et de la sécurité alimentaire.

Cependant, il convient de rappeler que le changement climatique n'est pas le seul facteur qui détermine les évolutions futures de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire. La figure 9 indique de quelle manière le changement climatique devrait influencer sur le risque mondial d'exposition à la faim au fil du temps, pour divers effets du changement climatique et avec un scénario socioéconomique SSP2 (trajectoire médiane). La tendance à la

»

baisse du nombre de personnes sous-alimentées, aussi bien en l'absence qu'en présence du changement climatique, indique que l'incidence globale du changement climatique jusqu'en 2050 sera inférieure à celle des autres facteurs pris en compte dans le scénario socioéconomique, en particulier la croissance des revenus. En l'absence de changement climatique, la plupart des régions devraient voir diminuer le nombre de personnes risquant de souffrir de la faim. Ces améliorations sont en partie annulées par le changement climatique, en particulier en Afrique subsaharienne.

En Afrique subsaharienne, ainsi que dans certaines parties de l'Asie du Sud, la vulnérabilité des populations face à l'insécurité alimentaire découlant du changement climatique ressort également des projections du Programme alimentaire mondial (PAM) et du Met Office Hadley Centre (Royaume-Uni). Les travaux conjoints de ces deux organismes s'appuient sur les méthodes utilisées par Krishnamurthy, Lewis et Choularton (2014), la vulnérabilité étant définie par un indice composite fondé sur la mesure de l'exposition au risque, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation. Des projections concernant le niveau de vulnérabilité futur ont été réalisées pour deux périodes: 2050 et 2080. Trois scénarios de changement climatique ont été envisagés: faibles émissions (RCP 2.6), émissions moyennes (RCP 4.5) et fortes émissions (RCP 8.5). Pour chaque scénario, 12 modèles climatiques différents ont été appliqués et le résultat médian a donné la valeur des indicateurs relatifs aux sécheresses et aux inondations. En matière d'adaptation, plusieurs scénarios ont été pris en considération: aucune adaptation, faible degré d'adaptation et haut degré d'adaptation.

La **figure 10** illustre la vulnérabilité aujourd'hui et en 2050 dans deux scénarios différents: un scénario pessimiste (RCP 8.5, fortes émissions et aucune adaptation) et un scénario optimiste (RCP 2.6, faibles émissions et haut degré d'adaptation). C'est en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud et du Sud-Est que la vulnérabilité est la plus grande. Dans ces régions, des millions de personnes risquent d'être exposées davantage

à l'insécurité alimentaire du fait du changement climatique dans les années 2050. L'accentuation de la vulnérabilité est extrêmement marquée dans le scénario pessimiste. Dans le scénario optimiste, en revanche, la vulnérabilité se trouve fortement réduite et, pour certains pays, elle est même inférieure à son niveau actuel. ■

LE RÔLE DES SECTEURS DE L'AGRICULTURE DANS LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Selon les estimations de la FAO (**tableau 5**), les émissions découlant des secteurs de l'agriculture, des forêts et des autres utilisations des terres (AFAUT) s'établissaient à 10,6 gigatonnes en équivalent dioxyde de carbone en 2014.

Le secteur agricole émet trois types de gaz à effet de serre liés aux activités humaines: le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O). Les principales sources d'émissions sont la déforestation, la fermentation entérique des animaux d'élevage, les déjections animales laissées dans les champs, les engrais chimiques et la riziculture. La déforestation et la dégradation des sols ont amoindri la capacité du secteur d'absorber (ou de séquestrer) le dioxyde de carbone de l'atmosphère. Le dioxyde de carbone et le méthane représentent respectivement 49 et 30 pour cent des émissions imputables à l'AFAUT, soit 14 pour cent de toutes les émissions de dioxyde de carbone dues aux activités humaines et 42 pour cent des émissions totales de méthane. L'oxyde nitreux n'a qu'une faible part dans les émissions totales découlant de l'AFAUT mais l'agriculture compte pour 75 pour cent des émissions mondiales de ce gaz.

L'agriculture est responsable de la majorité des émissions de l'AFAUT, devant la conversion nette des terrains forestiers. Depuis les années 1990, les émissions découlant de la conversion des forêts ont diminué tandis que les émissions agricoles ont augmenté (**figure 11**). En revanche, les émissions

TABLEAU 5

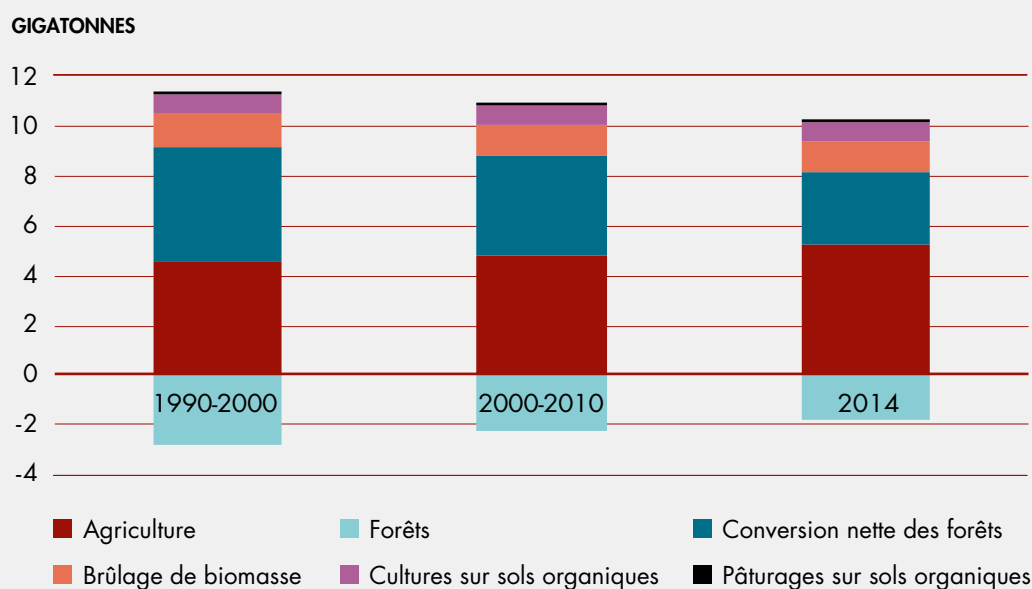
ÉMISSIONS DES PRINCIPAUX GAZ À EFFET DE SERRE PAR TOUS LES SECTEURS ET PAR L'AGRICULTURE, LA FORESTERIE ET LES AUTRES UTILISATIONS DES TERRES (AFAUT), ET PUIXS DE CARBONE EN 2010

	Tous les secteurs	AFAUT	AFAUT		Part de l'AFAUT dans les émissions totales	Part de chaque gaz dans le total des émissions de l'AFAUT
			Agriculture	Foresterie et autres utilisations des terres		
		Gigatonnes d'équivalent CO ₂			Pour cent	
Émissions						
Dioxyde de carbone (CO ₂)	38,0	5,2		5,2	13,6	48,7
Méthane (CH ₄)	7,5	3,2	2,9	0,3	42,3	29,7
Oxyde nitreux (N ₂ O)	3,1	2,3	2,2	0,1	75,0	21,6
Autres	0,8				0	0
Émissions totales	49,4	10,6	5,1	5,5	21,5	100
Puits de carbone						
Dioxyde de carbone (CO ₂)		-2,6		-2,6		

SOURCE: FAO, à paraître.

FIGURE 11

ÉMISSIONS ANNUELLES NETTES (DÉDUCTION FAITE DE LA DIFFÉRENCE DES PUIXS) IMPUTABLES À L'AFAUT EN ÉQUIVALENT CO₂



Remarque: Les définitions sont indiquées dans les notes sur les tableaux figurant en annexe.

SOURCE: FAO, 2016d. Voir le tableau A.2 figurant en annexe pour de plus amples informations.

TABLEAU 6
LES TROIS PRINCIPALES SOURCES D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS LE SECTEUR AGRICOLE EN 2014, PAR RÉGION

Classement	Pays développés	Asie de l'Est et du Sud-Est	Amérique Latine et Caraïbes	Afrique du Nord et Asie occidentale	Océanie, sauf Australie et Nouvelle-Zélande	Asie du Sud	Afrique subsaharienne
1	Fermentation entérique (37%)	Riziculture (26%)	Fermentation entérique (58%)	Fermentation entérique (39%)	Culture de sol organique (59%)	Fermentation entérique (46%)	Fermentation entérique (40%)
2	Engrais de synthèse (17%)	Fermentation entérique (24%)	Déjections animales laissées sur les pâturages (23%)	Déjections animales laissées sur les pâturages (32%)	Fermentation entérique (14%)	Riziculture (15%)	Déjections animales laissées sur les pâturages (28%)
3	Gestion des effluents d'élevage (12%)	Engrais de synthèse (17%)	Engrais de synthèse (6%)	Engrais de synthèse (18%)	Gestion des effluents d'élevage (14%)	Engrais de synthèse (15%)	Écobuage en savane (21%)

SOURCE: FAO, 2016d.

» imputables aux sols organiques (ceux ayant une forte concentration en matière organique, comme les tourbières) et au brûlage de biomasse (par exemple, écobuage en savane) sont plus faibles. Par ailleurs, les forêts atténuent le changement climatique en éliminant une partie des gaz à effet de serre de l'atmosphère grâce à l'accroissement forestier, comme l'indiquent les valeurs négatives. Cependant, la quantité moyenne de carbone absorbée par les forêts est passée de 2,8 gigatonnes par an dans les années 1990 à 2,3 gigatonnes par an pendant les années 2000 et 1,8 gigatonnes en 2014, selon les estimations.

S'agissant de l'AFAUT, les niveaux et les sources d'émissions varient grandement d'une région à l'autre (figure 12). La conversion nette des forêts est la principale source de gaz à effet de serre en Amérique latine et dans les Caraïbes, ainsi qu'en Afrique subsaharienne, mais elle a une part moindre dans d'autres régions. La contribution des forêts comme puits de carbone est importante dans les pays développés et dans la région Amérique latine et Caraïbes, mais elle l'est moins ailleurs. Les émissions agricoles représentent une partie non négligeable des émissions totales de l'AFAUT dans toutes les régions et plus de la moitié des émissions dans toutes les régions, à l'exception de l'Afrique subsaharienne et de l'Amérique latine et des Caraïbes, où la conversion nette des forêts est la principale source d'émissions. Différentes tendances ont été observées au niveau régional au cours des 20 dernières années. La contribution positive des puits de carbone forestiers d'Asie du Sud-Est, de l'Est et du Sud, par exemple, a fortement reculé, tandis qu'on a constaté l'inverse en Europe. Dans

les autres régions, les évolutions sont plus stables (FAO, 2016d).

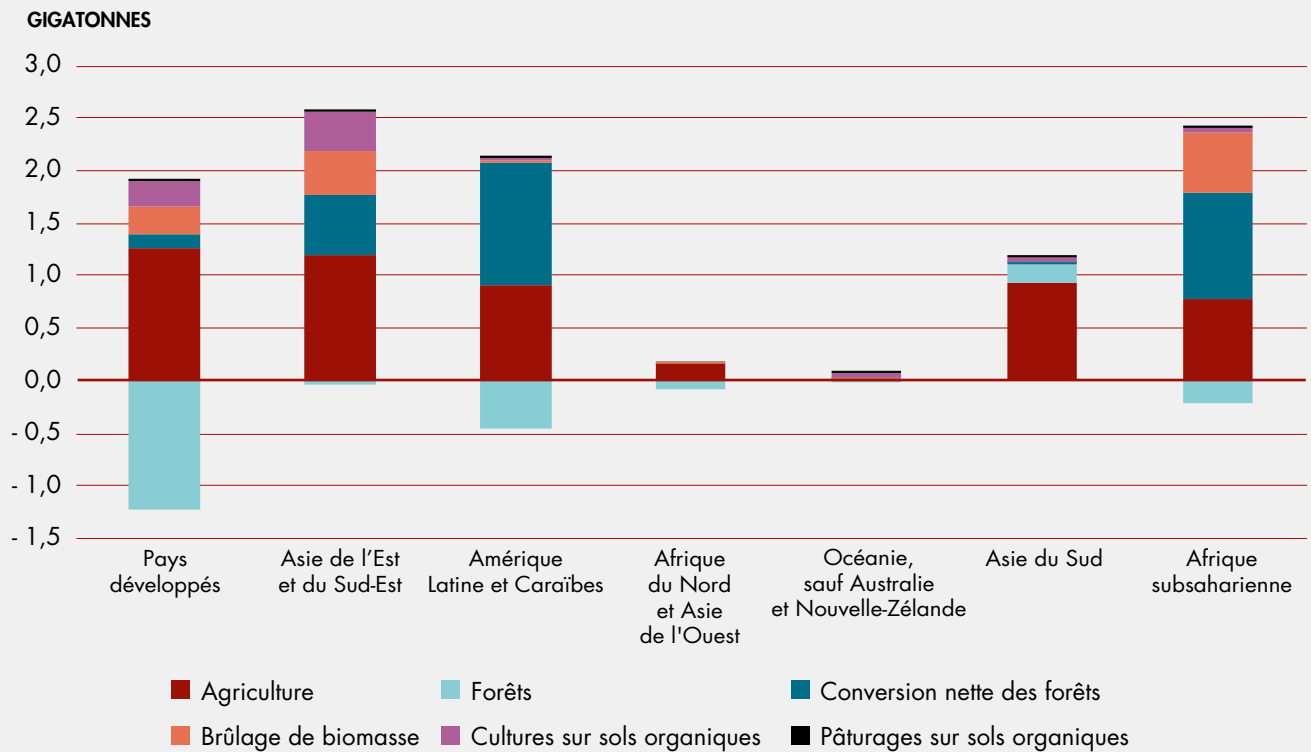
Parmi les sources d'émissions de gaz à effet de serre propres au secteur agricole, la fermentation entérique des ruminants, qui est une source importante de méthane, a la plus grande part au niveau mondial – 40 pour cent en équivalent CO₂ (figure 13). Elle est suivie, dans l'ordre, par les déjections laissées sur les pâturages (16 pour cent), les engrais de synthèse (12 pour cent) et la riziculture (10 pour cent).

La fermentation entérique est la principale source d'émissions d'origine agricole dans toutes les régions, à l'exception de l'Océanie et de l'Asie de l'Est et du Sud-Est: sa part dans les émissions totales va de 37 pour cent dans les pays développés à 58 pour cent en Amérique latine et dans les Caraïbes (tableau 6). L'importance des autres sources varie d'une région à l'autre. La riziculture est la première source d'émissions d'origine agricole en Asie de l'Est et du Sud-Est (26 pour cent), alors que la culture de sols organiques représente 59 pour cent des émissions d'origine agricole en Océanie. Les déjections laissées sur les pâturages est la deuxième source en Afrique subsaharienne, en Afrique du Nord et en Asie de l'Ouest, ainsi qu'en Amérique latine et dans les Caraïbes, tandis que cette place est occupée par la riziculture en Asie du Sud et les engrais de synthèse dans les pays développés.

Il faut que l'agriculture contribue à l'atténuation du changement climatique si l'on entend limiter la hausse des températures mondiales à 2 °C (Wollenberg *et al.*, 2016). Cependant, il convient

FIGURE 12

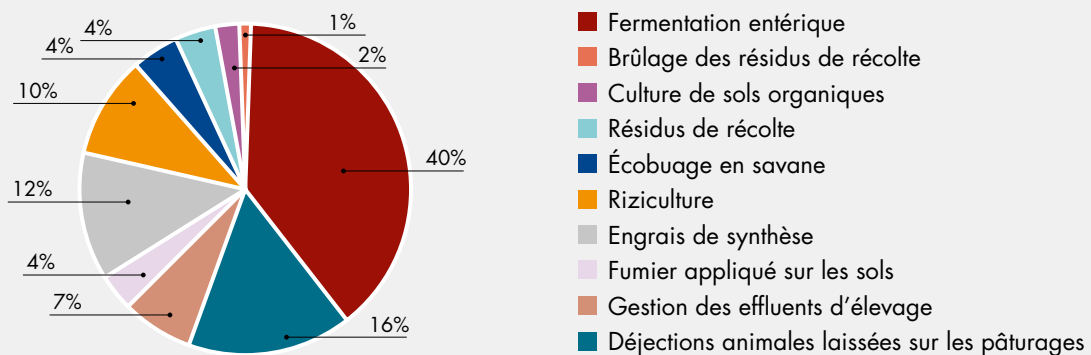
ÉMISSIONS NETTES (DÉDUCTION FAITE DE LA DIFFÉRENCE DES PUIITS) IMPUTABLES À L'AFAUT EN ÉQUIVALENT CO₂ EN 2014, PAR RÉGION



SOURCE: FAO, 2016d. Voir le tableau A.2 figurant en annexe pour de plus amples informations.

FIGURE 13

PART DES ÉMISSIONS AGRICOLES EN ÉQUIVALENT CO₂ EN 2014, PAR SOURCE ET À L'ÉCHELON MONDIAL



Remarque: Les définitions et les sources sont indiquées dans les tableaux figurant en annexe.

SOURCE: FAO, 2016d. Voir le tableau A.3 figurant en annexe.

de noter que 75 pour cent des émissions mondiales de gaz à effet de serre sont le fait des combustibles fossiles servant à produire de l'énergie et 21 pour cent seulement, du secteur agricole. Il serait possible de réduire les émissions imputables au secteur énergétique, voire de les éliminer en utilisant l'énergie de manière plus efficiente et en opérant une transition vers des énergies renouvelables. Dans ce cas, les émissions du secteur agricole représenteraient une part de plus en plus importante, ce pour trois raisons: 1) les émissions des autres secteurs diminueraient; 2) la production alimentaire augmente et, partant, la tendance à la hausse des émissions et 3) il est beaucoup plus difficile de réduire les émissions du secteur agricole étant donné sa forte diversité et les processus biophysiques complexes qui sont à l'œuvre.

Les secteurs de l'agriculture peuvent contribuer à atténuer le changement climatique en dissociant

l'augmentation des émissions de celle de la production. Cependant, ils ont aussi une capacité unique, celle d'absorber le carbone. Dans l'état actuel de la technologie, l'un des principaux moyens d'extraire du CO₂ de l'atmosphère repose sur l'exploitation forestière et la remise en état des terres dégradées. Toutefois, pour faire de cette possibilité théorique un véritable puits de carbone, il faut que certaines conditions biophysiques soient réunies et que l'on dispose de solutions techniques adéquates et d'institutions et de politiques appropriées. Les émissions du secteur agricole, ainsi que les puits de carbone, s'inscrivent dans les cycles du carbone et de l'azote au niveau mondial. Par conséquent, pour exploiter au maximum le potentiel d'atténuation de l'agriculture, il est indispensable de comprendre ces cycles et leurs interactions avec les activités agricoles. En outre, certaines solutions d'atténuation, mais pas toutes, présentent aussi des avantages en matière d'adaptation (voir le chapitre 4). ■

CONCLUSION

Dans le présent chapitre, nous avons décrit les effets potentiels du changement climatique sur l'agriculture, le développement socioéconomique et, par voie de conséquence, sur la sécurité alimentaire.

Les principales conséquences sur l'agriculture sont notamment la multiplication des épisodes de sécheresse et des événements météorologiques extrêmes, l'intensification des pressions liées aux ravageurs et aux maladies et la perte de biodiversité. Les projections à long terme mettent en évidence les conséquences négatives sur la production alimentaire, qui s'accroîtront après 2030. Il est plus probable que les rendements agricoles et la productivité de l'élevage, de la pêche et des forêts baissent dans les pays en développement situés en zone tropicale que dans les pays développés à climat tempéré.

À mesure que les effets du changement climatique sur la production et la productivité agricoles s'accroîtront, il faut s'attendre à une hausse des cours internationaux des denrées alimentaires, et à une augmentation du nombre de personnes exposées

au risque de souffrir de la faim. Jusqu'en 2050, les évolutions socioéconomiques et technologiques auront plus d'influence sur les tendances de la sécurité alimentaire que le changement climatique, mais il ne faut pas sous-estimer les conséquences de ce dernier sur l'agriculture et la sécurité alimentaire – les répercussions socioéconomiques se feront sentir principalement au sein des populations rurales à faible revenu et dans les pays fortement tributaires de l'agriculture.

Dans le chapitre suivant, nous tenterons de répondre à la question de savoir comment le secteur agricole dans son ensemble peut s'adapter aux changements actuels ou prévus de façon à réduire au minimum les effets négatifs et à exploiter les possibilités offertes, en mettant l'accent sur les petits exploitants et les systèmes de production à petite échelle. Les possibilités en matière d'atténuation du changement climatique et les avantages mutuels que pourraient présenter les mesures d'adaptation et d'atténuation seront traités, quant à eux, au chapitre 4.



CHAPITRE 3

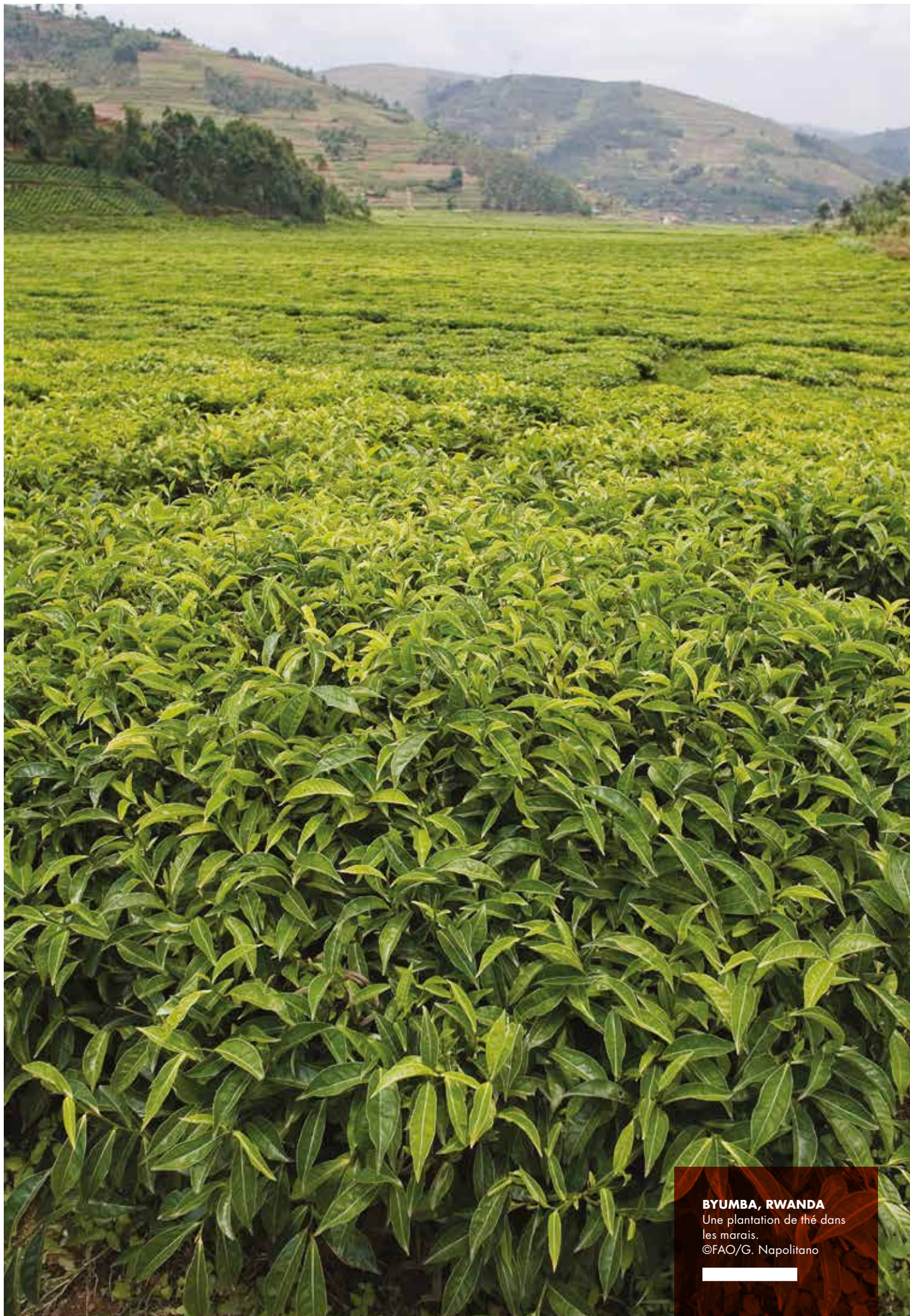
L'ADAPTATION DES PETITES EXPLOITATIONS AGRICOLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

RUGEZI, RWANDA

Une agricultrice sème des graines.

©FAO/G. Napolitano





BYUMBA, RWANDA

Une plantation de thé dans
les marais.

©FAO/G. Napolitano



MESSAGES CLÉS

1 ON NE POURRA PAS ÉLIMINER LA PAUVRETÉ DANS LE MONDE SANS RENFORCER la résilience des petites exploitations agricoles face aux incidences du changement climatique.

2 LES PETITS EXPLOITANTS PEUVENT ADAPTER LEURS SYSTÈMES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE en adoptant des pratiques intelligentes face au climat, en diversifiant la production agricole sur l'exploitation et en cherchant d'autres sources de revenus et des emplois en dehors des exploitations.

3 Il sera essentiel de **GÉRER DURABLEMENT LES RESSOURCES NATURELLES** pour s'adapter au changement climatique et garantir la sécurité alimentaire.

4 Il est nécessaire d'**AMÉLIORER LES INFRASTRUCTURES, LA VULGARISATION AGRICOLE, LES INFORMATIONS SUR LE CLIMAT, L'ACCÈS AUX MARCHÉS, LE CRÉDIT ET L'ASSURANCE SOCIALE** pour faciliter l'adaptation et la diversification des moyens d'existence des petits exploitants.

5 L'INACTION COÛTERA BIEN PLUS CHER QUE LES INTERVENTIONS qui permettraient aux agriculteurs, aux pêcheurs, aux bergers et aux forestiers de réagir efficacement au changement climatique.

L'ADAPTATION DES PETITES EXPLOITATIONS AGRICOLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La plupart des personnes pauvres et qui souffrent de la faim, dans le monde, sont des ruraux qui tirent un maigre revenu de l'agriculture. En 2010, sur les 1,2 milliard de personnes extrêmement pauvres, quelque 900 millions vivaient en milieu rural. Environ 750 millions de ces personnes travaillaient dans l'agriculture, généralement comme petits exploitants familiaux (Olinto *et al.*, 2013). On estime que 200 millions de ruraux pauvres pourraient émigrer vers les villes ces 15 prochaines années, mais la plupart d'entre eux resteront toutefois à la campagne. Sur cette période, la population rurale des régions moins développées devrait s'accroître légèrement (Département des affaires économiques et sociales de l'ONU, 2012), et on estime que 700 millions d'habitants des zones rurales vivront dans la pauvreté. Sans action concertée visant à améliorer les moyens d'existence des populations rurales, il sera impossible d'éliminer la pauvreté d'ici à 2030.

Le nombre de familles de petits agriculteurs justifie à lui seul que l'on s'intéresse spécialement aux menaces que le changement climatique fait peser sur leurs moyens d'existence et la nécessité urgente de transformer ces moyens d'existence de façon à les rendre durables. Dans ce chapitre, on examine les principales vulnérabilités des systèmes agricoles des petits exploitants face aux risques liés au changement climatique et on évalue les différents moyens de réduire autant que possible ces vulnérabilités au moyen de stratégies d'intensification durable, de diversification et de gestion des risques. En évaluant les données disponibles sur le coût de l'adaptation, on arrive à la conclusion que l'inaction coûterait bien plus cher que les interventions qui rendraient les petites exploitations résilientes, durables et plus prospères. ■

REPENSER LES VOIES À SUIVRE POUR SORTIR DE LA PAUVRETÉ

Il est essentiel d'éliminer la pauvreté rurale pour éliminer la faim et la pauvreté dans le monde. Ces dernières décennies, la réduction de la pauvreté dans un large éventail de pays et de contextes est allée de pair avec la croissance de la valeur de la production agricole, l'accentuation de l'exode rural et la transition d'économies très dépendantes de l'agriculture vers des sources de revenu et d'emploi plus diversifiées. Dans chaque pays qui a enregistré une réduction rapide de la pauvreté, on a constaté une croissance de la productivité de la main-d'œuvre agricole et, en conséquence, des salaires ruraux (Timmer, 2014). Le Rwanda et l'Éthiopie, par exemple, ont connu une croissance très importante de la productivité et, parallèlement, une forte réduction de la pauvreté rurale.

Toutefois, les possibilités et les difficultés inhérentes à la croissance de la productivité agricole sont aujourd'hui très différentes de ce qu'elles étaient par le passé. La croissance des marchés des produits alimentaires et agricoles offre des possibilités aux petits agriculteurs, mais elle crée aussi parfois des obstacles qui conduisent à leur exclusion. Le rôle croissant que joue le secteur privé dans la mise au point et la diffusion des technologies agricoles a ouvert de nouvelles perspectives, mais il a aussi modifié les modalités d'accès à ces technologies.

Face à des contraintes et à des possibilités différentes, les populations rurales des quatre coins du monde peuvent suivre des voies différentes pour sortir de la pauvreté

TABLEAU 7

INCIDENCES DES CHOCS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION ET LA PRODUCTIVITÉ AGRICOLES

	Éthiopie	Malawi	Niger	Ouganda	République- Union de Tanzanie	Zambie
Pluies moyennes	++	+++	+++	+	+	+++
Variabilité des pluies	-	N.D.	---	N.S.	-	N.S.
Températures maximales moyennes	---	---	--	--	+	-
Variabilité des températures maximales	---	N.D.	--	--	N.S.	N.D.
Nombre total de périodes sèches	N.D.	---	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Notes: N.S. = non significatif; N.D. = non disponible; + = incidences positives significatives sur les rendements; - = incidences négatives significatives sur les rendements. Un, deux ou trois signes «+» ou «-» renvoient au niveau de signification, aux niveaux de confiance de respectivement 10, 5 ou 1 pour cent. Les résultats pour le Malawi, la République-Union de Tanzanie et la Zambie font référence aux incidences sur la seule productivité de maïs.

SOURCES: Asfaw *et al.*, 2016a; Asfaw, Maggio et Lipper, 2016; Asfaw, Di Battista et Lipper, 2016; Asfaw, Coromaldi et Lipper, 2016; Arslan *et al.*, 2015; FAO, 2016b, 2016c.

(Wiggins, 2016). Les populations qui ont un bon accès à des marchés connaissant une croissance rapide ont des perspectives différentes de celles qui sont offertes aux populations des zones plus reculées. La démographie joue également un rôle. En Afrique subsaharienne, la future population agricole sera jeune et devra cultiver des parcelles plus petites; dans certaines régions d'Asie, la population sera probablement plus âgée et les exploitations plus grandes. Dans certains cas, il sera nécessaire de remettre les terres agricoles pour faciliter l'accès à des filières de commercialisation de produits de valeur élevée (Masters *et al.*, 2013). Il existe d'autres possibilités, par exemple la diversification vers des sources de revenu non agricoles par la migration de certains membres du ménage, ou l'abandon complet de l'agriculture et la migration vers les villes (Wiggins, 2016). Pour les petits agriculteurs, la faisabilité de ces stratégies dépend de la région où ils se trouvent et du niveau de développement économique dans les secteurs non agricole et agricole.

Le changement climatique devrait avoir des répercussions essentiellement négatives sur la production alimentaire et agricole dans de nombreux pays en développement. Le succès des mesures visant le développement des économies rurales et l'élimination de la pauvreté rurale passera donc par le renforcement de la résilience face au changement climatique dans les systèmes agricoles – notamment ceux qui sont gérés par les petits exploitants – et par l'adoption par le plus grand nombre de pratiques de gestion des

terres, de l'eau, des pêches et des forêts qui soient durables sur les plans environnemental, social et économique. ■

LES PRINCIPALES VULNÉRABILITÉS FACE AUX RISQUES LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les petits producteurs agricoles des pays en développement sont considérés comme très vulnérables au changement climatique et sont ceux qui ont le plus à gagner d'un renforcement de la résilience. Selon la définition du GIEC, la vulnérabilité est la mesure dans laquelle un système naturel ou social est susceptible de subir un dommage du fait des répercussions du changement climatique et elle est fonction de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation (GIEC, 2001).

Dans le chapitre 2, on a résumé la nature des risques liés au changement climatique qui pèsent sur les systèmes agricoles au niveau mondial. Dans l'ensemble, l'ampleur de l'*exposition* aux risques est variée et évolue avec le temps. Pour la plupart des pays en développement, les répercussions que le changement climatique a sur

la productivité des cultures et de l'élevage ont tendance à être négatives et croissantes. La survenance de chocs météorologiques et l'apparition de ravageurs et de maladies, dans certaines régions, compromettent déjà la stabilité de la production végétale, ce qui montre combien il est urgent de prendre des mesures de gestion immédiates et adaptables (FAO, 2016a).

Il ressort d'études que la FAO a récemment consacrées aux incidences des chocs climatiques sur les petites exploitations agricoles en Afrique subsaharienne (résumées dans le **tableau 7**) que les rendements s'accroissent fortement, dans la plupart des cas, lorsque les précipitations sont plus importantes, et qu'ils sont moins bons lorsque les précipitations sont inférieures aux moyennes et plus variables; de même, les températures supérieures aux moyennes réduisent considérablement la productivité. Cela étant, certaines anomalies météorologiques ont des effets sur les rendements dans certains pays mais pas dans d'autres. Recenser les variables météorologiques qui limitent les rendements est la première étape à accomplir pour tenter de résoudre ces problèmes, et il n'existe pas de recette unique qui s'appliquerait à tous les pays. La variabilité des pluies est très significative au Malawi et au Niger, mais pas en Ouganda et en Zambie. Les précipitations et les températures moyennes semblent être significatives pour un ensemble plus vaste de pays, mais la variabilité peut être un facteur limitant clé dans certaines régions, même si elle n'est pas associée à un événement extrême.

Les conséquences d'une exposition aux aléas climatiques sont fonction de la **sensibilité**, c'est-à-dire la mesure dans laquelle un système agroécologique ou socioéconomique réagit, positivement ou négativement, à un changement donné. La raréfaction et la dégradation des ressources naturelles accentuent la sensibilité des petites exploitations agricoles aux aléas climatiques, parce que des ressources dégradées ont une capacité moindre à maintenir leur productivité en cas de stress climatique (FAO, 2012). Par exemple, on dispose d'une quantité d'eau suffisante pour répondre à la demande alimentaire au niveau mondial, mais de

plus en plus de régions font face à une raréfaction de l'eau, ce qui aura des répercussions sur les moyens d'existence en milieu rural et en milieu urbain, sur la sécurité alimentaire et sur les activités économiques (FAO, 2011a; FAO et Conseil mondial de l'eau, 2015). La dégradation de la qualité de l'eau et la raréfaction de cette ressource dues au changement climatique réduisent les disponibilités hydriques destinées à la production alimentaire, ce qui a des incidences sur les quatre dimensions de la sécurité alimentaire (disponibilité, stabilité, accès et utilisation), en particulier dans les zones tropicales arides et semi-arides et dans les mégadeltas d'Asie et d'Afrique (Bates *et al.*, 2008). La rationalisation de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture facilitera fortement l'adaptation au changement climatique dans les systèmes de production des petits exploitants.

Les femmes rurales sont particulièrement sensibles aux aléas climatiques, en raison des responsabilités qui leur incombent dans le ménage du fait de leur sexe (par exemple récolter le bois et puiser l'eau) et des tâches agricoles toujours plus nombreuses qu'elles doivent assumer du fait de l'émigration des hommes (voir, par exemple, Jost *et al.*, 2015; Agwu et Okhimamwe, 2009; Goh, 2012; Wright et Chandani, 2014). La multiplication des épisodes de sécheresse et de pénurie d'eau alourdit leur charge de travail, ce qui nuit à la fois à la productivité agricole et au bien-être des ménages (PNUD, 2010). Voir également l'**encadré 8**.

La capacité limitée des petits exploitants pour ce qui est de gérer les risques est une autre source de sensibilité aux aléas climatiques.

Lorsque surviennent des événements extrêmes, ces petits exploitants adoptent des stratégies fondées sur le principe de précaution – par exemple la vente de bétail – qui les protègent peut-être contre des pertes catastrophiques, mais qui compromettent aussi leurs moyens d'existence sur le long terme et peuvent les piéger dans la pauvreté chronique (Carter et Barrett, 2006; Dercon, 1996; Dercon et Christiaensen, 2007; Fafchamps, 2003; Morduch, 1994; Kebede, 1992; Simtowe, 2006). Les incertitudes liées au climat et l'aversion pour le risque ont également des



ENCADRÉ 8**LES FEMMES RURALES COMPTENT PARI MI LES PERSONNES LES PLUS VULNÉRABLES**

Les femmes rurales constituent un quart de la population mondiale. Elles représentent environ 43 pour cent de la main-d'œuvre agricole dans les pays en développement. En Asie du Sud, plus de deux tiers des femmes salariées travaillent dans l'agriculture (FAO, 2011a). Globalement, à quelques exceptions près, tous les indicateurs relatifs au sexe et tous les indicateurs de développement pour lesquels des données sont disponibles révèlent que les femmes rurales s'en sortent moins bien que les hommes vivant en milieu rural ou les femmes vivant en milieu urbain, et qu'elles subissent de façon disproportionnée la pauvreté, l'exclusion et les effets du changement climatique (Organisation des Nations Unies, 2010).

Les petites exploitantes sont plus exposées aux risques climatiques que les hommes et, pour bon nombre des raisons qui expliquent aussi que la productivité des agricultrices est plus faible que celle de leurs homologues masculins: elles disposent de moins de ressources et de moins de

droits, elles ont un accès plus limité aux informations et aux services et elles sont moins mobiles (FAO, 2007; Nelson, 2011). En raison de la répartition inégale des ressources entre les hommes et les femmes, ces dernières ont tendance à se reposer davantage sur des ressources et des technologies sensibles aux aléas climatiques (Dankelman, 2008; Huynh et Resurrección, 2014; Nelson et Stathers, 2009; Nelson, 2011).

La nature et l'intensité de la pauvreté et de la vulnérabilité face aux risques varient aussi selon le sexe (Holmes et Jones, 2009).

Pour garantir l'efficacité et la durabilité des interventions visant l'accroissement de la productivité et la réduction des risques liés au changement climatique, il est important de s'attaquer aux inégalités et à la discrimination entre les sexes s'agissant de l'accès aux ressources productives, aux services et aux possibilités d'emploi, de façon à ce que les hommes et les femmes bénéficient à part égale de ces interventions.

ENCADRÉ 9**LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE AMÉLIORE LA RÉSILIENCE**

La FAO a publié des *Directives d'application volontaire à l'appui de l'intégration de la diversité génétique dans les plans nationaux d'adaptation au changement climatique*. Conservée et utilisée comme il se doit dans les programmes de sélection, la diversité génétique peut apporter des variétés de plantes qui résistent davantage à une intensification de l'aridité, du gel, des inondations et de la salinité du sol, et des races animales qui sont à la fois très productives et résistantes à des environnements de production difficiles. Les politiques qui anticipent les besoins futurs et planifient la gestion des ressources génétiques en considérant celles-ci comme un réservoir et un outil essentiels peuvent contribuer à la création de systèmes de production agricole résilients.

Il faut redoubler d'efforts pour conserver les variétés végétales et les races animales et soutenir

leur utilisation durable, et pour collecter et conserver les espèces sauvages apparentées des cultures alimentaires importantes. La conservation de la diversité sur les exploitations permet d'évoluer en parallèle avec les changements environnementaux, tandis que les banques de gènes régionales et mondiales constituent des collections de matériel génétique de sauvegarde sur lesquelles on peut s'appuyer pour soutenir les mesures d'adaptation au changement climatique. Étant donné que tous les pays dépendent de la diversité génétique présente dans les autres pays et régions, la coopération et les échanges internationaux sont essentiels dans ce domaine. Le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture permet aux chercheurs et aux obtenteurs d'accéder aux ressources génétiques des autres pays.

SOURCE: FAO, 2015a.

» incidences sur les marchés financiers et les chaînes d'approvisionnement en zones rurales, selon des modalités qui limitent encore davantage les possibilités et qui resserrent les pièges de la pauvreté au niveau des exploitations (Barrett et Swallow, 2006; Kelly, Adesina et Gordon, 2003; Poulton, Kydd et Dorward, 2006).

Dans les petites exploitations agricoles, la *capacité d'adaptation* – c'est-à-dire la capacité de trouver et de mettre en œuvre des mesures efficaces en réponse à un changement de circonstances – est restreinte par des entraves à l'adoption de technologies et de pratiques améliorées et intelligentes face au climat. Par exemple, les ménages les plus pauvres, qui ne sont généralement pas en mesure de donner des garanties pour obtenir des prêts, sont particulièrement touchés par un accès insuffisant au crédit pour investir de même que les productrices, qui n'ont bien souvent aucun titre officiel de priorité sur les biens de production. L'insécurité concernant les régimes fonciers, l'accès très limité aux informations, aux services de vulgarisation agricole et aux marchés, l'absence de filets de sécurité qui permettraient de protéger les moyens d'existence contre les chocs et le sexisme présent dans toutes ces institutions sont autant d'autres obstacles à la capacité d'adaptation.

La plupart des interventions nécessaires pour améliorer la capacité des petits exploitants de s'adapter au changement climatique sont les mêmes que celles qui sont nécessaires pour le développement rural de manière générale, avec toutefois un accent plus marqué sur les risques liés au climat. Par exemple, dans les programmes de vulgarisation, il faut tenir compte des projections en termes de changement climatique propres aux différents sites; les investissements dans la sélection de variétés de cultures et de races animales améliorées doivent être axés non seulement sur le rendement mais aussi sur la résistance aux chocs attendus dans les régions concernées (encadré 9). Il est par ailleurs urgent de réaliser des investissements dans l'irrigation et les autres infrastructures de gestion de l'eau. Ces questions sont examinées plus en détail dans les sections suivantes. ■

VERS DES SYSTÈMES DE PRODUCTION ET DES MOYENS D'EXISTENCE RÉSILIENTS

La vulnérabilité des petits exploitants face au changement climatique s'ajoute aux difficultés plus générales auxquelles ils font face lorsqu'il s'agit d'accroître leur productivité et d'améliorer leurs moyens d'existence. En conséquence, les mesures visant l'atténuation de la vulnérabilité doivent aller de pair avec les politiques de développement agricole et rural au sens large. En adoptant une telle approche, on crée les conditions qui aident à réduire l'exposition et la sensibilité aux chocs météorologiques, tout en renforçant la capacité d'adaptation de manière à offrir de nouvelles possibilités d'amélioration des moyens d'existence en milieu rural et de la sécurité alimentaire.

La résilience des moyens d'existence suppose que soient réunis différents éléments, tels qu'un revenu correct et la sécurité alimentaire, qui permettent aux individus de surmonter les risques climatiques auxquels ils sont exposés, de s'en remettre et de s'y adapter. Étant donné que les situations que vivent les petits exploitants et les possibilités qui leur sont offertes varient beaucoup selon les régions où ils se trouvent, il convient de concevoir les programmes d'adaptation et de renforcement de la résilience en tenant spécifiquement compte de chaque contexte, du degré d'exposition aux chocs climatiques et de la capacité d'adaptation. Cette section présente les principales caractéristiques des voies que l'on peut suivre pour réduire la vulnérabilité, face au changement climatique, des systèmes des petits exploitants et des populations qui en dépendent. Elle traite deux dimensions: les moyens de renforcer la résilience des systèmes de production agricole et les moyens de renforcer la résilience des moyens d'existence des populations vulnérables.

L'innovation, clé de l'adaptation des systèmes agricoles

Pour relever les nouveaux défis que représente le changement climatique, il faudra introduire des innovations dans les systèmes agricoles. Il y a innovation quand des individus et des groupes adoptent des idées, des technologies ou des processus nouveaux qui, s'ils donnent de bons résultats, se répandent à l'échelle des communautés et des sociétés. Le processus est complexe, fait intervenir de nombreux acteurs et ne peut pas fonctionner en vase clos. Il est favorisé par la présence d'un système d'innovation efficace. Un *système d'innovation* agricole comprend l'environnement économique et institutionnel général favorable dont tout agriculteur a besoin. Recherche, services de conseil et organisations de producteurs agricoles efficaces sont autant d'autres composantes essentielles. Souvent, l'innovation consiste à reprendre les connaissances locales et les systèmes traditionnels et à les adapter en les combinant à de nouvelles connaissances issues des systèmes de recherche formels (FAO, 2014a).

Parmi les innovations qui renforcent la résilience des petites exploitations agricoles face au changement climatique, on citera l'amélioration de l'utilisation des ressources au moyen d'une intensification durable de la production et de l'adoption de systèmes de production agroécologiques. L'amélioration de la gestion des ressources en eau est un autre domaine dans lequel l'innovation peut se révéler efficace pour faire face aux incidences du changement climatique. Toutes ces approches améliorent la gestion du carbone et de l'azote (voir plus loin, et chapitre 4).

Les biotechnologies, tant celles qui reposent sur des outils traditionnels que celles qui font appel à des technologies de pointe, peuvent aider les petits producteurs, tout particulièrement, à devenir plus résilients et à mieux s'adapter au changement climatique. Les parties qui suivent sont surtout axées sur l'innovation dans des pratiques de gestion, mais certaines pratiques peuvent

dépendre des avancées de la biotechnologie, notamment les semences améliorées.

L'intensification durable

L'intensification durable renforce la productivité, fait baisser les coûts de production et accroît et stabilise les bénéfices tirés de la production, tout en préservant les ressources naturelles, en réduisant les incidences négatives sur l'environnement et en renforçant le flux des services écosystémiques (FAO, 2011b).

Les stratégies d'intensification durable varient selon le type de système agricole visé et selon le lieu où elles sont menées. Toutefois, l'un des principes de base de ces stratégies est d'améliorer l'utilisation des ressources.

L'approche adoptée par la FAO pour l'intensification durable de la production végétale est le modèle «Produire plus avec moins», qui promeut une agriculture productive qui conserve et renforce les ressources naturelles. Ce modèle se fonde sur une approche écosystémique qui tire parti de la contribution de la nature à la croissance des cultures, notamment la matière organique présente dans le sol, la régulation du flux de l'eau, la pollinisation ou encore la prédation naturelle des ravageurs. Dans le cadre de ce modèle, on applique les intrants externes appropriés au bon moment et dans la bonne quantité sur des variétés de cultures améliorées qui sont résilientes au changement climatique et utilisent plus efficacement les éléments nutritifs, l'eau et les intrants externes. Utiliser les ressources plus efficacement, limiter l'utilisation de combustibles fossiles et réduire la dégradation directe de l'environnement sont des aspects essentiels de l'approche, qui fait faire des économies aux agriculteurs et prévient les effets néfastes d'une utilisation excessive de certains intrants. Cette approche a été étendue à d'autres secteurs de l'agriculture.

Grâce à une meilleure gestion des cycles du carbone et de l'azote (voir plus loin), l'intensification agricole durable renforce aussi la résilience face aux incidences du changement climatique et contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre (Burney *et al.*, 2010; Wollenberg *et al.*, 2016).

L'agroécologie

Selon le HLPE (2016), l'agroécologie applique les concepts et principes de l'écologie aux systèmes agricoles. En s'intéressant aux interactions entre les plantes, les animaux, les êtres humains et l'environnement, elle favorise un développement agricole durable, qui favorise à son tour la sécurité alimentaire et la nutrition.

L'agroécologie va au-delà de l'efficacité d'utilisation des intrants et de leur substitution en exploitant les processus écologiques clés, tels que la prédation naturelle des ravageurs et le recyclage de la biomasse et des éléments nutritifs, en renforçant les interactions et les synergies biologiques bénéfiques entre les composantes de l'agrobiodiversité et en optimisant l'utilisation des ressources.

Tels qu'ils sont définis par Nicholls, Altieri et Vazquez (2016), les principes de l'agroécologie sont particulièrement intéressants pour l'adaptation au changement climatique, étant donné qu'ils visent :

- ▶ à accroître le recyclage de la biomasse, en vue d'optimiser la décomposition de la matière organique et le cycle des éléments nutritifs;
- ▶ à renforcer le «système immunitaire» des systèmes agricoles en renforçant la biodiversité fonctionnelle, par exemple en créant des habitats pour les ennemis naturels des ravageurs;
- ▶ à offrir les sols les plus favorables à la croissance des végétaux, notamment en gérant la matière organique et en améliorant l'activité biologique du sol;
- ▶ à réduire autant que possible les pertes d'énergie, d'eau, d'éléments nutritifs et de ressources génétiques en améliorant la conservation et la régénération des ressources du sol, des ressources en eau et de l'agrobiodiversité;
- ▶ à diversifier les espèces et les ressources génétiques dans l'écosystème agricole, dans le temps et dans l'espace, aux niveaux du champ et du paysage; et
- ▶ à renforcer les interactions et les synergies biologiques entre les composantes de l'agrobiodiversité, et à favoriser ainsi des processus et services écologiques essentiels.

L'agroécologie s'appuie sur les connaissances locales et traditionnelles des agriculteurs pour créer des solutions axées sur les besoins de ceux-ci. Ainsi, Swiderska (2011) a constaté que l'accès à des variétés traditionnelles de plantes variées revêtait une grande importance pour l'adaptation au changement climatique et la survie des agriculteurs pauvres en Chine, en Bolivie et au Kenya. En Chine, les agriculteurs qui cultivaient quatre mélanges différents de variétés de riz ont connu 44 pour cent de cas de pyriculariose en moins et ont obtenu des rendements 89 pour cent plus élevés que les agriculteurs qui cultivaient une seule variété, et ce sans avoir recours à des fongicides (Zhu *et al.*, 2000). La diversification agroécologique contribue à la stabilité des rendements dans un contexte de variabilité climatique. Les polycultures offrent des rendements plus stables et voient leur productivité baisser moins souvent que les monocultures lors d'un épisode de sécheresse (Altieri *et al.*, 2015).

Une gestion efficace de l'eau

Étant donné que le changement climatique modifie la pluviométrie et les disponibilités en eau, il sera essentiel, dans le cadre des mesures visant une amélioration durable de la productivité, de prendre en considération la capacité de gérer la pénurie ou l'excès d'eau. Les régions présentant le plus fort potentiel d'amélioration de la productivité de l'eau sont celles où la pauvreté est très présente, notamment de nombreuses régions d'Afrique subsaharienne, d'Asie du Sud et d'Amérique latine, ainsi que celles où la concurrence pour l'eau est intense, telles que le bassin de l'Indus et le fleuve Jaune (HLPE, 2015).

Pour améliorer l'utilisation de l'eau dans les systèmes agricoles dans le contexte du changement climatique, il peut être nécessaire de prendre des mesures aux niveaux des politiques, des investissements et de la gestion de l'eau, et aussi d'apporter des changements institutionnels et techniques à différentes échelles: dans les champs et les exploitations, dans les réseaux d'irrigation, dans les bassins versants ou aquifères, dans les bassins fluviaux et au niveau national (FAO, 2013a). Pour s'adapter aux incidences à plus long terme du changement climatique, il faut tout d'abord intégrer les informations concernant la variabilité actuelle »

EFFETS POSITIFS DES ÉCONOMIES D'EAU EN CHINE

La plaine de Huang-Huai-Hai joue un rôle essentiel pour l'économie agricole et la sécurité alimentaire nationale de la Chine. La productivité est menacée par les changements climatiques, et notamment la hausse généralisée importante des températures et la baisse des niveaux d'humidité et des précipitations constatées ces 50 dernières années (Yang *et al.*, 2015; Hijioka *et al.*, 2014).

Mené dans cinq des provinces de la région, un projet financé par la Banque mondiale a fait la promotion de techniques d'économie d'eau et d'autres pratiques améliorées – telles que l'utilisation de variétés résistant à la sécheresse – en vue d'améliorer la gestion de l'eau sur quelque 500 000 hectares de terres agricoles. Les installations d'irrigation construites dans le cadre du projet ont été transférées

à 1 000 associations d'utilisateurs de l'eau, qui ont été créées avec l'appui des pouvoirs publics et qui participent à toutes les décisions relatives à la gestion de l'eau. Ces associations permettent aussi l'organisation de formations sur les nouvelles techniques de gestion de l'eau.

Le projet a contribué à la création de 220 associations et coopératives d'agriculteurs et a permis la réalisation de diverses activités de recherche, d'expérimentation et de démonstration. L'accent a été mis sur les mesures d'adaptation et les techniques d'économie de l'eau, que les agriculteurs ont ensuite mises en pratique. Quelque 1,3 million de ménages d'agriculteurs ont tiré profit de ce projet du fait de la réduction des coûts de l'irrigation, d'un appauvrissement moindre des eaux souterraines et d'une meilleure productivité de l'eau.

SOURCE: Aadapté de FAO et Banque mondiale (2011).

TABLEAU 8

INCIDENCES SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES, DANS DIFFÉRENTES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES, EN ZAMBIE

	Rendements plus élevés	Rendements plus faibles	Probabilité moindre de perte de rendement
Conditions météorologiques moyennes	Culture intercalaire de légumineuses		Rotation des cultures
	Engrais chimique	Rotation des cultures	Semences améliorées
	Semences améliorées		Accès aux engrais en temps utile
Variabilité accrue des pluies	Rotation des cultures	Engrais chimique	Rotation des cultures
	Accès aux engrais en temps utile		
Retard dans le début de la saison des pluies	Semences améliorées	Engrais chimique	Engrais chimique
	Accès aux engrais en temps utile		
Accroissement des températures de saison	Accès aux engrais en temps utile	Semences améliorées	Semences améliorées

SOURCES: D'après Arslan *et al.* (2015), tableaux 6, 7 et 8.

TABLEAU 9

UTILISATION DE L'AZOTE DANS LES PETITES EXPLOITATIONS D'ASIE DE L'EST ET D'AFRIQUE SUBSAHARIENNE

	Asie de l'Est	Afrique subsaharienne
Quantité moyenne d'azote appliquée dans la production céréalière (kg/ha)	155,0	9,0
Rendement céréalier moyen (tonnes/ha)	4,8	1,1
Productivité partielle du facteur azote (kg de céréale/kg d'azote)	31,0	122,0
Bilan nutritif partiel (kg d'azote dans les céréales/kg d'azote appliqué)	0,5	1,8

SOURCES: D'après Fixen *et al.* (2015), tableau 3.

- » du climat dans les stratégies de gestion de l'eau (Sadoff et Muller, 2009; Bates *et al.*, 2008 cité dans Pinca, 2016).

Dans les systèmes non irrigués, qui représentent 95 pour cent des terres agricoles en Afrique subsaharienne, l'amélioration de la gestion des eaux de pluie et de l'humidité du sol est la clé pour accroître la productivité et réduire les pertes de rendement lors des périodes sèches et des périodes où les précipitations sont variables. L'irrigation d'appoint, qui suppose de collecter les eaux de ruissellement ou de puiser dans les nappes phréatiques peu profondes, est une stratégie importante pour l'amélioration de la productivité de l'eau dans l'agriculture pluviale, mais elle reste sous-utilisée (HLPE, 2015; Oweis, 2014).

Dans les systèmes irrigués, on peut promouvoir une utilisation efficace de l'eau en apportant des changements institutionnels, par exemple en créant des associations des utilisateurs de l'eau ou en améliorant l'infrastructure (revêtement des canaux, réseaux de drainage plus efficaces et réutilisation des eaux usées). Les techniques d'irrigation économes en eau, telles que les systèmes de goutte-à-goutte, et un meilleur entretien de l'infrastructure d'irrigation, associés à une formation adéquate des agriculteurs pour améliorer leurs connaissances techniques, peuvent être un moyen efficace de lutter contre les incidences que le changement climatique a sur les disponibilités en eau et la sécurité alimentaire (encadré 10). Cependant, certaines techniques qui permettent d'utiliser l'eau plus efficacement, telles que l'irrigation au goutte-à-goutte, nécessitent de l'énergie. De manière plus générale, il y a souvent des arbitrages à faire et on peut trouver des synergies s'agissant de l'utilisation de l'eau, de l'énergie et des terres pour la production alimentaire. Il est utile de prendre en considération le lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation lors de la planification de l'utilisation de ces ressources dans les chaînes agroalimentaires (FAO, 2014b).

Quelques pistes pour la gestion du carbone et de l'azote

Les pratiques de gestion du sol, des éléments nutritifs et de l'eau qu'adoptent les agriculteurs,

la mesure dans laquelle on a recours à l'agroforesterie et l'expansion de l'agriculture sur des terres non agricoles sont autant d'éléments qui ont une influence sur les cycles du carbone et de l'azote de notre planète (voir également le chapitre 4). Les petits exploitants peuvent tirer profit de pratiques qui contribuent à restaurer la productivité des sols dans les zones où une gestion des terres non durable a conduit à l'épuisement du stock de carbone organique présent dans le sol et a détérioré la fertilité naturelle et la qualité du sol, réduisant ce faisant la productivité et accroissant la vulnérabilité aux aléas climatiques tels que les sécheresses, les inondations et les conditions favorables aux ravageurs et aux maladies (Stocking, 2003; Lal, 2004; Cassman, 1999; FAO, 2007).

Sur les terres arables, on peut améliorer la teneur du sol en carbone organique et en azote utilisable par la plante en adoptant des pratiques telles que l'agroforesterie, les jachères améliorées, la fumure verte, la plantation de cultures de couverture fixant l'azote, la gestion intégrée des éléments nutritifs, la perturbation minimale du sol et le maintien des résidus de récolte. Sur les pâturages, une meilleure gestion du pâturage, la réduction ou l'élimination des incendies ou encore l'introduction de graminées ou de légumineuses à fourrage améliorées sont des moyens importants pour améliorer la gestion du carbone. Les systèmes agricoles mixtes renforcent la résilience et renversent la dégradation des sols en luttant contre l'érosion, en fournissant des résidus riches en azote et en accroissant la quantité de matière organique dans le sol. Ainsi, les systèmes agricoles mixtes résistants à la sécheresse pratiqués en Éthiopie et en République-Unie de Tanzanie comprennent une légumineuse polyvalente, comme le pois cajan (*Cajanus cajan*) et *Faidherbia albida*, un arbre autochtone de la famille des légumineuses qui fixe l'azote et qui donne des gousses de goût agréable pour le bétail, et des feuilles utilisées comme engrais organique. Une production accrue de légumineuses aide à diversifier les régimes alimentaires et fournit des protéines supplémentaires lors des périodes saisonnières d'insécurité alimentaire. »

AQUACULTURE INTELLIGENTE FACE AU CLIMAT AU VIET NAM

Il est nécessaire d'adopter des mesures d'adaptation au changement climatique et d'atténuation pour protéger la production aquacole côtière sur la côte centrale du Nord du Viet Nam. Une des pistes possibles consiste à mettre au point des pratiques d'aquaculture intelligentes face au climat et qui intègrent l'élevage monosexé du tilapia dans les systèmes traditionnels de mariculture.

Les résultats d'essais menés dans la province de Thanh Hoa montrent que l'intégration du tilapia est une bonne stratégie d'adaptation, qui permet de s'attaquer aux trois objectifs de l'agriculture intelligente face au climat: accroître durablement la productivité, renforcer la capacité d'adaptation et réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cette approche a permis de rendre la production plus efficace et d'accroître les revenus des ménages de 14 à 43 pour cent. Le portefeuille diversifié de produits a aussi permis de

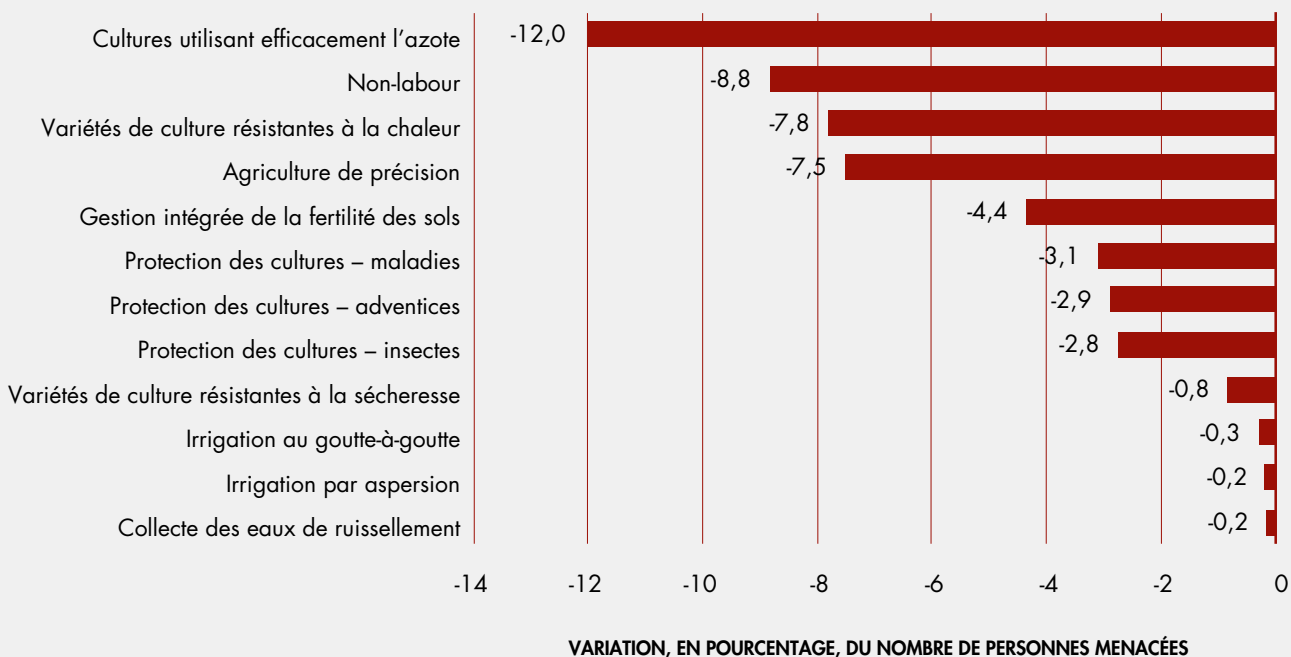
renforcer la résilience du système. Étant donné qu'ils utilisaient des sources naturelles d'aliments pour animaux et les éléments nutritifs excédentaires dans les étangs de tilapias, les exploitants ont réduit leurs besoins en granulés, ce qui a contribué à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

La promotion et la transposition à plus grande échelle d'une aquaculture intelligente face au climat nécessitent des mesures d'incitation, des réglementations et des cadres institutionnels solides. Étant donné que l'introduction du tilapia augmente la production globale, il faut maintenant s'efforcer de développer les marchés, surtout à l'exportation, pour ce poisson. On peut surmonter les obstacles entravant l'adoption de cette pratique, notamment la faible qualité et le coût élevé des aliments, en nouant des liens entre les groupes d'exploitants et les fournisseurs d'aliments et de semences.

SOURCE: Trinh, Tran et Cao, 2016.

FIGURE 14

VARIATION, EN 2050, DU NOMBRE DE PERSONNES RISQUANT DE SOUFFRIR DE LA FAIM, PAR RAPPORT AU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE, APRÈS L'ADOPTION DE TECHNIQUES AGRICOLES AMÉLIORÉES



SOURCE: Rosegrant *et al.* (2014), à partir de simulations fondées sur le modèle IMPACT de l'IFPRI.

» Les conditions météorologiques propres à chaque contexte influenceront les petits exploitants lorsque ceux-ci choisiront les modalités de gestion du carbone et de l'azote qui seront les plus efficaces pour améliorer leurs moyens d'existence. Par exemple, l'utilisation d'engrais minéral peut produire des rendements supérieurs dans des conditions météorologiques moyennes, mais elle peut aussi donner des rendements inférieurs lorsque la pluviométrie est très variable ou lorsque les pluies arrivent plus tard que prévu. À l'inverse, la rotation des cultures peut produire des rendements inférieurs dans des conditions météorologiques moyennes, mais elle peut donner des rendements plus élevés et une probabilité moindre de perte de rendement lorsque la pluviométrie est très variable (tableau 8).

Il est essentiel d'améliorer l'utilisation des engrais azotés pour assurer la durabilité de nombreuses petites exploitations agricoles. Les indicateurs de l'utilisation des engrais azotés montrent que les taux d'application et les rendements céréaliers sont bien plus élevés en Asie de l'Est, mais la production supplémentaire obtenue grâce aux engrais est bien plus importante en Afrique subsaharienne (tableau 9). Le bilan nutritif partiel est également bien plus élevé – en Afrique subsaharienne, on extrait avec la récolte une quantité d'éléments nutritifs plus importante que celle qui est appliquée avec l'engrais ou le fumier, ce qui traduit un épuisement des éléments nutritifs du sol contraire au principe de durabilité. En Asie de l'Est, c'est l'inverse qui se produit.

L'utilisation excessive d'engrais chimiques est clairement un problème en Asie de l'Est, où les intrants excédentaires n'apportent aucun effet bénéfique; au contraire, ils détériorent gravement l'environnement, en contaminant les eaux souterraines et de surface et en produisant des gaz à effet de serre. Dans cette région, il est donc essentiel de réduire l'utilisation d'engrais chimiques et d'utiliser ces intrants en quantités correctes, au bon moment et de la bonne manière afin d'assurer une intensification durable.

En Afrique subsaharienne, en revanche, on pourrait fortement augmenter les rendements des cultures des petits exploitants en utilisant davantage les engrais chimiques, dans la limite des quantités appropriées. Toutefois, étant donné que les sols sont généralement en mauvais état dans une grande partie de la région, les petits exploitants ont besoin d'aide pour améliorer la qualité du sol et les services écosystémiques du sol, en complément d'une application judicieuse des engrais.

L'amélioration de la gestion du carbone et de l'azote est également importante pour les pêches et les systèmes forestiers. L'encadré 11 présente un exemple tiré du Viet Nam, où l'on a pris des mesures de gestion du carbone dans le cadre d'un système intégré d'aquaculture intelligent face au climat.

Les effets positifs de l'amélioration des pratiques agricoles sur la sécurité alimentaire

On peut considérablement améliorer la sécurité alimentaire en instaurant de meilleures pratiques agricoles. Des simulations fondées sur le modèle IMPACT de l'IFPRI montrent que c'est l'adoption de variétés de cultures résistantes à la chaleur qui permettrait d'obtenir les plus fortes hausses de rendement pour le maïs en 2050, au niveau mondial.

Pour le riz, la plus forte augmentation des rendements, au niveau mondial, serait obtenue grâce à des variétés utilisant l'azote plus efficacement; pour le blé, la meilleure option est le zéro labour (Rosegrant *et al.*, 2014; De Pinto, Thomas et Wiebe, 2016).

L'adoption de ces techniques aurait des effets positifs importants sur la sécurité alimentaire du fait de l'accroissement des disponibilités en énergie alimentaire, de l'augmentation des revenus des petits exploitants et de la diminution des prix des denrées alimentaires. Le nombre de personnes qui risquent de souffrir de sous-alimentation dans les pays en développement serait réduit en 2050⁵ de

»

5 Le scénario de base du modèle IMPACT de l'IFPRI utilisé pour ces estimations table sur un nombre total d'environ un milliard de personnes sous-alimentées d'ici à 2050, ce qui explique pourquoi un impact de 12 pour cent dû à l'introduction de variétés de cultures utilisant efficacement l'azote permettrait de réduire de 124 millions le nombre de personnes risquant de souffrir de la faim.

RISQUES LIÉS AU CLIMAT, DIVERSIFICATION ET BIEN-ÊTRE DES PETITS EXPLOITANTS AU MALAWI ET EN ZAMBIE

Le Malawi et la Zambie comptent parmi les 15 pays les plus vulnérables aux effets négatifs du changement climatique (Wheeler, 2011), surtout dans l'agriculture. Ce secteur emploie une part importante de la population, qui dépend essentiellement d'une production pluviale de subsistance et qui est donc vulnérable à différents chocs. Dans quelle mesure la diversification est-elle une stratégie efficace d'adaptation au changement climatique dans ces pays? Dans des études récentes, la FAO a recensé différents types de diversification dans le secteur agricole – la diversification dans des cultures différentes, dans l'élevage et dans des activités liées aux ressources naturelles, ou le travail sur d'autres exploitations – ainsi qu'en dehors de ce secteur, par exemple par la voie d'un emploi salarié, d'un emploi indépendant, ou grâce à d'autres revenus.

Il ressort des études que les taux de diversification des cultures, du travail et des revenus au Malawi, et la diversification vers l'élevage en Zambie, augmentent avec la variabilité climatique, ce qui donne à penser que l'exposition aux risques liés au climat engendre différents types de diversification. En Zambie (voir la figure), les caractéristiques de la diversification sont variables: les ménages diversifient davantage leurs cultures dans les régions où les pluies saisonnières moyennes, sur le long terme, sont plus importantes; la diversification dans l'élevage est plus forte dans les régions où les pluies sont plus variables sur le long terme; on ne constate en

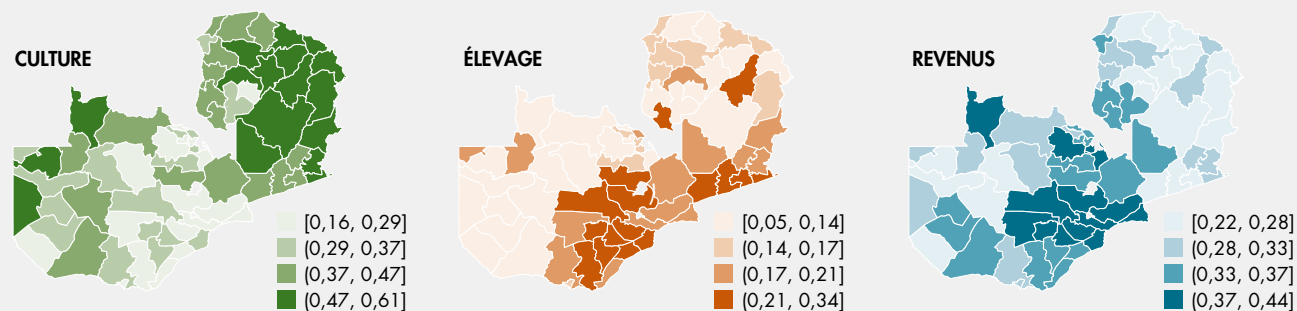
revanche aucune corrélation claire entre la diversification des revenus et les variables météorologiques.

D'une manière générale, l'accès à la vulgarisation agricole a conduit à une plus grande diversification des cultures, du travail et des revenus dans les deux pays. Au Malawi, les ménages qui avaient reçu des subventions pour les engrais étaient plus susceptibles d'avoir des cultures et des revenus diversifiés. En Zambie, par contre, les revenus de ces ménages étaient moins diversifiés. Cela montre combien il est important, lorsqu'on conçoit les politiques visant la diversification, de bien comprendre les interactions entre les institutions locales et les mesures d'incitation à la diversification.

À l'exception de la diversification des cultures en Zambie, chaque type de diversification est corrélé avec une consommation ou un revenu plus élevé par habitant dans les deux pays. Au Malawi, la diversification des revenus réduit la variabilité des niveaux de consommation des ménages d'agriculteurs, un indicateur important de la sécurité alimentaire. En Zambie, on a constaté que les ménages qui mettaient en place l'un quelconque des trois types de diversification étaient moins susceptibles de tomber sous le seuil de pauvreté. Les constatations combinées sur la diversification et les revenus donnent des indications sur les points d'entrée par lesquels on peut instaurer les politiques d'amélioration des institutions qui faciliteront les types de diversification nécessaires au renforcement de la résilience face aux chocs.

INDICES DE DIVERSIFICATION DANS LES ZONES RURALES DE ZAMBIE, PAR DISTRICT

INDICES GINI-SIMPSON 2015



SOURCES: D'après FAO (2015b) et Arslan *et al.* (2016b).

- » 12 pour cent (soit près de 124 millions de personnes) si l'on utilisait largement des variétés de cultures utilisant efficacement l'azote, de 9 pour cent (soit 91 millions de personnes) si le zéro labour était plus largement adopté, et de 8 pour cent (soit 80 millions de personnes) si l'on adoptait des variétés de cultures résistantes à la chaleur ou l'agriculture de précision (figure 14).

Pour avancer ces résultats, on prend comme hypothèses que l'on introduit une seule des pratiques mentionnées dans chaque cas et que ces pratiques sont adaptées aux contextes socioéconomique et agroécologique des régions où l'adoption est prévue. Dans le cadre de l'approche de l'agriculture intelligente face au climat, on constitue une base de données factuelles pour déterminer quelles pratiques sont effectivement adaptées au contexte local. On ne répond pas à cette question *a priori* mais bien en menant un processus de collecte de données factuelles et de dialogue. Il n'existe aucune liste type de pratiques agricoles intelligentes face au climat que l'on pourrait appliquer dans tous les cas: l'agriculture sans labour aura des effets positifs importants en termes d'adaptation dans certains cas et pas dans d'autres (Arslan *et al.*, 2015). On notera également que les agriculteurs peuvent combiner de nombreuses façons les pratiques qu'ils adoptent afin de répondre à leurs besoins spécifiques.

Dans de nombreux contextes, il est judicieux de combiner les pratiques améliorées en les adoptant les unes à la suite des autres, dans l'ordre des activités de production végétale (d'abord les améliorations concernant la préparation du terrain, puis le semis et la gestion des cultures, puis l'irrigation, etc.). Les projections montrent qu'on obtient des effets bénéfiques plus importants pour la sécurité alimentaire – jusqu'à trois fois plus importants que ceux que l'on peut obtenir par la seule amélioration de l'utilisation de l'azote – lorsqu'on adopte une combinaison de pratiques améliorées au lieu d'une seule pratique (Rosegrant *et al.*, 2014).

Quatre stratégies pour renforcer la résilience des moyens d'existence

La diversification

La diversification est une stratégie importante d'adaptation au changement climatique en ce qu'elle aide à répartir le risque de voir la variabilité climatique détériorer les moyens d'existence. On fera tout d'abord une distinction entre la diversification *agricole* et la diversification des *moyens d'existence* (Thornton et Lipper, 2014). La diversification agricole consiste à ajouter des variétés et espèces végétales, ou des races animales, dans les exploitations ou les communautés agricoles. Elle peut prendre la forme d'une diversification des paysages, dans le cadre de laquelle on intercale, dans l'espace et dans le temps, des cultures et des systèmes de culture différents. La diversification des moyens d'existence, quant à elle, consiste, pour les ménages d'agriculteurs, à mener différentes activités agricoles et non agricoles – par exemple en combinant des activités sur le lieu d'exploitation et un travail agricole saisonnier ailleurs, en prenant un emploi en ville, en transformant des produits agricoles ou en ouvrant un magasin. La diversification agricole et la diversification des moyens d'existence sont toutes deux des méthodes de gestion des risques liés au climat.

Les chocs climatiques ayant des effets différents sur des activités agricoles et non agricoles différentes, la diversification pourrait atténuer les incidences que ces chocs auront sur le revenu et offrir un plus large éventail de choix pour gérer les risques futurs. Combinée à des mesures d'atténuation des risques, telles qu'une assurance sur les récoltes ou une protection sociale, la diversification peut accroître les revenus et aider à accélérer la réduction de la pauvreté. Toutefois, si, pour se diversifier, les agriculteurs se tournent vers des activités à faible productivité, cette diversification pourrait faire baisser le revenu moyen des ménages, contraindre ceux-ci à vendre des biens de production en cas de chocs et enclencher un cercle vicieux d'accroissement de la vulnérabilité et de l'exposition au risque

(Dercon, 1996). La diversification des cultures peut être d'une utilité limitée dans l'atténuation des risques liés au climat lorsque ces risques touchent de la même manière les différentes variétés de cultures (Barrett, Reardon et Webb, 2001). Elle peut toutefois toujours être envisagée lorsque les conditions du lieu d'exploitation ne sont ni marginales au point de restreindre la diversification, ni assez optimales pour une culture unique à rendement élevé (Kandulu *et al.*, 2012).

Face à la variabilité du climat, les ménages d'agriculteurs adoptent des stratégies de diversification différentes, selon la nature de leur exposition et l'efficacité de l'action des institutions. Par exemple, lorsque les pluies sont plus variables, les agriculteurs du Malawi cherchent d'autres sources de revenu et d'emploi, tandis que leurs homologues de Zambie se diversifient dans l'élevage (encadré 12). Là où les risques météorologiques sont importants, de nombreux ménages en Afrique subsaharienne penchent pour des systèmes mixtes associant élevage et culture, et ils utilisent alors leur bétail comme un actif pour lisser les fluctuations de leur revenu (Herrero *et al.*, 2010 et 2013; Baudron *et al.*, 2013). Les systèmes agricoles mixtes fournissent, du fait de l'amendement avec le fumier, environ 15 pour cent des intrants en azote utilisés dans la production végétale, ce qui réduit le coût des intrants et permet d'atteindre une intensité d'émission bien inférieure à celle de nombreux systèmes d'élevage à l'herbe (Liu *et al.*, 2010; Herrero *et al.*, 2013). Par ailleurs, les exploitations agricoles diversifiées peuvent jouer un rôle important dans le maintien et le renforcement de la fourniture des services écosystémiques, ce qui contribuera à renforcer la résilience globale (Ricketts, 2001; Kremen et Miles, 2012).

L'appui à la gestion des risques

Outils essentiels pour lutter contre la pauvreté, les programmes de protection sociale peuvent aussi jouer un rôle important lorsqu'il s'agit d'aider les petits exploitants à gérer les risques dans le contexte du changement climatique. La protection sociale prend différentes formes, depuis les aides en espèces jusqu'aux repas scolaires, en passant par les travaux publics.

Les subventions relatives aux intrants agricoles peuvent aussi avoir une fonction de protection sociale en contribuant à réduire la vulnérabilité des petits exploitants face à l'instabilité des prix. Des données factuelles recueillies en Amérique latine et en Afrique subsaharienne montrent les effets positifs évidents que la protection sociale a en termes de sécurité alimentaire, de mise en valeur du capital humain et de capacité économique et productive, même parmi les populations les plus pauvres et les plus marginalisées.

En garantissant la prévisibilité et la régularité, les instruments de protection sociale permettent aux ménages de mieux gérer les risques et de se consacrer à des activités agricoles et à des moyens d'existence plus rémunérateurs. Lorsqu'ils visent les femmes, ces instruments ont non seulement un effet d'autonomisation, mais ils améliorent aussi le bien-être global des ménages du fait que les femmes ont pour priorités la sécurité alimentaire et nutritionnelle et le bien-être des enfants. Les programmes de protection sociale ont aussi de fortes répercussions sur les décisions d'investissement agricole des ménages ruraux et ont donc des incidences positives à plus long terme sur l'accès aux aliments (FAO, 2015c).

En Zambie, les ménages vivant dans les régions qui avaient reçu des pluies moins importantes que la moyenne avaient un apport calorique journalier inférieur et des dépenses alimentaires et non alimentaires plus faibles. C'est dans les ménages les plus pauvres que cet effet était le plus prononcé. Un programme d'aides en espèces visant 20 000 ménages ultrapauvres a permis à ceux-ci de souffrir beaucoup moins des chocs météorologiques. Cela étant, même si la participation au programme de subventions en espèces a aidé à atténuer les effets négatifs des chocs climatiques sur la sécurité alimentaire, elle n'a pas suffi pour les surmonter totalement. Il est donc important de veiller à ce que les programmes de protection sociale se concilient bien avec les autres formes de gestion des risques liés au climat, notamment la réduction des risques de catastrophe (Asfaw *et al.*, 2016b).

Il est rare que les programmes existants de protection sociale tiennent compte des risques liés

au climat. Pour combler cette lacune, plusieurs acteurs de l'action humanitaire et du développement, notamment la FAO, aident les gouvernements nationaux à mettre en place des systèmes de protection sociale fondés sur l'analyse des risques et réactifs aux chocs, qui fournissent une aide avant la survenance des crises, et qui sont fondés sur des critères économiques et liés aux risques climatiques (PNUE, 2016; Winder Rossi *et al.*, 2016). S'ils sont bien reliés à des systèmes d'alerte rapide et reposent sur des paramètres relatifs à l'agriculture, à la sécurité alimentaire et à la nutrition, les systèmes de protection sociale peuvent aussi servir à planifier une réaction rapide dans les situations d'urgence (FAO, 2016a).

On peut mettre en œuvre l'approche présentée ci-dessus en transposant à une plus grande échelle les interventions qui fournissent des espèces et des avoirs productifs à cycle court, parallèlement à une formation technique. Lorsque les marchés fonctionnent et que la monnaie est stable, les aides en espèces ont comme avantages de présenter un bon rapport coût-efficacité, d'avoir un impact et d'être souples, tout en offrant plus de choix aux ménages bénéficiaires. Pourtant, en 2015, les aides en espèces et les bons ont représenté seulement 6 pour cent de l'aide humanitaire (ODI, 2015). Pour renforcer les effets potentiels des interventions fondées sur les aides en espèces, il faut intégrer ces aides dans la préparation et la planification des interventions d'urgence, renforcer les partenariats avec le secteur privé, recourir aux paiements électroniques et aux transferts numériques et – lorsque c'est possible – s'appuyer sur les aides en espèces pour créer des structures d'assistance sociale à moyen et long termes, qu'on pourra utiliser dans les situations d'urgence récurrentes.

Les points d'entrée et les liens opérationnels entre la protection sociale et les politiques relatives au changement climatique sont multiples. On peut concevoir des *programmes de travaux publics*, y compris des filets de sécurité fondés sur des activités productives, de façon à contribuer simultanément à l'augmentation des revenus des ménages, à l'engagement des communautés dans l'agriculture intelligente face au climat et à la création d'«emplois verts» dans des domaines comme la gestion des déchets, le reboisement et

la conservation des sols (Asfaw et Lipper, 2016). On teste actuellement un autre outil d'atténuation des risques dans plusieurs pays: *l'assurance indexée*, qui offre des prestations en fonction d'indices tels que la pluviométrie, les rendements moyens par zone et l'état de la végétation mesuré par satellite. Lorsqu'un indice dépasse un seuil prédéterminé, les agriculteurs reçoivent un versement rapide, parfois par téléphone mobile. Toutefois, l'assurance indexée n'offre pas à elle seule une solution complète aux risques liés au climat. Par exemple, en Inde, le programme d'assurance-récolte fondé sur la météo a peut-être entraîné une transition des bénéficiaires vers des systèmes de production agricole plus rentables mais plus risqués, grâce au subventionnement des primes (Cole *et al.*, 2013). L'assurance indexée est généralement peu utilisée car elle entraîne le plus souvent des frais de transaction élevés. Le manque de confiance dans les institutions d'assurance constitue un autre problème.

De *meilleures informations sur les conditions météorologiques* aideraient les petits producteurs à s'adapter aux variations prévisibles du climat, par exemple en ajustant les dates de plantation ou en mettant le bétail à l'abri à temps. Différentes enquêtes ont montré que les agriculteurs en Afrique orientale et en Afrique australe qui avaient eu accès à des prévisions saisonnières avaient changé au moins quelques-unes de leurs décisions de gestion, ce qui les avait aidés à réduire leurs pertes de récoltes (O'Brien *et al.*, 2000; Ngugi, Mureithi et Kamande, 2011; Phillips, Makaudze et Unganai, 2001, 2002; Klopper et Bartman, 2003; Mudombi et Nhamo, 2014). L'accès à des prévisions climatiques a aidé des agriculteurs au Kenya à éviter des pertes équivalant à pas moins d'un quart de leur revenu net moyen (Erickson *et al.*, 2011).

Les agriculteurs qui ont accès aux technologies de l'information et de la communication ont tendance à utiliser régulièrement les informations climatiques disponibles (Ramussen *et al.*, 2014). L'investissement dans les institutions qui diffusent des prévisions saisonnières, aspect essentiel des informations climatiques, peut accroître la capacité des agriculteurs de réduire leur exposition aux risques (Hansen *et al.*, 2011). De même, pour les organismes portant secours en cas de catastrophe, le dépassement des obstacles institutionnels à »

LES COÛTS ET LES AVANTAGES D'UN INVESTISSEMENT DANS L'ADAPTATION DES PETITS AGRICULTEURS

Modifier les pratiques agricoles sera une stratégie importante de renforcement de la résilience et d'amélioration de la gestion du carbone et de l'azote dans les systèmes de production des petits exploitants. Cependant, les taux d'adoption de ces pratiques par les agriculteurs sont relativement faibles.

La question est donc de savoir combien cela coûtera de stimuler l'adoption jusqu'au niveau requis pour réduire les effets négatifs du changement climatique. Une étude de modélisation (Cacho *et al.*, 2016) portant sur les décisions des ménages relatives aux cultures dans un contexte de changement climatique, combinée à des estimations empiriques tirées d'enquêtes menées auprès des ménages dans quatre pays, fournit des indications qui aident à répondre à cette question. L'étude inclut les résultats de modélisations de quatre régions situées dans quatre pays très vulnérables aux effets du changement climatique sur l'agriculture: le Bangladesh, l'Inde, le Malawi et la République-Unie de Tanzanie.

Les auteurs de l'étude ont réalisé des projections sur les taux d'adoption attendus, en 2050, des pratiques de l'agriculture intelligente face au climat, en s'appuyant sur des données empiriques relatives aux taux d'adoption. Selon ces projections, c'est au Malawi que le taux d'adoption devrait être le plus élevé (96 pour cent). Viennent ensuite la République-Unie de Tanzanie (64 pour cent), l'Inde (62 pour cent) et le Bangladesh (54 pour cent)*. Toutefois, même si

ces taux sont relativement élevés, il est peu probable, dans la plupart des cas, qu'ils suffisent à compenser intégralement les incidences du changement climatique sur les petits exploitants. On peut en conclure que les pratiques de l'agriculture intelligente face au climat ne suffiront pas à elles seules pour obtenir les changements transformationnels nécessaires, si elles ne s'accompagnent pas d'investissements plus importants dans la création d'environnements porteurs et dans la promotion de technologies particulièrement prometteuses en matière d'adaptation.

Les auteurs de cette étude ont aussi analysé les coûts et les avantages de l'adaptation au moyen d'investissements dans des semences améliorées adaptées à l'évolution projetée des contextes locaux. En l'absence d'adaptation, le changement climatique coûtera cher aux petits exploitants dans l'hypothèse d'un changement climatique lourd (tableau A). Les pertes dues au changement climatique seraient réduites de 34 à 51 pour cent, selon les pays, en cas d'adoption de semences résistant à la sécheresse, en retenant des hypothèses prudentes concernant les rendements. La valeur actuelle nette (VAN) des investissements dans l'adoption de semences améliorées a été estimée à une fourchette allant d'une moyenne de 203 USD par hectare au Malawi à une moyenne de 766 USD par hectare sur les terres pluviales en Inde.

TABLEAU A

EFFETS POSITIFS NETS DE L'ADOPTION DE SEMENCES AMÉLIORÉES DANS CERTAINS PAYS POUR LA PÉRIODE 2020-2050 (valeur actuelle nette avec un taux d'actualisation de 5%)

	Coût estimé des dégâts dus au changement climatique		Différence	Superficie prise en considération (Millions d'ha)	Valeur actuelle nette de l'adoption des semences (USD/ha)
	(Valeur actuelle en millions d'USD)				
	Référence (pas d'adaptation)	Semences améliorées	%		
Bangladesh	221	125	43	0,2	454
Inde	13 595	6 626	51	9,1	766
Malawi	981	516	47	2,3	203
République-Unie de Tanzanie	8 567	5 622	34	9,7	303

Remarque: La situation de référence, dans les conditions actuelles, est comparée à une situation dans laquelle des semences améliorées sont mises au point et réduisent de 30 pour cent les dégâts causés dans le cadre du scénario climatique le plus pessimiste (RCP 8.5). En supposant l'existence d'une politique d'appui à l'adoption des semences améliorées, le coût par hectare correspond à la somme des achats d'engrais et de semences, des coûts de distribution et des coûts administratifs, divisée par la superficie totale couverte par la politique. On estime le bénéfice net sur 30 ans, en soustrayant le coût de la mise en œuvre de la politique.

SOURCE: Cacho *et al.*, 2016.

ENCADRÉ 13

(SUITE)

Ces résultats montrent que des initiatives d'adaptation bien conçues et ciblées peuvent générer des bénéfices importants pour les petits exploitants, compte tenu des effets que le changement climatique devrait avoir selon les projections. Dans le cas des semences améliorées, l'initiative nécessite des interventions dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement: il faudra veiller à la production de semences en quantités suffisantes et soutenir le développement des entreprises locales nécessaires pour commercialiser les intrants et acheter les produits. La création de systèmes réduisant les coûts de transaction pour l'accès des petits exploitants à l'approvisionnement en semences est un autre aspect important pour l'efficacité des politiques. L'analyse portait également sur le rapport coûts-bénéfices de deux autres mesures importantes d'adaptation au

changement climatique: l'irrigation et les techniques d'économie de l'eau. Les avantages moyens de l'irrigation dans le contexte du changement climatique ont été estimés à 226 USD par hectare au Bangladesh et à 494 USD par hectare en Inde (tableau B). Les auteurs ont calculé ces avantages en retenant la valeur du dommage évité par hectare, sur la base des revenus que les petits exploitants tirent de leurs cultures. Pour les systèmes de production de petite taille, le coût par hectare de l'amélioration de l'irrigation est plus faible, et le rapport avantages-coûts est donc nettement plus favorable, ce qui renforce encore l'argument selon lequel des investissements réalisés maintenant dans une adaptation efficace seront très bénéfiques pour les petites exploitations agricoles.

TABLEAU B

AVANTAGES ET COÛTS DE L'IRRIGATION PAR HECTARE EN 2050

	Avantages de l'irrigation (USD/ha)	Coût de l'infrastructure d'irrigation (USD/ha)		Avantages/coût	
		Petite échelle	Grande échelle	Petite échelle	Grande échelle
Bangladesh	226	29	79	7,8	2,9
Inde	494	29	79	17,0	6,3

SOURCE: Cacho *et al.*, 2016.

* On a utilisé le cadre modèle LPJml-MAGPIE (Popp *et al.*, 2016; Lotze-Campen *et al.*, 2008; Bondeau *et al.*, 2007) pour estimer les rendements et les prix des cultures dans les différents scénarios relatifs au climat. Les projections des rendements des cultures concordent avec celles du modèle IMPACT de l'IFPRI. Les résultats pour le Bangladesh et l'Inde ne sont pas représentatifs à l'échelle du pays. En effet, l'enquête utilisée ne portait que sur certains villages.

» L'utilisation des prévisions saisonnières s'est révélé essentiel pour sauver des vies lors des crises climatiques (Tall *et al.*, 2012).

Réduire les inégalités entre les sexes

Les hommes et les femmes ayant des priorités et des capacités différentes lorsqu'il s'agit de faire face au changement climatique, les responsables politiques et les institutions doivent tenir compte des différences entre les sexes lorsqu'ils conçoivent des interventions visant à renforcer la résilience des moyens d'existence ruraux (Acosta *et al.*, 2015; Gumucio et Tafur-Rueda, 2015). Souvent, les normes sociales imposent les responsabilités agricoles et limitent les choix des femmes, ce qui détermine le type d'informations dont elles ont

besoin et les canaux d'information auxquels elles ont accès (Archer et Yamashita, 2003; McOmber *et al.*, 2013; Jost *et al.*, 2015). Par exemple, les informations sur le moment où vont commencer les pluies sont importantes pour les agriculteurs au Sénégal étant donné que les hommes ont un accès prioritaire aux animaux en vue de la préparation des champs; les femmes n'ont pas la capacité d'agir sur la base de ces informations et préfèrent les prévisions concernant la fin des pluies et les périodes sèches (Tall *et al.*, 2014).

Le projet kényan de carbone agricole (*Kenya Agricultural Carbon Project*), mis en œuvre par Vi Agroforestry et la Banque mondiale, met en avant plusieurs stratégies permettant de remédier

aux disparités entre hommes et femmes concernant les droits fonciers, les droits sur les arbres, la main-d'œuvre, les connaissances, le partage des avantages, la participation et l'exercice de responsabilités. On peut citer plusieurs exemples de stratégies: la signature de contrats par des groupes, qui comprennent des femmes quand bien même celles-ci ne possèdent pas de terre; des investissements dans la formation conçus pour atteindre les femmes (par exemple l'engagement d'animatrices au sein des communautés), la fourniture de jeunes plants d'essences généralement souhaitées par les femmes (par exemple des essences qui fournissent du bois de chauffe, du fourrage, de l'ombrage et des fruits); des systèmes et des règles de rotation dans l'exercice des responsabilités, ou encore l'amélioration de l'accès des femmes aux prêts et aux assurances (Banque mondiale, 2010a; Vi Agroforestry, 2015; Shames *et al.*, 2012). Un projet participatif mené dans la communauté de Kumbharwadi, en situation de stress hydrique, dans le Maharashtra (Inde), a permis de réduire le temps que les femmes consacrent à la collecte d'eau potable et de bois de chauffe en installant des sources pour ces deux ressources plus près de leurs foyers, et a contribué à renforcer la participation des femmes à la prise de décisions dans le village. Ce projet a conduit à la hausse des revenus des ménages pauvres (Gray et Srinidhi, 2013; Banque mondiale, FAO et FIDA, 2015).

La migration

Les stress environnementaux et climatiques qui menacent les moyens d'existence – par exemple les sécheresses, les inondations et les conditions météorologiques imprévisibles – poussent les ruraux à migrer. À mesure que la terre est cultivée de façon plus intensive, le sol se dégrade davantage, la production baisse et les revenus chutent. Qui plus est, la pénurie d'eau due aux longs épisodes de sécheresse et les conflits portant sur l'utilisation de l'eau peuvent pousser les agriculteurs plus pauvres à abandonner les terres. La migration temporaire, saisonnière et permanente peut être une forme de diversification des moyens d'existence, qui a des effets bénéfiques importants pour de nombreux ménages ruraux. Elle est une source essentielle de diversification des revenus, qui

dynamise la résilience des ménages et offre des moyens de réaliser des investissements en faveur d'une meilleure productivité. Mais le revers de la médaille est que les migrants doivent souvent faire face à de multiples difficultés, risques et dangers.

Il ressort d'une étude de l'Institut international pour l'environnement et le développement (IIED, 2010) que des centaines de millions de personnes pourraient se voir contraintes de fuir leur foyer en conséquence de pressions climatiques et environnementales d'ici à 2050. C'est grâce à des prévisions de ce type que la migration est aujourd'hui devenue une question à prendre en considération dans le contexte de l'adaptation au changement climatique. Dans leurs stratégies d'adaptation, les gouvernements ont tendance à choisir l'une ou l'autre des approches suivantes (KNOMAD, 2014). La première, qui est la plus courante, consiste à voir l'adaptation comme une façon de réduire les pressions migratoires et de permettre aux personnes de rester où elles se trouvent en améliorant les pratiques agricoles et l'infrastructure. La seconde considère la migration comme une stratégie d'adaptation à part entière, qui allège la pression démographique sur les zones fragiles. Un aspect particulièrement intéressant pour ceux qui définissent les politiques de développement est la possibilité de voir les migrants qui vivent déjà en dehors des zones vulnérables aider leurs communautés d'origine à s'adapter et à faire face au changement climatique.

La protection sociale et les politiques dynamiques visant le marché du travail peuvent jouer des rôles importants dans l'atténuation de bon nombre des risques liés à la migration. Une éducation et une formation de meilleure qualité amélioreraient les perspectives d'emploi des ruraux qui décident de migrer, surtout les jeunes, et de ceux qui cherchent un emploi demandant davantage de compétences dans l'agriculture durable. Il sera important de fournir une infrastructure correcte de transport et de communication, soit directement par le secteur public, soit en favorisant l'investissement privé, pour réduire les coûts inhérents aux voyages et aux transferts de fonds, ainsi que pour faciliter les flux d'information sur les perspectives d'emploi et les perspectives commerciales. ■

LES FACTEURS QUI LIMITENT LA CAPACITÉ D'ADAPTATION

Une méta-analyse récente des éléments qui déterminent l'adoption de techniques améliorées en Afrique (Arslan *et al.*, 2016a) met en lumière les obstacles que doivent surmonter les petits agriculteurs lorsqu'il s'agit d'apporter les changements progressifs nécessaires en vue de l'adaptation au changement climatique. L'ensemble de données est construit sur des informations tirées de 150 articles publiés et comprend 87 pratiques améliorées dans l'agroforesterie, l'agronomie et l'élevage. Le principal obstacle à l'adoption de l'agroforesterie est l'accès aux informations, essentiellement celles qui viennent des services de vulgarisation agricole, un facteur qui est significatif dans environ 40 pour cent des études qui en tiennent compte. La distance par rapport aux marchés, l'appartenance à un groupe d'agriculteurs ou à d'autres groupes

sociaux et la sécurité des régimes fonciers sont d'autres éléments déterminants pour l'adoption de pratiques agroforestières améliorées. Concernant l'adoption de pratiques agronomiques améliorées, les principaux obstacles avaient trait à l'accès aux informations; venaient ensuite la sécurité des régimes fonciers, les dotations en ressources et l'exposition aux risques et aux chocs. L'analyse a également montré qu'il était nécessaire de cibler spécifiquement les personnes disposant de dotations moins importantes, notamment les agricultrices et les ménages dirigés par des femmes, étant donné que ceux-ci ont habituellement un accès bien plus limité aux informations et aux technologies. Les ménages dirigés par des hommes étaient bien plus susceptibles d'adopter des pratiques améliorées en matière d'agroforesterie ou d'agronomie.

AGROFORESTERIE ET AGRONOMIE: LES FACTEURS DÉTERMINANTS DE L'ADOPTION DES TECHNIQUES ET PRATIQUES AMÉLIORÉES ET LEUR DEGRÉ DE SIGNIFICATION DANS LA DOCUMENTATION SPÉCIALISÉE

Déterminant	Agroforesterie				Agronomie			
	1. Total	2. Négatif (-)	3. Positif (+)	4. Statistiquement non significatif	1. Total	2. Négatif (-)	3. Positif (+)	4. Statistiquement non significatif
	(N°)	(Pourcentage)	(Pourcentage)	(N°)	(Pourcentage)	(Pourcentage)	(N°)	(Pourcentage)
Informations	60	1,7	41,7	56,7	459	7,6	37	55,4
Dotation en ressources	75	14,7	28	57,3	991	12,9	29,2	57,9
Risque et chocs	16	0	18,8	81,3	106	8,5	29,2	62,3
Facteurs biophysiques	20	15	20	65	544	13,4	20	66,6
Distance par rapport au marché/aux routes	17	11,8	47,1	41,2	249	20,9	14,1	65
Sociodémographie	129	5,4	29,5	65,1	1 154	12,2	21,9	65,9
Groupes/capital social	29	10,3	44,8	44,8	288	9,7	26,7	63,6
Sécurité des régimes fonciers	19	10,5	42,1	47,4	116	8,6	36,2	55,2
Disponibilité de la main-d'œuvre	18	5,6	38,9	55,6	96	14,6	24	61,4
Accès au crédit	15	6,7	13,3	80	167	12,6	24,6	62,8
Nombre total de résultats	398	7,8	32,4	59,8	4 170	12,3	25,7	62

Remarque: Les colonnes 2 à 4 montrent, pour l'agroforesterie et l'agronomie, le pourcentage d'articles traitant d'un facteur déterminant de l'adoption qui a sur celle-ci un effet négatif, un effet positif ou un effet statistiquement non significatif.

SOURCE: Arslan *et al.*, 2016a.

TABLEAU 10

COÛT D'OPPORTUNITÉ DE LA GESTION AMÉLIORÉE DU PÂTURAGE DANS LA PROVINCE DU QINGHAI, EN CHINE

Taille du troupeau	Revenu net de référence (USD/ha/an)	Valeur actuelle nette par ha sur 20 ans (USD/ha)	Nombre d'années à attendre avant d'obtenir un flux de trésorerie positif (Nombre d'années)	Nombre d'années à attendre avant d'obtenir un revenu net plus élevé que le revenu de référence (Nombre d'années)
Petit	14	118	5	10
Moyen	25	191	1	4
Grand	25	215	1	1

SOURCE: McCarthy, Lipper et Branca, 2011.

ENCADRÉ 15

RÉORIENTER LA RECHERCHE POUR RELEVER LE DÉFI CLIMATIQUE

La recherche agronomique porte essentiellement sur les cultures annuelles et non sur les cultures pérennes.

Alors que les incidences du changement climatique se font sentir sur la productivité agricole et le potentiel de production, les chercheurs doivent adopter une approche bien plus large et intégrée, qui tienne compte des cultures pérennes, de l'élevage et de l'aquaculture, et qui offre une meilleure compréhension des incidences du changement climatique du point de vue des ravageurs et des maladies.

Il est tout particulièrement urgent de mettre au point de nouvelles variétés et des techniques d'appui, en raison du temps qui s'écoule – généralement plus d'une décennie – entre les premières recherches sur une nouvelle variété et la diffusion de celle-ci auprès des producteurs (Challinor *et al.*, 2016). Il faut s'efforcer tout spécialement de mettre au point des variétés

résistantes à la chaleur et la sécheresse, non seulement pour les pays tropicaux, mais aussi pour les pays tempérés qui connaissent déjà des températures élevées pendant la période végétative. On prévoit ainsi que certains pays développés vont connaître une forte baisse des rendements du maïs imputable au changement climatique.

Les pays développés disposent généralement d'une plus grande capacité – tant dans le secteur public que dans le secteur privé – pour la mise au point de nouvelles variétés, mais les pays plus pauvres, eux, dépendent du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR) et des instituts nationaux de recherche agricole pour la mise au point de variétés à haut rendement et intelligentes face au climat. Il est donc nécessaire de renforcer et de pérenniser les investissements dans ces institutions.

QUEL SERA LE COÛT DE L'ADAPTATION?

Combien cela coûtera-t-il réellement de renforcer la capacité des petits producteurs de s'adapter au changement climatique? Cette question se pose souvent, surtout dans le contexte de la mise au point de nouvelles sources de financement en faveur de l'action climatique. Un examen de la documentation publiée sur les coûts et avantages (sur l'économie entière) de l'adaptation au

changement climatique (Watkiss, 2015), a permis de recenser plus de 500 articles sur le sujet. Les estimations varient pour de nombreuses raisons, notamment des différences dans la couverture régionale, les scénarios relatifs au changement climatique, les méthodes et les modèles utilisés, ainsi que dans la période, les mesures d'adaptation et les secteurs qui ont été pris en considération. Plusieurs études mondiales indiquent que l'inaction coûterait bien plus cher que l'adaptation au changement climatique (Stern, 2007; OCDE, 2012; Stern, 2014; OCDE, 2015). Certaines analyses menées au

niveau de pays comparent le coût de l'inaction et le coût de l'adaptation. Nous nous intéressons ici à deux études de ce genre menées dans des pays en développement, où une grande part des agriculteurs sont des petits exploitants, et à une étude lancée par la FAO, qui se concentre spécifiquement sur les petits exploitants de quatre pays (encadré 13).

Selon une étude menée en Ouganda, les incidences économiques cumulées du changement climatique sur l'agriculture, l'eau, l'énergie et l'infrastructure se situeraient dans une tranche allant de 273 à 437 milliards d'USD entre 2010 et 2050, en fonction des hypothèses retenues concernant le développement socioéconomique et la gravité du changement climatique (Markandya, Cabot-Venton et Beucher, 2015). En prenant en considération le seul secteur de l'agriculture, l'inaction coûterait, sous forme d'une baisse de la production végétale et animale, et des exportations, entre 22 et 38 milliards d'USD sur la même période. Alors que le budget à consacrer à l'adaptation, comprenant des systèmes d'irrigation plus efficaces, des variétés de cultures améliorées, des races animales mieux adaptées et plus productives et des facilités de crédit, pourrait atteindre près de 644 millions d'USD par an d'ici à 2025, l'inaction coûterait jusqu'à 46 fois plus cher.

Une étude de cas consacrée au Viet Nam montre aussi que le changement climatique aura probablement un coût économique bien plus élevé que le coût de l'adaptation (Banque mondiale, 2010c). L'adaptation n'empêchera pas les pertes économiques dues au changement climatique, mais elle en réduira fortement l'ampleur. On estime que, sans adaptation, les pertes agricoles dues au changement climatique s'élèveraient à environ 2 milliards d'USD par an. Même avec des mesures d'adaptation, des pertes seront probablement subies, mais elles seront limitées à environ 500 millions d'USD, soit une baisse des pertes totales d'environ 1,5 milliard d'USD par an. L'adaptation inclurait les stratégies d'adaptation adoptées par les agriculteurs eux-mêmes, par exemple la modification du calendrier des semis ou l'utilisation de variétés résistantes à la sécheresse ou à la salinité, ainsi que des

interventions des pouvoirs publics, notamment des investissements dans l'irrigation et l'accroissement des dépenses consacrées à la recherche et au développement agricoles. Le coût de l'adaptation, estimé à environ 160 millions d'USD par an sur la période 2010-2050, ne représenterait qu'une fraction des économies qu'elle permettrait de réaliser.

En bref, bien que l'on dispose pour l'instant de peu d'études systématiques sur le coût de l'adaptation au changement climatique dans les petites exploitations agricoles, les données factuelles disponibles donnent à penser que les rapports coûts-bénéfices seront extrêmement positifs. C'est tout particulièrement vrai lorsqu'on s'intéresse à la différence entre le coût de l'inaction et les effets bénéfiques de l'action, mais aussi lorsqu'on compare le coût des investissements dans les pratiques agricoles intelligentes face au climat et les avantages en termes d'augmentation des rendements, d'amélioration des moyens d'existence et de diminution du nombre de personnes en situation d'insécurité alimentaire. La grande question est donc de savoir comment gérer la transition vers l'agriculture durable et réduire autant que possible les coûts de transaction pour les systèmes des petits agriculteurs. ■

GÉRER LA TRANSITION DES PETITS EXPLOITANTS VERS DES SYSTÈMES DE PRODUCTION INTELLIGENTS FACE AU CLIMAT

Recenser les entraves à l'adoption et évaluer les arbitrages à faire

Dans le cadre de l'agriculture intelligente face au climat, on reconnaît qu'il peut être nécessaire de

faire des arbitrages et qu'il peut exister des synergies entre les trois objectifs de l'approche que sont l'accroissement durable de la productivité, l'augmentation de la capacité d'adaptation et de la résilience face aux chocs, et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cet aspect est particulièrement important lorsqu'on étudie les différents moyens de transformer la petite production agricole en vue de réduire la pauvreté dans un contexte de changement climatique. La question des arbitrages potentiels entre l'atténuation et la sécurité alimentaire fait l'objet de débats passionnés, d'aucuns craignant que les petits producteurs des pays en développement soient contraints d'assumer le coût de la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour atténuer un changement climatique dont ils ne sont pas responsables et dont ils risquent d'être les premières victimes (Lipper *et al.*, 2015).

L'approche de l'agriculture intelligente face au climat traite explicitement de cette question en déterminant le coût des mesures d'atténuation par la création d'une base de données factuelles propre aux différents sites. On entreprend tout d'abord une évaluation des obstacles auxquels font face les petits agriculteurs lors de la transition vers des systèmes agricoles durables et intelligents face au climat (encadré 14). Cette première évaluation fait ensuite l'objet d'un dialogue entre toutes les parties prenantes, ce qui permet de décider des changements qu'il convient d'apporter aux politiques et aux structures d'incitation afin de créer les conditions voulues pour la transition.

Il faut comptabiliser clairement les coûts des changements afin de trouver où des compromis sont possibles. Par exemple, l'amélioration des stocks de carbone dans le sol par une meilleure gestion des terres et leur remise en état engendre des coûts d'investissement pour les clôtures, les semences et les machines, les manques à gagner du fait de la perte de production, et des coûts opérationnels du fait du travail qu'il faut fournir chaque année pour préserver et accroître le stock de carbone dans le sol. L'adoption de pratiques qui accroissent le stock de carbone dans le sol peut coûter très cher aux petits agriculteurs, surtout lors des phases initiales et de transition. Il se peut par ailleurs que les coûts que devront

assumer les agriculteurs pour adopter ces pratiques dépassent les avantages qu'ils en tireront, mais cela aura des effets bénéfiques pour d'autres acteurs du fait de l'amélioration des fonctions des paysages et des bassins versants.

Le tableau 10 présente un exemple de ces coûts; on y voit le nombre d'années que des éleveurs de yak de la province du Qinghai, en Chine, devraient attendre pour obtenir un rendement positif s'ils investissaient dans la remise en état de leurs pâturages fortement dégradés. Ce sont les plus petits producteurs qui obtiennent les retours les moins importants en termes de valeur actuelle nette (VAN)⁶ par hectare d'investissement. Ce sont également eux qui devraient attendre le plus longtemps pour obtenir des rendements positifs – il faudrait 10 ans pour que leur investissement dans la remise en état des pâturages dégradés leur apporte un revenu égal à celui qu'ils tirent du système dégradé actuel. Les coûts associés à l'adoption de pratiques améliorées de gestion des terres sur des sols de bonne qualité représentent aussi un compromis important pour les agriculteurs (FAO, 2009), même si la remise en état de terres fortement dégradées coûte bien plus cher.

Les coûts que doivent assumer les producteurs agricoles – et, partant, les arbitrages qu'ils doivent faire – sont influencés par l'environnement politique et institutionnel. Lors de la transition vers une agriculture intelligente face au climat, il est donc important d'évaluer la nécessité de modifier les mesures existantes, par exemple les subventions relatives aux moyens de production, et le potentiel offert par les programmes de protection sociale lorsqu'il s'agit de faire face aux risques inhérents au changement climatique. Par exemple, les subventions pour les engrais chimiques n'incitent généralement pas à une utilisation efficace des engrais; en fait, elles peuvent produire l'effet inverse. Par ailleurs, la prise en compte de l'exposition aux risques climatiques

⁶ La valeur actuelle nette d'un investissement est la différence entre la valeur actuelle des recettes en espèces et la valeur actuelle des dépenses en espèces.

dans la méthode de ciblage des programmes de protection sociale est un changement institutionnel assez facile à mettre en place et qui va dans le sens de l'agriculture intelligente face au climat. La réorientation de la recherche agronomique de façon à intégrer l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de celui-ci est un autre élément important de l'environnement porteur (encadré 15).

Le défi du financement

La durabilité des systèmes de production alimentaire des petits exploitants dépendra de la capacité de ceux-ci d'adopter des pratiques et des techniques intelligentes face au climat. Pour qu'ils puissent le faire, des investissements supplémentaires sont nécessaires. Cependant, l'accès au financement pour les secteurs agricoles – sans même encore parler de l'agriculture intelligente face au climat – pose des difficultés dans de nombreux pays en développement, et ce depuis des décennies. La part de l'agriculture dans les portefeuilles des institutions financières est traditionnellement faible, un constat qui est encore plus évident lorsqu'on compare cette part à la contribution de l'agriculture au PIB. L'agriculture étant considérée comme un secteur offrant des bénéfices faibles et comportant des risques élevés, les sources de financement de la plupart des pays limitent leur exposition à ce secteur, resserrent les critères de prêt et imposent des conditions d'emprunt onéreuses. Souvent, elles évitent même totalement l'agriculture, préférant chercher des rendements plus stables dans d'autres secteurs de l'économie. De ce fait, les financements sont insuffisants, ce qui a de fortes répercussions sur l'agriculture, et surtout sur les agriculteurs et les petites et moyennes entreprises agroalimentaires.

Ce sont les petits exploitants qui ont le plus de mal à obtenir des financements. Généralement, leurs compétences financières sont limitées, ils ont peu de garanties, voire aucune garantie à offrir, leurs antécédents de crédit sont peu solides ou inexistantes et ils n'ont guère d'autres sources de revenu. Fortement dispersés et installés dans des régions éloignées des centres

urbains, les petits exploitants sont même difficiles à atteindre pour les prêteurs. Du fait de leur isolement, ces agriculteurs doivent assumer des coûts de transaction qui sont parfois plus élevés que le crédit dont ils ont besoin. L'accès au financement est particulièrement difficile pour les femmes, en raison d'obstacles socioéconomiques, politiques et juridiques.

Par ailleurs, même lorsqu'il existe des services financiers formels, ceux-ci ne répondent bien souvent pas aux besoins des petits exploitants, et ne tiennent pas compte du contexte dans lequel ces agriculteurs évoluent. Les institutions financières ont tendance à mettre à disposition un fonds de roulement à court terme plutôt que les fonds que nécessiteraient la création de valeur ajoutée et l'amélioration de la productivité. De plus, les financiers imposent souvent des calendriers de remboursement rigides et des échéances courtes qui, du fait du caractère saisonnier des cycles agricoles, ne correspondent pas aux flux de liquidités saisonniers des petits exploitants.

En conséquence, la grande majorité des agriculteurs, dans les pays en développement, sont véritablement exclus du système financier et privés de perspectives de croissance économique. Selon une estimation, le besoin total de financement des petits agriculteurs en Amérique latine, en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud et du Sud-Est s'élève à environ 210 milliards d'USD par an (Rural and Agricultural Finance Learning Lab, 2016). Qui plus est, il est probable que ce déficit de financement se creuse encore fortement à l'avenir, du fait des prêts à plus long terme qui seront nécessaires pour financer les activités d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de celui-ci.

Les petites et moyennes entreprises (PME) ont également du mal à obtenir des financements, surtout des prêts à plus long terme. Les PME sont essentielles pour le développement de l'agriculture étant donné qu'elles jouent un rôle de première importance dans l'accroissement des revenus et de la productivité des petits exploitants et dans l'amélioration de l'efficacité

des chaînes de valeur, ce qui crée des emplois ruraux. Si elles n'obtiennent pas les fonds nécessaires pour exprimer pleinement leur potentiel, les PME créent moins d'emplois et emploient moins de travailleurs. Ce déficit de financement des PME agricoles accentue donc le chômage et la pauvreté dans les zones rurales du monde entier. Nombre de PME ont besoin de prêts dont le montant est trop élevé pour les

institutions de microcrédit, mais qui ne sont pas assez importants – et considérés comme trop risqués – pour les institutions proposant des prêts commerciaux. C'est particulièrement problématique lorsque les producteurs et les entreprises souhaitent investir dans des infrastructures de création de valeur ajoutée qui pourraient fortement accroître leur productivité et leurs revenus. ■

CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a exploré les vulnérabilités des petites exploitations agricoles face aux risques liés au changement climatique et on a réfléchi aux angles d'attaque contre ces vulnérabilités. Plusieurs éléments clés ressortent des analyses menées par la FAO et de la documentation consacrée à ces questions. Tout d'abord, si l'expression «changement climatique» est passe-partout, les manifestations du phénomène, elles, seront complexes et variées. Les contraintes en termes de productivité varient considérablement d'un système agricole à l'autre et d'une région à l'autre. Par ailleurs, on ignore si ce sont les valeurs moyennes, la variabilité ou les extrêmes dans la pluviométrie ou les températures qui auront les plus fortes répercussions sur les rendements. À mesure que le climat mondial changera, on constatera des répercussions tantôt directes, tantôt indirectes, du fait, par exemple, de la propagation de ravageurs ou de maladies. Comprendre les principales contraintes météorologiques et la façon dont elles subissent l'influence du changement climatique est une première étape importante pour déterminer le type d'appui dont les petits agriculteurs auront besoin. Il reste encore beaucoup à faire pour améliorer nos connaissances et communiquer correctement celles-ci aux parties prenantes.

Le deuxième point important qui ressort de ce chapitre est que l'intensification durable, les

techniques agricoles améliorées et la diversification peuvent atténuer les incidences du changement climatique, et même réduire considérablement le nombre de personnes risquant de souffrir de la faim. Cependant, l'adoption généralisée de techniques améliorées peut être entravée par des obstacles politiques et institutionnels, qu'il faudra surmonter. Comme on l'a vu dans les études de cas sur le Malawi et la Zambie, c'est dans les régions où le temps est le plus variable que la diversification est habituellement adoptée et se révèle plus efficace. Cela montre combien il est important de s'attaquer aux difficultés au cas par cas, et non d'imposer des politiques globales à l'ensemble des régions agroécologiques et des systèmes agricoles.

Le troisième point est que l'adaptation est judicieuse sur le plan économique, puisque les avantages qu'elle apporte l'emportent sur les coûts qu'elle entraîne, souvent largement, mais ce simple fait ne suffit pas à faire se produire l'adaptation. Les petits agriculteurs ont beaucoup de mal à surmonter les obstacles qui entravent l'adoption de nouvelles techniques et pratiques en raison des difficultés qu'ils ont à obtenir des financements. Il en va de même pour les petites et moyennes entreprises qui créent à la fois des revenus pour les petits agriculteurs, et des emplois ruraux qui permettent la diversification des revenus en dehors des exploitations.



CHAPITRE 4

LE RÔLE DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES ET AGRICILES DANS L'ATTENUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

PÉROU

Des travailleurs agricoles en
train de restaurer des terrasses
traditionnelles.

©FAO/A. Odoul



**VALLÉE SACRÉE DES
INCAS, PÉROU**

Système agroécologique à
trois niveaux (maïs, pommes
de terre et pâturage).
©FAO/A. Proto



MESSAGES CLÉS

1 LES SECTEURS DE L'AGRICULTURE FONT FACE À UN DÉFI SANS PRÉCÉDENT: produire plus de nourriture tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre provoquées par la production alimentaire.

2 L'AGRICULTURE POURRAIT DIMINUER L'INTENSITÉ DE SES ÉMISSIONS, mais pas suffisamment pour contrebalancer l'augmentation prévue de ses émissions totales.

3 IL EST ESSENTIEL DE S'ATTAQUER AUX ÉMISSIONS CAUSÉES PAR LE CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES QUI ACCOMPAGNE L'EXPANSION AGRICOLE, mais la réussite de l'entreprise passe par un développement agricole durable.

4 L'AMÉLIORATION DE LA GESTION DU CARBONE ET DE L'AZOTE PERMET ÉGALEMENT DE RÉDUIRE LES ÉMISSIONS, mais il est probable qu'elle sera motivée par des objectifs d'adaptation et de sécurité alimentaire et non par des objectifs d'atténuation.

5 LA BAISSÉ DES ÉMISSIONS AGRICOLES dépend aussi des mesures tendant à limiter les pertes et le gaspillage de nourriture et à promouvoir des régimes alimentaires durables.

LE RÔLE DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES ET AGRICOLES DANS L'ATTENUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Après avoir examiné au chapitre 3 les mesures permettant d'améliorer la capacité des petits exploitants et des populations rurales vulnérables de résister au changement climatique, nous allons aborder les systèmes alimentaires et agricoles sous un angle plus large afin d'évaluer leur contribution potentielle à l'atténuation du changement climatique. Les secteurs de l'agriculture seront appelés à jouer un rôle dans cette atténuation, parce que leur part dans les émissions mondiales va croître – celles-ci, on l'espère, ayant vocation à globalement diminuer – et parce qu'ils peuvent, dans certaines conditions, contribuer à séquestrer le dioxyde de carbone.

On s'attend à ce que les émissions agricoles suivent l'augmentation de la demande alimentaire, elle-même liée à l'accroissement de la population et des revenus et à l'évolution corollaire vers des régimes alimentaires davantage axés sur les produits d'origine animale. L'agriculture peut contribuer à l'atténuation en découplant l'augmentation de sa production de celle de ses émissions, à la faveur d'une réduction de l'intensité de ces dernières (quantité de gaz à effet de serre générée par unité produite). Ce découplage peut ensuite être complété par des mesures visant à réduire les pertes et le gaspillage de nourriture et à encourager le changement des habitudes alimentaires.

Les secteurs de l'agriculture, en particulier la foresterie, se distinguent par leur capacité de faire office de puits de carbone, en absorbant le CO₂ et en séquestrant le carbone dans la biomasse et le sol. Cependant, à l'heure actuelle, la déforestation est une source majeure d'émissions, et les pratiques agricoles non durables continuent d'appauvrir le stock de carbone organique du sol à l'échelle de la planète. L'exploitation du potentiel de séquestration du

carbone dans les forêts et les terres agricoles dépendra des conditions biophysiques, des solutions techniques et des politiques.

Les émissions agricoles, tout comme les puits de carbone, font partie intégrante des cycles mondiaux du carbone (C) et de l'azote (N); pour optimiser le potentiel d'atténuation qu'offre l'agriculture, il faut donc commencer par comprendre ces cycles et leurs interactions avec les activités agricoles. Ces connaissances permettront de mieux évaluer les différents problèmes inhérents à la réduction de ces émissions, lesquelles font intervenir des processus biophysiques complexes et sont plus difficiles à surveiller et à maîtriser que les émissions issues de la plupart des autres sources anthropiques de gaz à effet de serre. L'un des principaux éléments des stratégies d'atténuation consistera à améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles dans l'agriculture.

Il est important de rappeler l'impossibilité de dissocier, dans les secteurs de l'agriculture, les objectifs de sécurité alimentaire, d'adaptation et d'atténuation du fait des synergies et des arbitrages à réaliser. De plus en plus de données d'expérience montrent qu'il faut disposer d'ensembles intégrés de techniques et de pratiques, adaptés aux conditions agroécologiques spécifiques des producteurs, pour mener des activités d'atténuation et d'adaptation d'un bon rapport coût-efficacité. ■

ENCADRÉ 16

LE CARBONE ET L'AZOTE DANS LES SECTEURS DE L'AGRICULTURE

Les termes «cycle du carbone» et «cycle de l'azote» désignent les flux de ces deux éléments chimiques sous diverses formes dans l'atmosphère terrestre, dans les océans et dans la biosphère et la lithosphère terrestres.

D'après les estimations, jusqu'à 80 pour cent du carbone organique total de la biosphère terrestre, hors combustibles fossiles, est stocké dans les sols, contre 20 pour cent dans la végétation. On estime également que la croissance des plantes produit 54 gigatonnes de carbone (ou GtC) par an. La production primaire nette utilisée par l'homme – à savoir la quantité de carbone dans la biomasse qui est récoltée, pâturée, brûlée ou perdue du fait d'un changement d'affectation des terres induit par l'homme – se situe d'après les évaluations dans une fourchette comprise entre 15 et 20 GtC (Running, 2012; Krausmann *et al.*, 2013). Les océans et les zones littorales jouent un rôle essentiel dans le cycle du carbone. On estime que plus de 90 pour cent du carbone mondial est stocké dans les systèmes aquatiques. En outre, 25 pour cent

environ des émissions annuelles de gaz à effet de serre sont séquestrées dans les milieux aquatiques, principalement les mangroves, les herbiers sous-marins, les forêts situées dans des plaines d'inondation et les sédiments côtiers (Nellemann, Hain et Alder, 2008; Khatiwala *et al.*, 2013). La contribution des systèmes aquatiques à l'atténuation du changement climatique pourrait donc être considérable.

L'azote est un composant majeur des acides aminés, qui sont eux-mêmes les éléments à la base de la croissance des plantes. Le recours à l'azote dans l'agriculture, sous des formes assimilables par les plantes, s'est développé rapidement du fait de l'augmentation de la demande d'aliments. D'après les estimations, les agriculteurs ont utilisé 230 millions de tonnes d'azote en 2005, sous la forme d'engrais chimiques et de déjections animales. Il est possible qu'à l'échelle mondiale, les fuites d'oxyde nitreux dans l'environnement aient déjà dépassé les seuils biophysiques, c'est-à-dire les quantités limites que la planète peut supporter (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015).

LE POTENTIEL TECHNIQUE D'ATTÉNUATION LIÉ À L'ADAPTATION

L'agriculture, la foresterie et les autres utilisations des terres (AFAUT) sont responsables de 21 pour cent environ des émissions totales de gaz à effet de serre. Toutes les émissions de dioxyde de carbone issues de ces secteurs sont attribuables à la foresterie et aux changements d'affectation des terres, comme la conversion de forêts en pâturages ou en terres cultivées. La majeure partie des émissions de méthane et d'oxyde nitreux est due aux pratiques agricoles (tableau 5). La contribution de l'agriculture à l'atténuation du changement climatique passera donc forcément par une amélioration de la gestion du carbone et de l'azote (encadré 16).

Compenser les émissions par la séquestration du carbone dans le sol

L'ampleur des pertes de carbone du sol, passées et présentes, dues à l'activité humaine suscite beaucoup d'inquiétude. On estime que l'utilisation des terres et leurs changements d'affectation (principalement la conversion de forêts en terrains agricoles) au cours des 150 à 300 dernières années sont à l'origine de pertes de carbone comprises entre 100 et 200 milliards de tonnes (Houghton, 2012). L'importance des sols comme régulateurs terrestres des cycles du carbone et de l'azote est de plus en plus reconnue, surtout depuis le nouveau régime climatique établi par l'Accord de Paris en décembre 2015, qui appelle à prendre des mesures pour préserver et renforcer les puits et réservoirs de gaz à effet de serre.

Les sols sont, après les océans, la deuxième réserve de carbone en importance, et une faible modification de leur stock de carbone organique peut avoir des conséquences considérables sur les niveaux de CO₂ dans l'atmosphère (Chappell, Baldock et Sanderman, 2016). Le stock total de carbone des sols (à l'exclusion du pergélisol) jusqu'à un mètre de profondeur est chiffré à 500±230 GtC environ à l'échelle mondiale, soit le double de la quantité de carbone présente sous forme de CO₂ dans l'atmosphère (Scharlemann *et al.*, 2014). Les sols renferment un grand potentiel de séquestration du carbone, en particulier ceux qui ont été dégradés, grâce à des mesures de remise en état (Lal, 2010).

La capacité des sols de séquestrer le carbone peut être préservée et améliorée au moyen de pratiques agricoles qui sont par ailleurs destinées à rétablir leur santé et leur fertilité dans un but de production. Une gestion durable des sols offre ainsi de multiples avantages: augmentation de la productivité, renforcement de l'adaptation au changement climatique, séquestration du carbone et réduction des émissions de gaz à effet de serre (FAO et GTIS, 2015). Le rôle de puits et de réservoir que peuvent jouer les sols est reconnu, mais on apprécie encore mal leurs stocks actuels de carbone et leur potentiel réel de séquestration, faute de systèmes appropriés d'information et de suivi.

Pour exploiter le potentiel de séquestration du carbone dans les sols, il faut promouvoir la gestion durable de ces derniers comme un système doté de diverses fonctions fournissant un ensemble de services écosystémiques (FAO et GTIS, 2015). Le potentiel technique de séquestration du carbone organique du sol semble compris entre 0,37 et 1,15 GtC par an (Sommer et Bossio, 2014; Smith *et al.*, 2008; Paustian *et al.*, 2004). Il s'agit là du potentiel technique, qui suppose que toutes les terres agricoles soient gérées en vue de séquestrer le carbone. Or les taux de séquestration du carbone des terres exploitées à des fins agricoles varient entre 0,1 et 1 tC par hectare et par an (Paustian *et al.*, 2016). Pour atteindre un

taux annuel de 1 GtC, il faudrait donc que des milliards d'hectares soient gérés de manière à obtenir une séquestration optimale. En outre, les niveaux de séquestration seraient relativement bas dans un premier temps, atteindraient leur maximum au bout de 20 ans, puis commenceraient à diminuer lentement (Sommer et Bossio, 2014).

La réduction des émissions dans les chaînes d'approvisionnement de l'élevage

Le secteur de l'élevage présente également un fort potentiel de réduction de l'intensité des émissions de gaz à effet de serre. Le potentiel précis est difficile à évaluer, car cette intensité varie considérablement, même au sein de systèmes de production similaires, du fait de différences dans les conditions agroécologiques, les pratiques agricoles et la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Gerber *et al.* (2013a) estiment que les émissions générées par la production animale pourraient être inférieures de 18 à 30 pour cent si, dans chaque système, les pratiques adoptées par les 25 pour cent de producteurs présentant la plus faible intensité d'émissions de gaz à effet de serre étaient généralisées.

En partant de six études de cas régionales et en suivant un modèle d'évaluation du cycle de vie, Mottet *et al.* (2016) ont estimé que l'adoption de pratiques durables permettrait une réduction des émissions de gaz à effet de serre comprise entre 14 et 41 pour cent. Dans cinq de ces études, l'atténuation a entraîné une augmentation de la production ainsi qu'une réduction des émissions, soit un double bénéfice – amélioration de la sécurité alimentaire et atténuation du changement climatique. On a constaté un potentiel d'atténuation comparativement élevé dans les systèmes d'élevage de ruminants et de porcs en Afrique, en Asie et en Amérique latine. Dans les pays de l'Organisation de coopération et de

développement économiques (OCDE), il est aussi possible de réduire nettement les émissions des systèmes de production laitière affichant déjà un haut niveau de productivité (Gerber *et al.*, 2013b).

Les pratiques présentant le potentiel technique le plus élevé de réduction des émissions de méthane entérique et de séquestration du carbone pourraient diminuer les émissions de gaz à effet de serre, à hauteur de 11 pour cent des émissions mondiales annuelles des ruminants. Une étude de modélisation réalisée par Henderson *et al.* (2015a) a permis de constater que les pratiques les plus abordables – et offrant donc le potentiel économique le plus important – consistaient à améliorer la gestion des pâturages et à semer des légumineuses. La gestion des pâturages était particulièrement efficace en Amérique latine et en Afrique subsaharienne, tandis que la culture de légumineuses semblait mieux fonctionner en Europe occidentale. Le traitement de la paille à l'urée était généralement une solution moins intéressante sur le plan économique lorsque le niveau de prix du carbone était bas, mais très avantageuse quand ce prix atteignait 100 USD par tonne d'équivalent dioxyde de carbone (t équiv.-CO₂).

L'atténuation des émissions d'oxyde nitreux

Avec l'eau, l'azote est le facteur le plus important influant sur le rendement des cultures (Mueller *et al.*, 2012). La production alimentaire mondiale dépend pour moitié des engrais azotés, et pour moitié de l'azote présent dans le sol, les effluents d'élevage, les fibres des plantes qui fixent cet élément chimique, les résidus de récolte, les déchets et le compost (Erisman *et al.*, 2008). Sous l'effet de la volatilisation et du lessivage, l'azote apporté aux cultures passe facilement dans l'environnement, et provoque, d'après les estimations, des dommages environnementaux à peu près équivalents aux avantages monétaires que procure le recours aux engrais azotés dans la production alimentaire (Sutton *et al.*, 2011). Les émissions d'oxyde nitreux consécutives aux apports d'engrais ont des répercussions négatives

» directes: le NO₂ est le troisième gaz à effet de serre par ordre d'importance et la principale cause de l'amincissement de la couche d'ozone dans la stratosphère. Parallèlement, grâce à son rôle clé dans la photosynthèse et la production de biomasse, l'azote influe positivement sur les puits de dioxyde de carbone et la séquestration du carbone dans la biosphère.

La gestion durable de l'azote dans l'agriculture vise à atteindre simultanément des objectifs agronomiques, tels qu'une productivité élevée de la culture et de l'élevage, et l'objectif environnemental tendant à réduire au minimum les pertes de cet élément chimique. Le cycle de l'azote étant fortement sujet aux «fuites», sa gestion n'est pas aisée. Le changement climatique et les mesures d'adaptation rendent la tâche encore plus complexe, car ce cycle est étroitement lié à ceux du carbone et de l'eau – l'utilisation de l'azote en agriculture et les pertes de cet élément dépendent en grande partie des disponibilités d'eau et de carbone.

On trouvera au **tableau 11** le potentiel de réduction des émissions d'oxyde nitreux dans le système alimentaire mondial d'ici à 2030 et à 2050, offert par le recours à des pratiques améliorées. Ces estimations sont fondées sur le potentiel d'augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'azote et de diminution de l'intensité des émissions (Oenema *et al.*, 2014). Les hypothèses, formulées à partir d'un examen des travaux publiés et d'avis de spécialistes, reposent sur l'amélioration de la production végétale et animale, de la gestion des effluents d'élevage et de l'utilisation de la nourriture, ainsi que sur la réduction du taux de protéines animales dans les régimes alimentaires. Dans les résultats des cinq scénarios analysés, les effets comprennent les émissions directes et indirectes de N₂O (à titre de comparaison, le potentiel de réchauffement climatique de 1 million de tonnes de N₂O équivaut à celui de 265 millions de tonnes de dioxyde de carbone).

Dans le scénario de poursuite des tendances actuelles (statu quo), les émissions agricoles annuelles d'oxyde nitreux augmentent, passant de 4,1 millions de tonnes environ en 2010 à

6,4 millions de tonnes en 2030, pour atteindre 7,5 millions de tonnes en 2050. Les stratégies de réduction pourraient maintenir les émissions à 4,1 millions de tonnes en 2030, et les ramener à 3,3 millions de tonnes d'ici à 2050.

Les améliorations apportées à la production végétale, notamment en ce qui concerne le recours aux engrais, semblent présenter le plus grand potentiel. Cela étant, pour compenser l'augmentation des émissions prévue dans le scénario de poursuite des tendances actuelles (statu quo) d'ici à 2030, il faudrait adopter toutes les stratégies de réduction des émissions exposées au **tableau 11**, y compris celles relatives aux changements de comportement, comme la réduction de la proportion de protéines animales dans les régimes alimentaires, ce qui fait peser une marge d'incertitude sur les estimations. Les stratégies semblent être techniquement applicables, mais leur mise en œuvre se heurte à de nombreux obstacles. Pour parvenir à ces réductions d'émissions de N₂O, il sera nécessaire de consentir des investissements considérables dans l'éducation, la formation, les démonstrations et l'élaboration de techniques spécifiques à chaque site.

Pour réduire les émissions d'oxyde nitreux, il faudra adopter des pratiques de gestion qui s'attaquent à leurs causes profondes. Les processus biophysiques liés aux émissions varient selon les conditions climatiques et agroécologiques et les systèmes agricoles. Les techniques nucléaires et isotopiques peuvent aider à mieux comprendre ces processus et à améliorer le suivi des émissions d'oxyde nitreux (**encadré 17**). ■

TABLEAU 11
POTENTIEL D'ATTÉNUATION DES ÉMISSIONS ANNUELLES DE N₂O SELON CINQ SCÉNARIOS FAISANT INTERVENIR DES PRATIQUES AMÉLIORÉES, 2030 ET 2050 (EFFETS CUMULÉS)

Stratégies de réduction des émissions	Sources d'azote	2030			2050		
		Intrants azotés (Tg)	Coefficient d'émission (%)	Émissions de N ₂ O (Tg N ₂ O-N)	Intrants azotés (Tg)	Coefficient d'émission (%)	Émissions de N ₂ O (Tg N ₂ O-N)
Poursuite des tendances actuelles	Engrais	132	2,37	3,1	150	2,37	3,6
	Déjections animales	193	1,71	3,3	230	1,71	3,9
Total				6,4			7,5
Production végétale améliorée	Engrais	118	2,02	2,4	128	1,9	2,4
	Déjections animales	193	1,71	3,3	230	1,71	3,9
Total				5,7			6,3
Production animale améliorée	Engrais	118	2,02	2,4	128	1,9	2,4
	Déjections animales	174	1,71	3,0	184	1,71	3,2
Total				5,4			5,6
Gestion améliorée des effluents d'élevage	Engrais	108	2,02	2,2	103	1,9	2,0
	Déjections animales	174	1,62	2,8	184	1,54	2,8
Total				5,0			4,8
Utilisation améliorée de la nourriture	Engrais	103	2,02	2,1	93	1,9	1,8
	Déjections animales	156	1,62	2,5	147	1,54	2,3
Total				4,6			4,1
Réduction des protéines animales dans l'alimentation	Engrais	98	2,02	2,0	84	1,9	1,6
	Déjections animales	133	1,62	2,2	110	1,54	1,7
Total				4,1			3,3

Notes: Les réductions d'émissions obtenues dans les cinq scénarios correspondent à des valeurs cumulées. Les intrants se rapportent aux quantités d'engrais azotés et d'excréments azotés, mesurés en téragrammes (Tg). Les coefficients d'émission de N₂O et les émissions totales de N₂O sont des projections pour l'ensemble du système d'alimentaire d'ici à 2030 et à 2050.

SOURCE: Oenema *et al.*, 2014.

ENCADRÉ 17
LES TECHNIQUES NUCLÉAIRES ET ISOTOPIQUES D'ATTÉNUATION

Les techniques nucléaires peuvent aider à déterminer les facteurs de gestion du sol et de l'eau qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre provenant du sol et contribuent donc à l'atténuation du changement climatique. Ainsi, au moyen de divers isotopes, les scientifiques peuvent déterminer l'accumulation de carbone et d'azote ainsi que les interactions de ces éléments dans la matière organique du sol après un ajout récent de fumure organique, de résidus de récolte ou d'eaux usées. La technique faisant appel à l'isotope stable ¹⁵N peut permettre de déterminer la source de la production d'oxyde nitreux par les terres agricoles. Elle facilite ainsi le ciblage des outils

d'atténuation des émissions de N₂O, comme le chaulage – permettant de modifier le degré d'acidité des sols – ou l'ajout d'inhibiteurs de nitrification aux engrais azotés – visant à réduire la conversion de l'excès d'azote en nitrate, une forme mobile de l'azote qui est facilement convertie en N₂O dans des conditions anaérobies. Les techniques isotopiques et nucléaires que la FAO utilise en collaboration avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) sont à l'avant-garde de pratiques innovantes destinées à répondre aux besoins alimentaires futurs tout en contribuant à réduire les effets du changement climatique.

LE RENFORCEMENT DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE GRÂCE AUX RETOMBÉES BÉNÉFIQUES CONJOINTES DE L'ADAPTATION ET DE L'ATTÉNUATION

L'amélioration de la gestion des cycles du carbone et de l'azote est cruciale à la fois pour atténuer les émissions nettes de gaz à effet de serre dues aux secteurs de l'agriculture, de la foresterie et des autres utilisations des terres et pour augmenter l'efficacité du système alimentaire mondial. Les mesures d'adaptation et d'atténuation contribuant à la fois à la sécurité alimentaire et à la durabilité environnementale, elles peuvent être mises en œuvre conjointement et simultanément lorsqu'il est possible d'établir de fortes synergies entre elles. L'amélioration de l'efficacité des cycles du carbone et de l'azote peut renforcer la résilience face à la variabilité du climat, réduire les émissions de gaz à effet de serre et contribuer à la sécurité alimentaire par l'augmentation de la production de nourriture. La clé pour atteindre ces objectifs est l'intensification durable (voir le chapitre 3), qui consiste à accroître la production alimentaire par unité d'intrant tout en réduisant aussi bien les pressions exercées sur l'environnement que les émissions de gaz à effet de serre, sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire leurs propres besoins (Garnett *et al.*, 2013; Smith *et al.*, 2013).

De nombreux pays estiment que les secteurs de l'agriculture sont ceux qui offrent les meilleures possibilités de synergie entre l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de celui-ci, ainsi que les retombées socioéconomiques et environnementales

conjointes les plus importantes. L'augmentation de l'efficacité carbone et du rendement de l'azote dans les systèmes alimentaires permet, par exemple, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'accroître la séquestration du carbone tout en améliorant la sécurité alimentaire et en renforçant la résilience face au changement climatique et aux bouleversements qui s'ensuivent. Lorsque les systèmes de production sont plus efficaces, les ressources naturelles sont moins sollicitées et donc moins vulnérables à la raréfaction et aux phénomènes climatiques susceptibles de réduire encore les disponibilités en terres, en eau et en nutriments.

En aidant à combler les écarts de rendement et à augmenter l'efficacité biologique, en particulier dans les pays en développement, l'intensification durable de l'agriculture préviendrait la déforestation et l'expansion future de l'agriculture dans les écosystèmes riches en carbone, tout en améliorant la sécurité alimentaire et en contribuant à atténuer le changement climatique. Dans le secteur de l'élevage, l'amélioration de la productivité des pâturages peut limiter l'expansion de ces derniers dans les forêts tropicales et renforcer la conservation et le développement durable des paysages riches en carbone (De Oliveira-Silva *et al.*, 2016).

La section suivante expose deux objectifs complémentaires à envisager dans les politiques visant à tirer profit des retombées bénéfiques conjointes de l'adaptation et de l'atténuation: améliorer l'efficacité de la production et réduire au minimum les émissions de gaz à effet de serre dans les systèmes alimentaires; et conserver et développer les paysages riches en carbone dans les secteurs de l'agriculture et de la foresterie.

LA RÉDUCTION DU MÉTHANE DANS L'ÉLEVAGE ET LA PRODUCTION DE RIZ PADDY

De nombreuses études ont été consacrées aux possibilités de réduction des émissions de méthane provenant des systèmes d'élevage et de la culture de riz submergé.

Fermentation entérique. La plupart des études disponibles portent sur la modification du régime alimentaire des animaux et l'ajout de compléments à leur nourriture (Veneman, Saetnan et Newbold, 2014; Gerber *et al.*, 2013a). Le premier niveau d'intervention, qui offre les plus grands avantages en matière d'atténuation, consiste à améliorer la digestibilité globale des rations et à équilibrer leur qualité nutritionnelle (Garg *et al.*, 2013; Gerber *et al.*, 2011). Des métabolites secondaires des plantes, comme les tanins, sont aussi disponibles dans l'alimentation des ruminants élevés à l'herbe ou broutant la végétation naturelle, surtout dans les régions méditerranéennes et tropicales (INRA, CIRAD et FAO, 2016), et peuvent probablement réduire les émissions de méthane rejetées par ces animaux. Diverses autres stratégies d'atténuation ont été testées, notamment l'utilisation d'inhibiteurs chimiques, d'ionophores, d'antibiotiques, de puits d'hydrogène, d'huiles essentielles, d'enzymes et de probiotiques ou encore le recours à la défaunation et à la vaccination (Hristov *et al.*, 2013). Dans certains pays, toutefois, certaines de ces solutions sont illégales, tandis que d'autres sont soumises à des restrictions ou ne sont pas disponibles dans le commerce. En outre, étant donné que les gains de productivité tirés de l'atténuation des émissions de méthane dans la production animale sont modestes, voire inexistantes, des incitations seront nécessaires pour promouvoir l'adoption d'additifs coûteux permettant de réduire ces émissions (Newbold, 2015).

Stockage des effluents d'élevage. La réduction des émissions de méthane issues du stockage des effluents d'élevage nécessite des pratiques de gestion qui permettent d'éviter de stocker les déjections dans des conditions anaérobies ou à des températures élevées. Les émissions dues à ces effluents sont inférieures dans les systèmes de

stockage de déjections solides en fumière que l'on trouve dans certaines régions d'Afrique et d'Amérique latine. Dans les systèmes de stockage de lisier, caractéristiques de l'Europe occidentale et de l'Amérique du Nord, les émissions de méthane sont élevées, en particulier quand les animaux sont confinés. Il a donc été conseillé d'évacuer fréquemment le lisier des bâtiments d'élevage pour réduire ces émissions (Sommer *et al.*, 2009). La digestion anaérobie des effluents d'élevage offre de grandes possibilités de réduction des émissions et de remplacement des combustibles fossiles par du méthane renouvelable, qui peut être utilisé pour le chauffage et la production d'électricité et comme carburant automobile. Néanmoins, la méconnaissance du niveau des fuites de méthane liées aux digesteurs et au stockage du gaz suscite des doutes quant à l'effet réel de cette technique en matière d'atténuation. Toutes les options visant à réduire les émissions de méthane doivent tenir compte de l'ensemble du système de production afin d'éviter les fuites entre compartiments et l'augmentation des rejets d'oxyde nitreux.

Riz submergé. Diverses pratiques traditionnelles et améliorées, notamment en matière de gestion de l'eau, de la paille et des engrais, permettent d'atténuer les émissions de méthane par les rizières. Outre que cela économise de l'eau, interrompre l'inondation pendant quelques semaines réduit les émissions de 45 à 90 pour cent, indépendamment de la question de l'augmentation des stocks de carbone du sol. Cela étant, cette pratique risque d'avoir des effets négatifs sur les rendements, en partie à cause d'une concurrence accrue des adventices. L'assèchement au début de la période de végétation et l'inondation ultérieure permettent de réduire les émissions de 45 pour cent et d'obtenir des rendements similaires à ceux des rizières inondées en permanence (Linquist *et al.*, 2015).

Augmentation de l'efficacité de la production et diminution de l'intensité des émissions

L'investissement dans l'amélioration des rendements

Depuis les années 1960, l'intensification des systèmes de culture et d'élevage a limité l'expansion des terres agricoles et a amélioré l'efficacité des chaînes d'approvisionnement alimentaire (Tilman *et al.*, 2011; Gerber *et al.*, 2013a; Herrero *et al.*, 2013). Grâce à l'augmentation des rendements, l'intensification agricole a permis d'éviter, d'après les estimations, de rejeter jusqu'à un total de 161 GtC de gaz à effet de serre entre 1961 et 2005. L'investissement dans la productivité est donc plus avantageux que d'autres stratégies d'atténuation couramment proposées, car il limite l'expansion des terres agricoles ainsi que l'ampleur des pertes de carbone associées à la déforestation (Burney, Davis et Lobell, 2010).

Avec l'amélioration de l'efficacité de l'agriculture et de la foresterie au cours des dernières décennies, de nombreux produits ont vu l'intensité de leurs émissions de gaz à effet de serre reculer. Entre 1960 et 2000, l'intensité mondiale moyenne a diminué de 38 pour cent pour le lait, de 50 pour cent pour le riz, de 45 pour cent pour le porc, de 76 pour cent pour la viande de poulet et de 57 pour cent pour les œufs (Smith *et al.*, 2014). Une grande partie de la réduction de l'intensité des émissions dues aux ruminants s'explique par la diminution de la production de méthane pour une quantité donnée de lait et de viande (Opio *et al.*, 2013; **encadré 18**). Que ce soit pour les ruminants ou les monogastriques, l'amélioration de l'efficacité alimentaire et des techniques d'élevage ainsi que la sélection de races d'animaux présentant une haute efficacité ont joué ici un rôle essentiel. La réduction du nombre d'animaux nécessaires pour un niveau donné de production peut générer des gains d'efficacité considérables. Ainsi, la réduction globale de 28 pour cent des émissions annuelles de méthane au Royaume-Uni entre

1990 et 1999 peut être attribuée en grande partie à la diminution du nombre de bêtes et à l'accroissement de la productivité des vaches laitières (DEFRA, 2001). Il demeure de grandes disparités sur le plan de l'efficacité de l'utilisation des ressources et de l'intensité des émissions de gaz à effet de serre selon les systèmes d'élevage et selon les régions (Herrero *et al.*, 2013), signe que la marge d'amélioration est importante.

Parallèlement à la réduction des écarts de rendement et à l'augmentation de la productivité des troupeaux, des stratégies à long terme visant à améliorer l'efficacité au niveau des exploitations permettraient de conserver et de restaurer les sols, l'eau, la biodiversité et certains services écosystémiques essentiels comme la pollinisation (Garibaldi *et al.*, 2016). Dans les régions tempérées et tropicales, par exemple, la diversification des systèmes agricoles et l'intégration des cultures, de l'élevage et de la plantation d'arbres permettraient de renforcer l'efficacité à l'échelle des exploitations et de réduire l'intensité des émissions de gaz à effet de serre (Soussana, Dumont et Lecomte, 2015). Diverses techniques peuvent aider à accroître l'efficacité de la production et générer des retombées bénéfiques conjointes: utilisation de variétés adaptées qui tirent parti des ressources génétiques et des innovations en matière de sélection; ajustement des calendriers de plantation et des périodes de culture; agriculture de précision; emploi judicieux d'engrais chimiques combiné à des sources de nutriments organiques et aux légumineuses; et élaboration de systèmes de culture plus diversifiés et plus durables qui intègrent également des approches agroforestières.

La réduction de l'intensité de l'utilisation des ressources dans l'aquaculture et la pêche

Les secteurs de la pêche et de l'aquaculture peuvent contribuer à l'atténuation du changement climatique en séquestrant davantage de carbone et en réduisant les émissions le long de sa chaîne de valeur. Il est primordial de mettre fin aux destructions d'habitats et aux pratiques de gestion inappropriées dans ces secteurs, qui perturbent les fonctions de séquestration du carbone des systèmes aquatiques. La réhabilitation des mangroves et des forêts des plaines

d'inondation, même si elle doit occasionner des coûts élevés, offre un potentiel important d'amélioration de la séquestration.

S'agissant des émissions de gaz à effet de serre, il est possible d'en abaisser considérablement le niveau en réduisant la consommation de combustibles et d'énergie. Ces objectifs peuvent être atteints soit directement – au moyen de méthodes de pêche plus efficaces ou d'une utilisation plus efficace de l'énergie lors de la transformation, par exemple – soit indirectement, à la faveur de mesures comme des économies d'énergie le long de la filière d'approvisionnement et de la chaîne de valeur ou la réduction de déchets stratégiques. Dans l'ensemble du secteur, la transition vers les technologies efficaces sur le plan énergétique est lente, même si les mécanismes d'incitation associés aux marchés du carbone ont montré un certain potentiel (FAO, 2013a).

L'utilisation d'énergie pour la transformation, le stockage et le transport est la principale source d'émissions de gaz à effet de serre dans la pêche et l'aquaculture. La transformation va des activités simples de séchage et de fumage du poisson dans les systèmes artisanaux aux opérations hautement contrôlées de préparation de produits comestibles de la mer soumis à des règles strictes d'emballage et de labellisation. Les émissions varient grandement selon les pratiques locales, les intrants utilisés (espèces, provenances, quantité et qualité) et l'efficacité opérationnelle. Les produits alimentaires aquatiques étant les denrées les plus largement commercialisées à l'échelle mondiale, ils peuvent parcourir de très grandes distances, et se présenter sous différentes formes, plus ou moins périssables. En règle générale, les émissions de gaz à effet de serre sont directement liées à la consommation de carburant pour le transport et à la consommation d'énergie pour la manutention et le stockage. Les produits frais les plus périssables nécessitent un transport rapide et un stockage énergivore. Le choix du fluide frigorigène a aussi son importance: les déperditions de gaz réfrigérants liées à des équipements anciens ou mal entretenus appauvrissent la couche d'ozone de l'atmosphère

et présentent un fort potentiel de réchauffement climatique. Les produits plus stables qui sont séchés, fumés et salés le long de chaînes d'approvisionnement artisanales nécessitent des modes de transport qui ne sont pas sensibles au facteur temps et qui émettent moins de gaz à effet de serre (FAO, 2013b).

L'initiative Croissance bleue lancée par la FAO vise à concilier les objectifs économiques et la nécessité de gérer les ressources aquatiques de façon plus durable. Les chaînes de valeur de la pêche et de l'aquaculture qui ont adopté cette initiative ont réussi à augmenter considérablement leur productivité et leurs recettes, tout en gérant les ressources aquatiques de manière à rétablir leur potentiel productif à long terme. Lorsque les océans et les zones humides sont en meilleure santé, ils sont aussi plus résilients face aux bouleversements climatiques, ce qui renforce la capacité d'adaptation des personnes qui vivent de la pêche et de l'aquaculture.

La FAO a par exemple travaillé avec des communautés de pêcheurs de Grand Cess, au Libéria, dans le cadre d'un projet visant à renforcer l'efficacité de la transformation et du fumage des produits. Plus de 240 transformateurs de poisson ont participé à la construction de fumoirs et de conteneurs isothermes destinés au stockage de poisson frais, ce qui leur a permis de fumer du poisson et de le vendre sur des marchés lucratifs en Côte d'Ivoire voisine. Les intéressés, en majorité des femmes, sont parvenus à augmenter leurs revenus de manière substantielle, tout en réduisant notablement la quantité de bois nécessaire pour fumer le poisson. Cette économie leur a permis d'accroître leurs bénéfices et de générer des retombées bénéfiques conjointes en matière d'atténuation du changement climatique (FAO, 2011a).

La réduction des pertes sur le lieu d'exploitation

Dans les pays en développement, les pertes alimentaires se produisent dans l'ensemble de la chaîne de production et touchent plus durement les petits exploitants. La FAO estime que 30 à 40 pour cent de la production alimentaire

totale serait perdue avant d'atteindre le marché, en raison de problèmes allant d'une mauvaise utilisation des intrants au manque d'infrastructures de stockage après récolte, de traitement ou de transport. La réduction des pertes sur le lieu d'exploitation permet d'accroître l'efficacité des systèmes de production. Elle demande d'améliorer la santé des sols, de réduire la sensibilité des cultures et des animaux aux ravageurs et aux maladies, d'augmenter l'efficacité d'utilisation des aliments pour animaux dans les élevages, de rétablir les populations de pollinisateurs et de diminuer la concurrence des adventices. Les services écosystémiques restaurés grâce à la diversification des paysages peuvent aussi contribuer à préserver la santé des cultures et des animaux d'élevage et à réduire au minimum les pertes de production, tandis que les investissements réalisés dans les routes, la logistique, le stockage et les infrastructures de transformation primaire peuvent réduire les pertes après récolte.

La diversification sur le lieu d'exploitation et les systèmes agricoles intégrés

Parallèlement à la réduction des écarts de rendement et à l'augmentation de la productivité des troupeaux, des stratégies à long terme visant à améliorer l'efficacité au niveau des exploitations permettraient de conserver et de restaurer les sols, l'eau, la biodiversité et certains services écosystémiques essentiels comme la pollinisation (Garibaldi *et al.*, 2016). Dans les régions tempérées et tropicales, par exemple, la diversification des systèmes agricoles et l'intégration des cultures, de l'élevage et de la plantation d'arbres permettraient de renforcer l'efficacité de l'utilisation des ressources et de réduire l'intensité des émissions de gaz à effet de serre (Soussana, Dumont et Lecomte, 2015). Diverses techniques peuvent aider à augmenter l'efficacité de la production et à tirer parti des retombées bénéfiques conjointes, notamment l'agriculture de précision, les techniques d'élevage avancées, l'emploi judicieux d'engrais organiques et chimiques et une meilleure utilisation des légumineuses, des ressources génétiques et de la biodiversité des paysages.

Des paysages riches en carbone dans l'agriculture et la foresterie

Les terres agricoles et les forêts occupant la majeure partie de la surface terrestre émergée, elles sont vitales pour la conservation et la restauration du carbone du sol et le renforcement des puits de carbone. L'agroforesterie, la régénération des forêts, les plantations, l'agriculture de conservation, l'agriculture biologique et la gestion des pâturages peuvent toutes contribuer à la réalisation de ces objectifs, même si les options envisagées ne s'appliquent pas de la même manière à l'ensemble des systèmes et des régions agricoles.

Les paysages forestiers

On estime que les forêts absorbent chaque année 2,6 milliards de tonnes de dioxyde de carbone (CIFOR, 2010), soit l'équivalent d'un tiers environ du dioxyde de carbone résultant de l'utilisation de combustibles fossiles. Cependant, lorsqu'il est perturbé par la déforestation, cet immense système de stockage devient une source majeure d'émissions. D'après le cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la déforestation et la dégradation des forêts représentent près de 11 pour cent de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre, soit un niveau supérieur à celui des émissions du secteur des transports dans son ensemble, à l'échelle mondiale. À mesure que les forêts disparaissent, leur capacité de séquestrer le carbone diminue.

Pendant les années 1990, la déforestation dans les zones tropicales a été l'une des principales sources d'émissions de dioxyde de carbone, tandis que la repousse des forêts dans les zones tempérées et certaines régions boréales a permis de stocker du CO₂. Cela étant, les avis divergent quant à la proportion des pertes de carbone dues à la déforestation tropicale qui est compensée par l'expansion des zones forestières et l'accumulation de la biomasse ligneuse dans les zones boréales et tempérées. La FAO estime qu'au

cours des années 2000, les émissions totales annuelles dues à la déforestation se sont élevées à 3,8 Gt d'équivalent dioxyde de carbone (équiv.-CO₂), réduisant le bilan net de la gestion des forêts à 1,8 Gt équiv.-CO₂ de dioxyde de carbone séquestré (FAO, 2016a). Les feux de biomasse, y compris les feux de tourbières, et les tourbières drainées, qui rejettent respectivement 0,3 et 0,9 Gt équiv.-CO₂ par an, entrent également en ligne de compte.

Le potentiel d'atténuation des émissions de carbone qu'offrent la réduction de la déforestation, l'amélioration de la gestion des forêts, le boisement et l'agroforesterie diffère grandement selon les activités, les régions, les frontières des systèmes et les périodes retenues pour la comparaison de ces différentes options. C'est la réduction de la déforestation qui présente le potentiel le plus intéressant en Amérique latine et en Afrique, tandis que dans les pays de l'OCDE, dans les économies en transition et en Asie, c'est la gestion des forêts, suivie du boisement. La contribution potentielle du boisement à l'atténuation représente entre 20 et 35 pour cent du potentiel total de la foresterie (Smith *et al.*, 2014: figure 11.18).

Les mesures d'atténuation du changement climatique dans le secteur forestier se répartissent en deux grandes catégories: la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'augmentation des quantités de gaz à effet de serre éliminées de l'atmosphère. Les options envisagées se répartissent en quatre catégories générales:

► **Réduction et prévention de la déforestation.**

Le maintien de la superficie boisée offre des avantages socioéconomiques et environnementaux considérables (FAO, 2012). Il permet de préserver la biodiversité et les fonctions des écosystèmes et, sur de vastes espaces, il influe sur les conditions météorologiques locales, ce qui peut avoir des effets sur la production alimentaire (Siikamäki et Newbold, 2012). La réduction des feux de forêt améliore la qualité de l'air à l'échelle locale, ce qui a des retombées bénéfiques sur la santé des communautés vivant dans les forêts ou aux alentours (Mery *et al.*).

► **Augmentation de la superficie boisée.**

La superficie boisée peut être étendue au moyen d'activités de plantation, d'ensemencement et de régénération naturelle assistée et à travers la succession naturelle. Le boisement entraîne une augmentation des réservoirs de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine ainsi que dans la matière organique morte. Il est généralement entrepris dans les zones rurales, où il bénéficie à l'économie en générant des revenus et des emplois. D'aucuns craignent que le boisement et le reboisement, s'ils sont menés principalement sur des terres agricoles productives, débouchent sur une diminution de la sécurité alimentaire, et que des plantations monospécifiques entraînent une réduction de la biodiversité et un risque accru de maladies (FAO, 2011b). La mise en œuvre de cette option nécessite donc de procéder à une planification minutieuse dans l'ensemble des secteurs de l'agriculture.

► **Maintien ou augmentation de la densité en carbone.**

Diverses activités permettent de maintenir ou d'accroître les stocks de carbone dans les massifs forestiers: exploitation à impact limité et gestion forestière à rendement soutenu dans le cadre de la production de bois d'œuvre; maintien d'un couvert forestier partiel; et réduction au minimum des pertes de matière organique morte et de réservoirs de carbone du sol par la diminution des activités à fortes émissions comme la culture sur brûlis (CIFOR, 2015; Putz et Romero, 2015). La replantation après des coupes ou des perturbations naturelles accélère la croissance et donc le taux de séquestration du carbone par rapport à la régénération naturelle.

► **Augmentation de la quantité de carbone stockée hors des exploitations dans les produits en bois récoltés.**

Lorsque le bois est transformé en produits à longue durée de vie, comme des bâtiments ou du mobilier, il peut servir de réservoir de carbone pendant des décennies, voire des siècles.

Les avantages que procure la foresterie sur le plan de l'atténuation peuvent être amplifiés au moyen de l'éducation, de la formation et de la participation des communautés rurales à la



TABLEAU 12

EXEMPLES DE PRATIQUES AGRICOLES ENTRAÎNANT UNE RÉDUCTION DES STOCKS DE CARBONE DANS LE SOL

Régions tempérées	Régions semi-arides et arides	Régions tropicales
Drainage et culture de sols organiques	Pression de pâturage dans un contexte de précipitations irrégulières – contribution à la désertification	Agriculture sur brûlis, manque d'engrais organique
Sélection en fonction de l'indice de récolte	Manque d'arbres et mesures de conservation de l'eau insuffisantes	Labourage en profondeur
Manque de cultures de couverture		Manque de cultures de couverture
Manque de systèmes de production intégrés culture-élevage et de systèmes d'agroforesterie		Drainage et feux de tourbières tropicales
Recul de la superficie des prairies permanentes		
Faible réutilisation des déchets organiques urbains et industriels		

Remarque: L'indice de récolte désigne le rapport entre le poids de la partie récoltée et le poids de la biomasse aérienne totale de la plante.
SOURCE: FAO et GTIS, 2015.

ENCADRÉ 19

LA REMISE EN ÉTAT DE PRAIRIES DÉGRADÉES EN CHINE

Une surabondance de bétail peut déboucher sur une situation de surpâturage et une dégradation des terres. C'est la dure leçon qu'ont apprise à leurs dépens les éleveurs de la province du Qinghai, en Chine, où 38 pour cent environ des prairies ont été dégradées. En collaboration avec l'Académie chinoise des sciences agricoles, le Centre mondial d'agroforesterie et le Northwest Institute of Plateau Biology, la FAO a récemment élaboré une méthode qui procure aux agriculteurs les outils qui leur permettront de gérer leurs animaux et leurs pâturages plus durablement dans les années à venir. La remise en état des prairies dégradées et l'augmentation des stocks de carbone du sol permettent à la fois d'accroître la productivité, de renforcer la

résilience en améliorant l'humidité du sol et la rétention des nutriments et de développer les moyens d'existence dans les communautés de petits éleveurs. Jusqu'ici, toutefois, les projets de séquestration du carbone dans les prairies ont été freinés par le coût élevé des opérations de mesure de la quantité de carbone stockée. Dans la province du Qinghai, le problème a été résolu grâce à l'élaboration d'une méthode certifiée par la «Norme de vérification du carbone» et axée sur le suivi des pratiques. Cette méthode donne aux agriculteurs la possibilité d'accéder à de nouvelles sources de financement par la vente de crédits carbone qui couvrent le coût de la modification de leurs pratiques de gestion, jusqu'à ce que les gains de productivité rendent la remise en état des herbages rentable.

SOURCE: FAO, 2013a.

» planification forestière et à l'élaboration des décisions y afférentes. Les approches participatives de la gestion des forêts peuvent être plus efficaces que les programmes traditionnels organisés de façon hiérarchique, et peuvent aider à renforcer la société civile et les processus de démocratisation (FAO, 2016b). Elles créent aussi du capital social, des réseaux et des relations sociales, qui permettent aux communautés de mieux faire face au changement climatique.

Le problème lié à la plupart des activités d'atténuation en rapport avec les forêts est la nécessité de réaliser des investissements considérables, généralement sur plusieurs années, voire plusieurs décennies, avant d'obtenir des avantages ou des retombées conjointes bénéfiques. Les vastes possibilités qu'offre la foresterie en matière d'atténuation ne pourront être concrétisées qu'avec un financement approprié et l'instauration de cadres propices créant de véritables incitations.

Parmi les autres problèmes figurent la production d'énergie et le remplacement de produits, qui ont des conséquences sociales, économiques et culturelles (AEE, 2016). Ainsi, les politiques menées dans l'Union européenne en vue d'augmenter l'utilisation de biocombustibles, notamment le bois, pour la production d'énergie influent sur la façon dont les forestiers de l'Union gèrent leurs forêts et sur la manière dont les terres des régions en développement sont exploitées (CE, 2013). Plusieurs cas d'accapement de terres pour produire de la biomasse ont été rapportés, ce qui a des implications pour la sécurité alimentaire.

Paysages agricoles

De nombreuses pratiques agricoles actuelles entraînent des pertes de carbone organique du sol et une réduction des retours de carbone organique dans les sols (tableau 12). Il est possible de diminuer les pertes ou d'augmenter ces retours en réduisant les feux, le surpâturage et l'érosion des sols ou en recyclant les résidus de récolte et les effluents d'élevage. Une autre solution consiste à modifier l'équilibre entre photosynthèse et respiration des écosystèmes en

augmentant la photosynthèse des cultures par l'utilisation de cultures de couverture, de cultures intercalaires et de l'agroforesterie et en réduisant le plus possible la perturbation du sol grâce à une agriculture de conservation. On peut également obtenir de très bons résultats en matière de bilan carbone des cultures au moyen de variétés améliorées d'espèces cultivées, de légumineuses fixant l'azote et d'engrais organiques et chimiques, qui augmentent la quantité de résidus de récolte susceptibles de retourner dans le sol. Une meilleure gestion de l'eau est aussi l'un des facteurs majeurs de la productivité primaire, qui vient en complément de toutes ces pratiques.

L'optimisation des pratiques utilisées pour séquestrer le carbone organique dans le sol permet en outre de renforcer la sécurité alimentaire et de faciliter l'adaptation au changement climatique. À mesure que la teneur en carbone organique du sol augmente, année après année, d'importantes retombées conjointes peuvent être générées sur le plan des rendements dans les pays en développement (Lal, 2006)⁷. En aidant à améliorer la structure du sol, l'infiltration de l'eau et la capacité de rétention d'eau, le carbone organique du sol contribue également à renforcer la résilience face aux sécheresses et aux inondations, deux conséquences du changement climatique qui touchent particulièrement les régions tropicales (Pan, Smith et Pan, 2009; Herrick, Sala et Jason, 2013). Les effets sur les rendements dépendent toutefois des conditions locales et de la combinaison de pratiques adoptées par les agriculteurs, et des pertes de rendement ont été observées (Pittelkow *et al.*, 2015).

Le stockage du carbone dans les sols agricoles peut ne pas durer dans le temps. La quantité de carbone supplémentaire stockée dans le sol grâce à des pratiques agricoles améliorées se présente pour partie sous des formes non protégées: en cas d'arrêt des pratiques en question, cette fraction se décomposerait.

⁷ Lal *et al.* (2004) estiment les retombées bénéfiques conjointes à un ratio de 0,07 unité de matière sèche (MS) par unité de carbone organique du sol (COS) ($\approx 0,07 \text{ t MS/t COS}$).

En outre, la séquestration du carbone risque d'accroître les émissions d'oxyde nitreux à court terme, et les carences du sol en phosphore et en azote peuvent restreindre le stockage du carbone (Penuelas *et al.*, 2013).

Les actions destinées à tirer parti des avantages que procure le carbone organique du sol en matière d'atténuation du changement climatique doivent s'inscrire dans une vision à long terme et être appliquées à l'échelle du paysage, et non d'un champ donné. Il faut avoir conscience que les mesures de séquestration du carbone du sol sont longues à mettre en place, et que la quantité de carbone augmente uniquement pendant une période limitée, jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint. Le stock supplémentaire doit être surveillé et préservé au moyen de pratiques appropriées de gestion des terres. Tous ces facteurs ont été pris en compte dans une initiative appuyée par la FAO visant à restaurer les prairies dégradées dans la province chinoise du Qinghai (encadré 19).

Enfin, l'agroforesterie – l'intégration d'arbres et d'arbustes dans les systèmes de culture et d'élevage – prévient l'érosion, facilite l'infiltration de l'eau et réduit les répercussions des phénomènes météorologiques extrêmes. Elle aide aussi à diversifier les sources de revenu et fournit du fourrage pour les animaux. L'utilisation d'arbres de la famille des légumineuses qui fixent l'azote, tels que *Faidherbia albida*, améliore la fertilité des sols et les rendements. On dispose de nombreuses données qui montrent clairement les effets positifs des pratiques agroforestières sur la productivité, la capacité d'adaptation et le stockage du carbone, mais l'éventail de systèmes et d'espèces arborescentes à analyser dans les différents contextes est très large. ■

LE COÛT DE L'ATTÉNUATION, LES MESURES D'INCITATION ET LES OBSTACLES

Les secteurs AFAUT offrent de nombreuses approches applicables et prometteuses en matière d'atténuation du changement climatique, et le potentiel technique de ces solutions est considérable. Mais quel est le coût, et donc le potentiel économique, de l'atténuation? En d'autres termes, quel est le prix hypothétique du carbone qui inciterait les agriculteurs, les pêcheurs et les forestiers à appliquer des pratiques appropriées pour séquestrer le carbone et réduire les émissions?

Sur la base du potentiel d'atténuation conjugué de la foresterie et de l'agriculture qu'il a estimé dans son quatrième Rapport d'évaluation, le GIEC prévoit qu'en 2030, le potentiel économique sera compris entre ≈3 et ≈7,2 Gt équiv.-CO₂ par an pour un prix du carbone de 20 USD et 100 USD la tonne, respectivement (Smith *et al.*, 2014)⁸. C'est en Asie que le potentiel d'atténuation qu'offrent l'agriculture, la foresterie et les autres utilisations des terres sera le plus élevé, quel que soit le prix du carbone (figure 15, d'après Smith *et al.*, 2014).

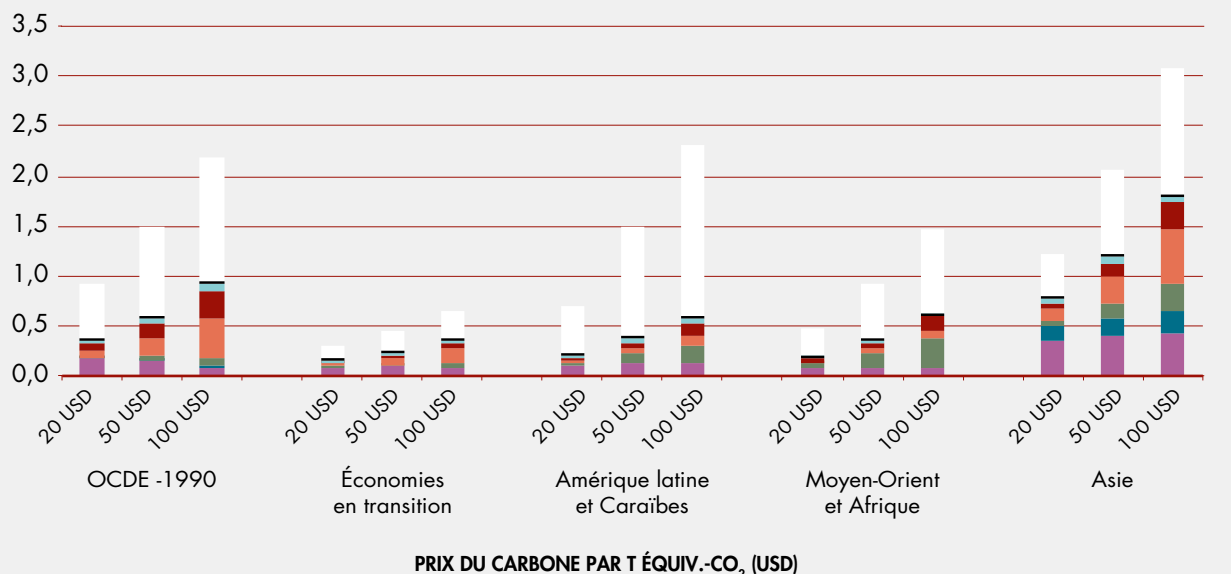
La foresterie peut grandement contribuer à l'atténuation, quel que soit le niveau de prix du carbone. En présence d'un prix bas, sa contribution avoisine les 50 pour cent du total des secteurs AFAUT, mais lorsque le prix augmente, sa part diminue. La foresterie représente l'essentiel du potentiel d'atténuation en Amérique latine, tous niveaux de prix

⁸ Diverses estimations mondiales du potentiel de piégeage, à différents niveaux de coût, ont été établies depuis le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC publié en 2007. Ces estimations divergent énormément. Jusqu'à 20 USD la tonne, elles oscillent entre 0,12 et 3,03 Gt équiv.-CO₂ par an. Jusqu'à 100 USD la tonne, elles fluctuent entre 0,49 et 10,6 Gt équiv.-CO₂ par an (Smith *et al.*, 2014).

FIGURE 15

POTENTIEL ÉCONOMIQUE D'ATTÉNUATION DANS LES SECTEURS AFAUT EN 2030, PAR RÉGION

POTENTIEL ÉCONOMIQUE D'ATTÉNUATION (GT ÉQUIV.-CO₂/AN)



PRIX DU CARBONE PAR T ÉQUIV.-CO₂ (USD)

- Foresterie
- Élevage
- Remise en état des sols organiques cultivés
- Gestion des rizières
- Gestion des effluents d'élevage
- Remise en état des terres dégradées
- Gestion des pâturages
- Gestion des terres cultivées

SOURCE: Smith *et al.*, 2014, figure 11.17.

confondus. Cependant, les diverses solutions offertes par ce secteur présentent un potentiel économique différent selon les régions. La réduction de la déforestation est la mesure la plus efficace en Amérique latine ainsi qu'au Moyen-Orient et en Afrique. Dans les pays de l'OCDE, en Europe orientale et en Asie, la principale option est la gestion des forêts, suivie du boisement.

Parmi les autres possibilités d'atténuation, c'est la gestion des terres cultivées qui offre le plus fort potentiel lorsque le prix du carbone est bas, à 20 USD la tonne. À 100 USD la tonne, c'est la restauration des sols organiques qui est la plus intéressante. En outre, le potentiel associé à la gestion des pâturages et à la remise en état des terres dégradées augmente lorsque les prix du carbone sont plus élevés (Smith *et al.*, 2014).

Ces estimations du potentiel économique d'atténuation donnent une indication générale de la marche à suivre pour cibler des interventions d'un bon rapport coût-efficacité. Des études plus détaillées sont cependant nécessaires pour

évaluer correctement le potentiel d'atténuation des secteurs AFAUT, les répercussions sur les systèmes de production et les groupes vulnérables ainsi que le coût de la mise en œuvre. L'une des conditions indispensables est que les pratiques optimisées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ou séquestrer le carbone assurent également la protection des droits fonciers des petits producteurs et contribuent à la sécurité alimentaire et à l'adaptation au changement climatique, en particulier pour les groupes les plus vulnérables.

Diverses approches institutionnelles et économiques peuvent faciliter la mise en œuvre des mesures visant à réduire les émissions de l'agriculture. Sur le plan institutionnel, il s'agit notamment d'informer les agriculteurs sur les pratiques génératrices de synergies entre adaptation et atténuation et, si nécessaire, de leur donner accès au crédit pour leur permettre d'appliquer ces pratiques. Sur le plan économique, les solutions envisagées consistent notamment à mettre en place des incitations à l'intention des agriculteurs pour qu'ils favorisent et conservent

les puits de carbone, à taxer les engrais azotés dans les pays où ils sont surutilisés – une mesure déjà appliquée dans certains pays de l'OCDE pour réduire la pollution par les nitrates – et à lancer des initiatives visant à mettre sur le marché des produits alimentaires à faible empreinte carbone (Paustian *et al.*, 2016). ■

VERS UNE ÉVOLUTION DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES: RÉDUIRE AU MINIMUM LES PERTES ET LES GASPILLAGES ET PROMOUVOIR DES RÉGIMES ALIMENTAIRES DURABLES

La réduction des pertes et du gaspillage de nourriture et la promotion d'une transition vers des régimes alimentaires plus durables peuvent aussi permettre de diminuer les émissions et contribuer à la sécurité alimentaire mondiale (Bajželj *et al.*, 2014). D'après les estimations de la FAO, un tiers environ des denrées produites pour la consommation humaine chaque année sont perdues (FAO, 2011c), ce qui représente un gaspillage énorme de terres, d'eau, d'énergie et d'intrants ainsi que le rejet inutile de millions de tonnes de gaz à effet de serre. La réduction des pertes et du gaspillage de nourriture – par l'accroissement de l'efficacité globale des chaînes alimentaires – pourrait contribuer à diminuer les émissions de gaz à effet de serre, tout en améliorant l'accès aux denrées et la résilience des systèmes alimentaires face au changement climatique.

Dans les pays à faible revenu, les pertes se produisent dans l'ensemble de la chaîne de

valeur des produits alimentaires et résultent de problèmes de gestion et de limites techniques lors des opérations de récolte, de stockage, de transport, de transformation, d'emballage et de commercialisation (HLPE, 2014). Ce sont les secteurs de la production et de la transformation des produits agricoles et halieutiques à petite et moyenne échelles qui enregistrent les pertes les plus lourdes. Les causes sous-jacentes de ces pertes sont souvent liées aux conditions sociales et culturelles – comme la répartition des rôles entre hommes et femmes aux différentes étapes de la chaîne de valeur. Les difficultés rencontrées par les femmes pour accéder aux ressources, aux services, aux emplois et aux activités génératrices de revenus et en tirer profit influent sur leur productivité et leur efficacité dans la production alimentaire, et aggravent en fin de compte les pertes.

Dans les pays à revenu intermédiaire et à revenu élevé, le gaspillage est dû principalement au comportement des consommateurs ainsi qu'aux politiques et règlements liés à d'autres priorités sectorielles. Ainsi, les subventions agricoles peuvent inciter à produire des excédents, ce qui entraîne une baisse des prix et diminue l'attention portée aux pertes et au gaspillage de produits alimentaires – par les acteurs de la chaîne de valeur et par les consommateurs. En outre, les normes de sécurité sanitaire et de qualité des aliments peuvent entraîner le retrait de la chaîne d'approvisionnement de produits qui sont encore propres à la consommation humaine. Des pertes interviennent également au niveau des consommateurs, en raison d'une mauvaise planification des achats et du dépassement de la date de péremption des produits.

Les modes d'alimentation influent fortement sur certains facteurs du changement climatique. Dans les pays où la consommation alimentaire augmente, les régimes alimentaires comprennent généralement davantage de produits issus de l'élevage, d'huiles végétales et de sucre. Cette tendance devrait se poursuivre sous l'effet de la croissance des revenus. Plusieurs études se sont penchées sur les conséquences environnementales de la consommation d'aliments d'origine animale, en s'intéressant le

ENCADRÉ 20

LES ÉMISSIONS DES SYSTÈMES ALIMENTAIRES: LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE LE LONG DES CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT

La modernisation des chaînes d'approvisionnement alimentaire a été associée à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre associées à la fois aux intrants utilisés en amont de ces chaînes (engrais, machines, pesticides, produits vétérinaires, transport) et aux activités menées après la production agricole (transport, transformation et commercialisation).

À partir des calculs et des données fournis par Bellarby *et al.* (2008) et Lal (2004), on a estimé que la production d'engrais, d'herbicides et de pesticides, conjuguée aux émissions dues aux combustibles fossiles utilisés pour les travaux des champs, représentait 2 pour cent environ des émissions de gaz à effet de serre dans le monde en 2005 (HLPE, 2012).

Il est nécessaire de faire appel à des méthodes d'analyse du cycle de vie pour calculer les émissions résultant de la consommation de produits alimentaires. Ces méthodes tiennent généralement compte de l'ensemble des émissions, depuis l'utilisation d'intrants en amont des chaînes d'approvisionnement jusqu'à la transformation des produits hors des exploitations agricoles, et couvrent les émissions de méthane, d'oxyde nitreux et de CO₂ ainsi que la consommation de combustibles fossiles dans les systèmes alimentaires (exemples: Steinfeld *et al.*, 2006; FAO, 2013b). Si l'on prend en considération les étapes après récolte, la consommation directe et

indirecte d'énergie dans la chaîne agroalimentaire entraîne le rejet de 3,4 Gt équiv.-CO₂ approximativement (FAO, 2011d). Ce chiffre peut être comparé aux quelque 5,2 Gt équiv.-CO₂ générées par l'agriculture et aux 4,9 Gt équiv.-CO₂ environ liées à la foresterie et au changement d'affectation des terres. Actuellement, on estime que les systèmes alimentaires consomment 30 pour cent de l'énergie disponible dans le monde, et que 70 pour cent de cette part est consommée après la production agricole.

Bien qu'ils dépendent fortement des combustibles fossiles, les systèmes alimentaires modernes ont beaucoup contribué à améliorer la sécurité alimentaire. Pour qu'ils participent à l'atténuation du changement climatique, toutefois, il faudra découpler leur développement futur de la dépendance à l'égard de ces combustibles.

Le programme de la FAO pour des systèmes de production alimentaire énergétiquement rationnels et respectueux de l'humain et du climat (Energy-Smart Food for People and Climate, ESF) suit une approche axée sur le lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation pour aider les pays en développement à assurer un accès adéquat à des services énergétiques modernes à toutes les étapes des chaînes agroalimentaires, à améliorer l'efficacité énergétique et à accroître la part des énergies renouvelables (FAO, 2014).

plus souvent aux émissions de gaz à effet de serre et à l'utilisation des terres (INRA et CIRAD, 2009; Erb *et al.*, 2009; Tilman et Clark, 2014; Tukker *et al.*, 2011; Van Dooren *et al.*, 2014). Au moyen d'évaluations du cycle de vie, elles concluent en général que le passage à des régimes alimentaires comprenant moins de produits d'origine animale pourrait contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale et aurait des effets positifs sur la santé humaine.

De plus en plus de données probantes montrent que les modes d'alimentation qui ont un faible impact sur l'environnement sont également plus sains. Ces régimes alimentaires ont plusieurs caractéristiques en commun: diversité des aliments consommés; équilibre entre apports et dépenses énergétiques; et intégration de tubercules très peu transformés et de céréales complètes dans l'alimentation, parallèlement aux légumineuses, aux fruits et aux légumes, et à la viande (mais en quantités modérées pour celle-ci).

Les régimes alimentaires sains comprennent aussi des produits laitiers (en quantités modérées), des graines et des fruits à coque non salés, de petites quantités de poisson et de produits aquatiques et un très faible apport en aliments transformés riches en matière grasse, en sucre ou en sel et pauvres en micronutriments (FAO et FCRN, 2016).

L'un des autres facteurs déterminants à prendre en considération est l'énergie utilisée dans les systèmes alimentaires modernes pour transformer les aliments et les acheminer jusqu'aux consommateurs (encadré 20). Dans les pays à revenu élevé, le stockage, la distribution et la consommation des produits périssables sont associés à une utilisation d'énergie élevée – et donc à un niveau d'émissions de gaz à effet de serre proportionnel à cette utilisation. Fischbeck, Tom et Hendrickson (2016) ont mis en évidence qu'aux États-Unis, le respect des préconisations alimentaires officielles entraînerait une augmentation de 38 pour cent de la consommation d'énergie, de 10 pour cent de l'utilisation d'eau et de 6 pour cent des émissions de gaz à effet de serre. Ces effets négatifs s'expliquent par la proportion plus élevée, dans le régime alimentaire préconisé, des fruits et légumes, dont l'empreinte en énergie, en gaz à effet de serre et en eau est élevée aux États-Unis. Cet exemple montre qu'il est important de tenir compte des

caractéristiques des systèmes de production pour déterminer les empreintes environnementales. Il indique en outre que l'on peut avoir à trouver des compromis entre la réduction des effets sur l'environnement et l'amélioration des régimes alimentaires.

Sans perdre de vue la très grande diversité des systèmes alimentaires à l'échelle mondiale, on peut néanmoins s'attendre à ce que le rééquilibrage des régimes alimentaires en fonction de cibles nutritionnelles ait d'importantes retombées bénéfiques conjointes, par une atténuation des émissions de gaz à effet de serre et une amélioration de l'efficacité globale des systèmes alimentaires (Tilman et Clark, 2014). Il faudra étudier plus avant les différences démographiques et sociales, notamment la consommation alimentaire en croissance rapide dans les pays en développement, pour éclairer les stratégies destinées à promouvoir des régimes alimentaires optimaux, qui permettent d'améliorer la santé tout en réduisant les niveaux de pollution par les nitrates et les émissions de gaz à effet de serre. Il faudra également mener des évaluations multidimensionnelles du cycle de vie aux niveaux régional et mondial pour estimer les effets en matière d'adaptation et d'atténuation entraînés par les différentes évolutions des régimes alimentaires, en tenant compte des arbitrages possibles. ■

CONCLUSION

L'agriculture, la foresterie et les autres utilisations des terres font partie des facteurs essentiels qui influent sur les cycles du carbone et de l'azote terrestres. Une meilleure gestion desdits cycles dans ces secteurs peut offrir de multiples avantages sur le plan de la sécurité alimentaire et en matière d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de celui-ci. Au niveau des politiques, il est nécessaire de poursuivre trois objectifs complémentaires:

- ▶ augmenter l'efficacité de la production agricole et réduire au minimum l'intensité des émissions de gaz à effet de serre au niveau des exploitations;
- ▶ conserver et remettre en état les sols et les paysages riches en carbone par une meilleure gestion des terres agricoles et des forêts;
- ▶ orienter les systèmes alimentaires vers une réduction des pertes et du gaspillage de nourriture et des régimes alimentaires plus sains.

La poursuite simultanée de ces trois objectifs aiderait à concrétiser les retombées conjointes positives que peuvent offrir l'adaptation et l'atténuation. Il sera nécessaire de redéfinir les priorités des politiques alimentaires et agricoles

pour passer d'un objectif étroit de réduction des écarts de rendement à des objectifs plus larges, mais tout aussi importants: conservation et remise en état des sols pour améliorer leur capacité de séquestration du dioxyde de carbone; amélioration de la gestion de l'azote en vue de réduire les émissions et d'accroître la productivité; pratiques permettant d'augmenter l'efficacité de la production au niveau des exploitations tout en réduisant au minimum l'intensité des émissions de gaz à effet de serre; mesures visant à réduire le plus possible les pertes et le gaspillage au sein des systèmes alimentaires et à promouvoir des régimes alimentaires durables; et stratégies de diversification destinées à renforcer la résilience des systèmes de production face au changement climatique et à la variabilité du climat.

Après ce chapitre consacré au versant atténuation de la problématique adaptation/atténuation dans les systèmes agricoles et alimentaires, nous examinerons au chapitre 5 la réponse que peuvent apporter les politiques et les institutions, dans le domaine de l'agriculture, pour faire face au changement climatique.



CHAPITRE 5

LA VOIE À SUIVRE: REALIGNER LES POLITIQUES, RENFORCER LES CAPACITÉS INSTITUTIONNELLES

**KIROKA, RÉPUBLIQUE-
UNIE DE TANZANIE**

Un agriculteur ayant adopté le
Système de riziculture intensive
(SRI) examine son riz paddy.
©FAO/D. Hayduk





**RUSUMO, RÉPUBLIQUE-
UNIE DE TANZANIE**

Paillage – des feuilles mortes recouvrent le sol d'une école primaire dans une bananeraie.
©FAO/M. Longari



MESSAGES CLÉS

1

LES SECTEURS DE L'AGRICULTURE TIENNENT UNE PLACE

prépondérante dans pratiquement toutes les contributions prévues déterminées au niveau national présentées par les pays en préparation de la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques qui s'est tenue à Paris (COP21).

2

DANS LEURS CONTRIBUTIONS PRÉVUES DÉTERMINÉES AU NIVEAU NATIONAL (CPDN), LES PAYS ONT PRIS DES ENGAGEMENTS FORTS

s'agissant des mesures d'adaptation et d'atténuation dans l'agriculture.

3

LES PLANS D'ACTION POUR LE SUIVI NE SERONT EFFICACES QUE S'ILS S'INSCRIVENT DANS DES POLITIQUES PLUS LARGES

de transformation portant sur l'agriculture, le développement rural, la sécurité alimentaire et la nutrition.

4

LA COMMUNAUTÉ INTERNATIONALE DOIT AIDER LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT

à renforcer leur capacité de concevoir et de mettre en œuvre des politiques intégrées visant l'agriculture et le changement climatique.

LA VOIE À SUIVRE: REALIGNER LES POLITIQUES, RENFORCER LES CAPACITÉS INSTITUTIONNELLES

On a présenté dans les chapitres 3 et 4 les différentes solutions économiques et techniques pour renforcer la résilience face au changement climatique et contribuer à l'atténuation de celui-ci. Il va falloir créer des conditions favorables pour ces solutions et soutenir leur mise en œuvre en adoptant les politiques, les cadres institutionnels et les mécanismes financiers d'investissement nécessaires. Nombre de ces éléments sont déjà importants pour le développement agricole de manière générale, mais ils deviennent d'autant plus nécessaires lorsqu'il est question de changement climatique. Il convient de modifier les cadres de politiques existants afin d'y inclure les préoccupations relatives au changement climatique. En plus de traiter de l'agriculture et de la sécurité alimentaire au sens strict, ces cadres devront englober la gestion des terres et de l'eau, la gestion des risques de catastrophe, la protection sociale et la recherche-développement.

De nombreux pays ont conçu des politiques et stratégies d'ensemble concernant le changement climatique, lesquelles fixent des objectifs et des cibles généraux qui traduisent l'importance relative des différents secteurs dans les économies de ces pays, ainsi que les priorités nationales. En revanche, pour l'heure, peu d'entre eux ont établi des plans d'action détaillés pour atteindre les objectifs relatifs au climat. On trouvera dans le présent chapitre une vue générale des mesures stratégiques proposées par les pays concernant l'agriculture et l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (UTCATF), dans leurs CPDN au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). On s'intéressera ensuite à la

façon de faire le lien entre ces engagements nationaux et les politiques et institutions afin de relever efficacement les défis climatiques qui se posent dans l'agriculture. ■

L'AGRICULTURE: DÉSORMAIS UN ÉLÉMENT CENTRAL DES «CONTRIBUTIONS PRÉVUES»

À la Conférence de Paris sur le climat (COP21), qui s'est tenue en décembre 2015, les contributions prévues déterminées au niveau national ont servi de base aux négociations et ont aidé à la conclusion de l'Accord de Paris sur le changement climatique. Toutefois, même si les pays se sont engagés à atteindre des objectifs précis en termes d'atténuation, ces objectifs, s'ils sont atteints, déboucheront sur un niveau global d'émissions de gaz à effet de serre en 2030 qui sera environ 28 pour cent plus élevé que celui qui permettrait de maintenir l'élévation des températures mondiales en dessous de 2 °C.

Bien que les ambitions soient insuffisantes, et malgré une résistance manifeste s'agissant de la définition d'engagements internationaux contraignants, de nombreux pays ont pris des mesures pour définir leurs stratégies concernant le changement climatique. Aux termes de l'Accord de Paris, chaque Partie à la CCNUCC doit établir et tenir à jour une contribution déterminée au niveau national (CDN), qui doit être renouvelée tous les cinq ans et enregistrée dans un registre public. La CPDN qu'un pays

aurait déjà soumise deviendra une CDN une fois que le pays en question aura ratifié l'Accord. Les CDN ne sont pas contraignantes, mais elles sont conçues pour orienter l'action climatique qui sera menée au niveau des pays au cours des prochaines années. Elles contiennent non seulement des objectifs, mais aussi des stratégies concrètes pour s'attaquer aux causes du changement climatique et faire face aux effets de celui-ci.

Toutes les CPDN préparées pour Paris devaient couvrir l'atténuation, mais les Parties ont aussi été invitées à envisager d'y inclure une composante «adaptation», ou à communiquer leurs initiatives dans la planification de l'adaptation. Au 31 mars 2016, 188 pays avaient communiqué leurs CPDN à la CCNUCC⁹. Toutes ces contributions contiennent des engagements en termes d'atténuation, et environ 70 pour cent d'entre elles contiennent aussi une section sur l'adaptation.

Une analyse de la FAO portant sur les CPDN présentées avant la COP21 montre que l'agriculture y tient une place importante (FAO, 2016). Plus de 90 pour cent des pays incluent les secteurs de l'agriculture dans leurs contributions visant à l'atténuation et/ou à l'adaptation. Par ailleurs, les pays en développement – en particulier les pays les moins avancés (PMA) – mettent fortement l'accent sur les secteurs de l'agriculture, tant pour l'atténuation que pour l'adaptation:

- ▶ **Atténuation.** L'agriculture¹⁰ et l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie comptent parmi les secteurs les plus cités dans les contributions en matière d'atténuation, qui définissent des objectifs et/ou des actions pour les efforts d'atténuation. C'est tout particulièrement vrai pour les CPDN soumises par les pays en développement. Cependant, la plupart des pays n'ont pas déterminé des objectifs d'atténuation liés spécifiquement à l'agriculture et à l'UTCATF, mais ils les ont rattachés aux objectifs définis à l'échelle de l'économie en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre.
- ▶ **Adaptation.** Plus de 90 pour cent des pays en développement ont inclus dans leurs CPDN une section consacrée à l'adaptation au changement climatique dans les secteurs de l'agriculture et voient dans cette question une source de préoccupation majeure. L'adaptation figure dans toutes les CPDN soumises par les pays d'Afrique subsaharienne, d'Asie orientale et d'Asie du Sud-Est. La plupart des PMA soulignent par ailleurs que les événements extrêmes constituent leur principal défi en matière d'adaptation, et plus de 80 pour cent d'entre eux citent les sécheresses et les inondations comme menaces immédiates.

Les synergies entre les actions visant l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de celui-ci dans les secteurs de l'agriculture sont mises en avant dans de nombreuses CPDN, tout comme les retombées bénéfiques conjointes prévues en termes d'amélioration de la situation sociale et



⁹ Au total, 161 CPDN ont été transmises à la CCNUCC, ce qui correspond à 188 pays (la CPDN de l'Union européenne compte pour les 28 États membres). La Libye, la République populaire démocratique de Corée, le Nicaragua, la Palestine, la République arabe syrienne, le Timor-Leste et l'Ouzbékistan n'ont pas encore soumis leurs CPDN. Le 19 avril 2016, le Panama a communiqué sa CDN, qui n'est pas incluse dans la présente analyse.

¹⁰ Dans le contexte de l'atténuation, les émissions du secteur agricole, conformément à la terminologie du GIEC, incluent les émissions produites par la fermentation entérique, la gestion des effluents d'élevage, la riziculture, l'écobuage en savane, l'écobuage pastoral et les sols (qui constituent les émissions agricoles). Les émissions liées aux forêts et aux autres utilisations des terres relèvent de la catégorie UTCATF.

LES SECTEURS DE L'AGRICULTURE ET LA CCNUCC

Il existe de nombreux malentendus sur la façon dont les secteurs de l'agriculture sont pris en considération dans les débats concernant la CCNUCC, et on entend souvent dire que l'agriculture n'a pas été incluse dans les négociations, voire qu'elle en a été exclue. La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques englobe *toutes* les sources anthropiques d'émissions de gaz à effet de serre, ainsi que *toutes* les incidences du changement climatique. La question n'est donc pas de savoir si les secteurs de l'agriculture sont intégrés dans le champ d'application de la Convention, mais bien de savoir comment il est tenu compte de leurs spécificités.

Plusieurs éléments permettent la prise en compte spécifique des questions liées à l'agriculture et à la sécurité alimentaire. Le premier est que l'importance de la production alimentaire est reconnue dans la CCNUCC. En effet, l'article 2 de la Convention, qui expose l'objectif, dispose qu'il faut atteindre cet objectif tout en veillant à ce que «la production alimentaire ne soit pas menacée». Dans l'Accord de Paris, adopté à la COP21, les Parties reconnaissent par ailleurs «la priorité fondamentale consistant à protéger la sécurité alimentaire et à venir à bout de la faim, et la vulnérabilité particulière des systèmes de production alimentaire aux effets néfastes des changements climatiques».

Le deuxième élément est la reconnaissance, réaffirmée dans l'Accord de Paris, du rôle important de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie dans les interventions menées face au changement climatique. Il en a résulté la poursuite de différents axes de travail, dans le cadre de la Convention sur le climat, sur la façon de tenir compte des spécificités des sources et des puits de carbone dans les règles comptables et les mécanismes financiers.

Sont étudiées des questions telles que la distinction entre les causes naturelles et les causes anthropiques des sources et des puits de carbone, et la façon de prendre en compte le caractère provisoire des réductions des émissions au moyen des puits. Cette reconnaissance a également conduit à une initiative, lancée en 2008, visant à réduire la déforestation et la dégradation des forêts (REDD+) en versant des compensations financières aux pays en développement. Les forêts occupent une place importante dans l'Accord de Paris. Dans l'article 5, on reconnaît en effet le rôle central des forêts dans la

réalisation de l'objectif des 2 °C au moyen des stratégies d'atténuation couvertes par REDD+.

On reconnaît aussi le potentiel que recèlent les forêts pour des approches conjointes en matière d'atténuation et d'adaptation, ainsi que le rôle important qu'elles jouent dans l'obtention d'avantages non liés au carbone.

Troisième élément, depuis la Conférence de Bali (COP13), tenue en 2007, un axe de travail sur l'agriculture, englobant dans ce contexte la production végétale et l'élevage, se développe.

On a progressé dans cet axe de travail au moyen de quatre ateliers thématiques, organisés au sein de l'Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique (SBSTA) de la CCNUCC, sur les systèmes d'alerte rapide, la vulnérabilité, l'adaptation et la productivité. Il sera débattu des résultats de ces travaux à la COP22, à Marrakech.

Enfin, la nécessité de mécanismes et d'outils qui tiennent compte des spécificités des secteurs de l'agriculture et qui y soient adaptés est un thème transversal qui transparait dans les axes de travail susmentionnés ainsi que dans toutes les activités menées au titre de la Convention. L'évaluation et le suivi des émissions et des réductions des émissions, y compris des sources et des puits de carbone, sont plus difficiles dans l'agriculture que dans la plupart des autres secteurs. Le grand nombre et la petite taille des acteurs des secteurs de l'agriculture sont une source importante de difficultés et engendrent des coûts de transaction élevés pour la mise en œuvre et le suivi de mécanismes qui ont généralement été conçus pour le secteur de l'énergie et l'industrie.

Par ailleurs, le fait que l'atténuation et l'adaptation soient traitées séparément dans la CCNUCC entrave l'évaluation correcte des synergies, et des arbitrages à faire, entre les mesures d'adaptation et les mesures d'atténuation, qui sont particulièrement importants dans les secteurs de l'agriculture. Comme cela a été souligné dans les CPDN, les actions menées dans les secteurs de l'agriculture revêtent une importance toute particulière compte tenu des retombées bénéfiques conjointes qu'elles peuvent engendrer ou des arbitrages qu'elles portent à réaliser par rapport aux questions environnementales, économiques et sociales. Bien qu'elles soient importantes pour les secteurs de l'agriculture, ces questions sont pourtant passées sous silence dans la plupart des débats et des mécanismes de la CCNUCC.

» économique et de protection de l'environnement. Environ un tiers des pays font mention de ces retombées bénéfiques conjointes. Trente et un pays mentionnent explicitement l'agriculture intelligente face au climat. Il est fait spécialement référence aux effets positifs conjoints s'agissant, d'une part, du développement rural, de l'amélioration de la santé, de la réduction de la pauvreté et de la création d'emplois et, d'autre part, de la conservation des écosystèmes et de la biodiversité. Par ailleurs, de nombreux pays soulignent, dans leurs CPDN, combien il est important de réduire les inégalités entre les sexes et de favoriser l'autonomisation des femmes en vue d'améliorer la production agricole, tout en réduisant la vulnérabilité face aux incidences du changement climatique.

N'ayant pas été préparées sur la base d'un modèle standard, les CPDN sont hétérogènes s'agissant de leur longueur, des secteurs couverts et de leur degré de détail. Du fait de cette hétérogénéité, la prudence est de mise lorsque l'on pousse la comparaison des priorités et des actions des pays au-delà des grandes tendances. Cela étant, les CPDN qui ont été soumises montrent clairement l'importance que la grande majorité des pays attachent aux secteurs de l'agriculture, tant pour l'adaptation que pour l'atténuation. Il est toutefois clair, également, que l'on aura besoin de bien meilleurs outils pour adapter les interventions climatiques aux caractéristiques et aux contextes des différents secteurs de l'agriculture (encadré 21).

Les pays soulignent aussi dans leurs CPDN à quel point les mesures d'adaptation et d'atténuation dans les secteurs de l'agriculture sont riches en retombées bénéfiques conjointes potentielles. Alors qu'ils passent des intentions à la mise en œuvre, de nombreux pays ont exprimé des préoccupations quant à la question de savoir si les ressources financières disponibles sont suffisantes et quant à leurs propres capacités institutionnelles. Ce sont les pays d'Afrique subsaharienne qui expriment le plus souvent de telles préoccupations, et leurs CPDN comptent également parmi les plus détaillées et les plus complètes en matière d'agriculture. ■

DES INTENTIONS À L'ACTION: L'AGRICULTURE DANS LES STRATÉGIES RELATIVES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Étant donné que les contributions déterminées au niveau national sont des engagements généraux et non contraignants, et non des plans d'action, il faut traduire ces engagements en mesures au niveau national, ce qui concerne directement l'élaboration des politiques relatives à l'agriculture et à la sécurité alimentaire. Mais cela suppose aussi de tenir compte systématiquement des considérations relatives au changement climatique dans un ensemble d'autres politiques et domaines d'action particulièrement pertinents pour l'agriculture et la sécurité alimentaire, notamment la gestion des terres et de l'eau, mais aussi la gestion des risques de catastrophe et la protection sociale. Le défi consiste à intégrer les secteurs de l'agriculture dans les stratégies nationales relatives au changement climatique, qui sont elles-mêmes liées aux mécanismes de la CCNUCC (figure 16).

On a conçu différents instruments, dans le cadre de la CCNUCC, en vue d'établir des liens entre les engagements internationaux concernant le changement climatique et des mesures concrètes d'atténuation et d'adaptation au niveau des pays:

- ▶ Établis par la CCNUCC, les **programmes nationaux d'adaptation aux changements climatiques (PNACC)** ont été spécifiquement conçus pour les pays les moins avancés comme des instruments, harmonisés et pris en main par les pays. Dans ces programmes, on recense les activités prioritaires qui répondent à des besoins urgents et immédiats – c'est-à-dire des aspects sur lesquels il faut agir sans plus attendre, sous peine d'accroître la vulnérabilité ou d'entraîner des coûts plus élevés à l'avenir – pour l'adaptation au changement climatique.

À ce jour, 50 pays ont soumis des programmes nationaux d'adaptation aux changements climatiques au secrétariat de la CCNUCC (CCNUCC, 2016a). Les questions relatives à l'agriculture et à la gestion des ressources naturelles tiennent une place prépondérante dans ces programmes. La grande majorité des projets prioritaires ont trait aux secteurs de l'agriculture et à la sécurité alimentaire (Meybeck *et al.*, 2012), et la plupart d'entre eux entrent dans l'une des cinq grandes catégories suivantes: questions transversales (notamment les systèmes d'alerte rapide, la gestion des catastrophes, l'éducation et le renforcement des capacités), gestion des écosystèmes, gestion de l'eau, production végétale et élevage et diversification et revenus. Tous les programmes nationaux d'adaptation aux changements climatiques peuvent faire l'objet d'un financement par le Fonds pour les PMA, qui est géré par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM).

- ▶ Les **plans nationaux d'adaptation (PNA)** sont axés sur les besoins en matière d'adaptation à moyen et à long terme et sont un bon moyen d'intégrer les préoccupations et les besoins des secteurs et des acteurs de l'agriculture dans des stratégies et des politiques nationales générales. Trois pays – le Brésil, le Burkina Faso et le Cameroun – ont établi un PNA, qui accorde une place importante à l'adaptation dans l'agriculture.
- ▶ Les **mesures d'atténuation adaptées au pays (MAAP)**, telles qu'elles sont définies par la CCNUCC, sont élaborées par les gouvernements nationaux dans une perspective de développement durable et comportent des mesures adaptées au contexte national qui réduisent les émissions dans les pays en développement (CCNUCC, 2016b). Elles contiennent habituellement des mesures plus détaillées que les CPDN et peuvent être spécifiques à un projet, programmatiques, sectorielles ou axées sur les politiques générales (Wilkes, Tennigkeit et Solymosi, 2013). Il convient de définir ou de revoir les politiques sectorielles et de les aligner sur les politiques et les priorités en matière climatique. Il faut construire les scénarios de référence et estimer le potentiel offert par les différentes options en

termes d'atténuation. Il faut aussi recenser les obstacles entravant la mise en œuvre de ces options. Enfin, il faut définir les modalités institutionnelles nécessaires pour la coordination et le financement, ainsi que pour la mesure, l'établissement des rapports et la vérification. Environ 13 pour cent des MAAP se trouvant dans le registre de la Convention prévu à cet effet relèvent des secteurs de l'agriculture, de la foresterie et des autres utilisations des terres (AFAUT) (CCNUCC, 2015). ■

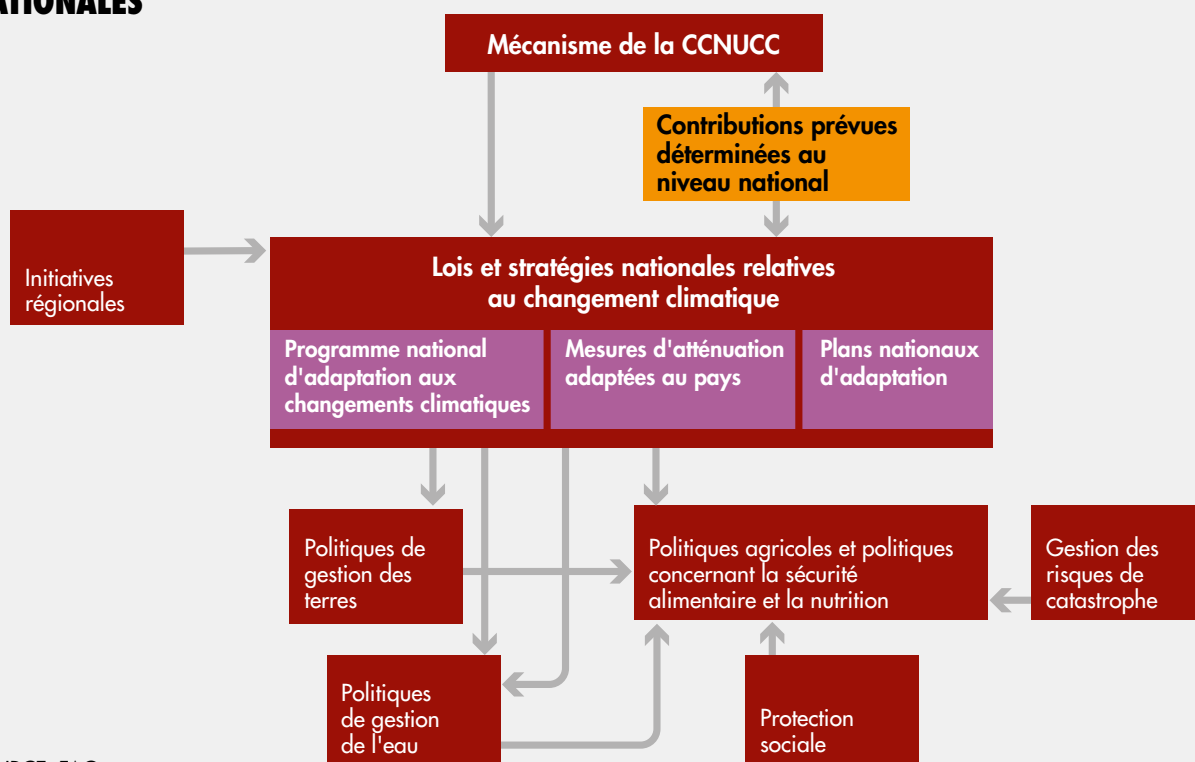
DES APPROCHES INTÉGRÉES QUI METTENT EN COHÉRENCE LES OBJECTIFS CLIMATIQUES ET LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT

Les PNACC, les PNA et les MAAP sont axés sur les mesures de lutte contre le changement climatique, que ce soit par l'adaptation ou l'atténuation. Toutefois, comme on l'a vu dans les chapitres 3 et 4, pour être efficaces et permettre l'obtention de retombées bénéfiques conjointes, ces mesures doivent s'inscrire dans des politiques plus larges relatives à l'agriculture, à l'alimentation et à la nutrition.

La remise en état des forêts et des sols dégradés, les pratiques de l'agriculture intelligente face au climat, l'agroécologie et une meilleure gestion des ressources en eau peuvent toutes contribuer aux améliorations de la productivité nécessaires pour répondre à la demande croissante d'aliments, améliorer la résilience des systèmes agricoles et réduire l'intensité d'émission des cultures, de l'élevage, des pêches et de la foresterie, tout en renforçant le stockage du carbone dans les sols et les forêts. Cependant, comme expliqué dans les chapitres 3 et 4, l'adoption de pratiques durables dans les secteurs de l'agriculture pourrait ne pas suffire pour

FIGURE 16

DES ENGAGEMENTS ET MÉCANISMES INTERNATIONAUX AUX POLITIQUES ET INSTITUTIONS NATIONALES



SOURCE: FAO.

mettre les systèmes alimentaires sur la voie de la durabilité et pour éliminer la faim. Pour cela, il faut redoubler d'efforts en vue d'améliorer la résilience et les moyens d'existence des personnes en situation d'insécurité alimentaire et, dans tous les secteurs de l'économie, en vue de garantir la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour éviter que les températures mondiales ne s'élèvent de plus de 2 °C.

Les politiques de développement agricole et rural en faveur de la diversification des revenus et des possibilités d'emploi pour les pauvres et les personnes en situation d'insécurité alimentaire doivent être complétées par des politiques qui visent à atténuer l'empreinte écologique des systèmes alimentaires pris dans leur ensemble – par exemple au moyen de mesures qui mettent en cohérence les préférences alimentaires et les objectifs environnementaux.

Du point de vue de l'agriculture, une telle approche intégrée doit partir d'une bonne compréhension des éléments qui motivent les choix en matière de production agricole et de gestion des ressources naturelles, de leurs incidences sur les moyens d'existence des agriculteurs et de leurs conséquences pour l'environnement. Cette entreprise n'a rien d'aisé, et il ne sera pas toujours possible de trouver des solutions avantageuses pour tous. Les politiques, les forces du marché et les contraintes

environnementales déterminent la façon dont les intrants et les autres ressources sont utilisés dans l'agriculture, les niveaux de productivité et le degré de conservation ou d'épuisement des ressources naturelles. Ces facteurs varient beaucoup d'un pays à l'autre. Les paysans qui pratiquent une agriculture de subsistance en Afrique et les petits exploitants en Asie sont face à des contraintes différentes et n'ont pas la même capacité de réaction, face aux signaux des politiques et des marchés, que les grands acteurs mondiaux de l'agroalimentaire. Comme on le voit tout au long du présent rapport, les incidences climatiques sont très différentes d'une région à l'autre, et il faudra y faire face en tenant compte des contextes locaux. Malgré ces différences, il existe plusieurs zones de recoupement où l'on peut s'employer à chercher des solutions compte tenu des arbitrages à faire entre les objectifs climatiques et les objectifs de sécurité alimentaire et où il faudrait faire coïncider les différents domaines d'action.

Supprimer les subventions et les mesures d'aide qui nuisent à l'environnement

En 2015, les pays de l'OCDE ont consacré 211 milliards d'USD aux mesures de soutien à la

production agricole. Dans les pays non membres de l'OCDE pour lesquels des données sont disponibles, cette aide s'est élevée à 352 milliards d'USD la même année¹¹.

Les pouvoirs publics soutiennent les agriculteurs et les entreprises agroalimentaires pour stimuler directement la production agricole, influencer sur le coût des intrants, compléter les revenus agricoles et atteindre d'autres objectifs sociaux, économiques et environnementaux, tels que la préservation des paysages, la conservation de l'eau, la réduction de la pauvreté, l'atténuation du changement climatique et l'adaptation à celui-ci. Une grande partie du soutien à la production donné actuellement dans les pays développés et les pays en développement consiste en des subventions aux intrants, notamment les engrais et l'énergie, surtout des combustibles fossiles, ou en des versements directs aux agriculteurs. Dans les pays de l'OCDE, les mesures de soutien sont en recul depuis les années 1980, à la fois en termes réels et en termes relatifs. Par rapport à la valeur de la production au niveau de l'exploitation, les aides ont fortement chuté, passant de 46 pour cent en 1986 à 20 pour cent en 2014. À l'inverse, dans la plupart des pays non membres de l'OCDE pour lesquels on dispose de données, le soutien à la production agricole va croissant.

Si on ne veille pas à les mettre en conformité avec les mesures de lutte contre le changement climatique et de prise en compte des préoccupations environnementales, les mesures d'appui peuvent avoir des incidences indésirables sur l'environnement. Par exemple, les subventions aux intrants peuvent entraîner une utilisation inefficace des engrais chimiques et des pesticides et accroître l'intensité des émissions imputables à la production. Près de la moitié des subventions agricoles accordées, sur la période 2010-2012, par les pouvoirs publics des pays de l'OCDE étaient «potentiellement très nocives pour l'environnement», du fait qu'elles ont induit une demande plus forte d'engrais chimiques et de

combustibles fossiles et une hausse des émissions de gaz à effet de serre (OCDE, 2015). La part des subventions qui nuisent à l'environnement a chuté depuis 1995 (elle était alors de 75 pour cent), et la part des subventions et versements qui doivent être conformes à la réglementation environnementale a augmenté. La situation tend donc à s'améliorer, mais les pays de l'OCDE ont encore du chemin à parcourir pour aligner les politiques générales relatives aux prix agricoles et les mesures d'incitation à l'adoption de pratiques de production écologiquement durables.

Dans les pays en développement, la tendance est à l'utilisation accrue du soutien des prix à la production et des subventions aux intrants. Les défenseurs des subventions aux intrants croient souvent qu'en réduisant le coût des intrants, on va accroître les rendements et améliorer la sécurité alimentaire. Comme on l'a vu dans le chapitre 3, dans certains contextes, et spécialement dans certaines régions d'Afrique subsaharienne, les mesures d'incitation à l'utilisation accrue des engrais azotés peuvent en effet avoir comme retombées bénéfiques conjointes d'accroître la productivité et d'améliorer la résilience des petits producteurs. Mais les incidences ne sont pas bénéfiques dans tous les contextes. Par exemple, en Asie de l'Est, l'utilisation excessive d'engrais n'a pas eu d'effet positif sur la production et a fortement nui à l'environnement (Fixen *et al.*, 2015). Il convient donc d'apporter tout le soin nécessaire à l'évaluation et à la conception des politiques afin de ne pas créer des mesures d'incitation qui seraient contre-productives pour la réalisation des objectifs relatifs à l'environnement.

Une façon d'aligner les objectifs de développement agricole et les objectifs relatifs au climat serait de subordonner les mesures d'appui à l'agriculture à l'adoption de pratiques agricoles qui réduisent les émissions et conservent les ressources naturelles. Étant donné que les subventions sont élevées, il est possible de réaligner et de réorienter les mesures d'incitation. Cependant, rien de tout cela ne suffira si les parties prenantes ne déploient pas des efforts concertés en vue d'aligner les politiques relatives

¹¹ Les estimations du soutien à la production (ESP) agricole sont tirées de la base de données de l'OCDE (2016). Cette base de données contient des estimations pour neuf pays non membres de l'OCDE: l'Afrique du Sud, le Brésil, la Chine, la Colombie, la Fédération de Russie, l'Indonésie, le Kazakhstan, l'Ukraine et le Viet Nam.

LA NÉCESSAIRE COHÉRENCE DES POLITIQUES DANS LES DOMAINES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ÉNERGIE

Les taxes plus faibles sur les carburants utilisés dans la production agricole et les aides en faveur du développement des agrocarburants sont deux sujets qui illustrent parfaitement qu'il faut renforcer la cohérence entre les politiques relatives à l'agriculture, à l'énergie et au changement climatique.

Pour justifier les **taxes plus faibles sur les carburants** utilisés dans les secteurs de l'agriculture, on invoque que les carburants de transport sont des intrants importants et qu'ils sont essentiellement utilisés en dehors des routes. Cependant, la combustion du diesel émet la même quantité de gaz à effet de serre partout où elle se produit. Une politique agricole qui offrirait une exemption totale ne serait donc pas cohérente par rapport à un objectif d'atténuation du changement climatique.

Les **agrocarburants** sont un autre thème énergétique pour lequel la cohérence des politiques pose problème. Le développement des agrocarburants dépend de plusieurs champs d'action des politiques – l'agriculture, l'énergie, le transport, l'environnement et le commerce –, et, bien souvent, il n'y a ni coordination claire ni cohérence entre les politiques (FAO, 2008). Ce n'est qu'en envisageant le rôle des agrocarburants par rapport à ces champs d'action que l'on pourra éviter les conflits entre les différents objectifs.

La production des matières premières pour les agrocarburants est en concurrence avec l'agriculture conventionnelle pour la terre et les autres ressources productives, ce qui peut nuire à la sécurité alimentaire et à la nutrition du fait de l'augmentation et de la déstabilisation des prix des denrées alimentaires.

Étant donné que la viabilité économique de la production d'agrocarburants dépend des cours du pétrole, la volatilité des marchés de l'énergie se transmet aux marchés agricoles et, de là, aux prix des denrées alimentaires (voir Enciso *et al.*, 2016).

Les mesures adoptées dans le cadre des politiques relatives aux agrocarburants sont généralement mises en œuvre au moyen de crédits d'impôt, d'objectifs quantitatifs (obligations d'incorporation ou d'utilisation) et de restrictions commerciales (Sorda, Banse et Kemfert, 2010). Ces différentes approches ont des effets différents sur l'instabilité dans les marchés agricoles. Les crédits d'impôt créent un lien plus fort avec les marchés de l'énergie, par l'intermédiaire des prix relatifs, que les objectifs quantitatifs; ces derniers offrent donc une meilleure prévisibilité concernant la demande d'agrocarburants. Les politiques relatives aux agrocarburants établissent des liens entre le marché des produits agricoles et le marché de l'énergie, et il faut les envisager dans le contexte plus large de la politique relative au changement climatique. Si l'on met en place des politiques de soutien des agrocarburants, il pourrait être préférable, du point de vue de la sécurité alimentaire, de recourir aux obligations plutôt qu'à des crédits d'impôt, parce que celles-ci sont moins sujettes à l'instabilité des marchés. Cela étant, l'ampleur de l'obligation et l'importance du crédit d'impôt seront des facteurs déterminants. Il faut gérer avec un soin tout particulier les interactions entre les crédits d'impôt et les obligations, ce qui ajoute une difficulté s'agissant de la cohérence des politiques (De Gorter et Just, 2009).

au changement climatique et à l'agriculture et les politiques menées dans les autres domaines, notamment dans le secteur de l'énergie (voir encadré 22).

La gestion des ressources naturelles

La gestion durable des ressources naturelles est un autre aspect essentiel pour la synergie des politiques. L'optimisation de l'utilisation durable de la terre et de l'eau nécessite une gouvernance et des mécanismes appropriés en vue de gérer les synergies et les arbitrages à faire entre les différents objectifs, intérêts et horizons temporels. Pour atteindre des objectifs multiples dans les secteurs de l'agriculture, de l'énergie et

de la foresterie, il est nécessaire de planifier l'utilisation des terres à grande échelle afin de recenser les zones prioritaires pour REDD+, la production agricole et les forêts affectées à d'autres utilisations, telles que la production d'énergie à partir de la biomasse.

Les cultures végétales et l'élevage sont les deux principaux moteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts. Le secteur de l'énergie est lui aussi étroitement lié aux forêts dans la plupart des pays en développement, du fait de la dépendance généralisée aux combustibles ligneux, surtout en Afrique et en Asie, et de l'expansion sur les terres forestières de la production de matières de base pour les agrocarburants, surtout en Asie et en Amérique latine. Dès lors, l'harmonisation des objectifs entre les secteurs de l'agriculture et de l'énergie

sera un élément essentiel du succès des mesures d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à celui-ci. Pour garantir la prise en main nationale et la durabilité politique, REDD+ devra aussi contribuer à la réalisation des objectifs d'autres secteurs clés de l'économie.

Soutenir et faciliter l'action collective

Le changement climatique crée des exigences nouvelles et croissantes d'action collective et, par conséquent, de coordination entre les parties prenantes. Il faut répondre à ces exigences au moyen de politiques et d'institutions qui facilitent et qui soutiennent la conception et la mise en œuvre coordonnées des actions, soit dans une zone déterminée – par exemple un bassin versant ou une forêt – soit dans un secteur, tel qu'une chaîne alimentaire complète. Il est important de promouvoir, pour la gestion des ressources naturelles, l'inclusivité et la transparence dans la prise de décisions et d'encourager les actions qui visent à générer des effets positifs publics et collectifs sur le long terme en matière d'adaptation (Place et Meybeck, 2013).

Pour contribuer à la remise en état des paysages, notamment, il est essentiel de mettre en place une coordination intersectorielle. Les différents organismes travaillent souvent dans un isolement relatif, voire à contre-courant les uns des autres. Cela est dû en partie à la structure des institutions et à leur capacité insuffisante de collaborer étroitement en matière de planification et de gestion de l'utilisation des terres. Les institutions qui traitent des questions liées aux écosystèmes et à l'utilisation des terres doivent intégrer la gestion des ressources naturelles, en particulier les forêts, les arbres, les sols et l'eau, grâce à une utilisation des terres améliorée et multisectorielle, une approche qui présente un potentiel intéressant (Braatz, 2012).

Pour contribuer à l'amélioration de la gouvernance des régimes fonciers applicables aux terres et à l'eau dans un contexte de changement climatique, le dialogue multipartite, tenant compte des

intérêts des femmes, des pauvres et des groupes marginalisés, est une voie prometteuse. L'expérience de ces dernières décennies a ainsi montré, par exemple, que l'on pouvait gérer correctement les forêts et inverser le processus de dégradation en impliquant les communautés locales, au moyen de modalités institutionnelles décentralisées et légitimes mises au point grâce à des processus de consultation (FAO, 2013). Il existe de nombreux groupes d'exploitants forestiers (FAO et AgriCord, 2012) et de groupes communautaires d'utilisateurs des forêts (par exemple ceux que l'on trouve au Népal). Il en va de même pour les groupes et organisations communautaires de pêche.

Les réseaux sociaux sont également des composantes importantes de la gouvernance locale et ils peuvent contribuer à apporter des réponses efficaces au changement climatique. Les formes traditionnelles de travail réciproque et mutuel – par exemple dans la conservation des sols et de l'eau et dans les systèmes de culture itinérante – ont été partiellement ou totalement abandonnées dans de nombreuses régions, en raison de l'évolution de la situation socioéconomique (FAO, 2013). Il pourrait être bénéfique, lorsque la situation s'y prête, de soutenir ou de réactiver ces formes de coopération pour les activités de remise en état. Le fait d'encourager les réseaux sociaux informels à partager des informations et des données d'expérience sur les stratégies d'adaptation pourrait aussi contribuer à renforcer la résilience de la société face au changement climatique. Les réseaux de ce type peuvent jouer un rôle essentiel dans la mise en place des systèmes de surveillance, de suivi et d'alerte rapide.

Gérer les risques

Le changement climatique crée de nouveaux risques et modifie les risques existants (FAO et OCDE, 2012). Le GIEC a souligné qu'en termes d'adaptation, il était essentiel de mieux gérer les risques réels. Pour ce faire, on a besoin d'institutions et de politiques appropriées, qui sont pour l'essentiel spécifiques à un secteur et/ou à un risque donné. Les stations

LA RÉDUCTION DES RISQUES DE CATASTROPHE AU SERVICE DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET DE LA NUTRITION

Pour renforcer la résilience, il faut modifier l'approche conventionnelle de la réduction des risques de catastrophe, c'est-à-dire ne plus simplement réagir aux événements extrêmes, mais bien donner la priorité à la réduction et à la gestion active des risques.

En moyenne annuelle, moins de 5 pour cent des fonds de l'aide humanitaire sont consacrés à la préparation aux catastrophes et à la prévention de celles-ci; et moins de 1 pour cent de ces fonds sont envoyés aux pays qui en ont le plus besoin. En 2010 et en 2011, tous secteurs confondus, environ 0,4 pour cent de l'aide publique au développement a été investie dans la réduction des risques de catastrophe (Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes/OCDE, 2013).

La FAO a élaboré et met en œuvre des mesures de réduction des risques de catastrophe dans de nombreux pays qui sont régulièrement exposés à des événements climatiques extrêmes et à d'autres événements extrêmes (voir plusieurs exemples dans FAO, 2016).

L'approche est fondée sur quatre piliers qui se soutiennent mutuellement et qui correspondent au Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe. Les objectifs sont les suivants:

- ▶ créer un environnement propice en renforçant les capacités et en améliorant les cadres juridiques et les cadres de planification pour la gouvernance des risques de catastrophe et des crises;
- ▶ comprendre le risque et donner une base solide à la prise de décisions grâce au suivi des risques et à des mécanismes d'alerte rapide propres aux différents secteurs;
- ▶ favoriser les pratiques spécifiques aux contextes locaux qui préviennent et atténuent les incidences des aléas et catastrophes naturels; et
- ▶ renforcer les capacités, la coordination et la planification pour la préparation, l'intervention d'urgence et la reconstruction en mieux lors de la réhabilitation.

météorologiques, les outils de projection météorologique et climatique, les modèles de variation des rendements, les outils de suivi environnemental et les évaluations de la vulnérabilité peuvent aider à déterminer comment les conditions climatiques locales évolueront à l'avenir et à estimer les incidences qu'elles auront sur la production. Ces outils sont essentiels pour la mise en place de systèmes d'alerte rapide fiables et pour l'évaluation des différents moyens d'adaptation.

Pour mettre en place des stratégies complètes de gestion des risques, il faut avoir une bonne idée de la solidité des différents instruments de gestion des risques dans un contexte d'incertitude climatique (Antón *et al.*, 2013). Ces stratégies nécessitent aussi une coordination des mesures prises par le secteur public, le secteur privé et la société civile, depuis le niveau mondial jusqu'au niveau local (Banque mondiale, 2013). Les gouvernements nationaux pourraient fournir des mécanismes qui permettraient la gestion proactive et intégrée des risques – par exemple un comité national qui coordonnerait les stratégies de gestion des risques avec les institutions aux fins du suivi, de la prévention, du contrôle et des interventions aux niveaux local et mondial – et prendre des mesures pour inciter le secteur privé à participer aux stratégies

d'adaptation aux risques. Comme cela a été dit au chapitre 3, les programmes de protection sociale qui garantissent un revenu minimum ou l'accès à la nourriture ont un rôle important à jouer, mais ils doivent être reliés correctement aux autres formes de gestion des risques climatiques et des risques de catastrophe (encadré 23).

D'autres politiques sont également nécessaires pour réduire les risques financiers, faire baisser les coûts de transaction, faciliter les opérations financières, permettre l'accès aux services financiers et faciliter les investissements à long terme, au moyen de dépôts d'épargne sûrs, de crédits peu onéreux et d'assurances. Il faut répondre aux besoins financiers des petits agriculteurs et des exploitants familiaux, s'agissant à la fois du capital circulant – par exemple pour l'achat d'engrais et de semences – et des investissements à moyen et à long terme.

Enfin, les politiques et les institutions doivent soutenir activement la diversification des stratégies relatives aux moyens d'existence. La diversification des moyens d'existence compte parmi les stratégies de gestion des risques les plus efficaces pour les petits agriculteurs et les exploitants familiaux qui doivent faire face au changement climatique. Selon le contexte, cette stratégie peut comprendre la diversification de

l'utilisation des terres et la diversification des revenus ou du travail. La diversification doit donc être un élément essentiel des politiques de développement agricole et rural, et les institutions locales doivent la faciliter en prenant des mesures d'incitation passant par un meilleur accès au crédit, aux assurances, aux informations et à la formation.

Mettre en place des institutions et des politiques en faveur de systèmes qui soient plus résilients et qui produisent moins d'émissions

Compte tenu de l'accent que les pays ont mis, dans leurs CPDN, sur l'atténuation et l'adaptation, aider les producteurs de nourriture dans leurs efforts d'adaptation au changement climatique, tout en gardant les émissions de gaz à effet de serre sous contrôle, doit devenir une priorité. Pour adopter des moyens d'existence nouveaux et plus résilients, les agriculteurs, les bergers, les pêcheurs et les forestiers ont besoin d'un environnement institutionnel qui soutienne ce changement. Mais à l'heure actuelle, ce type d'environnement politique et institutionnel porteur fait souvent défaut, surtout pour les petits producteurs.

Il est essentiel d'adopter des modalités institutionnelles qui soutiennent l'accroissement et la stabilisation des bénéfices tirés de la production agricole. Les marchés des intrants et des produits agricoles jouent un rôle central à cet égard, mais d'autres institutions – par exemple les programmes ruraux de crédit et d'assurance, la vulgarisation agricole, les régimes fonciers applicables aux terres et à l'eau ou encore les programmes de subvention des moyens de production – jouent toutes des rôles considérables en aidant, ou, à l'inverse, en freinant, les petits agriculteurs dans leur

transition vers des systèmes plus résilients (voir le chapitre 3 ainsi que McCarthy, Best et Betts, 2010; Asfaw, Coromaldi et Lipper, 2015; Asfaw *et al.*, 2015; Asfaw, DiBattista et Lipper, 2014; Arslan *et al.*, 2014; 2015; et Arslan, Belotti et Lipper, 2015).

Pour que les producteurs de nourriture puissent accéder aux intrants et au savoir-faire dont ils ont besoin pour s'adapter au changement climatique, et pour qu'ils soient en mesure de vendre les produits de leurs activités de diversification, il sera encore plus important, dans le contexte du changement climatique, de créer des liens solides entre les petits agriculteurs et les marchés locaux, nationaux et régionaux. L'établissement de liens avec les marchés exige également d'investir dans des structures de transformation de petite et moyenne dimensions et dans des petites unités de commerce de détail et de gros. Il se peut que les pouvoirs publics aient à intervenir pour réduire le coût des transactions s'agissant de l'accès aux marchés et pour créer des instruments de réglementation visant à corriger les déséquilibres qui existent, en termes de pouvoir économique et de pouvoir politique, entre, d'une part, les petits agriculteurs et leurs organisations et, d'autre part, les autres organisations contractantes. ■

RENFORCER LA COOPÉRATION RÉGIONALE ET INTERNATIONALE

Les questions transfrontalières

La lutte contre le changement climatique demande souvent une gestion collective des ressources naturelles, ce qui peut nécessiter une action transfrontalière. Par ailleurs, le changement climatique va accroître la probabilité

LACUNES DANS LES CONNAISSANCES ET PROBLÈMES CONCERNANT LES DONNÉES

Le changement climatique change aussi l'environnement de risques et ajoute un nouveau degré d'incertitude face aux risques que les producteurs alimentaires doivent déjà affronter. Il faut combler des lacunes concernant des informations et des connaissances importantes, telles que les prévisions météorologiques intra-saisonnières. Il est nécessaire d'investir dans l'infrastructure afin de mesurer, d'enregistrer, de stocker et de diffuser les données concernant les variables météorologiques, et de fournir des prévisions météorologiques et climatiques saisonnières aux échelles spatiales et temporelles souhaitées. Il faut rendre les prévisions climatiques plus utiles et plus faciles à utiliser au moyen de partenariats entre les organismes qui s'occupent des services météorologiques et hydrologiques, de la recherche agronomique et de la vulgarisation. S'agissant de la nécessité d'une meilleure coordination des mesures prises, le projet de comparaison et d'amélioration des modèles agricoles (AgMIP) est une initiative importante qui relie les différentes activités de modélisation menées un peu partout dans le monde, mettant l'accent sur le climat, les cultures, l'élevage et l'économie, et qui aide à mettre en évidence les lacunes restantes dans les connaissances et à trouver comment les combler. Par exemple, bien que des études aient été récemment consacrées aux effets du changement climatique sur les ravageurs et les pathogènes des végétaux (Bebber, Ramotowski et Gurr, 2013; Gregory *et al.*, 2009) et à leurs antagonistes (Thomson, Macfadyen et Hoffmann, 2010), elles ne sont pas intégrées dans les projections des incidences que le changement climatique va avoir sur l'agriculture; cet aspect a été considéré comme important pour le développement ultérieur des modèles (Rosenzweig *et al.*, 2014).

Pour étayer la prévision et le suivi des incidences réelles du changement climatique, et les mesures prises pour contrecarrer ces incidences, les statistiques devront fournir de meilleures informations sur différents processus, notamment: les facteurs socioéconomiques qui déterminent les émissions, les émissions, les observations de la Terre, les incidences sur les écosystèmes et les activités économiques, les mesures d'adaptation et les mesures d'atténuation. Il existe encore des lacunes importantes concernant les données dans tous ces domaines, surtout pour les pays en développement qui n'ont pas les capacités nécessaires pour analyser les séries chronologiques, estimer les émissions dans les secteurs clés et exploiter pleinement les observations de la Terre. Il faut aider les pays à améliorer leurs systèmes statistiques nationaux, et surtout à renforcer leur capacité d'évaluer les risques liés au changement climatique en utilisant des données socioéconomiques géoréférencées et des modèles économiques intégrés.

La collaboration internationale et régionale jouera un rôle essentiel pour combler ces lacunes de connaissances et fournir les informations aux intéressés. La base de données statistiques de la FAO, FAOSTAT, fournit des estimations, actualisées chaque année, pays par pays, des émissions produites par l'agriculture, l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie. La FAO publie en outre des informations géospatiales au moyen d'un certain nombre de portails et de produits spécialisés, tels que GeoNetwork, la Base de données harmonisée des sols du monde et Collect Earth – un nouvel outil qui permet la collecte de données sur les forêts par l'intermédiaire de Google Earth.

des déplacements de ravageurs et de maladies, ainsi que des déplacements de produits, d'un pays à l'autre. Du fait de cette évolution, il faut renforcer la coopération régionale et internationale en vue de faciliter les échanges de connaissances, de gérer les ressources communes et d'échanger et de valoriser les ressources phytogénétiques et zoogénétiques.

Bon nombre des ressources dont dépendent les secteurs de l'agriculture – par exemple l'eau, les stocks de poissons et les écosystèmes – sont, par nature, transfrontalières. Les changements qui surviennent dans l'environnement vont amener des changements dans la disponibilité de ces ressources et dans la migration des espèces, des individus et des activités humaines à mesure

que ceux-ci chercheront à s'adapter aux changements. Qui plus est, les événements extrêmes, tels que les incendies de forêts, les invasions d'espèces et les ravageurs et les maladies, ne connaissent pas les frontières nationales. Les politiques et les institutions consacrées à la prévention et à la gestion de risques et de vulnérabilités précis qui subissent les effets du changement climatique sont pour l'essentiel locales et nationales, mais elles peuvent s'appuyer utilement sur une coopération et des outils internationaux.

Il est donc crucial, dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, de mener une action multinationale et régionale en vue de suivre et de gérer les changements concernant les ressources

naturelles, ainsi que les risques pesant sur les secteurs de l'agriculture et la sécurité alimentaire. On trouvera ci-après quelques exemples de coopération transfrontalière dans les secteurs de l'agriculture:

- ▶ Les **organismes**, institutions et réseaux **régionaux chargés des pêches**, qui collaborent, au niveau régional, en vue de la gestion adaptative des stocks de poissons transfrontaliers et de la lutte contre les maladies des poissons. Par exemple, la gestion des pêches industrielles de listao et d'albacore dans les eaux équatoriales du Pacifique occidental permet de garder les prises dans les limites de la durabilité et optimise la distribution des avantages économiques.
- ▶ Les **commissions régionales des forêts**, qui coordonnent les actions ayant des répercussions transnationales et qui bénéficient de la collaboration entre les pays dans les différentes régions. Elles mènent différentes actions conjointes, par exemple des initiatives régionales sur les incendies de forêts et les espèces envahissantes, ou des activités de collaboration régionale concernant les évaluations des ressources forestières.
- ▶ Les **institutions de gestion des ressources en eau transfrontalières**, telles que l'Initiative du bassin du Nil ou la Commission du Mékong, qui aident à définir une vision commune des demandes qui pèsent sur les ressources en eau dans les bassins régionaux.
- ▶ Les **projets régionaux**, tels que l'initiative de la Grande muraille verte qui vise à lutter contre la désertification en Afrique.
- ▶ Les **systèmes d'alerte rapide aux niveaux régional et mondial**, tels que le Système mondial d'information et d'alerte rapide de la FAO et son système de prévention des crises EMPRES Santé animale.
- ▶ Le **Comité de lutte contre le criquet pèlerin de la FAO**, composé de 64 pays, qui renforce les capacités nationales pour le suivi du criquet pèlerin, la lutte contre celui-ci, la planification des interventions d'urgence, la formation et la sécurité environnementale dans près de 30 pays.

Le rôle du commerce dans l'adaptation et l'atténuation

L'efficacité du système de commerce international est importante tant pour l'adaptation au changement climatique que pour l'atténuation de celui-ci. Le changement climatique peut avoir des répercussions de grande portée sur les schémas mondiaux de production et sur les schémas des échanges internationaux des produits alimentaires et agricoles. Le commerce peut être un élément des stratégies d'adaptation des régions touchées par le changement climatique. Il faut réduire autant que possible les restrictions au commerce, telles que les obstacles tarifaires et non tarifaires, qui entravent la réaction de la production agricole mondiale face à l'évolution de la demande et de l'offre dans un contexte de changement climatique. Toutefois, étant donné que les incidences devraient être plus graves dans les régions situées à de faibles latitudes (voir le chapitre 2), il est probable que le changement climatique creuse les déséquilibres qui existent déjà entre le monde développé et le monde en développement. Avec le changement climatique, il est d'autant plus nécessaire d'aider les pays en développement à faire face aux hausses des prix des denrées alimentaires et de l'énergie, ainsi qu'à l'instabilité des disponibilités alimentaires.

Les actuels cadres de décision concernant les politiques commerciales sont loin d'être adaptés aux préoccupations climatiques. Par exemple, on ne sait pas vraiment quel rôle les mesures commerciales ont à jouer dans les négociations internationales sur la stabilisation du changement climatique. Il n'y a pas de consensus sur la question de savoir si les règles commerciales de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) en vigueur peuvent favoriser la réalisation des objectifs climatiques ou si elles font peser une menace sur les solutions définies d'un commun accord en matière climatique (Early, 2009). En fait, plusieurs formes de politiques d'atténuation du changement climatique pourraient être contestées en vertu des règles de l'OMC si elles étaient considérées comme des facteurs de distorsion des échanges. Cela pourrait être le cas pour les mesures suivantes, notamment: la rémunération des services environnementaux, tels

que le stockage du carbone par les forêts et dans le sol; les politiques mises en œuvre sous la forme de mesures unilatérales, telles que les taxes sur le carbone ou les systèmes de plafonnement et d'échange des droits d'émission; les mesures d'ajustement à la frontière qui imposent des droits de douane sur les importations venant de pays qui ne prennent pas des mesures d'atténuation comparables sur la base de la teneur en carbone des produits ou des méthodes de production.

On faciliterait grandement la conclusion d'un accord international sur l'harmonisation des règles commerciales et des objectifs climatiques en répondant aux préoccupations selon lesquelles les mesures ayant trait au climat pourraient entraîner des distorsions des échanges commerciaux, ou, inversement, que les règles commerciales pourraient entraver la poursuite des progrès s'agissant du changement climatique (Wu et Salzman, 2014). ■

CONCLUSION

Dans les contributions prévues déterminées au niveau national qu'ils ont présentées en préparation de la COP21, de nombreux pays développés et pays en développement ont clairement exprimé qu'ils étaient déterminés à faire en sorte que les secteurs de l'agriculture réagissent efficacement au changement climatique, en prenant des mesures d'adaptation et d'atténuation. Cette détermination doit maintenant être traduite en mesures concrètes avec l'appui d'un environnement politique et institutionnel porteur, et au moyen d'une coopération régionale et internationale. Il faut maintenant fonder les plans d'action sur la reconnaissance de l'existence de synergies et d'arbitrages importants à réaliser entre l'atténuation, l'adaptation, la sécurité alimentaire et la conservation des ressources naturelles. Générer des retombées bénéfiques conjointes nécessite une coordination à travers tous les domaines concernés.

Malheureusement, on constate un manque général de coordination et d'harmonisation entre les plans et mesures de développement agricole qui traitent du changement climatique et ceux qui traitent des autres problèmes environnementaux. Cela conduit à une utilisation inefficace des ressources et

empêche la gestion intégrée qui est nécessaire pour faire face aux menaces du changement climatique, garantir l'amélioration de la productivité dans la production alimentaire et renforcer la résilience des ménages vulnérables. Parallèlement, force est de constater que les évaluations des incidences du changement climatique sont entourées d'incertitudes et entravées par d'importantes lacunes dans les connaissances. En vue de mieux guider les interventions, il faut fournir des efforts beaucoup plus importants pour améliorer les outils d'évaluation et combler ces lacunes dans les connaissances, par exemple en renforçant les systèmes de statistiques et les capacités en termes de prévision et de suivi du climat (encadré 24).

Le décloisonnement des politiques concernant l'adaptation, l'atténuation, la sécurité alimentaire, la nutrition et les ressources naturelles est également essentiel lorsqu'il est question de définir les financements nécessaires pour appuyer la transition vers des systèmes alimentaires durables et intelligents face au climat. Le chapitre suivant traite de l'établissement de liens entre l'action relative au changement climatique et le financement de l'agriculture.



CHAPITRE 6

FINANCER LA VOIE À SUIVRE

DLBISSI, BURKINA FASO

Des sacs de nourriture pour animaux délivrés par un centre de distribution de la FAO dans une région affectée par la sécheresse.

©FAO/I. Sanogo





DJIBO, BURKINA FASO

Peu après de fortes pluies
dans le désert entre Djibo
et Dori.

©FAO/G. Napolitano



MESSAGES CLÉS

1 **LE FINANCEMENT PUBLIC INTERNATIONAL DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE L'ATTÉNUATION DE CELUI-CI** représente une part croissante, quoique relativement faible encore, du financement global des secteurs de l'agriculture.

2 Les mesures prévues par les pays en développement dans le domaine agricole pour parer au changement climatique **NÉCESSITENT QU'ON AUGMENTE LE FINANCEMENT DE L'ACTION CLIMATIQUE DISPONIBLE.**

3 **À CONDITION QUE LES POLITIQUES ET LES CADRES INSTITUTIONNELS NÉCESSAIRES À LA TRANSFORMATION SOIENT EN PLACE,** le financement public international de l'action climatique peut agir comme un catalyseur et permettre de mobiliser des flux plus importants de fonds publics et privés pour une agriculture durable.

4 **L'INSUFFISANCE DES CAPACITÉS FAIT ACTUELLEMENT OBSTACLE** aussi bien à l'accès des pays en développement au financement de l'action climatique destiné à l'agriculture qu'à l'utilisation efficace de ces fonds.

5 **DES MÉCANISMES INNOVANTS** peuvent renforcer la capacité des fournisseurs de services financiers de gérer les risques liés au changement climatique, contribuant ainsi à accroître les investissements en faveur d'une agriculture intelligente face au climat.

FINANCER LA VOIE À SUIVRE

Les précédents chapitres de ce rapport ont mis en lumière les avantages que présentent les interventions d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à celui-ci dans les secteurs de l'agriculture. La plupart du temps, les interventions d'adaptation nécessaires sont similaires à celles qui favorisent le développement rural général, mais elles doivent être conçues dans l'optique d'un changement des conditions climatiques, en gardant en ligne de mire les risques, les difficultés et les possibilités qui s'y rapportent. Un grand nombre des pratiques agricoles proposées sont relativement peu onéreuses et procurent des avantages tant sur le plan de l'atténuation que sur celui de l'adaptation, ce qui améliore leur rapport coût-efficacité.

Le chapitre 3 a montré que le coût des mesures d'adaptation des petites exploitations agricoles serait infime comparé à leurs avantages et justifierait donc que l'on soit généreux dans l'allocation du financement climatique. Les arguments en faveur d'un accroissement de ce financement prennent plus de poids encore lorsque l'on considère les retombées bénéfiques conjointes en matière d'atténuation que produit un développement climato-intelligent (chapitre 4), et la place importante que les pays ont accordée, dans leurs contributions prévues déterminées au niveau national (CPDN), aux mesures d'adaptation et d'atténuation prises dans l'agriculture (chapitre 5). Le présent chapitre examine le rôle du financement des mesures d'adaptation et d'atténuation dans les secteurs de l'agriculture, et la façon dont les fonds publics – internationaux et nationaux – peuvent être utilisés pour soutenir cette action de façon plus efficiente. ■

LE FINANCEMENT DE L'ACTION CLIMATIQUE DESTINÉ À L'AGRICULTURE

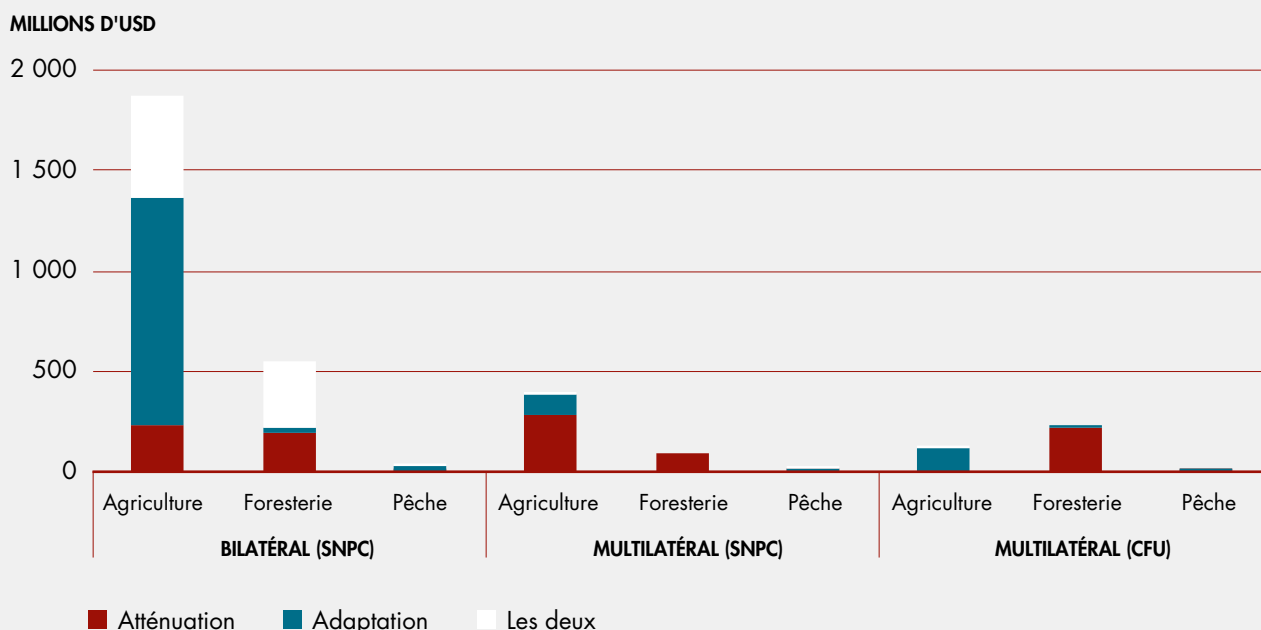
Une part encore relativement modeste, mais un potentiel catalyseur

Il n'existe pas de définition unique du terme «financement (de l'action) climatique». Celui-ci désigne à peu près tous les financements, de quelque origine qu'ils soient, qui servent des objectifs d'adaptation au changement climatique ou d'atténuation de celui-ci. Il est toutefois utile d'établir une distinction entre fonds publics et fonds privés, car ces sources de financement peuvent jouer des rôles complémentaires dans la mobilisation de ressources pour l'adaptation et l'atténuation.

Bien que difficiles à suivre, les estimations disponibles semblent indiquer que le secteur privé représente, de loin, la source de financement la plus importante dans ces deux domaines, puisqu'il a fourni 62 pour cent environ des 391 milliards d'USD investis dans la lutte contre le changement climatique en 2014 (Buchner *et al.*, 2015). Les agriculteurs, quelle que soit leur taille, sont les plus importants investisseurs dans l'agriculture, leur contribution représentant plusieurs fois ce que les États dépensent dans les infrastructures rurales et dans la recherche-développement agricole. La majeure partie des investissements agricoles est effectuée à partir de ressources nationales (publiques ou privées), les sources internationales ne représentant qu'une petite part de ce financement (FAO, 2012).

FIGURE 17

FINANCEMENT PUBLIC INTERNATIONAL DE L'ATTÉNUATION ET/OU DE L'ADAPTATION – MOYENNE ANNUELLE PAR SECTEUR ET PAR SOURCE, 2010-2014



Remarques: SNPC: Système de notification des pays créanciers (OCDE); CFU: Climate Fund Update (ODI). Certains ajustements ont été apportés pour éviter les doubles comptages. Pour de plus amples informations, voir l'annexe du chapitre 6. SOURCES: Les estimations de financement bilatéral et multilatéral (SNPC) proviennent de OCDE (2015a) et celles concernant le financement multilatéral (CFU), de ODI (2015).

Cela étant, même si leur contribution demeure modeste, les fonds publics internationaux peuvent avoir un effet catalyseur et permettre de mobiliser un financement et des investissements privés bien plus importants au profit de l'agriculture, y compris en relation avec le climat.

Parti d'un faible niveau, le financement public international des mesures d'atténuation et d'adaptation prises dans l'agriculture, la foresterie et la pêche a augmenté substantiellement depuis 2002. À la fin de 2014, il avait atteint près de 4 milliards d'USD (Norman et Hedger, 2016), et 12 pour cent environ de l'aide publique au développement (APD) était affectée à des investissements liés au climat (OCDE, 2015a). Cela ne représente qu'une part infime du total des dépenses publiques que les pays en développement effectuent dans l'agriculture, lesquelles représentaient approximativement 252 milliards d'USD en 2012¹². Cependant, correctement utilisé, le financement lié au climat peut aider à réorienter d'autres sources de financement du développement agricole vers des investissements

du secteur dans des institutions, des technologies et des pratiques porteuses qui contribuent à l'adaptation au changement climatique et à l'atténuation de celui-ci.

Les tendances du financement public international de l'action climatique destiné à l'agriculture¹³

L'évolution du financement public international de l'action climatique tient à la nature progressive des engagements pris dans le cadre du processus découlant de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) (voir le chapitre 5). On peut se représenter l'«architecture» comme comprenant: d'une part, le financement fourni par les organes de financement bilatéral et multilatéral du développement et destiné à l'atténuation du changement climatique et aux mesures d'adaptation; et, d'autre part, des fonds

¹² Estimation calculée sur 100 pays en développement environ, à l'aide de la base de données IFPRI (2015), et ajustée pour convertir les dollars constants de 2005 en dollars constants de 2012, à l'aide de la base ONU (2013).

¹³ Cette section s'inspire du document d'information Norman et Hedger (2016), préparé pour le rapport 2016 sur *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*.

multilatéraux spécialisés, comme le Fonds vert pour le climat, créés spécifiquement pour soutenir l'action climatique. L'accent est mis ici sur le financement disponible auprès de chacune de ces sources pour des mesures d'adaptation aux effets du changement climatique et d'atténuation de celui-ci prises dans l'agriculture (production végétale et élevage), la foresterie et la pêche.

Les données sur l'ampleur des engagements de financement entre 2010 et 2014 portent à croire que l'aide bilatérale au développement a été la principale source de financement public international de l'adaptation et de l'atténuation dans les secteurs de l'agriculture, de la foresterie et de la pêche. En moyenne, les engagements bilatéraux annuels ont été de 1,9 milliard d'USD pour l'agriculture, de 552,7 millions d'USD pour la conservation des forêts et de 37,5 millions d'USD pour la pêche. Ils étaient beaucoup plus importants que les engagements de financement de l'action climatique pris par les sources multilatérales (figure 17).

À l'échelle mondiale, le soutien international octroyé pour des mesures d'atténuation a largement dépassé celui accordé à l'adaptation (Norman et Nakhooda, 2014). Ces dernières années, toutefois, on a assisté à un basculement en faveur de l'adaptation, en particulier chez les donateurs bilatéraux. Bien que les choses soient aussi en train d'évoluer dans le financement multilatéral, sur la période 2010-2014, ce dernier visait toujours principalement l'atténuation puisque cet axe représentait approximativement 70 pour cent du financement destiné aux secteurs de l'agriculture, de la foresterie et de la pêche. La conservation des forêts et le programme REDD+ ont été financés principalement dans une logique d'atténuation du changement climatique, mais les donateurs bilatéraux s'orientent actuellement vers des aménagements forestiers servant à la fois des objectifs d'atténuation et des objectifs d'adaptation. Les fonds disponibles pour le secteur de la pêche sont en grande partie destinés à l'adaptation et au renforcement de la résilience.

L'allocation des fonds d'adaptation et d'atténuation diffère d'une région à l'autre. Il est cependant

difficile d'établir une estimation précise, car l'affectation régionale d'un cinquième environ des fonds bilatéraux étiquetés comme visant le changement climatique n'est pas définie ou demeure vague. Sur les quatre cinquièmes restants, 62 pour cent environ du financement fourni par les fonds climatiques sont allés à l'Amérique latine et aux Caraïbes, ce qui donne la mesure des vastes possibilités de réduction des émissions dans le secteur forestier que l'on associe à cette région. Le financement des mesures d'adaptation s'est concentré sur l'Afrique subsaharienne, c'est-à-dire la région dans laquelle les effets du changement climatique devraient être les plus sensibles. Celle-ci représente en effet 54 pour cent des approbations de financement spécifique de l'action climatique sur la période 2010-2014. Les donateurs bilatéraux aussi ont attribué à l'Afrique subsaharienne près de la moitié de leurs financements destinés à l'adaptation. Bien qu'ils aient ciblé en priorité les pays vulnérables à l'insécurité alimentaire, les plus vulnérables ne bénéficient pas actuellement de ce financement, ce qui témoigne des préoccupations des donateurs quant à la capacité de ces pays d'absorber et de tirer profit de l'aide au développement.

Les donateurs bilatéraux et les fonds climatiques multilatéraux spécialisés font état d'une orientation marquée vers le renforcement des capacités – ce qui inclut le renforcement des politiques et de la gestion administrative ainsi que le renforcement institutionnel – dans l'ensemble des secteurs de l'agriculture. Cette orientation est plus nette dans le secteur forestier, où 57 pour cent des financements bilatéraux et 75 pour cent des financements multilatéraux spécialisés soutiennent l'élaboration des politiques et la gestion administrative, en particulier en vue de la préparation à REDD+, ce qui aide les États à élaborer des stratégies et des plans REDD+ nationaux. De même, dans le secteur de la pêche, 43 pour cent des financements bilatéraux de l'action climatique et plus de 90 pour cent des financements multilatéraux pour le climat vont au soutien des politiques et au renforcement des institutions.

La majeure partie des financements bilatéraux et multilatéraux pour le climat alloués à l'agriculture »

FONDS SPÉCIFIQUEMENT CONSACRÉS AU CLIMAT ET SECTEURS DE L'AGRICULTURE

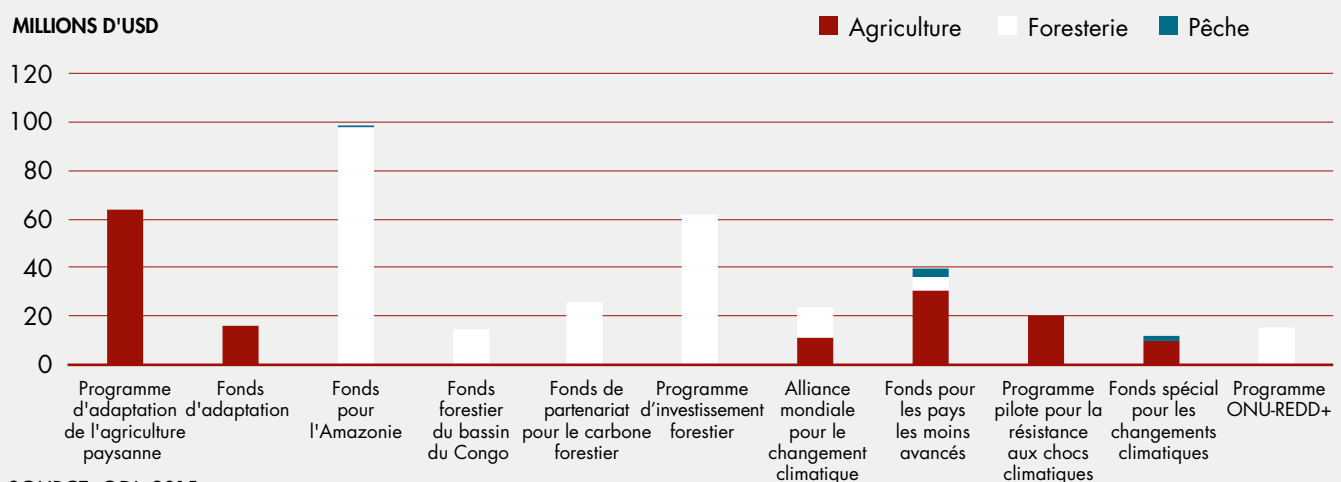
Les fonds climatiques multilatéraux représentent un volume de financement moins important que celui des fonds bilatéraux, mais ils ont comme objectifs premiers d'obtenir des résultats en matière d'adaptation et d'atténuation, ce qui n'est pas nécessairement le cas de tous les financements bilatéraux. Ils soutiennent des initiatives qui visent à atténuer le changement climatique et à permettre une adaptation à celui-ci, et qui ne sont pas prises en charge par les programmes de développement existants appuyés par l'APD. Depuis 2010, 13 fonds multilatéraux consacrés au climat, au moins, ont investi dans des projets ou des programmes concernant l'agriculture, la foresterie et la pêche. Leur taille varie nettement (voir la figure). Le financement bilatéral et multilatéral de l'action climatique fait appel à une large palette d'instruments financiers, mais les subventions y occupent une place prédominante, en particulier dans le cas des fonds multilatéraux spécifiquement consacrés au climat et des donateurs bilatéraux.

S'agissant de l'agriculture, les principaux fonds sont le Programme d'adaptation de l'agriculture paysanne (ASAP) du Fonds international de développement agricole (FIDA), et le Fonds pour les pays les moins avancés, créé par la CCNUCC et géré par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM). Lancé en 2012 pour intégrer l'adaptation au changement climatique dans les programmes d'investissement du FIDA, le programme ASAP emploie tous ses financements approuvés à soutenir l'adaptation de l'agriculture familiale faiblement rémunératrice. Lorsqu'il s'accompagne d'opérations d'investissement du FIDA, son impact est élevé. L'expérience ASAP a mis en lumière la nécessité, d'une part, d'intégrer la question du changement climatique dès le début du processus de conception des investissements, plutôt que de rectifier des projets parvenus à un stade avancé de la filière, et donc, de s'assurer que les interventions climatiques sont une partie intégrante de la conception et non un processus ou une étape séparé(e). Le Fonds pour les pays les moins avancés soutient

spécifiquement l'adaptation de ces pays au changement climatique. Cela passe par un recensement des principaux points de vulnérabilité et des besoins d'adaptation, ainsi que par des actions de sensibilisation et de partage des connaissances. Le Fonds a programmé 33 pour cent environ de ses financements approuvés dans l'agriculture, la sécurité alimentaire et l'obtention de résultats durables dans la gestion des terres.

L'architecture qui étaye la conservation des forêts a été largement élaborée de façon à soutenir les trois phases du programme REDD+, de la préparation à ce programme à la réduction vérifiée des émissions, assortie de paiements fondés sur les résultats. Les principaux fonds forestiers multilatéraux internationaux comprennent le Programme d'investissement forestier, le Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF), le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) et le Programme ONU REDD. En moyenne, entre 2010 et 2014, le Programme ONU REDD a approuvé 15,6 millions d'USD de financement par an et le Fonds de préparation du FCPF, 26 millions d'USD par an. Ces deux fonds spécifiquement consacrés au climat accordent aux pays partenaires des subventions d'un montant relativement faible (autour de 5 millions d'USD) destinées à financer des activités de renforcement des capacités et de préparation. Toujours entre 2010 et 2014, le Programme d'investissement forestier a approuvé en moyenne 61,6 millions d'USD par an, ce qui en fait l'une des sources de financement les plus importantes pour les forêts. Ce fonds propose des financements qui assurent le relais entre l'appui initial des politiques et du renforcement des capacités, et les initiatives visant à établir des programmes efficaces qui conduiront à des réductions vérifiées des émissions sur le terrain. Parmi les fonds spécialisés nationaux et régionaux, le Fonds pour l'Amazonie représente la plus importante source de financement public des programmes de conservation de la forêt dans le biome de l'Amazonie.

FONDS MULTILATÉRAUX SPÉCIFIQUEMENT CONSACRÉS AU CLIMAT (ENGAGEMENT DE FINANCEMENT ANNUEL MOYEN PAR SECTEUR, 2010-2014)



SOURCE: ODI, 2015.

» appuient à la fois des objectifs de développement agricole et des objectifs de gestion des politiques et de gestion administrative dans ce secteur, encore que les fonds soient répartis entre un grand nombre de sous-secteurs. Quelque 40 pour cent des financements climatiques bilatéraux alloués à l'agriculture sont réservés au développement agricole de façon générale, les donateurs visant presque exclusivement le développement rural. Les donateurs bilatéraux ont cherché spécifiquement à aider les petits exploitants à passer d'une agriculture de subsistance à la production d'un excédent commercialisable, par une amélioration de l'irrigation et des chaînes de valeur, et au moyen de modèles inclusifs d'agriculture contractuelle (Donor Tracker, 2014). Les projets purement climatiques qui soutiennent une production végétale et animale sobre en carbone et résiliente sont peu nombreux; ils représentent 4 pour cent tout juste du total des financements bilatéraux déclarés pour les cultures et 0,1 pour cent pour l'élevage (pour des exemples d'utilisation des fonds disponibles, voir l'encadré 25).

En ce qui concerne les fonds multilatéraux, le FEM a été l'un des plus importants à financer l'atténuation du changement climatique. Le Fonds a indiqué lors de la COP21 que, depuis sa création en 1991, il avait financé 839 projets d'atténuation, ce qui représentait plus de 5,2 milliards d'USD distribués dans plus de 167 pays; cette action avait aussi permis de mobiliser 32,5 milliards d'USD de cofinancement. Le FEM s'est efforcé d'établir des approches durables, à long terme, d'entretien des forêts. À fin juin 2016, le Fonds avait apporté son concours à plus de 430 projets liés à la forêt, ce qui représentait 2,7 milliards d'USD de subventions ayant entraîné un cofinancement supplémentaire de 12,0 milliards. Les forêts attirent un financement en augmentation régulière. Durant les quatre années de la cinquième reconstitution du FEM, les engagements de subvention ont représenté 700 millions d'USD exactement. Au cours des deux premières années de la sixième reconstitution (2014-2018), 566 millions d'USD de subventions ont déjà été attribuées, à travers 52 projets et programmes destinés à améliorer la

valeur économique, sociale et environnementale de forêts de tous types. En outre, le FEM a lancé un programme intégré de 45 millions d'USD visant à établir des chaînes d'approvisionnement en produits n'entraînant aucune déforestation.

Les besoins et les perspectives de financement

La figure 17 montre que le financement public international de l'adaptation et de l'atténuation dans les secteurs de l'agriculture a été en moyenne de 3,3 milliards d'USD par an entre 2010 et 2014. Les estimations du coût d'adaptation de l'agriculture varient largement, mais sont le plus souvent beaucoup plus élevées que le montant disponible de financement climatique international public destiné à ces secteurs. La Banque mondiale évalue le coût d'adaptation des seuls secteurs de l'agriculture à plus de 7 milliards d'USD par an. Ces ressources permettraient d'investir dans la recherche agricole, dans l'efficacité et l'extension de l'irrigation et dans des routes, afin de contrebalancer les effets du changement climatique sur les disponibilités énergétiques alimentaires et sur la malnutrition des enfants (Nelson *et al.*, 2010). On arriverait à une estimation plus élevée si l'on tenait compte du coût d'amélioration des services de vulgarisation agricole, en considérant que cette activité fait partie de la lutte contre le changement climatique. L'incorporation du coût de l'atténuation des réductions d'émissions de gaz à effet de serre (en plus de l'atténuation obtenue comme une retombée bénéfique conjointe des pratiques d'adaptation) alourdirait également les besoins de financement de plusieurs milliards d'USD par an¹⁴. Il est clair »

14 Si l'on se base sur le potentiel économique d'atténuation prévu par le GIEC (voir le chapitre 4), la réduction effective de 1 Gt d'équiv.-CO₂ d'émissions annuelles (soit une partie seulement du potentiel économique d'atténuation pour l'estimation basse, effectuée sur la base d'un coût de 20 USD par tonne d'équiv.-CO₂ au maximum) coûterait des milliards de dollars par an. D'après les estimations, la réduction des émissions liées à la déforestation, option considérée comme l'une de celles qui présentent le meilleur rapport coût-efficacité, devrait tout de même coûter annuellement de 4 à 10 USD par tonne d'équiv.-CO₂ économisée, hors coût de transaction (Cattaneo *et al.*, 2010). Si les pays améliorent l'alignement de leurs politiques sur les objectifs climatiques, le coût financier pourrait être moindre, mais certains arbitrages resteront à financer.

ENCADRÉ 26

VERS LA DURABILITÉ ET LA RÉSILIENCE EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

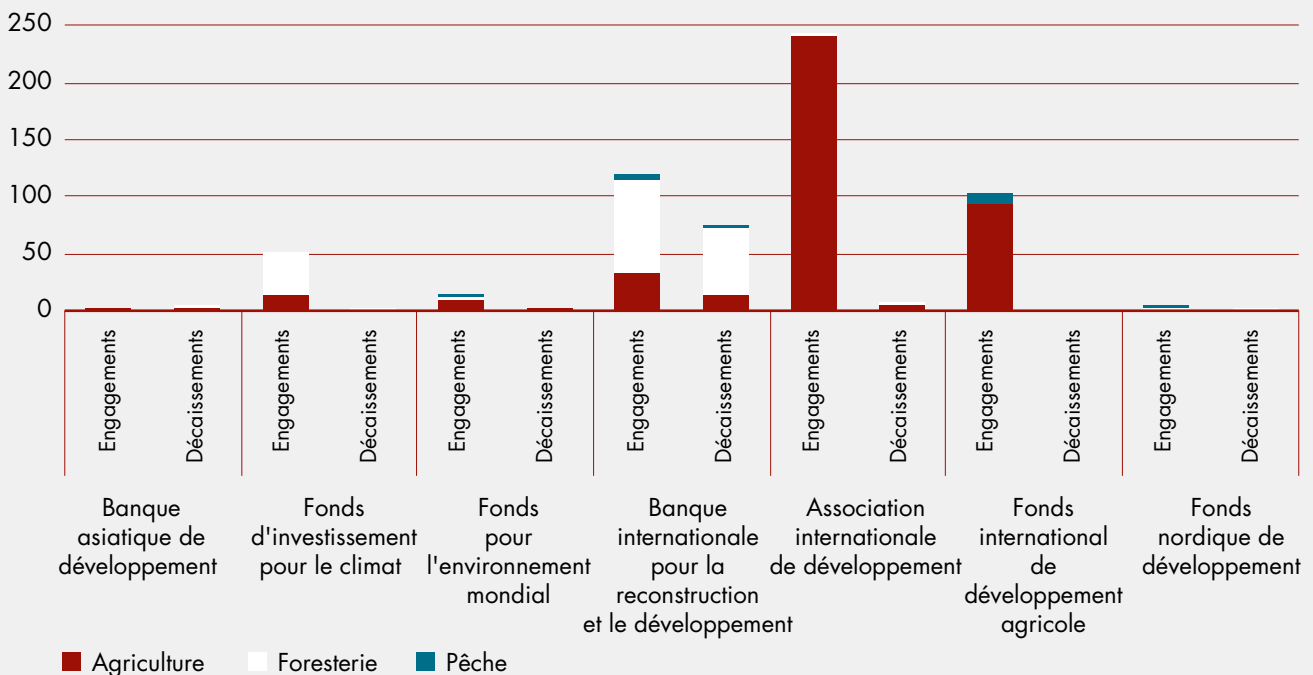
Dans le cadre de la sixième reconstitution de ses ressources, le Fonds pour l'environnement mondial a lancé un programme pilote prônant une approche intégrée, qui vise à favoriser la durabilité et la résilience au service de la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Ce programme de 116 millions d'USD vise à protéger les services écosystémiques en encourageant une gestion intégrée des ressources naturelles à travers des projets menés dans 12 pays. Les projets aideront les petits exploitants à renforcer leur résilience face au changement climatique, grâce à une amélioration de la santé des sols et un meilleur accès à des variétés de végétaux résistantes à la sécheresse, à un ajustement des périodes de plantation et des choix de culture, et à un enrichissement de la biodiversité agricole sur l'exploitation. Les projets seront appuyés par une plateforme régionale qui établira ou renforcera des cadres

multipartites de dialogue entre des groupes de petits exploitants, des entités du secteur privé, des administrations et des établissements scientifiques, aux niveaux national et régional. La plateforme permettra de déterminer, documenter et diffuser les meilleures pratiques de gestion afin d'éclairer les politiques régionales et nationales, et de transposer à plus grande échelle et de faire essaimer les approches viables au niveau national. Le programme pilote est conduit par le FIDA, en collaboration étroite avec la FAO, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD). Les pays partenaires sont le Burkina Faso, le Burundi, l'Éthiopie, le Ghana, le Kenya, le Malawi, le Niger, le Nigéria, l'Ouganda, la République-Unie de Tanzanie, le Sénégal et le Swaziland.

FIGURE 18

FINANCEMENT MULTILATÉRAL – MOYENNE ANNUELLE DES ENGAGEMENTS ET DÉCAISSEMENTS, PAR SECTEUR, 2010-2014

MILLIONS D'USD



SOURCE: OCDE, 2015a.

- » que les secteurs de l'agriculture auront besoin que l'on augmente le niveau de financement proportionnellement à leurs besoins d'adaptation et à l'ambition des pays en matière d'atténuation. Il ne sera pas nécessaire d'assurer le financement exclusivement à partir de fonds publics internationaux si l'on parvient à mobiliser d'autres sources (voir la section 6.2), mais cette mobilisation sera difficile à obtenir sans un financement public international adéquat accordé aux secteurs de l'agriculture. Nous évaluons ici l'ampleur potentielle de ce type de fonds dans les temps à venir.

Le Fonds vert pour le climat est le plus grand fonds international spécialisé dans ce domaine, et son objectif est d'allouer des ressources en parts égales à l'atténuation et à l'adaptation. Plusieurs des CPDN le citent comme une source de financement essentielle. D'après les chiffres arrêtés en mai 2016, les annonces de contribution à ce fonds des différents pays s'élevaient à 10,3 milliards d'USD, sur lesquels 9,9 milliards lui étaient déjà acquis. Cette somme devrait monter à 100 milliards d'USD par an au moins d'ici à 2020 pour financer l'action climatique des pays en développement. Les investissements dans les secteurs de l'agriculture sont bien conformes aux priorités énoncées par le Fonds vert pour le climat puisque quatre des huit impacts stratégiques définis au niveau du Fonds sont directement liés à ces secteurs. On constate également que les secteurs de l'agriculture sont présents dans quatre des huit premiers projets approuvés par le Fonds en novembre 2015 et dans cinq des neuf projets approuvés en juin 2016.

Au-delà du Fonds vert pour le climat, de nouvelles promesses de contribution ont été annoncées lors de la COP21, à Paris, en décembre 2015. La somme promise à des initiatives ou des fonds – nouveaux ou existants – susceptibles de remplir, au moins en partie, les conditions requises pour être utilisés à l'appui de programmes dans le domaine de l'agriculture, de la foresterie ou de la pêche était de 5,6 milliards d'USD au minimum. Des contributions supplémentaires, pour un montant total de 12,7 milliards d'USD, ont été annoncées au profit d'autres secteurs, principalement l'énergie et

l'assurance; enfin, une somme de 126 milliards d'USD a été promise sans indication de secteur cible. En revanche, on ne dispose guère d'informations sur la période de référence de ces annonces de contribution.

Récemment, le soutien apporté à des programmes sectoriels transversaux intéressant la forêt et l'agriculture s'est intensifié. Le FEM a annoncé de nouveaux engagements de financement de l'action climatique, pour un montant de 3 milliards d'USD, couvrant l'ensemble de ses domaines d'intervention, dont 300 millions d'USD au moins seront consacrés aux enjeux côtiers et marins au cours des quatre prochaines années. Une somme supplémentaire de 250 millions d'USD sera distribuée par le canal du mécanisme incitatif de gestion durable des forêts/REDD+ du FEM, ce qui permettra de mobiliser 750 millions d'USD de subventions provenant d'autres domaines d'intervention, afin de s'attaquer aux facteurs qui déterminent la déforestation et la dégradation des forêts, tout en soutenant le rôle de celles-ci dans les plans de développement durable nationaux et locaux. Quelque 45 millions d'USD serviront à lutter contre les principaux facteurs mondiaux de déforestation par un élargissement de l'offre de produits gérés durablement, tandis que plus de 116 millions d'USD contribueront à améliorer la sécurité alimentaire, la résilience et la séquestration du carbone en Afrique subsaharienne (encadré 26).

Le défi des capacités: de l'engagement à l'action

Les estimations sont incertaines, mais ce qui est sûr, c'est que les ressources disponibles pour gérer les risques climatiques dans l'agriculture sont très loin de combler les besoins de financement de ces secteurs. Cela étant, la disponibilité des ressources ne constitue pas le seul obstacle auquel de nombreux pays en développement font face. Beaucoup de pays, en effet, rencontrent des difficultés pour accéder au financement et pour déployer de façon efficace les ressources qu'ils ont obtenues.

L'OCDE (2015b) recense six grands obstacles que les pays doivent lever pour accéder au financement de l'adaptation au changement climatique: a) un faible niveau de sensibilisation à la nécessité de cette adaptation et de connaissance des sources de financement utiles; b) une difficulté à satisfaire aux procédures des fonds et aux normes d'accès au financement; c) des capacités insuffisantes pour concevoir et élaborer des projets et des programmes et pour suivre et évaluer les progrès accomplis; d) des informations sur le climat peu nombreuses et difficilement accessibles; e) un manque de cohérence dans les politiques, les cadres juridiques et réglementaires et les budgets; et f) l'absence de priorités claires, définies selon des processus multipartites transparents.

Des problèmes peuvent aussi survenir après l'accès aux fonds, durant la phase de mise en œuvre. Ainsi, l'allocation et l'approbation des financements demandent du temps, et de nombreux pays ne disposent pas de l'ensemble des capacités nécessaires pour gérer efficacement les fonds. Les difficultés peuvent provenir, entre autres, de la faible capacité d'absorption des systèmes financiers publics des pays à faible revenu, qui ralentit le rythme des décaissements.

Les rapports établis par tous les donateurs indiquent que, dans les secteurs de l'agriculture, les engagements de financement sont nettement plus élevés que les décaissements. L'émission de paiements ou le déblocage de fonds au profit d'un bénéficiaire ou d'un agent d'exécution sont généralement organisés pour se produire tout au long du cycle de vie du projet et sont souvent en retard sur les niveaux d'engagement.

Les donateurs multilatéraux ont des délais de décaissement plus longs, du fait de la durée de leurs procédures d'approbation et de mise en œuvre des programmes, et de celles associées au transfert de fonds. Un certain nombre de pays ont très bien réussi à se procurer des fonds, mais, pour la plupart, n'ont pas encore résolu les difficultés que présente la phase de décaissement, ce qui retarde aussi la concrétisation des objectifs et des impacts (voir la [figure 18](#), et Norman et Nakhoda, 2014).

À titre d'exemple des problèmes que pose la procédure d'approbation, prenons le cas du Fonds vert pour le climat. Ses approbations de projet ont été moins nombreuses que prévu.

Le financement des huit premiers projets approuvés en novembre 2015 se montait à 168 millions d'USD seulement, pour un coût total des projets de 624 millions d'USD. Le Conseil du Fonds a fixé une cible d'engagement de financement égale à 2,5 milliards d'USD pour 2016; en juin 2015, neuf projets, soit un montant de ressources du Fonds de 257 millions d'USD et un coût total des projets de 585 millions d'USD, avaient été approuvés. Le faible niveau d'approbation est révélateur des difficultés que rencontre le Fonds, de création récente, du déficit de capacités des entités en accès direct et au niveau national, des problèmes d'effectifs du Secrétariat, et de la rigueur des règles à suivre pour la préparation des projets, lesquelles s'appliquent indépendamment du type et de la taille du projet.

Un certain nombre de décisions ont été prises, qui devraient accélérer la préparation et l'approbation des projets du Fonds.

Un programme complet de préparation à l'action et un programme d'appui préparatoire ont été mis en place pour renforcer les capacités des autorités nationales désignées et des entités nationales, et des mesures ont été prises pour accroître le personnel du Fonds, de 45 à 100 personnes d'ici à fin 2016. Lors de sa réunion de juin 2016, le Conseil du Fonds a approuvé les directives opérationnelles de son Mécanisme de préparation des projets ainsi qu'une procédure simplifiée pour les propositions de financement à petite et très petite échelles qui sont évaluées comme ne présentant qu'un faible risque ou étant sans risque. Ces nouvelles procédures devraient accélérer le processus d'approbation des projets.

L'insuffisance des capacités, qui concerne aussi bien les fournisseurs que les bénéficiaires des fonds, devra être résolue pour que le financement de l'action climatique destiné à l'agriculture puisse réellement avoir un effet catalyseur sur l'amélioration de la résilience et de la durabilité de l'agriculture, de la foresterie et de l'utilisation des terres. ■

FAIRE BEAUCOUP AVEC PEU: UTILISATION STRATÉGIQUE DU FINANCEMENT DE L'ACTION CLIMATIQUE

Il est probable que la part des financements publics internationaux réservés à la lutte contre le changement climatique demeurera très minime dans l'ensemble des investissements agricoles. Il leur faut donc, pour avoir un impact sur le renforcement de la résilience des systèmes agricoles ou sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, se concentrer sur des points stratégiques, susceptibles de déclencher de plus importants volumes de financement direct visant des résultats climatiques. Les fonds publics doivent en particulier cibler:

- ▶ le renforcement de l'environnement porteur nécessaire pour renverser les obstacles à l'adoption d'une agriculture intelligente face au climat;
- ▶ le soutien d'une prise en compte systématique dans les budgets nationaux des actions d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de celui-ci;
- ▶ la mobilisation de capitaux privés pour un investissement agricole intelligent face au climat.

Financer l'environnement porteur nécessaire au développement d'une agriculture intelligente face au climat

Le financement international dans les domaines agricoles est nettement orienté sur le renforcement des capacités – ce qui inclut la gestion des politiques et de la gestion administrative ainsi que le renforcement institutionnel – dans l'ensemble

des secteurs de l'agriculture. Par ailleurs, l'insuffisance des capacités constitue un obstacle majeur à l'efficacité de tous les mécanismes de financement de l'action climatique.

Cela s'applique à des fonds tels que le Fonds pour l'environnement mondial et le Fonds vert pour le climat, dont l'impact est amoindri en grande partie par le coût élevé de l'élaboration des projets. Cela étant, même une fois les projets préparés et approuvés, sortir les fonds et faire aboutir les projets peut aussi représenter un défi. Les fonds et programmes de préparation à l'action peuvent aider à renforcer la capacité des entités nationales et régionales de recevoir et de gérer un financement climatique.

Comme on le souligne au chapitre 5, il faut continuer de soutenir l'élaboration des politiques et le renforcement des institutions afin de faciliter et de protéger l'investissement public et privé en faveur du développement rural. Le changement climatique accentue la nécessité de disposer d'institutions fortes, appuyant une gestion intégrée des ressources naturelles et une action collective. Cela s'applique aussi pour les politiques et les programmes qui visent spécifiquement la prévention et la gestion des risques climatiques et de la vulnérabilité face à ces risques, lesquels peuvent être une plus forte variabilité des précipitations, des événements météorologiques extrêmes ou la recrudescence de ravageurs des cultures et de maladies animales. Les systèmes d'alerte précoce et les mécanismes de partage de l'information le long de la filière agroalimentaire seront des facteurs cruciaux du succès d'un développement agricole climato-intelligent.

Les politiques et les institutions qui fournissent les informations et des incitations appropriées aux producteurs de nourriture sont souvent désarmées lorsqu'il s'agit de faire face à des événements extrêmes liés au climat ou de dépasser les obstacles à l'adoption de pratiques agricoles intelligentes sur le plan climatique. Dans le cas des événements extrêmes, des programmes de protection sociale soigneusement étudiés qui garantissent un revenu minimum ou un accès à la nourriture ont un rôle essentiel à jouer dans une stratégie plus large de gestion des risques agricoles. Comme

INTÉGRER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES ÉVALUATIONS ÉCONOMIQUES

Le Ministère thaïlandais de l'agriculture et des coopératives a ouvert la voie de l'intégration du changement climatique dans le budget du pays, passant d'une évaluation qualitative de l'influence des politiques et des programmes sur le climat à une approche quantitative utilisant une analyse avantages/coûts. Le rapport avantages/coûts d'une politique donnée est recalculé en intégrant les effets du changement climatique et les coûts correspondants. La différence entre les rapports avantages/coûts obtenus dans un scénario de changement climatique et dans un scénario du statu quo (poursuite des tendances actuelles) donne un score de pertinence, lequel fournit aux responsables politiques et aux dirigeants une indication sur la variation de l'importance d'un programme donné lorsqu'on tient compte du changement climatique. Une analyse pilote indique que la prise en compte du changement climatique augmente de 10 à 20 pour cent les avantages des programmes gérés par le ministère. Les résultats révèlent également des possibilités

d'amélioration de la conception (Gouvernement de Thaïlande, 2014). L'évaluation d'un nouvel investissement majeur dans un système mieux conçu de distribution et de dérivation d'eau a permis non seulement d'améliorer la justification du budget du projet, mais aussi d'éclairer la reconception des canaux de dérivation et des systèmes de maîtrise des crues (PNUD, 2015).

Au Cambodge, l'expérimentation d'une approche similaire menée par le Ministère de l'agriculture, des forêts et de la pêche indique que l'efficacité des programmes gérés par le Ministère pourrait être nettement meilleure si l'on prenait en compte le changement climatique. L'analyse pourrait appuyer les demandes de financement déposées auprès du Ministère de l'économie et de la finance, celui-ci ayant en effet modifié les lignes directrices relatives au budget national, qui imposent désormais de signaler les programmes climato-pertinents (voir Cambodia Climate Change Alliance, 2015, et Gouvernement du Cambodge, 2016).

on le montre au chapitre 3, améliorer l'accès des petits exploitants aux services financiers sera important pour soutenir leurs actions de prise en compte du changement climatique.

Dans un environnement plus porteur, des financements publics internationaux limités peuvent agir comme des catalyseurs et stimuler l'engagement d'autres sources des secteurs public et privé. La signature à New York, en 2014, de la Déclaration sur les forêts par une large coalition d'organisations non gouvernementales et d'entreprises est un exemple de ce rôle catalyseur que les fonds publics peuvent avoir.

Cette coalition vise une réduction annuelle des émissions mondiales de gaz à effet de serre comprise entre 4,5 et 8,8 Gt (Conway *et al.*, 2015). Le financement public d'actions tendant à réduire les émissions dues à la déforestation a probablement joué un rôle pour stimuler l'engagement du secteur privé, en diminuant les risques liés à la participation des pays et en améliorant la préparation de ces derniers, qui se sont dotés des cadres institutionnels nécessaires.

L'un des objectifs fondamentaux énoncés par le secteur privé dans la Déclaration est l'élimination, d'ici à 2020, de la déforestation associée à la production de marchandises

d'origine agricole, comme l'huile de palme, le soja, le papier et les produits issus des bovins. Les grands investisseurs institutionnels aussi réorientent leurs investissements pour les aligner sur les objectifs climatiques tels que la réduction des émissions liées à la déforestation. Ainsi, le Fonds de pension norvégien a commencé à se défaire des titres qu'il détenait dans des entreprises prenant part à une production non durable d'huile de palme, ce qui peut être interprété comme un alignement du financement privé sur les objectifs mondiaux d'atténuation du changement climatique.

Intégrer systématiquement le changement climatique dans les budgets nationaux

Les budgets nationaux sont une source essentielle de fonds publics pertinents du point de vue climatique. Dans l'agriculture, ils constituent une source d'investissement public bien plus importante que celle des bailleurs de fonds publics internationaux destinés à l'action climatique. Aucune évaluation détaillée n'est disponible pour suivre le financement climatique issu des budgets

nationaux, et il n'existe pas de système homologué de classification applicable aux budgets climatiques nationaux qui permettrait des comparaisons ou des agrégations internationales. Cependant, des données probantes issues de 11 pays indiquent que les ressources intérieures représentent une part notable, voire, dans certains cas, prédominante, des dépenses liées au changement climatique (PNUD, 2015). En outre, certains fonds de développement rural qui n'entreraient peut-être pas dans la catégorie des financements climatiques à proprement parler, n'en sont pas moins «climato-pertinents» car susceptibles, à travers la poursuite d'autres objectifs d'action, d'influer sur les résultats en matière de changement climatique dans des domaines tels que la résilience ou le niveau des émissions de GES.

Pour que les objectifs des politiques relatives au climat puissent être atteints, les budgets nationaux d'investissement dans l'agriculture doivent refléter une intégration systématique des aspects liés au changement climatique dans les politiques et la planification, comme souligné au chapitre 5. À ce titre, les politiques de soutien agricole doivent être examinées dans le contexte plus large de la politique climatique. Ainsi, par exemple, les subventions aux intrants peuvent entraîner une utilisation inefficace des engrais de synthèse et pesticides, et augmenter l'intensité des émissions générées par la production.

Une méta-analyse des dépenses publiques climato-pertinentes et des examens institutionnels de 20 pays d'Afrique, d'Asie et du Pacifique révèle que l'agriculture occupe une place très importante – devancée seulement par les travaux publics et les transports –, l'eau et l'irrigation représentant un autre domaine de dépense prépondérant. Des tranches substantielles de dépenses pertinentes sur le plan climatique passent par les administrations locales. Pour être efficace, l'utilisation des fonds ainsi acheminés nécessite une bonne coordination avec les politiques nationales et un renforcement des capacités de mise en œuvre au niveau local. L'étude a montré que les pays avaient fait des progrès notables dans la mise en place de politiques climatiques nationales, mais

que l'intégration avec les politiques sectorielles et infranationales était limitée, entraînant un manque de cohérence dans la lutte contre le changement climatique. Les mécanismes qui garantissent que les priorités d'action se retrouveront dans les programmes de dépense publique étaient également insuffisants, tout comme (malgré quelques progrès dans ce domaine) les cadres d'évaluation des résultats obtenus à l'aide des dépenses liées à l'action climatique. Comme pour les mécanismes internationaux de financement, les capacités, que ce soit techniques ou opérationnelles, demeurent un défi majeur dans de nombreux contextes (PNUD, 2015).

Pour garantir une prise en compte complète et systématique du changement climatique dans les dépenses publiques, l'examen du PNUD recommande d'adopter un cadre de financement de l'action climatique ou un cadre budgétaire exhaustif comprenant: la planification et le calcul des coûts de stratégies et d'actions à moyen et long termes concernant le changement climatique; l'adoption d'une approche à l'échelle de l'administration tout entière, à laquelle participent toutes les parties prenantes concernées; l'incorporation des sources publiques de financement climatique (national et international) dans le système national de planification et de budgétisation, afin que ces fonds soient acheminés par le truchement des systèmes nationaux; et l'alignement des sources privées de financement climatique sur le cadre d'action publique global. Un certain nombre de pays ont déjà avancé dans le renforcement de leurs mécanismes d'évaluation de la rentabilité des investissements pour y intégrer la question du changement climatique ([encadré 27](#)).

Les données probantes issues d'études de pays mettent en évidence la nécessité de renforcer les capacités pour permettre aux pouvoirs publics de progresser dans l'intégration systématique de l'action climatique dans leurs budgets (PNUD, 2015). Les fonds spécialisés dans l'action climatique devraient soutenir l'amélioration des systèmes nationaux et le renforcement des capacités nécessaires à cette intégration. Cela suppose notamment:

- ▶ d'examiner les processus de planification et de budgétisation, et les rôles institutionnels qui s'y rapportent, de façon à repérer les goulets d'étranglement – dans les politiques, les mécanismes incitatifs et les institutions – qui empêchent d'adopter une approche intégrée face au changement climatique, et à y remédier;
- ▶ de renforcer les capacités des institutions et des parties prenantes concernées aux niveaux national et infranational, en particulier les compétences techniques et fonctionnelles nécessaires pour traduire les politiques en programmes et en budgets et pour suivre et évaluer les résultats obtenus;
- ▶ d'améliorer les cadres de transparence pour pouvoir faire la preuve de ces résultats et satisfaire à l'obligation de rendre compte.

D'autres travaux sont nécessaires pour améliorer les méthodes d'examen des dépenses publiques climato-pertinentes et d'évaluation de leur efficacité, et pour élaborer des lignes directrices et des outils utilisables dans la pratique que les pays puissent adapter aux spécificités de leur contexte. Cela comprend notamment l'intégration du changement climatique dans les analyses coût-efficacité et dans les évaluations de la rentabilité des investissements. Pour définir des mécanismes d'élaboration des projets d'investissement et d'évaluation de la rentabilité de ceux-ci qui soient adaptés au contexte national, les pouvoirs publics peuvent aussi s'inspirer de l'expérience des institutions financières internationales qui ont déjà défini des approches et des protocoles de prise en compte systématique du changement climatique dans leurs portefeuilles (encadré 28).

Les actions menées pour améliorer l'intégration du changement climatique dans les budgets nationaux devraient toujours être en phase avec le travail permanent de renforcement de la gestion des finances et des dépenses publiques. Tout comme le changement climatique ne devrait pas être envisagé comme un problème à part, son intégration systématique dans les budgets doit être abordée dans le contexte de l'ensemble des systèmes de gestion financière d'un pays.

Mobiliser des capitaux privés pour un investissement agricole intelligent face au climat¹⁵

Le secteur privé est la source la plus importante d'investissements agricoles (FAO, 2012). Or, comme on l'a montré au chapitre 3, le manque d'accès à des financements adéquats et suffisants – qui pourraient mobiliser à plein le potentiel d'investissement privé – demeure un problème notable pour les petits exploitants et les petites et moyennes entreprises (PME) agricoles. Les principaux obstacles sont les coûts de transaction du prêt à petite échelle et la dispersion des clients – par ailleurs dépourvus ou quasiment dépourvus de connaissances financières –, les déficits et les asymétries d'information sur ce qui constitue des propositions de financement viables dans l'agriculture, et la gestion des risques réels ou perçus comme tels. L'un des principaux défis à relever, et un défi qui va devenir de plus en plus pressant du fait de l'augmentation prévue de la variabilité du climat, est l'incapacité des agriculteurs comme des financiers de gérer totalement les effets de la saisonnalité sur les flux de trésorerie.

Ajuster les systèmes de production alimentaire de façon à faire face au changement climatique demandera que l'on investisse substantiellement au départ pour améliorer la productivité et la capacité d'adaptation des agriculteurs, tout en réduisant l'intensité des émissions générées par leur production. Cela implique non seulement une nette augmentation des capitaux disponibles, mais aussi un allongement des durées d'amortissement (de 5 à 7 ans) et des échéanciers de remboursement plus souples, ajustés aux rentrées d'argent, afin que les agriculteurs puissent effectuer les investissements nécessaires pour maintenir les rendements actuels, produire plus d'aliments sur moins de terre et adopter des pratiques et des technologies susceptibles d'augmenter leur résilience et de réduire leurs émissions.

15 D'après Banque mondiale (2016).

Le financement de l'action climatique peut contribuer à remédier aux insuffisances qui empêchent les prestataires de services financiers d'offrir les types de produits dont les petits exploitants et les PME ont besoin pour investir de façon intelligente face au changement climatique. Il peut avoir un effet catalyseur en débloquant d'autres sources de capitaux privés et en aidant le secteur de l'agriculture à devenir une partie de la solution au changement climatique. En comblant le déficit de financement et en mobilisant un investissement qui n'aurait pas eu lieu sans l'instauration de conditions porteuses, le financement climatique est en mesure de renforcer les mécanismes de gestion du risque, d'encourager l'élaboration des produits financiers appropriés et de porter remède à l'insuffisance des capacités des prêteurs et des emprunteurs. Par un soutien stratégique, le financement de l'action climatique peut faire la preuve de la viabilité des investissements agricoles climato-intelligents auprès des investisseurs privés et des banques qui hésitent encore à étendre leur activité de prêt à l'agriculture.

Le financement climatique peut promouvoir la conception de *mécanismes innovants* visant à mobiliser d'autres sources de capitaux, à la fois publiques et privées, susceptibles d'être orientées vers des investissements intelligents sur le plan climatique, en particulier des mécanismes visant à :

- ▶ favoriser des partenariats public-privé pour mobiliser les ressources, les compétences et les capacités de différentes parties prenantes; ces partenariats permettent de combler le fossé qui sépare les investisseurs potentiels des PME, ou des agriculteurs qui, individuellement, ne peuvent pas approcher les investisseurs ni défendre leurs propositions d'investissement de façon convaincante;
- ▶ concevoir et expérimenter des structures de placement innovantes, susceptibles de contribuer à attirer des capitaux supplémentaires en panachant et en gérant les profils rendement/risque de différents investisseurs (par exemple, des structures

financières à plusieurs niveaux dans lesquelles le financement public peut absorber les risques liés au changement climatique ou prolonger les délais de remboursement pour mieux coller aux flux de trésorerie du projet);

- ▶ soutenir l'élaboration et l'intégration d'une plus large gamme d'instruments financiers pour gagner en efficacité et fournir des solutions plus globalistes et plus exhaustives. Cela comprend les produits d'assurance, les reçus d'entrepôt et le financement des chaînes de valeur.

Le financement de l'action climatique pourrait aussi appuyer l'assistance technique, essentielle pour permettre aux acteurs du système financier d'améliorer leur capacité de gestion des risques agricoles et de répondre aux besoins spécifiques des petits exploitants et des PME; par ailleurs, les compétences en gestion d'entreprise et en gestion financière de ces derniers devraient aussi être renforcées de façon qu'ils puissent tirer profit des nouvelles options de financement.

Le renforcement des capacités devrait viser en particulier les compétences nécessaires aux emprunteurs et aux prêteurs pour reconnaître et réaliser les investissements qui améliorent la résilience face au changement climatique et, quand cela est possible, contribuent à réduire les émissions. Le renforcement des capacités des prêteurs devrait permettre à ceux-ci d'améliorer leur compréhension des risques dans les secteurs de l'agriculture et d'élaborer, pour ces secteurs, des produits et services financiers sur mesure susceptibles d'encourager les investissements.

La difficulté que présentent les coûts de transaction pour le financement de l'agriculture ne disparaîtra pas dans un avenir prévisible. Le financement de l'action climatique peut toutefois profiter de l'évolution vers des services financiers mobiles, et soutenir et renforcer encore l'élaboration et le déploiement de ces services qui répondent aux besoins d'investissements climato-intelligents des petits exploitants et des PME dans les zones reculées. ■

L'INTÉGRATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES INSTITUTIONS FINANCIÈRES INTERNATIONALES

À mesure que le monde du développement prenait conscience de l'importance et de la nature transsectorielle du changement climatique, les institutions financières internationales se sont mises à élaborer des approches, des outils et des protocoles spécifiques permettant d'intégrer les aspects liés à ce changement dans la planification et la mise en œuvre. Les engagements publics communs pris récemment mettent en lumière la convergence qui s'opère autour de principes fondamentaux et d'une plus grande ambition. En décembre 2015, 26 institutions financières majeures ont adopté conjointement «cinq principes volontaires visant à toujours mieux intégrer la question climatique dans la stratégie des institutions financières» (Banque mondiale, 2015):

- ▶ s'engager dans des stratégies en faveur du climat;
- ▶ gérer les risques climatiques;
- ▶ promouvoir des objectifs intelligents face au climat;
- ▶ améliorer les résultats obtenus en matière de climat;
- ▶ rendre compte de l'action climatique menée.

L'exemple de la Banque mondiale illustre les approches spécifiques de mise en œuvre. L'Association internationale de développement (IDA), l'institution de la Banque mondiale qui aide les pays les plus pauvres, s'est engagée à intégrer les aspects liés au climat et au risque de catastrophe dans l'analyse des défis et des priorités de développement des pays et dans les programmes

qui en résultent. Toute nouvelle opération doit être étudiée sous l'angle du changement climatique et des risques de catastrophe à court et long termes, et des mesures de résilience appropriées doivent être prises pour parer aux risques éventuellement détectés. Des outils d'analyse ont été élaborés pour évaluer les politiques nationales et les projets, et un outil spécifique a été développé pour le secteur agricole. Tous sont conçus pour aider à accroître l'efficacité et la longévité des investissements. Pour compléter ces analyses et faciliter l'élaboration de solutions appropriées, la Banque mondiale, en partenariat avec un grand nombre d'organisations, a également mis à disposition davantage d'ensembles de données, d'outils et de connaissances destinés à faciliter une planification du développement intelligente sur le plan climatique. L'analyse des risques climatiques est désormais effectuée sur tous les projets de l'IDA et sera étendue aux autres opérations de la Banque mondiale à partir de 2017. Le Plan d'action sur le changement climatique adopté par la Banque en 2016 prend acte de la menace que présente ce phénomène pour la mission fondamentale de cet organisme – la réduction de la pauvreté – et explicite l'engagement de passer d'une analyse préalable à une planification ex ante sous l'angle des questions climatiques, afin de soutenir la mise en œuvre des CPDN/CDN (Banque mondiale, 2016).

CONCLUSION

Il reste encore beaucoup à faire pour renforcer l'environnement porteur qui permettra des investissements agricoles climato-intelligents, intégrer les questions de changement climatique dans les allocations et l'exécution des budgets nationaux, et mobiliser des capitaux privés en faveur d'un développement agricole qui soit également intelligent sur le plan climatique. Le financement international de l'action climatique peut être utilisé de façon stratégique pour mobiliser davantage de fonds publics et privés intérieurs et attirer des ressources publiques internationales supplémentaires.

Il est difficile de savoir quelle part des nouvelles promesses de financement climatique ira aux mesures d'adaptation et d'atténuation dans les

secteurs de l'agriculture, mais les sommes en question pourraient être importantes. La transition vers des systèmes alimentaires et agricoles durables, résilients et intelligents face au climat impose aux secteurs de l'agriculture de s'adapter au changement climatique et de s'engager dans un processus d'atténuation de celui-ci. Cette transition dépendra de l'action des pouvoirs publics, de la société civile, des agriculteurs, des éleveurs, des forestiers et des pêcheurs ainsi que des participants aux filières agro-alimentaires, partout dans le monde. Il est vital de faire en sorte que le financement de l'action climatique mis à la disposition des secteurs de l'agriculture soit proportionné au rôle que ceux-ci doivent assumer pour garantir la sécurité alimentaire et relever le défi du changement climatique, aujourd'hui et demain.

ANNEXE

DONNÉES RELATIVES AU FINANCEMENT PUBLIC INTERNATIONAL DE L'ACTION CLIMATIQUE DESTINÉ À L'AGRICULTURE, À LA FORESTERIE ET À LA PÊCHE

Les données présentées dans le chapitre 6 proviennent de deux ensembles utilisés pour comprendre le financement public international spécifiquement consacré à l'atténuation du changement climatique et à l'adaptation à celui-ci dans l'agriculture. Ces deux ensembles de données sont le Système de notification des pays créanciers (SNPC) de l'OCDE et le Climate Fund Update (CFU) de l'Overseas Development Institute (ODI), situé au Royaume-Uni.

La base de données du SNPC comprend certains fonds pour le climat ainsi que des engagements de financement bilatéraux et multilatéraux visant l'adaptation et l'atténuation. Celle du CFU s'intéresse plus particulièrement aux fonds multilatéraux spécialisés qui ont été spécifiquement créés pour faire face au changement climatique. Concernant le financement de l'action climatique destiné à l'agriculture, le SNPC comprend un grand nombre, mais pas la totalité, des fonds spécifiquement consacrés aux questions climatiques qui sont pris en compte dans le CFU. Les données du SNPC comprennent aussi la part consacrée au climat dans des fonds généraux pour le développement mis en place par les institutions multilatérales, tandis que les données du CFU ne comprennent aucun financement issu des fonds généraux pour le développement (voir le tableau). Le SNPC inclut les fonds de donateurs bilatéraux; ces fonds sont hors du cadre du CFU.

Comme pour tous les ensembles de données, des limites s'imposent clairement lorsqu'on utilise le SNPC et le CFU pour appréhender le financement public international des projets liés à l'action climatique dans l'agriculture. Certains fonds climatiques figurent dans les deux ensembles de données. Pour les figures et les tableaux de ce chapitre, qui reprennent des données issues des deux systèmes, nous avons donc dû ajuster chaque ensemble de données en conséquence (retirer de l'ensemble considéré les fonds dont le nom apparaît en gris dans le tableau), de façon à éviter autant que possible les doublons. Il est impossible d'isoler les fonds ASAP – que ce soit dans le SNPC ou dans le CFU – et donc de les retirer de l'un ou l'autre.

Par ailleurs, aucun des deux ensembles de données n'est exhaustif. Ainsi, le SNPC de l'OCDE ne comprend pas tous les pays donateurs: seuls les engagements des pays membres de l'Organisation sont pris en compte, ce qui fait que l'aide accordée par la Chine, par exemple, n'y figure pas. En outre, on ne dispose pas de suffisamment d'informations pour déterminer dans quelle mesure les projets et les financements déclarés soutiennent intégralement des résultats en matière de climat. De nombreuses questions ont été soulevées à propos de la façon dont les projets sont marqués («étiquetés») comme concourant à l'adaptation au changement climatique et/ou à l'atténuation de celui-ci (Caravani, Nakhoda et Terpstra, 2014; Michaelowa et Michaelowa, 2011).

COUVERTURE DES ENSEMBLES DE DONNÉES SUR LE FINANCEMENT PUBLIC INTERNATIONAL DE L'ACTION CLIMATIQUE PRIS EN COMPTE AU CHAPITRE 6

	Système de notification des pays créanciers (SNPC) de l'OCDE	Climate Funds Update (CFU) de l'ODI
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Programme d'adaptation de l'agriculture paysanne (ASAP) 	
Fonds climatiques spécialisés	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fonds d'adaptation ▶ Fonds pour l'Amazonie ▶ Fonds forestier du bassin du Congo ▶ Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF) ▶ Alliance mondiale pour le changement climatique (AMCC) ▶ Programme ONU-REDD 	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Programme d'investissement forestier ▶ Fonds pour les pays les moins avancés ▶ Programme pilote pour la résistance aux chocs climatiques (PPRCC) ▶ Fonds spécial pour les changements climatiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Programme d'investissement forestier ▶ Fonds pour les pays les moins avancés ▶ Programme pilote pour la résistance aux chocs climatiques (PPRCC) ▶ Fonds spécial pour les changements climatiques
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fonds pour l'environnement mondial – tous domaines d'intervention 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fonds pour l'environnement mondial – domaine d'intervention relatif au changement climatique
Autre aide multilatérale au développement	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fonds international de développement agricole (FIDA) ▶ Banque internationale pour la reconstruction et le développement (BIRD) ▶ Association internationale de développement (AID) ▶ Banque asiatique de développement ▶ Fonds nordique de développement 	s.o.
Aide bilatérale au développement	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Engagements pris par des pays de l'OCDE membres et non membres du Comité d'aide au développement (CAD) 	s.o.

SOURCES: OCDE (2015a) et ODI (2015).



ANNEXE STATISTIQUE

ANNEXE STATISTIQUE

NOTES RELATIVES AUX TABLEAUX ANNEXES

CONVENTIONS

Les conventions ci-après sont utilisées dans les tableaux:

.. = données non disponibles

0 ou 0,0 = nul ou négligeable

vide = sans objet

Les chiffres présentés dans les tableaux peuvent différer des données d'origine parce qu'ils ont été arrondis ou traités. Les chiffres décimaux sont séparés du nombre entier par une virgule (,).

NOTES TECHNIQUES

TABLEAU A.1

Variations des rendements agricoles du fait du changement climatique au niveau mondial - projections

Source: Les données sont celles utilisées par Porter *et al.* (2014) et Challinor *et al.* (2014). Une version actualisée est disponible à l'adresse <http://www.ag-impacts.org>

Notes: Les études s'appuient sur une vaste analyse de la documentation disponible, y compris des modèles axés sur le processus et des modèles statistiques. Il existe d'importantes variations méthodologiques entre les études, qui se fondent sur des modèles climatiques, des niveaux d'émissions et des modèles de culture différents. Certaines études englobent les mesures d'adaptation, d'autres non.

Références: auteur(s) et année de l'étude contenant une/des estimation(s). Les indications complètes figurent dans la partie «Bibliographie» du rapport.

Lieu: subdivision administrative, État, pays ou région sur lequel/laquelle porte l'estimation, conformément aux dénominations et aux classifications géographiques figurant dans l'ensemble de données d'origine. Certaines estimations concernent le monde entier. La notation utilisée est la suivante: 1) l'estimation est considérée comme se rapportant à un lieu situé dans une région développée; 2) l'estimation concerne un lieu situé dans une région en développement et 3) l'estimation se rapporte au monde entier ou sa couverture géographique n'est pas précisée.

Période: point médian entre la première année et la dernière année de la simulation et période dans laquelle il s'inscrit. Si les estimations issues d'une étude réalisée en 2010, par exemple, sont des projections concernant 2050 et 2080, le point médian est l'année 2065 et les estimations sont regroupées en conséquence sur la période 2050-2069.

Cultures (estimation de la variation de rendement): cultures ou groupes de cultures et, entre parenthèses, estimations de la ou des variation(s) imputables au changement climatique du point de vue du ou des rendement(s) concerné(s). Certaines études indiquent plusieurs estimations pour un lieu, une période et une culture donnés car elles s'appuient sur la combinaison de différents modèles climatiques, niveaux d'émissions et modèles de culture, et tiennent compte ou non de l'existence de mesures d'adaptation.

TABLEAU A.2**Émissions nettes (déduction faite de la différence des puits) imputables à l'agriculture, aux forêts et aux autres utilisations des terres en équivalent CO₂, 2014***Source*: FAO, 2016.

Émissions dues à l'agriculture: exprimées en équivalent dioxyde de carbone (CO₂) et composées de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O), produits par des processus de décomposition aérobie et anaérobie liés aux activités de production et de gestion dans les secteurs de l'agriculture et de l'élevage. Conformément aux Lignes directrices 2006 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, elles sont calculées au niveau 1. Les estimations sont basées sur un niveau d'activité (nombre de têtes de bétail, superficie récoltée, application d'engrais ou autre) auquel on applique un coefficient d'émissions déterminé par le GIEC. Les émissions englobent les sous-domaines suivants: brûlage des résidus de récolte (CH₄, N₂O), écobuage en savane (CH₄, N₂O), résidus de récolte (N₂O), culture de sols organiques (N₂O), fermentation entérique (CH₄), gestion des effluents d'élevage (CH₄, N₂O), déjections animales sur les pâturages (N₂O), fumier appliqué sur les sols (N₂O), riziculture (CH₄) et engrais chimiques (N₂O).

Émissions/stockage imputables aux forêts: émissions de CO₂ imputables à la dégradation des terres forestières et prélèvements de carbone (puits de carbone) par les terres forestières dont l'affectation n'a pas changé entre l'année *t* -1 et l'année *t*. Au niveau des pays, les données concernant les forêts peuvent être positives (émissions nettes) ou négatives (prélèvements nets).

Émissions dues à la conversion nette des forêts:

émissions de CO₂ liées à la déforestation ou à l'affectation de terres forestières à d'autres usages.

Émissions dues au brûlage de biomasse: gaz produits par brûlage de biomasse issue de forêts tropicales humides, d'autres types de forêts et de sols organiques. Composées de méthane (CH₄), d'oxyde nitreux (N₂O) et, uniquement dans le cas des sols organiques, de dioxyde de carbone (CO₂).

Émissions imputables aux cultures sur sols organiques: associées au carbone perdu par les sols organiques drainés des terres arables.

Émissions imputables aux pâturages sur sols organiques: associées au carbone perdu par les sols organiques drainés des herbages.

TABLEAU A.3**Émissions imputables à l'agriculture en équivalent CO₂, par source, 2014***Source*: FAO, 2016.

Émissions imputables au brûlage des résidus de récolte: méthane (CH₄) et oxyde nitreux (N₂O) produits par la combustion d'une partie des résidus de récolte brûlés sur place. Il convient d'estimer la masse de combustible susceptible d'être brûlée en tenant compte des quantités prélevées avant brûlage: consommation animale, décomposition sur les champs et utilisation dans d'autres secteurs (par exemple, biocarburant, aliments pour animaux d'élevage, matériaux de construction). Les émissions estimatives correspondent au produit entre un facteur d'émissions établi par le GIEC et des données d'activité (quantité de biomasse brûlée, calculée à partir de la superficie récoltée de blé, de maïs, de riz et de canne à sucre).

Émissions imputables à l'écobuage en savane: méthane (CH₄) et oxyde nitreux (N₂O) produits par l'écobuage de biomasse végétale dans les cinq types de couverture suivants: savane, savane arborée, forêts d'arbrisseaux ouvertes, forêt d'arbrisseaux fermées et herbages.

Les estimations correspondent au produit entre le coefficient d'émissions établi par le GIEC et les données d'activité (masse totale de combustible brûlé, en fonction des informations contenues dans la Base de données des émissions mondiales incendie, GFED).

Émissions imputables aux résidus de récolte: émissions directes et indirectes d'oxyde nitreux (N₂O) à partir de l'azote contenu dans les résidus de récolte et de fourrage/renouvellement des pâturages laissés sur les champs par les agriculteurs. Les estimations des émissions directes correspondent au produit entre le niveau d'activité (rendement agricole et superficie récoltée) et le coefficient d'émissions établi par le GIEC. Les cultures visées sont notamment l'orge, les haricots secs, le maïs, le millet, l'avoine, la pomme de terre, le riz paddy, le seigle, le sorgho, le soja et le blé. Les estimations des émissions indirectes correspondent à l'azote présent dans les résidus de récolte et de fourrage/renouvellement de pâturages qui disparaît par ruissellement et lessivage.

Émissions imputables à la culture de sols organiques: associées à l'oxyde nitreux découlant de la culture de sols organiques (terres cultivées et herbages). Les estimations des émissions correspondent au produit entre le niveau d'activité (superficie des sols organiques cultivés) et le coefficient d'émissions établi par le GIEC.

Émissions imputables à la fermentation entérique: méthane (CH₄) produit par le système digestif des animaux d'élevage (ruminants et non ruminants). Les estimations des émissions correspondent au produit entre le niveau d'activité (nombre de têtes d'animaux d'élevage) et le coefficient d'émissions établi par le GIEC. On entend par animaux d'élevage les buffles, les ovins, les caprins, les chameaux, les lamas, les chevaux, les mules, les ânes, les porcins, les bovins laitiers et non laitiers et la volaille.

Émissions imputables à la gestion des effluents d'élevage: méthane (CH₄) et oxyde nitreux découlant des processus de décomposition aérobie et anaérobie. Les estimations des émissions correspondent au produit entre le niveau d'activité (nombre de têtes d'animaux d'élevage) et le coefficient d'émissions établi par le GIEC. On entend par animaux d'élevage les buffles, les ovins, les caprins, les chameaux, les lamas, les chevaux, les mules, les ânes, les canards, les dindons, les bovins laitiers et non laitiers, les poulets (poules pondeuses et poulets de chair) et les porcins destinés à la commercialisation et à la sélection.

Émissions imputables aux déjections animales laissées sur les pâturages: émissions directes et indirectes d'oxyde nitreux (N₂O) à partir de l'azote contenu dans les déjections animales laissées sur les pâturages par les animaux d'élevage. On entend par animaux d'élevage les buffles, les ovins, les caprins, les chameaux, les lamas, les chevaux, les mules, les ânes, les canards, les dindons, les bovins laitiers et non laitiers, les poulets (poules pondeuses et poulets de chair) et les porcins destinés à la commercialisation et à la sélection.

Émissions imputables au fumier appliqué sur les sols: émissions directes et indirectes d'oxyde nitreux (N₂O) à partir de l'azote contenu dans le fumier appliqué sur les sols agricoles par les exploitants. On entend par animaux d'élevage les buffles, les ovins, les caprins, les chameaux, les lamas, les chevaux, les mules, les ânes, les canards, les dindons, les bovins laitiers et non laitiers, les poulets (poules pondeuses et poulets de chair) et les porcins destinés à la commercialisation et à la sélection.

Émissions imputables à la riziculture: méthane (CH₄) émis lors de la décomposition anaérobie de matière organique dans les rizières. Les estimations des émissions correspondent au produit entre le niveau d'activité (superficie récoltée de riz paddy) et le coefficient d'émissions établi par le GIEC.

Émissions imputables aux engrais de synthèse: émissions directes et indirectes d'oxyde nitreux (N₂O) à partir de l'azote (N)

appliqué sur les sols agricoles par les exploitants. Les estimations des émissions correspondent au produit entre le niveau d'activité (application d'engrais à base d'azote) et le coefficient d'émissions établi par le GIEC.

AGRÉGATS PAR GROUPES DE PAYS ET PAR RÉGION

Les tableaux A.2 et A.3 présentent des agrégats par groupes de pays et par région pour tous les indicateurs. Ceux-ci sont calculés comme indiqué ci-après pour les différents groupes de pays et régions. Les totaux mondiaux et régionaux peuvent varier légèrement de ceux figurant dans FAOSTAT.

S'agissant des tableaux A.2 et A.3, ainsi que de certains tableaux et figures intégrés au corps du

rapport, les groupes régionaux et la désignation des régions développées et en développement sont similaires aux catégories de la classification M49 de la Division de la statistique de l'Organisation des Nations Unies (unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49.htm).

La principale différence tient au fait que la catégorie «Pays et territoires développés», utilisée dans le présent document, comprend les pays désignés dans la classification M49 comme faisant partie des régions développées, ainsi que des pays d'Asie centrale (Kazakhstan, Kirghizistan, Ouzbékistan, Tadjikistan et Turkménistan). Les données relatives à la Chine ne comprennent ni la Région administrative spéciale de Hong-Kong ni la Région administrative spéciale de Macao. ■

TABLEAU A.1**VARIATIONS DES RENDEMENTS AGRICOLES DU FAIT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AU NIVEAU MONDIAL - PROJECTIONS**

RÉFÉRENCE	LIEU	PÉRIODE	CULTURES (ESTIMATION DE LA VARIATION DE RENDEMENT)
Abraha et Savage, 2006	KwaZulu-Natal, Afrique du Sud (2)	2030/49	Maïs (-10,7; -10,7; -8,7;-8,7; -6,6; -6,6; 5,9; 6,0; 8,1; 8,1; 10,2; 10,3)
Alexandrov et Hoogenboom, 2000	Bulgarie (1)	2010/29	Maïs (-12,0); blé (11,0; 13,0)
		2050/69	Maïs (-19,0; -1,0); blé (25,0; 30,0)
		2070/89	Maïs (-18,0); blé (26,0)
Arndt <i>et al.</i> , 2011	Mozambique, région centrale (2)	2030/49	Manioc (-6,2; -3,1); maïs (-5,6; -3,0)
	Mozambique, Nord (2)	2030/49	Manioc (6,5; -0,1); maïs (-2,9; -1,9)
	Mozambique, Sud (2)	2030/49	Manioc (-3,2; 0,4); maïs (-4,4; -3,9)
Berg <i>et al.</i> , 2013	Afrique et Inde (2)	2030/49	Millet (-26,7; -24,1; -22,6; -14,6; -14,1; -13,2; -13,1; -12,4; -11,4; -10,5; -8,7; -7,3; -7,2; -6,8; -6,8; -6,7; -6,2; -6,2; -5,8; -5,6; -5,5; -4,9; -4,8; -4,7; -4,5; -4,4; -4,0; -3,7; -3,6; -3,6; -2,9; -2,8; -2,4; -2,3; -2,1; -1,8; -1,1; 0,0; 0,6; 0,8; 1,3; 2,1; 2,9; 4,1; 11,7; 17,1; 20,3; 30,5)
	Afrique et Inde (2)	2070/89	Millet (-90,5; -44,3; -41,0; -25,8; -25,1; -24,6; -23,1; -23,0; -22,5; -22,5; -22,0; -21,5; -20,5; -20,0; -18,4; -18,0; -17,8; -17,4; -17,2; -16,9; -15,3; -14,6; -14,1; -13,6; -12,6; -12,5; -12,4; -11,2; -11,1; -11,0; -10,8; -10,2; -9,2; -8,2; -8,0; -5,7; -5,6; -4,8; -3,8; -3,6; -3,2; 7,9; 18,9; 23,0; 45,8; 48,6; 56,4; 62,2)
Brassard et Singh, 2007	Québec du Sud, Canada (1)	2050/69	Blé (4,3; 10,7; 24,0); maïs (9,4; 30,2; 31,3)
Brassard et Singh, 2008	Québec, Canada (1)	2050/69	Maïs (-6,8; -6,5; -0,6; 1,1; 4,0; 4,1); pomme de terre (-18,6; -16,2; -14,4; -12,0; -11,3; -10,8); soja (-5,1; 15,1; 18,7; 39,3; 67,3; 84,8); blé (-18,9; -3,2; 4,1; 4,2; 11,4; 14,8)
Butt <i>et al.</i> , 2005	Mali, 85 zones agroécologiques (2)	2030/49	Maïs (-13,5; -11,2;-10,3; -8,6)
Calzadilla <i>et al.</i> , 2009	Afrique subsaharienne (2)	2050/69	Blé (-24,1); grains céréaliers (1,1); riz (3,0)
Chhetri <i>et al.</i> , 2010	États-Unis d'Amérique, Sud-Est (1)	2010/29	Maïs (1,2; 2,0; 2,7; 3,6)
		2030/49	Maïs (4,2; 4,4; 5,7; 6,1)
		2050/69	Maïs (5,3; 5,3; 5,8; 6,0)
Ciscar <i>et al.</i> , 2011	Îles britanniques (1)	2070/89	Blé; maïs et soja (-11,0; -9,0; 15,0; 19,0)
	Europe centrale, Nord (1)	2070/89	Blé; maïs et soja (-8,0; -3,0; -1,0; 2,0)
	Europe méridionale, Centre (1)	2070/89	Blé; maïs et soja (-3,0; 3,0; 5,0; 5,0)
	Europe septentrionale (1)	2070/89	Blé; maïs et soja (36,0; 37,0; 39,0; 52,0)
	Europe méridionale (1)	2070/89	Blé; maïs et soja (-27,0; -12,0; -4,0; 0,0)
Deryng <i>et al.</i> , 2011	Argentine (2)	2050/69	Maïs (-30,3; -26,3; -17,7;-10,0; -9,8; -4,8; -4,6; -2,2); soja (-39,3; -36,1; -24,6; -20,5; -20,5; -19,5; -19,3; -13,2)
	Bésil (2)	2050/69	Maïs (-38,1; -34,6; -28,6; -26,3; -25,2; -23,2; -23,2; -19,2); soja (-32,6; -31,4; -24,2; -24,2; -23,5; -19,7; -19,0; -15,7)

TABLEAU A.1**(SUITE)**

RÉFÉRENCE	LIEU	PÉRIODE	CULTURES (ESTIMATION DE LA VARIATION DE RENDEMENT)
Deryng <i>et al.</i> , 2011	Canada (1)	2050/69	Maïs (-54,6; -45,2; -36,2; -27,1; 4,9; 5,3; 6,0; 21,6); soja (-66,5; -60,9; -56,2; -46,8; -27,7; -16,9; -11,4; -4,9); blé (-35,4; -34,5; -22,2; -21,2; -5,1; -3,3; -1,1; -0,7)
	Chine (2)	2050/69	Soja (-45,9; -43,9; -33,6; -32,5; -13,9; -8,7; -6,7; -6,1); blé (-29,3; -29,1; -19,2; -18,8; -5,6; -5,5; -4,3; -1,8)
	France (1)	2050/69	Maïs (-59,7; -46,2; -43,9; -41,7; -30,3; -27,0; -21,6; -11,6); blé (-49,1; -42,5; -32,8; -31,3; -25,5; -21,4; -13,7; -0,5)
	Allemagne (1)	2050/69	Blé (-29,0; -26,7; -15,5; -12,6; -8,5; -3,8; 4,0; 8,9)
	Inde (2)	2050/69	Maïs (-31,0; -28,2; -26,3; -22,9; -19,8; -18,6; -16,9; -14,6); soja (-32,9; -27,8; -24,6; -24,5; -21,8; -20,0; -17,4; -15,5)
	Indonésie (2)	2050/69	Maïs (-11,9; -10,4; -10,3; -8,6; -3,2; -2,8; 0,8; 1,0)
	Kazakhstan (1)	2050/69	Blé (-38,0; -28,0; -22,4; -20,0; -12,3; -8,3; 0,9; 2,4)
	Mexique (2)	2050/69	Maïs (-39,7; -37,0; -29,1; -27,0; -24,6; -23,9; -18,9; -16,0)
	Paraguay (2)	2050/69	Soja (-43,3; -28,8; -28,0; -25,2; -18,0; -17,3; -16,5; -13,6)
	Pologne (1)	2050/69	Blé (-23,1; -19,6; -11,0; -11,0; 6,5; 8,2; 11,1; 17,6)
	Roumanie (1)	2050/69	Maïs (-48,1; -45,7; -30,5; -25,9; -16,9; -13,9; 1,2; 2,5)
	Russie (1)	2050/69	Blé (-29,6; -25,2; -24,7; -21,3; -8,5; -6,3; -6,0; 0,3)
	Afrique du Sud (2)	2050/69	Maïs (-38,8; -31,4; -29,4; -27,9; -26,0; -22,6; -17,1; -14,6)
	Royaume-Uni (1)	2050/69	Blé (-32,9; -31,9; -26,3; -20,1; -8,2; -0,3; 3,4; 4,2)
	Ukraine (1)	2050/69	Blé (-28,8; -23,1; -21,4; -17,2; -3,5; -2,1; 7,1; 10,3)
	États-Unis d'Amérique (1)	2050/69	Maïs (-44,7; -30,6; -25,7; -22,8; -18,9; -14,2; -1,3; -0,5); soja (-52,7; -39,3; -36,5; -33,2; -26,6; -24,9; -14,8; -13,1); blé (-32,6; -23,2; -21,6; -21,0; -17,2; -11,9; -4,3; -2,8)
Giannakopoulos <i>et al.</i> , 2009	Méditerranée, Nord-Est (Serbie, Grèce et Turquie) (3)	2030/49	Céréales (4,4; 12,5); légumineuses (-7,2; -0,9); maïs (-0,6; -0,2); pomme de terre (-9,3; 4,4); tournesol (-5,4; -0,9)
	Méditerranée, Nord-Ouest (Portugal, Espagne, France et Italie) (1)	2030/49	Céréales (-0,3; 4,7); légumineuses (-14,4; -4,9); maïs (4,2; 8,8); pomme de terre (4,9; 7,5); tournesol (-12,4; -2,8)
Giannakopoulos <i>et al.</i> , 2009	Méditerranée, Sud-Est (Jordanie, Égypte et Libye) (2)	2030/49	Céréales (-10,1; -4,9); légumineuses (-30,1; -23,3); maïs (-7,9; -6,7); pomme de terre (-5,7; -4,3); tournesol (-0,4; 3,7)
	Méditerranée, Sud-Ouest (Tunisie, Algérie et Maroc) (2)	2030/49	Céréales (-3,8; -3,4); légumineuses (-23,9; -18,5); maïs (-9,4; -6,4); pomme de terre (-13,3; -1,5); tournesol (-10,3; -4,3)
Hermans <i>et al.</i> , 2010	Europe (1)	2050/69	Blé (34,0; 97,0)

TABLEAU A.1
(SUITE)

RÉFÉRENCE	LIEU	PÉRIODE	CULTURES (ESTIMATION DE LA VARIATION DE RENDEMENT)	
Iqbal <i>et al.</i> , 2011	Faisalabad, Pakistan (2)	2010/29	Maïs (-1,5; -1,3; -0,4; -0,3; -0,3; 0,7; 0,8; 1,7; 3,9)	
		2010/29	Maïs (-2,1; -1,1; -0,5; 0,0; 0,3; 0,7; 1,7; 2,7; 3,2)	
		2050/69	Maïs (-8,1; -5,4; -4,1; -3,6; -3,0; -1,4; -0,6; -0,5; 0,5)	
Izaurrealde <i>et al.</i> , 2001	États-Unis d'Amérique, régional (1)	2010/29	Maïs (4,3; 15,4)	
		2030/49	Soja (-9,4; 7,9); blé (25,2; 37,1)	
		2050/69	Blé (0,1; 5,0; 15,3; 15,8)	
		2090/2109	Maïs (7,9; 17,1)	
		2090/2109	Soja (-8,7; 6,6); blé (29,5; 40,5)	
Kim <i>et al.</i> , 2010	Corée (2)	2010/29	Riz (-4,2; -1,1; 0,7)	
		2050/69	Riz (-9,9; -2,6; 0,3)	
		2070/89	Riz (-14,1; -3,0; 1,9)	
Lal, 2011	Inde, région centrale et Sud, Sri Lanka (2)	2010/29	Riz (6,0; 18,0); blé (22,0; 24,0)	
		2050/69	Riz (-30,0; -21,0; -4,0; -1,0; 3,0); blé (-23,0; -19,0; -8,0; 7,0; 9,0)	
		2070/89	Riz (-8,0); blé (-1,0)	
	Inde, plaines centrales, Inde australe, Sri Lanka (2)	2010/29	Riz (3,0; 18,0); blé (23,0; 25,0)	
		2050/69	Riz (-6,0; 1,0)	
		2050/69	Blé (-3,0; 9,0)	
	Pakistan, Inde, Nord, Nord-Est et Nord-Ouest, Népal, Bangladesh (2)	2010/29	Riz (4,0; 5,0; 15,0); blé (21,0; 23,0; 26,0; 26,0)	
		2010/29	Riz (17,0)	
		2050/69	Riz (-31,0; -24,0; -7,0; -5,0; -1,0; 1,0; 2,0); blé (-18,0; -11,0; -3,0; -1,0; 11,0; 12,0; 16,0)	
2070/89	Riz (-12,0; -8,0); blé (1,0; 2,0)			
	Li <i>et al.</i> , 2011	Chine, latitudes médianes, région centrale (2)	2030/49	Maïs (10,7; 22,8)
		États-Unis d'Amérique, région du Mid-West (1)	2030/49	Maïs (-7,4; 41,6)
Lobell <i>et al.</i> , 2008	Région andine (2)	2010/29	Orge (-2,1); manioc (1,5); maïs (0,0); palme (2,9); pommes de terre (-2,6); riz (-0,5); soja (-0,2); canne à sucre (0,5); blé (-2,5)	
	Brésil (2)	2010/29	Manioc (-4,9); maïs (-2,3); riz (-4,5); soja (-4,1); canne à sucre (0,6); blé (-6,8)	
	Afrique centrale (2)	2010/29	Manioc (-1,5); arachides (-2,2); millet (-4,9); maïs (-0,5); palme (-2,4); riz (-2,9); sorgho (-3,9); blé (-1,2)	
	Amérique centrale (2)	2010/29	Manioc (2,3); maïs (-1,0); riz (-0,5); canne à sucre (7,4); blé (-4,7)	

TABLEAU A.1**(SUITE)**

RÉFÉRENCE	LIEU	PÉRIODE	CULTURES (ESTIMATION DE LA VARIATION DE RENDEMENT)
Lobell <i>et al.</i> , 2008	Chine (2)	2010/29	Riz (-0,2); soja (2,3); pommes de terre (2,1); arachides (2,0); maïs (-2,3); blé (2,0); canne à sucre (1,5)
	Afrique de l'Est (2)	2010/29	Orge (31,8); haricots (4,0); manioc (1,7); niébé (-18,5); arachides (3,5); maïs (-0,2); riz (7,6); sorgho (-1,1); canne à sucre (-4,0); blé (5,4)
	Sahel (2)	2010/29	Niébé (8,8); arachides (-0,5); maïs (-3,6); millet (-2,3); riz (2,9); sorgho (-5,6); blé (-8,0)
	Asie du Sud (2)	2010/29	Arachides (1,2); millet (-2,1); maïs (-4,8); colza (-6,5); riz (-3,3); soja (3,9); canne à sucre (0,0); sorgho (0,1); blé (-2,9)
	Asie du Sud-Est (2)	2010/29	Soja (-2,4); manioc (-0,7); blé (-1,1); canne à sucre (5,3); riz (-1,2); maïs (-3,0); arachides (-1,2)
	Afrique australe (2)	2010/29	Manioc (0,8); arachides (1,2); riz (4,4); soja (-8,3); canne à sucre (-3,1); blé (-9,0); sorgho (-8,2); maïs (-22,5)
	Afrique de l'Ouest (2)	2010/29	Manioc (0,7); arachides (-7,1); maïs (-3,8); millet (-0,1); sorgho (-4,1); riz (0,5); blé (-2,1); ignames (-6,0)
	Asie occidentale (2)	2010/29	Orge (1,2); maïs (-1,1); pommes de terre (3,4); riz (-4,4); sorgho (0,7); canne à sucre (-5,4); tournesol (-5,8); betterave à sucre (0,1); soja (-2,3); blé (-0,5)
Moriondo <i>et al.</i> , 2010	Europe septentrionale (1)	2030/49	Blé tendre/tournesol (-5,0); blé de printemps (7,0); soja (-13,0; -4,0); tournesol (8,0)
Müller <i>et al.</i> , 2010	Chine et pays d'Asie à planification centralisée (2)	2050/69	Principales cultures (-3,7; -3,6; -3,4; -2,9; 11,8; 14,3; 15,4; 15,8)
	Europe (1)	2050/69	Principales cultures (-0,3; 0,8; 1,2; 3,7; 16,7; 16,7; 16,8; 17,5)
	Ex-Union soviétique (1)	2050/69	Principales cultures (-0,5; -0,2; 0,9; 4,3; 21,4; 21,4; 21,4; 22,3)
	Amérique latine et Caraïbes (2)	2050/69	Principales cultures (-11,3; -9,4; -8,2; -3,7; 9,5; 11,8; 12,2; 13,3)
	Moyen-Orient et Afrique du Nord (2)	2050/69	Principales cultures (-16,6; -14,8; -14,5; -13,2; -3; -2,5; -2,1; -0,7)
	Amérique du Nord (1)	2050/69	Principales cultures (-10,3; -9,3; -7,1; -1,8; 10,6; 11,6; 12,2; 14,7)
	Asie Pacifique (2)	2050/69	Principales cultures (-18,5; -18; -16; -11,7; 19,9; 21,9; 22,8; 23)
	Pacifique OCDE (3)	2050/69	Principales cultures (-15; -14,7; -13,5; -9,8; 3,3; 3,5; 3,6; 4,6)
	Asie du Sud (2)	2050/69	Principales cultures (-18,9; -16,4; -15,3; -14,4; 14,6; 19,8; 21,3; 24,6)
	Afrique subsaharienne (2)	2050/69	Principales cultures (-8,5; -8,2; -7,6; -5,9; 6,7; 7,5; 7,8; 8,4)
	Monde (3)	2050/69	Principales cultures (-8,2; -7,6; -6,5; -3,5; 12,4; 12,5; 12,6; 13,1)

TABLEAU A.1
(SUITE)

RÉFÉRENCE	LIEU	PÉRIODE	CULTURES (ESTIMATION DE LA VARIATION DE RENDEMENT)
Osborne, Rose et Wheeler, 2013	Monde, et 15 premiers pays producteurs (3)	2030/49	Soja (-48,4; -45,5; -43,0; -41,4; -39,5; -39,2; -36,5; -35,0; -35,0; -34,0; -33,9; -33,7; -33,6; -31,1; -29,6; -29,4; -28,8; -27,5; -26,3; -25,8; -22,6; -20,8; -20,6; -20,4; -20,4; -20,3; -19,9; -19,9; -19,3; -19,3; -18,2; -13,8; -12,0; -11,3; -5,1; -2,9; -2,4; 0,5; 1,0; 2,1; 2,2; 5,4; 8,8; 13,7; 48,3); blé de printemps (-41,0; -36,5; -32,1; -29,4; -26,0; -25,0; -22,4; -21,6; -20,5; -18,5; -18,2; -17,3; -15,5; -14,5; -14,4; -13,5; -12,7; -12,5; -11,0; -10,1; -10,1; -8,9; -8,6; -7,1; -6,8; -6,8; -6,8; -5,1; -5,1; -4,3; -3,3; 0,5; 0,6; 0,7; 4,2; 6,6; 6,6; 8,5; 15,2; 24,5; 25,3; 27,9; 39,5; 40,7)
Peltonen-Sainio, Jauhainen et Hakala, 2011	Finlande (1)	2010/29	Blé de printemps (-5,9); avoine de printemps (-5,1); orge de printemps (-5,7); seigle d'hiver (3,0); blé d'hiver (2,4)
Piao <i>et al.</i> , 2010	Non précisé (3)	2010/29	Maïs (-2,0; 10,0); riz (5,0); blé (15,0; 17,0)
	Non précisé (3)	2050/69	Maïs (-4,0; 20,0); riz (4,0; 8,0); blé (21,0; 25,0)
	Chine, pays entier (2)	2010/29	Riz (2,0)
Ringler <i>et al.</i> , 2010	Afrique subsaharienne, région centrale (2)	2050/69	Manioc (-0,1); riz (-0,6); maïs (-0,8); canne à sucre (0,9); patate douce et igname (-0,1)
	Afrique subsaharienne orientale (2)	2050/69	Manioc (0,4); maïs (-1,9); riz (0,2); canne à sucre (0,4); patate douce et igname (1,1)
	Golfe de Guinée (2)	2050/69	Manioc (-11,9); maïs (0,2); riz (1,4); canne à sucre (-0,5); patate douce et igname (-15,1)
	Afrique subsaharienne australe (2)	2050/69	Manioc (-0,8); maïs (-0,9); riz (-2,3); canne à sucre (1,1); patate douce et igname (1,1)
	Afrique subsaharienne - Soudan et Sahel (2)	2050/69	Manioc (1,2); maïs (3,3); riz (-0,8); canne à sucre (0,3); patate douce et igname (2,0)
Rowhanji <i>et al.</i> , 2011	Tanzanie (2)	2050/69	Maïs (-13,0); riz (-7,6); sorgho (-8,8)
Schlenker et Roberts, 2009	États-Unis (1)	2030/49	Coton (-22,0); maïs (-29,0); soja (-21,0)
		2070/89	Coton (-65,0); maïs (-72,0); soja (-65,0)
Shuang-He <i>et al.</i> , 2011	Chine, Bas-Yangtsé et Moyen-Yangtsé (2)	2030/49	Riz (-15,2; -14,8; -4,1; -3,3)
Southworth <i>et al.</i> , 2000	États-Unis, Illinois (1)	2050/69	Maïs (-25,9; -17,1)
	États-Unis, Indiana (1)	2050/69	Maïs (-18,5; -11,2)
	États-Unis, Michigan (1)	2050/69	Maïs (15,4; 18,3)
	États-Unis, Ohio (1)	2050/69	Maïs (-9,5; -5,4)
	États-Unis, Wisconsin (1)	2050/69	Maïs (-0,2; 14,1)
Tan <i>et al.</i> , 2010	Ghana (2)	2090/2109	Maïs (-19,0; -18,0; -18,0)
Tao <i>et al.</i> , 2009	Plaine de la Chine septentrionale (Henan) (2)	2010/29	Maïs (-9,7)
		2050/69	Maïs (-15,7)
		2070/89	Maïs (-24,7)
	Plaine de la Chine septentrionale (Shandong) (2)	2010/29	Maïs (-9,1)
		2050/69	Maïs (-19,0)
		2070/89	Maïs (-25,5)

TABLEAU A.1
(SUITE)

RÉFÉRENCE	LIEU	PÉRIODE	CULTURES (ESTIMATION DE LA VARIATION DE RENDEMENT)
Tao et Zhang, 2010	Plaine de la Chine septentrionale (2)	2050/69	Maïs (-21,5; -19,1; -16,8; -15,4; -14,7; -13,7; -13,2; -13,0; -9,7; -9,1; -9,1; -7,2; -3,3; 0,5; 15,6; 30,2)
Tao et Zhang, 2011	Chine (2)	2070/89	Maïs (-19,6; -19,1; -14,0; -13,5; -6,5; -5,3; -5,0; -4,6; -3,4; -3,3; -2,0; -1,9)
Thornton <i>et al.</i> , 2009	Afrique de l'Est (2)	2010/29	Maïs (-15,0; -11,0; -3,0; -1,0)
Thornton <i>et al.</i> , 2010	Burundi (2)	2030/49	Maïs (6,0; 8,6; 9,4; 11,7)
		2050/69	Maïs (8,2; 8,6; 9,6; 9,9)
	Afrique de l'Est (2)	2050/69	Maïs (-58,0; -53,0; -51,0; -47,0; -44,0; -43,0; -42,0; -35,0)
	Kenya (2)	2030/49	Maïs (11,7; 12,9; 15,4; 16,7)
		2050/69	Maïs (15,8; 16,2; 17,6; 17,7)
	Rwanda (2)	2030/49	Maïs (9,3; 10,9; 11,9; 12,8)
		2050/69	Maïs (13,2; 14,9; 16,9; 17,0)
	Tanzanie (2)	2030/49	Maïs (-4,7; -3,1; -2,8; -1,5)
		2050/69	Maïs (-13,0; -10,1; -5,7; -4,1)
	Ouganda (2)	2030/49	Maïs (-3,6; -2,5; -2,3; -1,3)
		2050/69	Maïs (-15,6; -12,3; -5,1; -3,3)
Thornton <i>et al.</i> , 2011	Afrique subsaharienne, région centrale (2)	2090/2109	Haricots (-69,0); maïs (-13,0)
	Afrique subsaharienne orientale (2)	2090/2109	Haricots (-47,0); maïs (-19,0)
	Afrique subsaharienne australe (2)	2090/2109	Haricots (-68,0); maïs (-16,0)
	Afrique subsaharienne (2)	2090/2109	Haricots (-71,0); maïs (-24,0)
	Afrique subsaharienne occidentale (2)	2090/2109	Haricots (-87,0); maïs (-23,0)
Tingem et Rivington, 2009	Cameroun (2)	2010/29	Maïs (7,4; 8,2; 61,0; 62,3)
		2070/89	Maïs (-14,6; -5,6; 32,1; 45,0)
	Cameroun, quatre sites (2)	2010/29	Maïs (-10,9; 9,9; 29,6; 31,8)
		2070/89	Maïs (-7,5; -1,6; 8,5; 12,0)
Walker et Schulze, 2008	Afrique du Sud (2)	2070/89	Maïs (-18,3; -8,0; -6,3; 3,0; 8,7; 9,7; 9,7; 16,7; 22,3)
Wang <i>et al.</i> , 2011	District de Baicheng, Chine (2)	2010/29	Maïs (-14,6)
		2050/69	Maïs (-27,9)
		2070/89	Maïs (-35,9)
	District de Baishan, Chine (2)	2010/29	Maïs (12,2)
		2050/69	Maïs (32,3)
		2070/89	Maïs (34,8)
	District de Chuangchun, Chine (2)	2010/29	Maïs (-10)
		2050/69	Maïs (-26,2)
		2070/89	Maïs (-34,6)

TABLEAU A.1**(SUITE)**

RÉFÉRENCE	LIEU	PÉRIODE	CULTURES (ESTIMATION DE LA VARIATION DE RENDEMENT)
Wang <i>et al.</i> , 2011	District de Jilin, Chine (2)	2010/29	Maïs (-3,2)
		2050/69	Maïs (-14,6)
		2070/89	Maïs (-23,6)
	District de Liaoyuan, Chine (2)	2010/29	Maïs (-9,5)
		2050/69	Maïs (-23,9)
		2070/89	Maïs (-31,6)
	District de Siping, Chine (2)	2010/29	Maïs (-11)
		2050/69	Maïs (-26,4)
		2070/89	Maïs (-35)
	District de Songyuan, Chine (2)	2010/29	Maïs (-8,7)
		2050/69	Maïs (-23,9)
		2070/89	Maïs (-32,8)
	District de Tonghua, Chine (2)	2010/29	Maïs (-0,3)
		2050/69	Maïs (-9,6)
		2070/89	Maïs (-18,9)
Yanji, Chine (2)	2010/29	Maïs (11,1)	
	2050/69	Maïs (24,6)	
	2070/89	Maïs (23,9)	
Xiong <i>et al.</i> , 2007	Riz irrigué, Chine, sans adaptation (2)	2010/29	Riz (-0,4; 3,8)
		2050/69	Riz (-1,2; 6,2)
		2070/89	Riz (-4,9; 7,8)
	Maïs pluvial, Chine, sans adaptation (2)	2010/29	Maïs (1,1; 9,8)
		2050/69	Maïs (8,5; 18,4)
		2070/89	Maïs (10,4; 20,3)
	Blé pluvial, Chine, sans adaptation (2)	2010/29	Blé (4,5; 15,4)
		2050/69	Blé (6,6; 20)
		2070/89	Blé (12,7; 23,6)
Xiong <i>et al.</i> , 2009	Chine (2)	2010/29	Riz (-4,9; 3,4; 6,3; 15,8)
		2050/69	Riz (-12,6; -8,6; 0,0; 8,0)
		2070/89	Riz (-26,2; -18,4; -5,6; -0,9)

TABLEAU A.2
**ÉMISSIONS NETTES (DÉDUCTION FAITE DE LA DIFFÉRENCE DES PUIXS) IMPUTABLES
À L'AGRICULTURE, AUX FORÊTS ET AUX AUTRES UTILISATIONS DES TERRES
EN ÉQUIVALENT CO₂, 2014**

	ÉMISSIONS DUES À L'AGRICULTURE	FORÊTS		AUTRES UTILISATIONS DES TERRES		
		ÉMISSIONS/ STOCKAGE IMPUTABLES AUX FORÊTS	ÉMISSIONS DUES À LA CONVERSION NETTE DES FORÊTS	ÉMISSIONS DUES AU BRÛLAGE DE BIOMASSE	ÉMISSIONS DUES AUX TERRES CULTIVÉES	ÉMISSIONS DUES AUX PÂTURAGES
(en milliers de tonnes)						
MONDE	5 241 761	-1 845 936	2 913 158	1 302 674	756 075	25 705
PAYS ET TERRITOIRES EN DÉVELOPPEMENT	3 971 916	-617 225	2 786 785	1 047 486	504 550	17 946
Asie de l'est et du Sud-Est	1 200 079	-30 495	566 447	426 306	359 610	10 492
Brunéi Darussalam	147	0	0	169	380	0
Cambodge	19 354	1 310	21 424	1 045	0	0
Chine - RAS de Hong-Kong	81	..	..	0	0	0
Chine - RAS de Macao	3	..	..	0	0	0
Chine continentale	707 640	-313 720	0	1 422	1 052	164
Indonésie	165 614	629 248	368 819	389 752	285 367	8 982
Malaisie	14 276	-206 783	24 183	16 115	36 509	961
Mongolie	21 476	-14	15 962	529	7 796	331
Myanmar	66 510	-30 534	105 869	11 462	18 258	51
Philippines	53 173	-60 353	0	57	0	0
République de Corée	12 710	-43 408	3 808	11	0	0
République démocratique populaire lao	8 097	16 199	0	1 867	0	0
République populaire démocratique de Corée	4 542	-129	14 063	166	201	1
Singapour	102	44	0	0	0	0
Thaïlande	63 040	12 467	0	2 357	1 142	1
Timor-Leste	784	1 938	4 161	14	0	0
Viet Nam	62 530	-36 760	8 160	1 340	8 906	1
Amérique Latine et Caraïbes	909 180	-456 940	1 158 474	33 366	15 309	1 748
Anguilla	0	4	0	0	0	0
Antigua-et-Barbuda	22	7	0	0	0	0
Antilles néerlandaises	9	1	0	0	0	0
Argentine	112 377	-32 733	121 466	4 125	994	756
Aruba	0	0	0	0	0	0
Bahamas	26	346	0	41	0	0
Barbade	53	3	1	0	0	0
Belize	318	-803	2 270	228	542	42
Bolivie (État plurinational de)	23 183	-348	84 090	1 971	0	0
Brésil	441 905	-205 413	499 443	12 112	35	2

TABLEAU A.2**(SUITE)**

	ÉMISSIONS DUES À L'AGRICULTURE	FORÊTS		AUTRES UTILISATIONS DES TERRES		
		ÉMISSIONS/ STOCKAGE IMPUTABLES AUX FORÊTS	ÉMISSIONS DUES À LA CONVERSION NETTE DES FORÊTS	ÉMISSIONS DUES AU BRÛLAGE DE BIOMASSE	ÉMISSIONS DUES AUX TERRES CULTIVÉES	ÉMISSIONS DUES AUX PÂTURAGES
Chili	9 839	-105 380	0	306	115	19
Colombie	53 628	-3 154	17 542	1 564	3 058	504
Costa Rica	3 466	-24 861	13 421	7	70	0
Cuba	10 498	-14 007	0	44	0	0
Dominique	33	30	87	0	0	0
El Salvador	2 625	-39	771	1	0	0
Équateur	12 999	-552	34 285	17	150	0
Grenade	14	0	0	0	0	0
Guadeloupe	132	-24	25	0	0	0
Guatemala	8 393	-5 642	13 122	65	0	0
Guyana	2 282	330	10 670	6 001	3 199	297
Guyane française	59	-465	1 198	4	165	0
Haïti	3 904	-181	319	0	0	0
Honduras	5 916	-107	27 974	259	0	0
Îles Caïmanes	4	9	0	0	0	0
Îles Falkland (Malvinas)	142	0	0	0	0	0
Îles Turques et Caïques	0	23	0	0	0	0
Îles Vierges américaines	16	-93	12	0	0	0
Îles Vierges britanniques	8	2	1	0	0	0
Jamaïque	621	-50	197	2	631	0
Martinique	39	0	0	0	0	0
Mexique	84 719	-3 414	10 748	113	0	0
Montserrat	19	2	0	0	0	0
Nicaragua	7 681	-3 589	3 598	162	56	0
Panama	3 389	-240	7 573	6	1 208	0
Paraguay	27 645	-8 031	149 672	1 673	0	0
Pérou	23 264	-13 761	84 077	173	1 358	0
Porto Rico	790	-2 200	0	7	280	0
République dominicaine	7 783	-8 727	0	26	0	0
Sainte-Lucie	28	14	20	0	0	0
Saint-Kitts-et-Nevis	66	7	0	0	0	0
Saint-Vincent-et-les Grenadines	14	18	0	0	0	0
Suriname	759	33	1 755	803	1 961	71
Trinité-et-Tobago	249	-921	420	2	0	0
Uruguay	24 209	-10 663	0	2	103	40
Venezuela (République bolivarienne du)	36 053	-12 372	73 720	3 651	1 385	16
Afrique du Nord et Asie de l'Ouest	156 430	-85 564	5 757	72	1	0
Algérie	12 794	-804	364	37	0	0
Arabie saoudite	7 221	0	0	0	0	0

TABLEAU A.2
(SUITE)

	ÉMISSIONS DUES À L'AGRICULTURE	FORÊTS		AUTRES UTILISATIONS DES TERRES		
		ÉMISSIONS/ STOCKAGE IMPUTABLES AUX FORÊTS	ÉMISSIONS DUES À LA CONVERSION NETTE DES FORÊTS	ÉMISSIONS DUES AU BRÛLAGE DE BIOMASSE	ÉMISSIONS DUES AUX TERRES CULTIVÉES	ÉMISSIONS DUES AUX PÂTURAGES
Arménie	1 366	-147	0	0	0	0
Azerbaïdjan	6 447	-8 474	0	7	0	0
Bahreïn	35	-5	0	0	0	0
Chypre	369	-312	7	0	0	0
Égypte	31 055	-219	0	1	0	0
Émirats arabes unis	1 676	-213	0	0	0	0
Géorgie	2 612	0	0	6	0	0
Iraq	8 577	-2 040	0	1	0	0
Israël	1 375	-73	0	0	0	0
Jordanie	1 185	0	0	0	0	0
Koweït	417	-15	0	0	0	0
Liban	752	-4	0	0	0	0
Libye	2 554	0	0	0	0	0
Maroc	13 644	-5 178	3 711	1	0	0
Oman	1 578	-5	0	0	0	0
Palestine	273	-23	0	0	0	0
Qatar	822	0	0	0	0	0
République arabe syrienne	6 253	-1 214	0	2	0	0
Sahara occidental	184	0	0	0	0	0
Tunisie	4 436	-293	0	8	0	0
Turquie	43 192	-66 545	1 674	9	1	0
Yémen	7 612	0	0	0	0	0
Océanie, sauf Australie et Nouvelle-Zélande	7 570	-2 551	3 682	15 015	42 156	2
Samoa américaines	5	-5	14	0	0	0
Fidji	882	-3 124	0	7	127	0
Guam	4	0	0	0	0	0
Îles Cook	14	0	0	0	0	0
Îles Mariannes du Nord	0	0	61	0	0	0
Îles Marshall	0	0	0	0	0	0
Îles Pitcairn	0	0	0	0	0	0
Îles Salomon	62	294	1 686	0	0	0
Îles Wallis et Futuna	0	2	5	0	0	0
Kiribati	8	-6	0	0	0	0
Micronésie (États fédérés de)	17	-29	0	0	0	0
Nauru	1	0	0	0	0	0
Nioué	0	0	48	0	0	0
Nouvelle-Calédonie	221	0	0	3	0	0
Palaos	0	0	0	0	0	0

TABLEAU A.2
(SUITE)

	ÉMISSIONS DUES À L'AGRICULTURE	FORÊTS		AUTRES UTILISATIONS DES TERRES		
		ÉMISSIONS/ STOCKAGE IMPUTABLES AUX FORÊTS	ÉMISSIONS DUES À LA CONVERSION NETTE DES FORÊTS	ÉMISSIONS DUES AU BRÛLAGE DE BIOMASSE	ÉMISSIONS DUES AUX TERRES CULTIVÉES	ÉMISSIONS DUES AUX PÂTURAGES
Papouasie-Nouvelle-Guinée	5 658	331	1 869	15 005	42 029	2
Polynésie française	35	0	0	0	0	0
Samoa	149	0	0	0	0	0
Tokélaou	0	0	0	0	0	0
Tonga	89	0	0	0	0	0
Tuvalu	0	0	0	0	0	0
Vanuatu	426	-14	0	0	0	0
Asie du Sud	929 770	178 218	24 761	3 455	47 940	269
Afghanistan	14 794	0	0	0	0	0
Bangladesh	74 594	-5 037	2 507	501	31 226	24
Bhoutan	453	-3 813	0	24	0	0
Inde	626 864	112 200	0	1 785	8 484	26
Iran (République islamique d')	34 842	67 076	0	3	0	0
Maldives	2	2	0	0	0	0
Népal	22 058	0	0	1 090	5 234	219
Pakistan	150 341	7 450	21 151	1	0	0
Sri Lanka	5 823	342	1 103	51	2 996	0
Afrique subsaharienne	768 886	-219 893	1 027 664	569 273	39 534	5 435
Angola	29 584	155	34 311	59 602	111	97
Afrique du Sud	30 000	0	0	2 067	248	7
Bénin	4 776	-185	10 723	289	0	0
Botswana	5 569	-14 382	21 715	14 942	0	103
Burkina Faso	19 868	-3 845	12 646	296	0	0
Burundi	2 222	-1 606	0	789	3 068	6
Cabo Verde	112	-195	27	0	0	0
Cameroun	11 595	-1 273	109 806	3 810	1 078	0
Comores	237	-42	108	1	0	0
Congo	1 810	-597	8 664	3 064	1 135	29
Côte d'Ivoire	4 790	555	3 112	37	1 697	68
Djibouti	650	0	0	0	0	0
Érythrée	4 114	-749	1 409	0	0	0
Éthiopie	96 256	-6 021	3 370	8 729	12 101	336
Gabon	438	-94 600	0	44	392	4
Gambie	1 210	-359	0	114	0	0
Ghana	9 185	8 103	0	60	146	0
Guinée	11 301	-783	13 249	967	656	55
Guinée équatoriale	21	52	5 301	0	7	0
Guinée-Bissau	1 651	-284	1 751	6	0	0
Kenya	37 133	-31 533	0	34	262	1
Lesotho	1 447	-264	66	5	0	0

TABLEAU A.2
(SUITE)

	ÉMISSIONS DUES À L'AGRICULTURE	FORÊTS		AUTRES UTILISATIONS DES TERRES		
		ÉMISSIONS/ STOCKAGE IMPUTABLES AUX FORÊTS	ÉMISSIONS DUES À LA CONVERSION NETTE DES FORÊTS	ÉMISSIONS DUES AU BRÛLAGE DE BIOMASSE	ÉMISSIONS DUES AUX TERRES CULTIVÉES	ÉMISSIONS DUES AUX PÂTURAGES
Libéria	420	-13 973	15 154	47	116	14
Madagascar	21 957	4 918	9 749	4 340	1 321	1 360
Malawi	5 239	-1 764	4 698	857	550	1
Mali	29 722	6	6 536	625	0	0
Maurice	148	-15	0	0	0	0
Mauritanie	7 693	-2 161	643	0	0	0
Mayotte	0	-2	49	0	0	0
Mozambique	17 705	2 615	34 785	2 276	0	0
Namibie	6 060	45	7 846	1 059	0	0
Niger	23 128	27	1 440	80	0	0
Nigéria	64 239	-4 492	187 825	5 022	0	0
Ouganda	23 999	-717	18 317	1 739	6 404	68
République centrafricaine	17 678	5 857	7 343	125	0	0
République démocratique du Congo	18 528	-431	145 631	20 318	28	5
République-Unie de Tanzanie	49 696	-4 326	165 381	40 463	6 721	165
Réunion	163	0	0	0	0	0
Rwanda	2 996	-2 413	0	530	2 731	14
Sainte-Hélène	2	1	0	0	0	0
Sao Tomé-et-Principe	16	0	0	0	0	0
Sénégal	10 599	-4 371	8 771	734	0	0
Seychelles	4	0	0	0	0	0
Sierra Leone	2 826	5 683	0	431	0	0
Somalie	20 309	-3 359	16 559	2	0	0
Soudan	72 517	..	..	..	..	..
Soudan (ex)	..	-27 982	72 044	75 394	750	154
Soudan du Sud	43 098	..	..	..	..	..
Swaziland	925	8	138	98	0	0
Tchad	19 264	-700	25 633	275	0	0
Togo	2 605	-123	6 680	19	0	0
Zambie	22 954	-24 381	30 152	319 957	12	2 951
Zimbabwe	10 428	10	36 034	25	0	0

TABLEAU A.2**(SUITE)**

PAYS ET TERRITOIRES DÉVELOPPÉS	ÉMISSIONS DUES À L'AGRICULTURE	FORÊTS		AUTRES UTILISATIONS DES TERRES		
		ÉMISSIONS/ STOCKAGE IMPUTABLES AUX FORÊTS	ÉMISSIONS DUES À LA CONVERSION NETTE DES FORÊTS	ÉMISSIONS DUES AU BRÛLAGE DE BIOMASSE	ÉMISSIONS DUES AUX TERRES CULTIVÉES	ÉMISSIONS DUES AUX PÂTURAGES
Albanie	2 830	-737	224	0	156	0
Allemagne	60 636	-49 867	0	0	11 979	521
Andorre	0	-22	0	0	0	0
Australie	141 847	-72 969	0	3 269	3 150	29
Autriche	6 601	-5 428	295	0	234	7
Bélarus	19 989	-25 520	0	377	24 708	107
Belgique	8 787	-3 156	274	0	245	8
Bermudes	4	0	0	0	0	0
Bosnie-Herzégovine	2 573	0	0	13	135	0
Bulgarie	5 493	-11 367	0	11	1 441	0
Canada	61 783	-53 446	60 330	100 626	12 937	1 440
Croatie	2 572	-4 133	290	0	0	0
Danemark	9 445	-2 200	0	0	1 700	5
Espagne	36 426	-33 587	0	23	409	1
Estonie	2 636	-1 531	108	9	5 742	65
États-Unis d'Amérique	351 475	-192 867	0	66 783	72 180	1 828
Ex-République yougoslave de Macédoine	1 203	0	0	0	0	0
Fédération de Russie	92 228	-232 738	12 738	80 894	29 855	1 563
Finlande	5 612	0	0	0	5 619	95
France	72 264	-92 657	6 857	8	6 700	257
Gibraltar	0	0	0	0	0	0
Grèce	8 396	-2 200	0	30	1 492	0
Groenland	5	0	0	0	0	0
Hongrie	7 034	-3 593	0	12	7 819	11
Île de Man	2	-3	0	0	5	0
Îles Féroé	27	0	0	0	0	0
Îles Svalbard et Jan Mayen	0	..	..	0	0	0
Irlande	20 476	-1 393	0	0	477	476
Islande	452	-183	0	0	0	0
Italie	30 073	-35 200	0	1	905	7
Japon	20 709	-678	1 065	22	7 027	25
Kazakhstan	20 712	0	0	216	0	0
Kirghizistan	4 537	-816	0	0	0	0
Lettonie	3 150	-17 027	967	4	5 183	32
Liechtenstein	18	0	0	..	0	0
Lituanie	4 724	-7 594	1 654	1	6 345	30
Luxembourg	645	0	0	0	4	0

TABLEAU A.2**(SUITE)**

	ÉMISSIONS DUES À L'AGRICULTURE	FORÊTS		AUTRES UTILISATIONS DES TERRES		
		ÉMISSIONS/ STOCKAGE IMPUTABLES AUX FORÊTS	ÉMISSIONS DUES À LA CONVERSION NETTE DES FORÊTS	ÉMISSIONS DUES AU BRÛLAGE DE BIOMASSE	ÉMISSIONS DUES AUX TERRES CULTIVÉES	ÉMISSIONS DUES AUX PÂTURAGES
Malte	99	0	0	0	0	0
Monaco	0	..	..	..	0	0
Monténégro	384	0	0	0	62	0
Norvège	4 616	-25 770	1 570	2	2 135	114
Nouvelle-Zélande	38 654	-18 731	398	0	2 846	85
Ouzbékistan	28 195	-18 071	1 645	30	0	0
Pays-Bas	18 325	-2 493	0	0	3 505	148
Pologne	34 158	-40 333	0	1	14 867	357
Portugal	6 324	-603	1 924	11	427	3
République de Moldova	1 613	-1 254	0	5	165	1
République tchèque	6 295	-12 687	0	0	190	0
Roumanie	13 963	-165 066	0	142	1 155	0
Royaume-Uni	45 014	-15 400	0	0	2 801	383
Saint-Marin	0	0	0		0	0
Saint-Pierre-et-Miquelon	0	-1	3	0	0	0
Saint-Siège	0				0	0
Serbie	6 453	-3 105	1 785	1	3	0
Slovaquie	2 549	-5 296	163	0	43	0
Slovénie	1 433	-6 387	81	0	62	0
Suède	6 640	-42 436	34 003	296	4 148	29
Suisse	5 192	-1 833	0	0	268	13
Tadjikistan	5 530	0	0	0	0	0
Turkménistan	8 076	0	0	1	0	0
Ukraine	30 967	-18 333	0	2 400	12 400	117

TABLEAU A.3
ÉMISSIONS IMPUTABLES À L'AGRICULTURE EN ÉQUIVALENT CO₂, PAR SOURCE, 2014

	BRÛLAGE DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE	ÉCOUJAGE EN SAVANE	RÉSIDUS DE RÉCOLTE	CULTURE DE SOIS ORGANIQUES	FERMENTATION ENTERIQUE	GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE	DÉJECTIONS ANIMALES LAISSÉES SUR LES PÂTURAGES	FUMIER APPLIQUÉ SUR LES SOIS	RIZICULTURE	ENGRAIS DE SYNTHÈSE
	(en milliers de tonnes)									
MONDE	29 732	213 438	211 685	132 815	2 084 835	350 874	845 353	191 495	522 790	658 744
PAYS ET TERRITOIRES EN DÉVELOPPEMENT	21 721	165 043	133 883	65 465	1 617 857	198 919	712 007	116 462	500 039	440 522
Asie de l'est et du Sud-Est	8 125	3 776	54 597	45 521	291 009	107 795	117 309	53 302	315 408	203 238
Brunéi Darussalam	0	0	0	40	5	20	42	30	8	2
Cambodge	148	1 216	834	0	3 740	1 291	936	408	10 159	622
Chine - RAS de Hong-Kong	..	0	..	0	6	26	5	7	..	37
Chine - RAS de Macao	..	0	..	0	..	1	1	1	..	0
Chine continentale	5 011	112	35 899	883	203 958	73 639	82 777	38 049	112 860	154 453
Indonésie	920	217	5 914	34 168	20 844	7 454	11 156	4 902	61 260	18 779
Malaisie	31	8	205	4 289	1 065	927	1 122	756	2 592	3 282
Mongolie	9	825	45	3 065	9 956	1 183	5 406	868	..	119
Myanmar	336	859	2 393	1 962	21 549	7 554	5 787	2 725	22 315	1 029
Philippines	431	15	1 833	0	6 489	3 323	2 257	1 073	33 300	4 452
République de Corée	37	0	386	0	3 486	1 594	1 173	801	3 596	1 637
République démocratique populaire lao	62	66	365	0	3 219	1 154	871	382	1 976	..
République populaire démocratique de Corée	67	2	428	45	1 051	322	588	171	1 869	..
Singapour	..	0	..	0	6	52	12	15	..	17
Thaïlande	625	327	3 018	122	6 380	3 054	2 127	1 179	36 389	9 819
Timor-Leste	4	6	14	0	365	136	110	39	110	..
Viet Nam	445	123	3 263	947	8 891	6 067	2 936	1 895	28 972	8 991
Amérique Latine et Caraïbes	3 886	13 017	25 960	2 667	528 368	24 866	211 737	26 422	17 107	55 151
Anguilla	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Antigua-et-Barbuda	0	0	0	0	13	1	6	2	..	0
Antilles néerlandaises	..	0	..	0	4	1	3	1	..	..
Argentine	578	2 040	7 393	638	65 016	2 036	26 805	1 405	1 430	5 036
Aruba	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Bahamas	0	6	0	0	4	3	8	5	..	..
Barbade	0	0	0	0	18	7	15	9	..	3
Belize	3	3	6	76	118	7	51	6	2	46
Bolivie (État plurinational de)	55	394	452	0	14 180	857	6 214	652	226	153
Brésil	1 932	7 726	12 386	5	265 069	10 990	103 429	12 184	3 193	24 992
Chili	18	32	222	107	4 437	491	2 027	801	104	1 601

TABLEAU A.3
(SUITE)

	BRÛLAGE DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE	ÉCOUJAGE EN SAVANE	RÉSIDUS DE RÉCOLTE	CULTURE DE SOLS ORGANIQUES	FERMENTATION ENTERIQUE	GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE	DÉJECTIONS ANIMALES LAISSÉES SUR LES PÂTURAGES	FUMIER APPLIQUÉ SUR LES SOLS	RIZICULTURE	ENGRAIS DE SYNTHÈSE
Colombie	92	943	287	539	30 928	1 485	11 199	2 196	2 027	3 930
Costa Rica	6	10	20	7	1 856	123	558	274	33	579
Cuba	43	21	81	0	5 625	354	2 397	325	1 009	643
Dominique	0	0	0	0	21	1	7	3	..	0
El Salvador	29	2	68	0	1 389	95	499	149	4	390
Équateur	54	2	207	16	6 055	504	2 434	720	1 755	1 252
Grenade	0	0	0	0	8	1	5	1	..	..
Guadeloupe	1	0	..	0	89	4	36	3	..	..
Guatemala	82	41	138	0	4 489	436	1 685	508	7	1 008
Guyana	13	12	72	466	170	30	111	46	1 285	78
Guyane française	0	0	0	18	22	1	9	1	7	..
Haiti	33	0	55	0	2 295	183	1 063	167	108	..
Honduras	24	49	39	0	3 544	175	1 348	259	5	474
Îles Caïmanes	..	0	..	0	3	0	1	0	..	..
Îles Falkland (Malvinas)	..	0	..	0	80	2	60	0	..	..
Îles Turques et Caïques	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Îles Vierges américaines	..	0	..	0	11	1	5	1	..	..
Îles Vierges britanniques	..	0	..	0	5	0	3	0	..	..
Jamaïque	2	0	0	67	270	44	162	46	0	31
Martinique	0	0	..	0	23	3	11	2	..	..
Mexique	616	243	2 215	0	45 492	3 491	20 542	3 233	98	8 789
Montserrat	0	0	0	0	13	0	5	1	..	..
Nicaragua	31	56	78	6	4 878	202	1 711	337	56	326
Panama	11	6	33	128	2 026	105	817	112	26	124
Paraguay	91	305	1 059	0	17 307	490	6 928	256	353	856
Pérou	63	15	370	144	12 349	866	5 103	756	1 880	1 716
Porto Rico	0	0	0	30	486	31	192	52	..	..
République dominicaine	14	4	58	0	3 935	310	1 826	416	940	280
Sainte-Lucie	..	0	..	0	15	2	7	2	..	2
Saint-Kitts-et-Nevis	..	0	0	0	4	15	25	22	..	0
Saint-Vincent-et-les Grenadines	0	0	0	0	7	1	4	1	..	..
Suriname	3	5	20	239	46	11	29	13	366	30
Trinité-et-Tobago	0	0	1	0	57	39	84	59	9	0
Uruguay	30	1	490	28	14 923	361	6 143	276	984	973
Venezuela (République bolivarienne du)	61	1 101	212	154	21 091	1 105	8 171	1 119	1 199	1 840

TABLEAU A.3
(SUITE)

	BRÛLAGE DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE	ÉCOUJAGE EN SAVANE	RÉSIDUS DE RÉCOLTE	CULTURE DE SOLS ORGANIQUES	FERMENTATION ENTÉRIQUE	GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE	DÉJECTIONS ANIMALES LAISSÉES SUR LES PÂTURAGES	FUMIER APPLIQUÉ SUR LES SOLS	RIZICULTURE	ENGRAIS DE SYNTHÈSE
Afrique du Nord et Asie de l'Ouest	793	266	6 259	0	61 043	3 559	50 067	2 101	4 929	27 414
Algérie	52	141	348	0	5 531	293	4 538	170	1	1 721
Arabie saoudite	5	1	65	0	2 297	212	2 328	149	..	2 165
Arménie	4	1	51	0	625	50	502	29	..	105
Azerbaïdjan	22	5	190	0	3 239	164	2 483	101	6	237
Bahreïn	..	0	0	0	16	1	14	1	..	4
Chypre	0	1	3	0	116	68	100	35	..	46
Égypte	138	0	1 423	0	10 072	471	6 556	230	3 702	8 463
Émirats arabes unis	0	0	3	0	883	59	605	19	..	107
Géorgie	13	0	31	0	1 143	85	897	48	..	394
Iraq	72	54	477	0	3 505	200	2 669	113	541	946
Israël	2	0	28	0	423	86	510	69	..	258
Jordanie	1	0	9	0	467	35	467	22	..	184
Koweït	0	0	3	0	112	35	232	35	..	0
Liban	1	0	18	0	192	40	346	47	..	107
Libye	5	0	34	0	1 273	71	1 129	41	..	0
Maroc	105	2	615	0	5 690	357	5 105	240	26	1 504
Oman	0	0	2	0	803	47	561	10	..	156
Palestine	0	1	3	0	128	9	126	6	..	..
Qatar	0	0	0	0	138	13	104	7	..	561
République arabe syrienne	42	11	260	0	3 105	128	2 519	36	..	152
Sahara occidental	..	0	..	0	129	5	49	1	..	..
Tunisie	22	10	195	0	1 761	133	1 684	108	..	523
Turquie	301	38	2 427	0	15 514	793	13 325	508	652	9 634
Yémen	7	0	73	0	3 883	204	3 217	78	..	150
Océanie, sauf Australie et Nouvelle-Zélande	3	103	2	4 482	1 090	1 043	536	175	14	121
Fidji	2	1	1	14	462	108	242	29	6	18
Guam	0	0	0	0	1	2	0	1	..	..
Îles Cook	..	0	..	0	1	11	0	1	..	0
Îles Mariannes du Nord	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Îles Marshall	..	0	..	0	..	..	..	..	..	0
Îles Pitcairn	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Îles Salomon	0	0	0	0	22	21	10	4	5	..
Îles Wallis et Futuna	0	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Kiribati	..	0	..	0	0	5	0	2	..	..
Micronésie (États fédérés de)	0	0	0	0	1	12	1	2	1	..

TABLEAU A.3
(SUITE)

	BRÛLAGE DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE	ÉCOUJAGE EN SAVANE	RÉSIDUS DE RÉCOLTE	CULTURE DE SOLS ORGANIQUES	FERMENTATION ÉNERGIE	GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE	DÉJECTIONS ANIMALES LAISSÉES SUR LES PÂTURAGES	FUMIER APPLIQUÉ SUR LES SOLS	RIZICULTURE	ENGRAIS DE SYNTHÈSE
Nauru	..	0	..	0	0	1	0	0	..	..
Nioué	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Nouvelle-Calédonie	0	1	0	0	124	24	64	5	..	4
Palaos	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Papouasie- Nouvelle-Guinée	1	102	1	4 469	162	682	62	101	2	77
Polynésie française	0	0	0	0	13	12	7	3	..	1
Samoa	0	0	..	0	45	72	21	11	..	0
Samoa américaines	0	0	..	0	0	4	0	1	..	..
Tokélaou	..	0	..	0	0	0	0	0	..	..
Tonga	..	0	..	0	22	30	11	5	..	21
Tuvalu	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Vanuatu	0	0	0	0	237	59	119	11	..	..
Asie du Sud	5 447	270	34 818	5 223	426 528	42 739	112 636	25 483	138 043	138 583
Afghanistan	103	8	554	0	8 415	680	3 257	514	647	616
Bangladesh	546	4	4 067	3 329	23 793	2 268	9 530	1 695	24 673	4 690
Bhoutan	3	2	12	0	275	25	67	13	49	6
Inde	3 779	160	24 759	913	283 500	28 428	64 594	15 216	96 207	109 309
Iran (République islamique d')	247	53	1 391	0	15 070	2 053	9 149	2 467	2 723	1 690
Maldives	0	0	0	0	..	..	..	..	..	2
Népal	164	8	749	663	11 930	1 112	2 928	664	3 270	570
Pakistan	562	25	3 013	0	82 329	8 024	22 830	4 827	8 500	20 232
Sri Lanka	44	10	272	318	1 216	150	282	88	1 974	1 468
Afrique subsaharienne	3 467	147 611	12 247	7 571	309 819	18 917	219 721	8 980	24 538	16 017
Afrique du Sud	290	2 341	1 030	29	12 529	869	9 677	407	7	2 823
Angola	129	21 097	207	53	3 922	618	2 918	341	177	122
Bénin	79	1 012	136	0	1 816	155	1 373	75	44	86
Botswana	8	2 287	10	44	1 742	71	1 247	26	..	137
Burkina Faso	65	1 268	354	0	9 062	826	6 846	378	755	312
Burundi	9	13	48	329	896	101	699	56	35	36
Cabo Verde	2	0	1	0	44	16	39	10	..	..
Cameroun	78	1 279	260	115	4 944	502	3 755	255	248	158
Comores	1	0	4	0	52	2	42	1	134	..
Congo	2	1 145	3	133	271	27	209	13	5	2
Côte d'Ivoire	45	834	190	209	1 461	153	1 288	91	241	277
Djibouti	0	0	0	0	377	17	251	4	..	..
Érythrée	2	26	31	0	2 375	98	1 536	42	..	3
Éthiopie	221	3 432	1 289	1 436	50 196	2 048	35 179	794	138	1 524
Gabon	2	186	3	43	67	39	60	24	1	12

TABLEAU A.3
(SUITE)

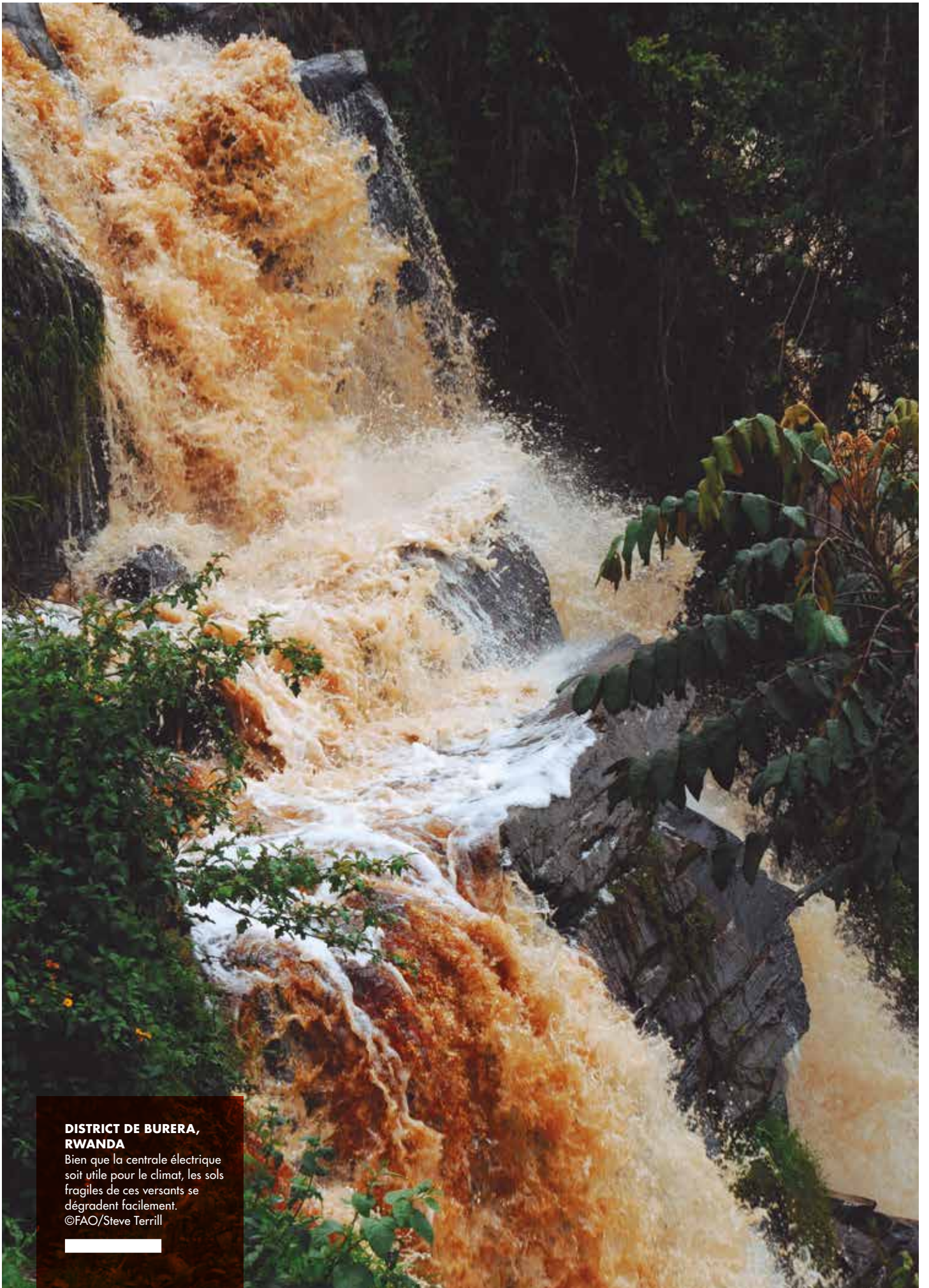
	BRÛLAGE DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE	ÉCOUJAGE EN SAVANE	RÉSIDUS DE RÉCOLTE	CULTURE DE SOUS ORGANIQUES	FERMENTATION ENTERIQUE	GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE	DÉJECTIONS ANIMALES LAISSÉES SUR LES PÂTURAGES	FUMIER APPLIQUÉ SUR LES SOLS	RIZICULTURE	ENGRAIS DE SYNTHÈSE
Gambie	6	131	20	0	389	19	283	7	351	5
Ghana	90	3 580	207	15	2 290	249	2 050	141	316	246
Guinée	81	1 714	265	93	3 835	173	2 768	68	2 288	17
Guinée équatoriale	..	0	..	1	9	2	8	1	..	..
Guinée-Bissau	6	228	25	0	612	100	448	55	176	..
Kenya	175	218	371	45	20 718	869	13 942	420	42	334
Lesotho	8	68	11	0	755	27	557	20	..	..
Libéria	11	0	37	18	101	54	109	34	54	..
Madagascar	92	1 669	393	719	7 388	532	5 238	279	5 574	73
Malawi	138	237	340	59	1 554	507	1 273	307	103	721
Mali	93	3 904	531	0	12 418	591	8 978	221	1 006	1 980
Maurice	3	0	0	0	10	12	60	9	2	52
Mauritanie	4	45	31	0	4 409	217	2 677	57	253	..
Mozambique	153	12 685	212	0	1 732	373	1 411	229	553	357
Namibie	2	2 032	10	0	2 215	102	1 644	38	..	16
Niger	2	215	547	0	12 766	598	8 689	179	23	110
Nigéria	599	2 331	2 143	0	25 847	2 313	20 967	1 167	7 117	1 755
Ouganda	94	1 164	294	720	11 737	830	8 484	464	140	72
République centrafricaine	9	10 911	19	0	3 596	298	2 674	143	25	1
République démocratique du Congo	166	15 497	208	5	1 045	220	921	130	256	81
République-Unie de Tanzanie	377	6 734	871	787	21 102	874	14 977	453	3 019	502
Réunion	1	0	1	0	34	22	87	17	0	..
Rwanda	21	17	124	296	1 215	208	922	124	24	45
Sainte-Hélène	..	0	..	0	1	0	1	0	..	..
Sao Tomé-et- Principe	0	0	0	0	3	6	3	4	..	..
Sénégal	18	2 630	96	0	3 970	289	3 128	132	198	137
Seychelles	..	0	..	0	1	1	1	1	..	0
Sierra Leone	30	157	135	0	837	67	679	28	894	..
Somalie	8	25	33	0	13 010	648	6 439	143	4	..
Soudan	15	4 142	926	0	37 898	1 563	24 742	893	46	2 293
Soudan du Sud	22	21 485	106	145	11 911	488	8 727	214	..	0
Swaziland	10	40	7	0	482	25	348	13	0	..
Tchad	23	4 898	210	0	8 176	382	5 259	96	221	..
Togo	58	344	127	0	901	128	811	72	20	144
Zambie	99	13 453	224	2 277	3 075	313	2 341	162	49	960
Zimbabwe	120	2 135	157	0	4 020	275	2 957	141	0	621

TABLEAU A.3
(SUITE)

	BRÛLAGE DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE	ÉCOUJAGE EN SAVANE	RÉSIDUS DE RÉCOLTE	CULTURE DE SOLS ORGANIQUES	FERMENTATION ENTERIQUE	GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE	DÉJECTIONS ANIMALES LAISSÉES SUR LES PÂTURAGES	FUMIER APPLIQUÉ SUR LES SOLS	RIZICULTURE	ENGRAIS DE SYNTHÈSE
PAYS ET TERRITOIRES DÉVELOPPÉS	8 011	48 395	77 803	67 350	466 978	151 955	133 347	75 033	22 752	218 222
Albanie	7	0	47	17	1 479	426	410	248	0	197
Allemagne	139	0	3 410	4 740	22 018	10 346	2 950	5 268	..	11 766
Andorre	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Australie	422	42 022	3 040	348	50 475	5 251	29 635	1 092	496	9 066
Autriche	27	0	339	47	3 199	1 282	468	684	..	555
Bélarus	32	2	578	5 708	6 778	1 991	600	1 357	..	2 944
Belgique	12	0	243	43	3 786	1 959	526	995	..	1 224
Bermudes	..	0	0	0	2	1	0	0	..	..
Bosnie-Herzégovine	15	0	66	25	1 049	375	207	231	..	605
Bulgarie	72	0	626	161	1 294	357	243	267	65	2 408
Canada	393	1 516	4 058	8 873	15 820	6 121	5 050	1 655	..	18 296
Croatie	25	0	176	0	889	433	163	223	..	664
Danemark	22	0	677	383	3 015	2 704	359	1 134	..	1 151
Espagne	106	22	1 401	44	12 289	7 847	3 036	3 404	1 164	7 112
Estonie	5	0	89	1 496	472	182	66	95	..	231
États-Unis d'Amérique	3 297	808	31 024	10 021	119 973	42 990	37 995	16 463	8 682	80 221
Ex-République yougoslave de Macédoine	5	0	46	0	597	168	135	96	30	125
Fédération de Russie	962	1 415	8 379	12 791	35 487	11 157	4 980	8 197	1 150	7 710
Finlande	8	0	292	1 600	1 543	604	223	322	..	1 019
France	312	2	4 674	934	29 666	9 881	4 836	5 969	177	15 815
Gibraltar	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Grèce	32	9	294	159	3 102	745	1 505	473	321	1 756
Groenland	..	0	..	0	3	0	1	0	..	..
Hongrie	128	0	961	899	1 509	752	226	539	14	2 006
Île de Man	..	0	..	2	..	..	..	..	..	..
Îles Féroé	..	0	0	0	16	2	7	2	..	..
Îles Svalbard et Jan Mayen	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
Irlande	2	0	181	1 402	10 705	2 683	1 881	1 709	..	1 912
Islande	..	0	0	0	231	45	78	28	..	70
Italie	136	3	1 242	99	11 970	5 323	2 170	2 933	2 323	3 873
Japon	76	0	795	833	4 647	2 111	1 606	1 178	6 876	2 587
Kazakhstan	388	2 524	1 551	0	9 474	1 751	3 116	1 082	439	387
Kirghizistan	18	0	119	0	2 559	443	859	299	37	202
Lettonie	12	0	164	1 237	733	267	100	152	..	485
Liechtenstein	..	..	..	0	11	3	2	2	..	..

TABLEAU A.3
(SUITE)

	BRÛLAGE DES RÉSIDUS DE RÉCOLTE	ÉCOUJAGE EN SAVANE	RÉSIDUS DE RÉCOLTE	CULTURE DE SOIS ORGANIQUES	FERMENTATION ENTERIQUE	GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE	DÉJECTIONS ANIMALES LAISSÉES SUR LES PÂTURAGES	FUMIER APPLIQUÉ SUR LES SOIS	RIZICULTURE	ENGRAIS DE SYNTHÈSE
Lituanie	24	0	349	1 476	1 294	487	171	265	..	658
Luxembourg	0	0	10	1	299	87	43	50	..	155
Malte	0	0	2	0	30	27	5	10	..	25
Monaco	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
Monténégro	0	0	3	7	225	63	43	35	..	8
Norvège	2	1	89	937	1 719	511	399	303	..	657
Nouvelle-Zélande	3	1	75	379	21 179	3 198	11 240	465	..	2 115
Ouzbékistan	51	32	597	0	14 349	3 039	3 788	1 696	212	4 433
Pays-Bas	5	0	180	1 373	7 749	4 208	1 084	2 132	..	1 594
Pologne	127	0	1 679	4 676	9 758	3 900	865	2 620	..	10 534
Portugal	12	6	79	47	2 673	1 345	567	683	301	612
République de Moldova	47	0	199	33	509	195	113	181	..	336
République tchèque	34	0	602	40	2 103	705	205	486	..	2 121
Roumanie	263	0	1 401	123	5 520	1 917	1 316	1 389	75	1 959
Royaume-Uni	61	0	1 775	2 164	20 019	4 935	5 175	3 396	..	7 490
Saint-Marin	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
Saint-Pierre-et- Miquelon	..	0	..	0	0	0	0	0	..	..
Saint-Siège	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
Serbie	102	0	641	0	2 093	1 067	393	520	..	1 637
Slovaquie	29	0	302	9	792	286	99	195	..	837
Slovénie	4	0	38	7	729	229	112	133	..	180
Suède	14	0	395	1 006	2 398	818	382	457	..	1 169
Suisse	4	0	67	105	2 766	966	396	521	..	367
Tadjikistan	11	4	101	0	3 151	593	886	366	51	366
Turkménistan	15	24	121	0	4 560	785	1 745	549	277	..
Ukraine	552	5	4 627	3 104	8 273	4 393	885	2 487	60	6 582



**DISTRICT DE BURERA,
RWANDA**

Bien que la centrale électrique soit utile pour le climat, les sols fragiles de ces versants se dégradent facilement.

©FAO/Steve Terrill

RÉFÉRENCES

CHAPITRE 1

Alexandratos, N. et Bruinsma, J. 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. Rome, FAO.

Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. et Cattaneo, A. 2014. *Climate variability, adaptation strategies and food security in Malawi*. ESA Working Paper No. 14-08. Rome, FAO.

Banque mondiale. 2008. *Rapport sur le développement dans le monde 2008: L'Agriculture au service du développement*. Washington, Banque mondiale.

Branca, G., McCarthy, N., Lipper, L. et Jolejole, M. 2011. *Climate-smart agriculture: a synthesis of empirical evidence of food security and mitigation benefits from improved cropland management*. FAO Mitigation of Climate Change in Agriculture Series No. 3. Rome, FAO.

CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques). 1992. *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. New York, États-Unis d'Amérique, Nations Unies.

CCNUCC. 2015. *Adoption de l'Accord de Paris. Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. Paris.

Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B. et Woodward, A. 2007. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson, sous la dir. de *Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (Royaume-Uni), Cambridge University Press, pp. 391–431.

De Pinto, A., Thomas, T. et Wiebe, K. 2016. *Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security*. Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016*. Washington, IFPRI (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires). (non publié).

FAO. FAOSTAT. Base de données statistiques en ligne (voir <http://faostat.fao.org/>). Rome.

FAO. 2006. Notes d'orientation, n° 2: *Sécurité alimentaire*, Juin 2006. Rome.

FAO. 2010. *Pour une agriculture intelligente face au climat: Politiques, pratiques et financements en matière de sécurité alimentaire, d'atténuation et d'adaptation*. Rome.

FAO. 2011. *Aliments «énergétiquement intelligents» pour les gens et le climat*. Brève analyse. Rome.

FAO. 2012. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2012*. Rome.

FAO. 2013. *Directives relatives au changement climatique à l'intention des gestionnaires forestiers*. Étude FAO: Forêts 172. Rome.

FAO. 2014. *Construire une vision commune pour une alimentation et une agriculture durables. Principes et approches*. Rome.

FAO. 2016. *The agriculture sectors in the Intended Nationally Determined Contributions: Summary*. Rome.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2014: Résumé à l'intention des décideurs. In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel et J.C. Minx, (sous la direction de). *Changements climatiques 2014: Atténuation du changement climatique. Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.

Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch U., Rozenberg, J., Treguer, D. et Vogt-Schilb, A. 2016. *Ondes de choc: Maîtriser les impacts du changement climatique sur la pauvreté*. Série sur le changement climatique et le développement. Washington, Banque mondiale.

IFPRI (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires). 2015. *Global Nutrition Report 2015: Actions and accountability to advance nutrition and sustainable development*. Washington.

Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D.B., Bloom, A.J., Carlisle, E., Dietterich, H.L., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N.M., Nelson, R.L., Ottman, M.J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K.A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M. et Usui, Y. 2014. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 510: 139-142.

OMS (Organisation mondiale de la santé). 2003. *Climate Change and Human Health – risks and responses. Summary.* Genève.

Paerl, H. et Huisman, J. 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*, Vol. 1(1): 1–95.

Paterson, R. et Lim, N. 2010. How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43: 1902–1914.

Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. et Travasso, M.I. 2014. Food security and food production systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, sous la dir. de *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation, et vulnérabilité. Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press, pp. 485–533.

Schleussner, C.F., Lissner, T.K., Fischer, E.M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W. et Schaeffer, M. 2016. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1,5 °C and 2 °C. *Earth System Dynamics*, 7:327–351.

Searchinger, D.T., Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Dumas, P. et Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528: 51–59.

Smith P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N.H., Rice, C.W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F. et Tubiello, F. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel et J.C. Minx, eds. *Changements climatiques 2014: Atténuation du changement climatique. Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.

Thornton P., Ericksen P.J., Herrero M., et Challinor A.J. 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biology*, 20: 3313–3328.

Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. et Ingram, J.S.I. 2012. Climate Change and Food Systems, *Annual Review of Environment and Resources*, 37: 195–222.

Wijesinha-Bettoni, R., Kennedy, G., Dirorimwe, C. et Muehlhoff, E. 2013. Considering seasonal variations in food availability and caring capacity when planning complementary feeding interventions in developing countries. *International Journal of Child Health and Nutrition*, 2 (4): 335–352.

Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. et Campbell, B.M. 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology*. À paraître.

Zeza, A., Davis, B., Azzarri, C., Covarrubias, K., Tasciotti, L. et Anriquez, G. 2008. *The impact of rising food prices on the poor.* ESA Working Paper 08–07. Rome, FAO.

RÉFÉRENCES

CHAPITRE 2

- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A. et Cobb, N.** 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 660–684.
- Alling, A., Doherty, O., Logan, H., Feldman, L. et Dustan, P.** 2007. Catastrophic coral mortality in the remote Central Pacific Ocean: Kiribati, Phoenix Islands. *Atoll Research Bulletin*, 551: 1–19.
- Antle, J.M. et Crissman, C.C.** 1990. Risk, efficiency, and the adoption of modern crop varieties: evidence from the Philippines. *Economic Development and Cultural Change*, 38(3): 517–537.
- Arnell, N.W., Cannell, M.G., Hulme, M., Kovats, R.S., Mitchell, J.F., Nicholls, R.J., Parry, M.L., Livermore, M.T.J. et White, A.** 2002. The consequences of CO₂ stabilisation for the impacts of climate change. *Climatic Change*, 53(4): 413–446.
- Arslan, A., Belotti, F. et Lipper, L.** 2016. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*. ESA Working Paper 16-03. Rome, FAO.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A. et Kokwe, M.** 2015. Climate-smart agriculture? assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. et Lipper, L.** 2015a. *Welfare cost of weather fluctuations and climate shocks in Ethiopia*. Mimeo.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. et Lipper, L.** 2015b. *Adaptation to climate change and food security in Ethiopia*. FAO-ESA Working Paper. Rome, FAO.
- Asfaw, S., Di Battista, F. et Lipper, L.** 2015. *Effects of weather fluctuations and climate shocks on household welfare: evidence from Niger*. Mimeo.
- Asfaw, S., Maggio, G. et Lipper, L.** 2015. *Gender differentiated impact of climate shock in Malawi*. ESA Working Paper.
- Banque mondiale.** 2010. Développement et changement climatique – Rapport sur le développement dans le monde. Washington.
- Bárcena, A., Prado, A., Samaniego, J. et Pérez, R.** 2014. *The economics of climate change in Latin America and the Caribbean: paradoxes and challenges*. Commission économique des Nations Unies pour l'Amérique latine et les Caraïbes.
- Brander, K.M.** 2007. Global fish production and climate change. *PNAS*, 104(50): 19709–19714.
- CGIAR, CCAFS et University of Leeds.** 2016. Agriculture Impacts. (Voir <http://www.ag-impacts.org>).
- Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R. et Chhetri, N.** 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287–291.
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D. et Pauly, D.** 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16: 24–35.
- Chomo, V. et De Young, C.** 2015. Towards sustainable fish food and trade in the face of climate change. *BIORES*, 9(2).
- Ciais, P., Schelhaas, M.J., Zaehle, S., Piao, L., Cescatti, A., Liski, J., Luysaert, S., Le-Maire, G., Schulze, E.D., Bouriaud, O., Freibauer, A., Valentini, R. et Nabuurs, G.J.** 2008. Carbon accumulation in European forests. *Nature Geoscience*, 1(7): 425–429.
- Cline, W.R.** 2007. *Global warming and agriculture: impact estimates by country*. Washington, Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.

De Pinto, A., Thomas, T. et Wiebe, K. 2016. Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security. Document d'information élaboré en vue de l'édition 2016 de *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*. Washington, IFPRI (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires). (Non publié).

Dercon, S. et Christiaensen, L. 2011. Consumption risk, technology adoption and poverty traps: evidence from Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 96: 159–173.

Fafchamps, M. 1992. Solidarity networks in pre-industrial societies: rational peasants with a moral economy. *Economic Development and Cultural Change*, 41: 147–174.

FAO. (à paraître). FAOSTAT. Base de données statistiques en ligne (voir <http://faostat.fao.org/>).

FAO. 2011. *FAO-Adapt: Programme-cadre sur l'adaptation au changement climatique*. Rome.

FAO. 2015. *The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition*. Rome.

FAO. 2016a. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome.

FAO. 2016b. *2015–2016 El Niño – Early action and response for agriculture, food security and nutrition*. Rome.

FAO. 2016c. *Climate change implications for fisheries and aquaculture: Summary of the findings of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report*, by A. Seggel et C. De Young. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1122. Rome.

FAO. 2016d. FAOSTAT. Base de données statistiques en ligne (consultée le 30 juillet 2016) (voir <http://faostat.fao.org/>).

Feder, G., Just, R. et Zilberman, D. 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: a survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33: 255–298.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2007. In: Équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et A. Reisinger, (sous la direction de). *Changements climatiques 2007: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and A. Reisinger, sous la dir. de]. Genève (Suisse), 104 pp.

GIEC. 2014. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, (sous la direction de). *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie B: Aspects régionaux. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.

Gray, J., Dautel, H., Estrada-Peña, A., Kahl, O. et Lindgren, E. 2009. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2009: ID 593232.

Hallegatte, S., Mook B., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch, U., Rozenberg, J., Treguer, D. et Vogt-Schilb, A. 2015. *Ondes de choc: Maîtriser les impacts du changement climatique sur la pauvreté. Série sur le changement climatique et le développement*. Washington, Banque mondiale.

Heltberg, R. et Tarp, F. 2002. Agricultural supply response and poverty in Mozambique. *Food Policy*, 27(2): 103–124.

HLPE (Groupe d'experts de haut niveau). 2012. *Sécurité alimentaire et changement climatique. Un rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale*, Rome.

Hurley, T. 2010. *Review of agricultural production risk in the developing world*. Harvest Choice Working Paper 11. Washington, IFPRI.

RÉFÉRENCES

- Kassie, M., Pender, J., Mahmud, Y., Kohlin, G., Bluffstone, R. et Mulugeta, E.** 2008. Estimating returns to soil conservation adoption in the Northern Ethiopian Highlands. *Agricultural Economics*, 38: 213–232.
- Kirtman, B., Power, S.B., Adedoyin, J.A., Boer, G.J., Bojariu, R., Camilloni, I., Doblas-Reyes, F.J., Fiore, A.M., Kimoto, M., Meehl, G.A., Prather, M., Sarr, A., Schär, C., Sutton, R., van Oldenborgh, G.J., Vecchi, G. et Wang, H.J.** 2014. Near-term climate change: projections and predictability. In: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley, (sous la direction de). *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.
- Krishnamurthy, P.K., Lewis, K. et Choularton R.J.** 2014. A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index. *Global Environmental Change*, 25: 121–132.
- Lam, V.W.Y., Cheung, W.W.L., Swartz, W. et Sumaila, U.R.** 2012. Climate change impacts on fisheries in West Africa: implications for economic, food and nutritional security. *African Journal of Marine Science*, 34(1): 103–117.
- Lancelot, R., de La Rocque, S. et Chevalier, V.** 2008. Bluetongue and Rift Valley fever in livestock: a climate change perspective with a special reference to Europe, the Middle East and Africa. In: P. Rowlinson, M. Steele et A. Nefzaoui (sous la direction de). *Livestock and global climate change. Proceedings of the British Society of Animal Science (BSAS) International Conference on Livestock and Global Climate Change, Hammamet, Tunisia, 17–20 May 2008*, pp. 87–89. Cambridge (Royaume-Uni) Cambridge University Press.
- Lobell, D.B., Schlenker, W. et Costa-Roberts, J.** 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042): 616–620.
- Lozanoff, J. et Cap, E.** 2006. *Impact of climate change over Argentine agriculture: an economy study*. Argentina, INIA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).
- Marlier M.E., DeFries R.S., Voulgarakis A., Kinney P.L., Randerson J.T., Shindell D.T., Chen Y. et Faluvegi G.** 2013. El Niño and health risks from landscape fire emissions in Southeast Asia. *Nature Climate Change*, (3): 131–6.
- Mendelsohn, R.O., Arellano, J. et Christensen, P.** 2010. A Ricardian analysis of Mexican farms. *Environment and Development Economics*, 15(2): 153–171.
- Met Office Hadley Centre et WFP.** 2015. Food Insecurity and Climate Change. (voir <http://www.metoffice.gov.uk/food-insecurity-index/>)
- Miles, L., Newton, A.C., DeFries, R.S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V. et Gordon, J.E.** 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3): 491–505.
- Moss, R.H., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J. F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., van Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T., van Ypersele, J. P., et Zurek, M.** 2008. *Élaboration de nouveaux scénarios destinés à analyser les émissions, les changements climatiques, les incidences et les stratégies de parade*. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- Müller, C. et Elliott, J.** 2015. The Global Gridded Crop Model intercomparison: approaches, insights and caveats for modelling climate change impacts on agriculture at the global scale. In: A. Elbehri (sous la direction de). *Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade*. Rome, FAO.
- Nelson, G., van der Mensbrugge, D., Ahammad, H., Blanc, E., Calvin, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Heyhoe, E., Kyle, P., Lotze-Campen, H., von Lampe, M., Mason d'Croze, D., van Meijl, H., Müller, C., Reilly, J., Robertson, R., Sands, R., Schmitz, C., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H. et Willenbockel, D.** 2014a. Agriculture and climate change in global scenarios: why don't the models agree? *Agricultural Economics*, 45(1): 85–101.

Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M. et Lee, D. 2009. *Climate change – impact on agriculture and cost of adaptation*. Washington, IFPRI.

Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T.B., Ringler, C. et Msangi, S. 2010. *Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options*. Washington, IFPRI.

Nelson, G.C., Valin, H., Sands, R.D., Havlik, P., Ahammad, H., Deryng, D., Elliott, J., Fujimori, S., Hasegawa, T., Heyhoe, E., Kyle, P., Von Lampe, M., Lotze-Campen, H., d’Croz, D.M., van Meijl, H., van der Mensbrugge, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., Schmid, E., Schmitz, C., Tabeau, A. et Willenbockel, D. 2014b. Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3274–3279.

Niang, I., Ruppel, O.C., Abdrabo, M.A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J. et Urquhart, P. 2014. Africa. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, (sous la direction de). *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation, et vulnérabilité. Partie B: Aspects régionaux. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d’Amérique), Cambridge University Press.

NOAA (Administration nationale des océans et de l’atmosphère). 2015. NOAA declares third ever global bleaching event. (voir <http://www.noaanews.noaa.gov/stories2015/100815-noaa-declares-third-ever-global-coral-bleaching-event.html>).

O’Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., et Solecki, W. 2015. The roads ahead: narratives for shared socio-economic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*.

O’Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R. et van Vuuren, D.P. 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socio-economic pathways. *Climatic Change*, 122(3): 387–400.

Obura, D. et Mangubhai, S. 2011. Coral mortality associated with thermal fluctuations in the Phoenix Islands, 2002–2005. *Coral Reefs*, 30 (3): 607–619.

Parry, M., Rosenzweig, C. et Livermore, M. 2005. Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360 (1463): 2125–2138.

Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. et Travasso, M.I. 2014. Food security and food production systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, (sous la direction de). *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d’Amérique), Cambridge University Press, pp. 485–533.

Roe, T. et Graham-Tomasi, T. 1986. Yield risk in a dynamic model of the agricultural household. In: I. Singh, L. Squire et J. Strauss, (sous la direction de). *Agricultural household models: extension, applications and policy*. Publication de recherche de la Banque mondiale. Baltimore (États-Unis d’Amérique), Johns Hopkins University Press, pp. 255–276.

Rosenthal, J. 2009. Climate change and the geographic distribution of infectious diseases. *Ecohealth*, 6: 489–495.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K.J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T.A.M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H. et Jones, J.W. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3268–3273.

RÉFÉRENCES

- Rosenzweig, C., et Parry, M.L.** 1994. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367: 133–138.
- Rosenzweig, C., Jones, J., Hatfield, J., Ruane, A., Boote, K., Thorburne, P., Antle, J., Nelson, G., Porter, C., Janssen, S., Asseng, S., Basso, B., Ewert, F., Wallach, D., Baigorria, G. et Winter, J.** 2013. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 166–182.
- Rosenzweig, M.R. et Binswanger, H.P.** 1993. Wealth, weather risk and the composition and profitability of agricultural investments. *The Economic Journal*, 103: 56–78.
- Rozenberg, J. et Hallegatte, S.** 2015. *The impacts of climate change on poverty in 2030 and the potential from rapid, inclusive, and climate-informed development*. Policy Research Paper No. 7483. Washington, Banque mondiale.
- Sadoulet, E. et de Janvry, A.** 1995. *Quantitative development policy analysis*. Chapter 5. Baltimore (États-Unis d'Amérique), Johns Hopkins University Press.
- Sanghi, A., et Mendelsohn, R.** 2008. The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. *Global Environmental Change*, 18(4): 655–665.
- Sejian, V., Maurya, V.P., Kumar, K. et Naqvi, S.M.K.** 2012. Effect of multiple stresses (thermal, nutritional and walking stress) on growth, physiological response, blood biochemical and endocrine responses in Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*, 45: 107–116.
- Seo, N.** 2011. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. *Ecological Economics*, 70(4): 825–834.
- Seo, N., et Mendelsohn, R.** 2007. *An analysis of crop choice: adapting to climate change in Latin American Farms*. Washington, Banque mondiale.
- Seo, N., et Mendelsohn, R.** 2008. A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68(1): 69–79.
- Settele, J., Scholes, R., Betts, R., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., Overpeck, J.T. et Taboada, M.A.** 2014. Terrestrial and inland water systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White (sous la direction de). *Changements climatiques 2014: incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni), et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.
- Skees, J., Hazell, P. et Miranda, M.** 1999. *New approaches to crop yield insurance in developing countries*. Environmental and Production Technology Division (EPTD) Discussion Paper No. 55. Washington, IFPRI, 40 pp.
- Thornton, P., van de Steeg, J., Notenbaert, A. et Herrero, M.** 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: Review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101(3): 113–127.
- Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gallop, A. et Frank, J.M.** 2010. Climate change and food safety: a review. *Food Research International*, 43(7): 1745–1765.
- Turrall, H., Burke, J. et Faurès, J.M.** 2011. *Climate change, water and food security*. Rome, FAO.
- Valenzuela, E. et Anderson, K.** 2011. *Climate change and food security to 2050: a global economy-wide perspective*, Paper presented at 55th Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, 9–11 February 2011.
- Van der Mensbrugge, D.** 2015. *Shared Socio-Economic Pathways and Global Income Distribution*. Paper presented at the 18th Annual Conference on Global Economic Analysis, 17–19 June 2015, Melbourne, Australia.

Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., van der Mensbrugghe, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D'Croz, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., van Meijl, H. et Willenbockel, D. 2015. Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios, *Environmental Research Letters*, 10(08): 1–15.

Williams, A.P., Allen, C.D., Macalady, A.K., Griffin, D., Woodhouse, C.A., Meko, D.M., Swetnam, T.W., Rauscher, S.A., Seager, R., Grissino-Mayer, H.D., Dean, J.S., Cook, E.R., Gangodagamage, C., Cai, M. et McDowell, N.G. 2013. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, 3: 292–297.

Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. et Campbell, B.M. 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology*. À paraître.

Yohe, G.W., Lasco, R.D., Ahmad, Q.K., Arnell, N.W., Cohen, S.J., Hope, C., Janetos, A.C. et Perez, R.T. 2007. Perspectives on climate change and sustainability. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson, (sous la direction de). *Changements climatiques 2007: Incidences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni), Cambridge University Press, pp. 811–841.

CHAPITRE 3

Acosta, M., Ampaire, E., Okolo, W. et Twyman, J. 2015. *Gender and climate change in Uganda: effects of policy and institutional frameworks*. CCAFS Info Note. Copenhagen, GCRAI Programme de recherche sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire (CCAFS).

Agwu, J. et Okhimamwe, A.A. 2009. *Gender and climate change in Nigeria*. Lagos, Nigeria, Heinrich Böll Stiftung (HBS).

Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems, *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 869.

Archer, L. et Yamashita, H. 2003. Theorizing inner-city masculinities: race, class, gender and education. *Gender and Education*, 15(2): 115–132.

Arslan, A., Cavatassi, R., Alfani, F., McCarthy, N., Lipper, L. et Kokwe, M. 2016b. *Is diversification a climate-smart agriculture strategy in rural Zambia?* Contributed Paper accepted to the Seventh International Conference in Agricultural Statistics, organized by FAO and ISTAT (Italian National Institute of Statistics), Rome. (à paraître en tant que document de travail FAO ESA).

Arslan, A., Lamanna, C., Lipper, L., Rosenstock, T. et Rioux, J. 2016a. *A meta-analysis on the barriers to adoption of practices with CSA potential in Africa*. Mimeo.

Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S. et Cattaneo, A. 2014. Adoption and Intensity of Adoption of Conservation Agriculture in Zambia. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 187: 72–86.

Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A., et Kokwe, M. 2015. Climate smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.

Asfaw, S. et Lipper, L. 2016. *Managing climate risk using climate-smart agriculture*. Rome, FAO.

Asfaw, S., Coromaldi, M. et Lipper, L. 2016. *Welfare cost of climate and weather fluctuation in Ethiopia*. Mimeo.

Asfaw, S., Di Battista, F. et Lipper, L. 2016. Agricultural technology adoption under climate change in the Sahel: micro-evidence from Niger. *Journal of African Economies*.

RÉFÉRENCES

- Asfaw, S., Maggio, G. et Lipper, L.** 2016. *Gender, climate shock and welfare: Evidence from Malawi*. Mimeo.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Arslan, A., Lipper, L. et Cattaneo, A.** 2015. *Livelihood diversification and vulnerability to poverty in rural Malawi*. FAO-ESA Working Paper 15-02. Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. et Cattaneo, A.** 2014. *Climate Variability, Adaptation Strategies and Food security in Rural Malawi*. ESA Working Paper 14-08, Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. et Cattaneo, A.** 2016. What determines farmers' adaptive capacity? Empirical evidence from Malawi. *Food Security*, Vol. 8 (3): 643-664
- Asfaw, S., Mortari, A., Arslan, A., Karfakis, P. et Lipper, L.** 2016b. *Welfare impacts of climate shocks: evidence from Uganda*. FAO technical report.
- Banque mondiale, FAO et FIDA.** 2015. *Gender in climate-smart agriculture: module 18 for gender in agriculture source-book*. Agriculture global practice. Washington.
- Banque mondiale.** 2010a. *Rapport sur le développement dans le monde 2010. Développement et changement climatique*. Washington.
- Banque mondiale.** 2010b. *Economics of adaptation to climate change. Synthesis Report*. Washington.
- Banque mondiale.** 2010c. *Economics of adaptation to climate change*. Washington.
- Barrett, C.B. et Swallow, B.M.** 2006. Fractal poverty traps. *World Development*, 34(1): 1-15.
- Barrett, C.B., Reardon, T. et Webb, C.** 2001. Nonfarm income diversification and household livelihood strategies in rural Africa: Concepts, dynamics, and policy implications. *Food policy*, 26(4): 315-331.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. et Palutikof, J.P.,** (sous la direction de). 2008. *Le changement climatique et l'eau. Document technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Genève (Suisse), Secrétariat du GIEC, 210 pp.
- Baudron, F., Moti J., Oriama O. et Asheber T.** 2013. Conservation agriculture in African mixed crop-livestock systems: Expanding the niche. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187(4): 171-182.
- Bondeau, A., Smith, P., Zaehle, S., Schaphoff, S., Lucht, W., Cramer, W., Gerten, D., Lotze-Campen, H., Müller, C., Reichstein, M. et Smith, B.** 2007. Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance. *Global Change Biology*, 13: 679-706.
- Burney J.A., Davis S.J. et Lobell, D.B.** 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 12052-7.
- Cacho, O.J., Moss, J., Thornton, P., Herrero, M., Henderson, B. et Bodirsky, B.L.** 2016. *Adaptation paths for vulnerable areas* Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016* (à paraître).
- Carter, M.R. et Barrett, C.B.** 2006. The economics of poverty traps and persistent poverty: an asset-based approach. *Journal of Development Studies*, 42(2): 178-199.
- Cassman, K.** 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11): 5952-5959.
- Challinor, A.J., Koehler, A.-K., Ramirez-Villegas, J., Whitfield, S. et Das, B.** 2016. Current warming will reduce yields unless maize breeding and seed systems adapt immediately. *Nature Climate Change* Sous presse.
- Cole, S. A., Giné X. et Vickery, J. I.** 2013. *How does risk management influence production decisions? Evidence from a field experiment*. World Bank Policy Research Working Paper 6546. Washington, Banque mondiale.
- Dankelman, I.** 2008. *Gender and climate change: an introduction*. Londres, Earthscan.
- De Pinto, A., Thomas, T., et Wiebe, K.** 2016. *Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security*. Document d'information élaboré en vue de l'édition 2016 de *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*. Washington, IFPRI (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires). (Non publié).

Dercon, S. 1996. Risk, crop choice, and savings. *Economic Development and Cultural Change*, (44): 485–513.

Dercon, S. et Christiaensen L. 2007. *Consumption risk, technology adoption and poverty traps: evidence from Ethiopia*. The Centre for the Study of African Economies Working Paper Series 2007-06. Oxford (Royaume-Uni), Centre for the Study of African Economies.

Erickson, P., Thornton, P., Notenbaert, A., Cramer, L., Jones, P. et Herrero, M. 2011. *Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics*. Copenhagen, GCRAI Programme de recherche sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire (CCAFS).

Fafchamps, M. 2003. *Rural poverty, risk and development*. Cheltenham (Royaume-Uni), Edward Elgar Publishing.

FAO et Banque mondiale. 2011. *Climate change, water and food security*. FAO Water Reports. Rome.

FAO et Conseil mondial de l'eau. 2015. *Towards a water and food secure future critical perspectives for policy-makers*. Rome et Marseille (France).

FAO. 2007. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2007. Payer les agriculteurs pour les services environnementaux*. Rome.

FAO. 2009. *Food security and agricultural mitigation in developing countries: options for capturing synergies*. Rome.

FAO. 2011a. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2010–11. Le rôle des femmes dans l'agriculture: Comblant le fossé entre les hommes et les femmes pour soutenir le développement*. Rome.

FAO. 2011b. *L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde—Gestion des systèmes en danger*. Rome, FAO et Londres, Earthscan.

FAO. 2011c. *Produire plus avec moins: Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne*. Rome.

FAO. 2012. *Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security*. Rome.

FAO. 2013a. *Guidelines to control water pollution from agriculture in China: decoupling water pollution from agricultural production*. Rome.

FAO. 2013b. *Climate-smart agriculture source book*. Rome.

FAO. 2014a. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2014. Ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation*. Rome.

FAO. 2014b. *The Water-Energy-Food Nexus – a new approach in support of food security and sustainable agriculture*. Rome.

FAO. 2015a. *Directives d'application volontaire à l'appui de l'intégration de la diversité génétique dans les plans nationaux d'adaptation au changement climatique*. Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.

FAO. 2015b. *The economic lives of smallholder farmers: an analysis based on household data from nine countries*. Rome.

FAO. 2015c. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2015. Protection sociale et agriculture: Briser le cercle vicieux de la pauvreté rurale*. Rome.

FAO. 2016a. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome.

FAO. 2016b. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*, by A. Arslan, F. Belotti, et L. Lipper, ESA Working Paper No. 16-03. Rome.

FAO. 2016c. *Welfare impacts of climate shocks: evidence from Uganda*, by S. Asfaw, A. Mortari, A. Arslan, P. Karfakis, et L. Lipper, Rome.

FAO. 2016d. *Social protection in protracted crises, humanitarian and fragile contexts. FAO's agenda for action for social protection and cash-based programmes*. Rome.

RÉFÉRENCES

- Fixen, P., Brenttrup, F., Bruulsema, T.W., Garcia, F., Norton, R. et Zingore, S.** 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: P. Dreschler, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen et D. Wichelns. 2015. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. Association internationale de l'industrie des engrais (IFA), Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI) et Institut international de la potasse (IIP), pp. 8–38.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).** 2001. In: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson, (sous la direction de). *Changements climatiques 2001: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au troisième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press, 881 pp.
- Goh, A.H.X.** 2012. *A literature review of the gender-differentiated impacts of climate change on women's and men's assets and well-being in developing countries*. CAPRI Working Paper No. 106. Washington, IFPRI.
- Gray, E., et A. Srinidhi.** 2013. *Watershed development in India: economic valuation and adaptation considerations*. Working paper. Washington, Institut des ressources mondiales.
- Gumucio T. et Tafur-Rueda M.** 2015. Influencing Gender-Inclusive Climate Change Policies in Latin America. *Journal of Gender, Agriculture, Food Security*, 1(2): 42–61.
- Hansen J.W., Mason, S.J., Sun, L. et Tall, A.** 2011. Review of seasonal climate forecasting for agriculture in Sub-Saharan Africa. *Experimental Agriculture*, 47(2): 205–240.
- Herrero, M., Havlik, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M. C., Thornton, P. K., Blümmel M, Weiss F, Grace D. et Obersteiner, M.** 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52): 20888–20893.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy, R., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C. et Rosegrant, M.** 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327(1): 822–825.
- Hijioka, Y., Lin, E., Pereira, J.J., Corlett, R.T., Cui, X., Insarov, G.E., Lasco, R.D., Lindgren, E. et Surjan, A.** 2014. Asia. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, (sous la direction de). *Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie B: Aspects régionaux. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press, pp. 1327–1370.
- HLPE (Groupe d'experts de haut niveau).** 2015. *L'eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale*. Un rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale. Rome, FAO.
- HLPE.** 2016. *Le développement agricole durable au service de la sécurité alimentaire et de la nutrition: quels rôles pour l'élevage?* Un rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale. Rome, FAO.
- Holmes, R. et Jones, N.** 2009. *Gender inequality, risk and vulnerability in the rural economy: refocusing the public works agenda to take account of economic and social risk*. ESA Working Paper No. 11-13. Rome, FAO.
- Huynh, P.T. et Resurrección, B.P.** 2014. Women's differentiated vulnerability and adaptations to climate-related agricultural water scarcity in rural Central Vietnam. *Climate and Development*, 6(3): 226–237.
- IIED (Institut international pour l'environnement et le développement).** 2010. *Moving to adapt to climate change. Reflect et Act*. Londres (Royaume-Uni), International Institute for Environment and Development.

Jost, C., Kyazze, F., Naab, J., Neelormi, S., Kinyangi, J., Zougmore, R., Aggarwal, P., Bhatta G., Chaudhury, M., Tapio-Bistrom M.L., Kristjanson, P. et Nelson, S. 2015.

Understanding gender dimensions of agriculture and climate change in smallholder farming communities. *Climate and Development*, 8(2): 133–144.

Kandulu, J.M., Bryan, B.A., King, D. et Connor, J.D.

2012. Mitigating economic risk from climate variability in rain-fed agriculture through enterprise mix diversification. *Ecological Economics*, 79: 105–112.

Kebede, Y. 1992. Risk taking behaviour et new technologies: the case of producers in the Central Highlands of Ethiopia. *Quarterly Journal of International Agriculture*, 31: 269–289.

Kelly, V., Adesina, A. A. et Gordon, A. 2003.

Expanding access to agricultural inputs in Africa: a review of recent market development experience. *Food Policy*, 28(4): 379–404.

Klopper, E. et Bartman, A. 2003. Forecasts and commercial agriculture: a survey of user needs in South Africa. In: K. O'Brien et C. Vogel, sous la dir. de. *Coping with climate variability: the use of seasonal climate forecasts in Southern Africa*, 170–182. Abingdon (Royaume-Uni), Ashgate Publishing.

KNOMAD (Global Knowledge Partnership on Migration and Development). 2014. *Environmental change and migration: state of the evidence, KNOMAD thematic working group on environmental change and migration*. Washington.

Kremen, C. et Miles, A. 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, 17(4): 40.

Kremen, C. et Miles, A. 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, 17(4): 40.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623–1626.

Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Sen, P.T., Sessa, R., Shula, R., Tibu, A. et Torquebiau, E.F. 2015. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4: 1068–1072.

Liu, J., You, L., Amini, M., Obersteiner, M., Herrero, M., Zehnder, A.J. et Yang, H. 2010. A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(17): 8035–8040.

Lotze-Campen, H., Müller, C., Bondeau, A., Rost, S., Popp, A. et Lucht, W. 2008. Global food demand, productivity growth, and the scarcity of land and water resources: a spatially explicit mathematical programming approach. *Agricultural Economics*, 39 (3): 325–338.

Lotze-Campen, H., Müller, C., Bondeau, A., Rost, S., Popp, A. et Lucht, W. 2008. Global food demand, productivity growth, and the scarcity of land and water resources: a spatially explicit mathematical programming approach. *Agricultural Economics*, 39 (3): 325–338.

Markanday, A., Cabot-Venton, C. et Beucher, O. 2015. *Economic assessment of the impacts of climate change in Uganda. Final Study Report*. Uganda, Climate and Development Knowledge Network (CDKN).

Masters, W.A., Djurfeldt, A.A., De Haan, C., Hazell, P., Jayne, T., Jirström, M. et Reardon, T. 2013. Urbanization and farm size in Asia and Africa: implications for food security and agricultural research. *Global Food Security*, 2(3): 156–165.

McCarthy, N., Lipper, L. et Branca, G. 2011. Climate-smart agriculture: smallholder adoption and implications for climate change adaptation and mitigation. *Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 4*. Rome, FAO.

McOmber, C., Bartels, W., McKune, S., Panikowski, A. et Russo, S. 2013. *Investigating climate information services through a gendered lens*. CCAFS Working Paper No. 42. Copenhagen, CCFS.

Morduch, J. 1994. Poverty and Vulnerability. *The American Economic Review*, 84(2): 221–225.

Mudombi, S. et Nhamo, G. 2014. Access to weather forecasting and early warning information by communal farmers in Seke and Murewa Districts, Zimbabwe. *Journal of Human Ecology*, 48(3): 357–366.

RÉFÉRENCES

- Nations Unies. 2010.** *Les femmes dans le monde, 2010: Des chiffres et des idées.* (Voir: unstats.un.org/unsd.org)
- Nelson, V.** 2011. *Gender, Generations, Social Protection & Climate Change: A thematic review.* Londres, ODI.
- Nelson, V., Stathers, T.** 2009. Resilience, power, culture, and climate: a case study from semi-arid Tanzania, and new research directions. *Gender and Development*, Vol. 17 (1): 81–95
- Ngugi, R.K., Mureithi, S.M. et Kamande P.N.** 2011. Climate forecast information: the status, needs and expectations among smallholder agro-pastoralists in Machakos district, Kenya. *International Journal of Current Research*, 3(11): 006–012.
- Nicholls, C.I., Altieri, M.A. et Vazquez, L.** 2016. Agroecology: Principles for the Conversion and Redesign of Farming Systems. *Journal of Ecosystem et Ecography*, S5: 010.
- O'Brien, K., Sygna, L., Naess, L.O., Kingamkono, R. et Hochobeb, B.** 2000. Is Information Enough? User responses to seasonal climate forecasts in Southern Africa. Oslo, *Centre de recherche sur le climat et l'environnement (CICERO)*, University of Oslo, Report 2003:3.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques).** 2012. *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050: Les conséquences de l'inaction.* Paris.
- OCDE.** 2015. *Les conséquences économiques du changement climatique.* Paris.
- ODI (Institut britannique de développement outre-mer).** 2015. *Cash transfers. Doing cash differently: how cash transfers can transform humanitarian aid.* Report of the High Level Panel on Humanitarian Cash Transfers, Londres.
- Olinto, P., Beegle, K., Sobrado, C., et Uematsu, H.** 2013. The state of the poor: Where are the poor, where is extreme poverty harder to end, and what is the current profile of the world's poor?
- Oweis, T.** 2014. The need for a paradigm change: agriculture in water-scarce MENA region. In: G. Holst-Warhaft, T. Steenhuis et F. de Châtel, sous la dir. de. *Water scarcity, security and democracy: a Mediterranean mosaic.* Athènes, Global Water Partnership Mediterranean, Cornell University et Atkinson Center for a Sustainable Future.
- Phillips, J.G., Makaudze, E., et Uganai, L.** 2001. Current and potential use of climate forecasts for resource-poor farmers in Zimbabwe. In: C. Rosenzweig, ed. *Impacts of El Niño and climate variability in agriculture*, pp. 87–100. *American Society of Agronomy Special Publication* (63), Madison, Wisconsin (États-Unis d'Amérique).
- Pinca, V.** 2016. *Water management in smallholder agriculture under climate change.* Document d'information élaboré en vue de l'édition 2016 de *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture.* Rome, FAO (à paraître).
- PNUD.** 2010. *La vraie richesse des nations: Les chemins du développement humain.* Édition du 20^e anniversaire du RDH.
- PNUE.** 2016. *UNEP Frontiers 2016 Report: Emerging issues of environmental concern.* Nairobi.
- Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B.L. et al.** 2016. In revision. Land use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change* (à paraître).
- Poulton, C., Kydd, J. et Dorward, A.** 2006. Overcoming market constraints to pro-poor agricultural growth in sub-Saharan Africa. *Development Policy Review*, 24(3): 243–277.
- Rasmussen, L. V., Mertz, O., Rasmussen, K., Nieto, H., Ali, A. et Maiga, I.** 2014. Weather, climate, and resource information should meet the needs of Sahelian Pastoralists. *Weather, Climate, and Society*, 6: 482–494.
- Ricketts, T.H.** 2001. Conservation biology and biodiversity. *encyclopedia of life sciences.* Londres, MacMillan Reference Ltd.

Rosegrant, M.W., Jawoo K., Cenacchi, N., Ringler, C., Robertson, R., Fisher, M., Cox, C., Garrett, K., Perez, N.D. et Sabbagh, P. 2014. *Food security in a world of natural resource scarcity: the role of agricultural technologies*. Washington, IFPRI.

Rural and Agricultural Finance Learning Lab. 2016. *Inflection point: unlocking growth in the era of farmer finance*. (voir <https://www.rafllearning.org/post/inflection-point-unlocking-growth-era-farmer-finance>).

Sadoff, C.W. et Muller, M. 2009. *Better water resources management—greater resilience today, more effective adaptation tomorrow*. GWP TEC Perspectives Paper. Stockholm, Partenariat mondial pour l'eau.

Shames, S., Wollenberg, E., Buck, L.E., Kristjanson, P., Masiga, M. et Biryahaho, B. 2012. *Institutional innovations in African smallholder carbon projects*. CCAFS Report, 8. Copenhague, CCAFS.

Simtowe, F. 2006. Can risk-aversion towards fertilizer explain part of the non-adoption puzzle for hybrid maize? Empirical evidence from Malawi. *Journal of Applied Sciences*, 6(7): 1490–1498.

Stern, N. 2007. *Stern Review: The economics of climate change*. Cambridge (Royaume-Uni), Cambridge University Press (CUP).

Stern, N. 2014. *Growth, climate and collaboration: towards agreement in Paris 2015*. Policy Paper Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.

Stocking, M.A. 2003. Tropical soils and food security: the next 50 years. *Science*, 302(5649): 1356–1359.

Swiderska, K., Reid, H., Song, Y., Li, J., Mutta, D., Ongogu, P., Mohamed, P., Oros, R., Barriga, S. 2011. *The role of traditional knowledge and crop varieties in adaptation to climate change and food security in SW China, Bolivian Andes and coastal Kenya*. Paper prepared for the UNU-IAS workshop on Indigenous Peoples, Marginalised Populations and Climate Change: Vulnerability, Adaptation and Traditional Knowledge, Mexique, Juillet 2011.

Tall, A., Kristjanson, P., Chaudhury, M., McKune, S. et Zougmore, R. 2014. *Who gets the information? Gender, power and equity considerations in the design of climate services for farmers*. CCAFS Working Paper No. 89. Copenhague, CCAFS.

Tall, A., Mason, S. J., Suarez, P., Ait-Chellouche, Y., Diallo, A. A., Braman, L. et van Aalst, M. (Sous presse). 2012. Using seasonal forecasts to guide disaster management: The experience of the Red Cross during the 2008 floods in West Africa. *International Journal of Geophysics*.

Thornton, P. et Lipper, L. 2014. *How does climate change alter agricultural strategies to support food security?* IFPRI Discussion Paper O1340, Washington, IFPRI.

Timmer, C.P. 2014. *Managing structural transformation: a political economy approach*. UNU-WIDER Annual Lecture 18. Helsinki, Institut mondial de recherche sur les aspects économiques du développement de l'Université des Nations Unies.

Trinh, T., Tran, N. et Cao, Q. 2016. *Climate-smart aquaculture: evidences and potentials for northern coastal area of Vietnam*. CCAFS Working Paper No. 169. Copenhague, Danemark: CCAFS.

UN-DESA (Département des affaires économiques et sociales, Nations Unies). 2012. *World urbanization prospects, the 2011 revision*. New York (États-Unis d'Amérique), Nations Unies.

Vi Agroforestry. 2015. Vi Agroforestry and climate offsetting. (voir <http://www.viagroforestry.org/what-we-do/carbon-credit/>).

Watkiss, P. 2015. *A review of the economics of adaptation and climate-resilient development*. Working Paper. No. 205. Londres. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.

Wheeler, D. 2011. *Quantifying vulnerability to climate change: implications for adaptation assistance*. CGD Working Paper 240. Washington, Center for Global Development.

Wiggins, S. 2016. *Agricultural and rural development reconsidered. A guide to issues and debates*. IFAD Research Series No. 1. Rome, IFAD.

RÉFÉRENCES

- Winder Rossi N., Spano F., Sabates-Wheeler R. et Kohnstamm, S.** 2016. *Social protection and resilience building: Supporting livelihoods in protracted crises, fragile and humanitarian contexts*. FAO position paper. Rome et Brighton (Royaume-Uni), FAO et Institut de recherche sur le développement.
- Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. et Campbell, B.M.** 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology*.
- Wright, H. et Chandani, A.** 2014. *Gender in scaling up community based adaptation to climate change*. In: L. Schipper, J. Ayers, H. Reid, S. Huq & A. Rahman, (sous la direction de). *Community based adaptation to climate change: Scaling it up*. New York (États-Unis d'Amérique), Routledge.
- Yang, X., Chen, Y., Pacenka, S., Gao, W., Zhang, M., Sui, P. et Steenhuis, T.S.** 2015. *Recharge and groundwater use in the North China plain for six irrigated crops for an eleven year period*. *PLoS ONE* 10(1).
- Zhu, Y., Fen, H., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Hu, L. et Mundt, C.C.** 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406: 718–772.
- Burney, J.A., Davis, S.J. et Lobell, D.B.** 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 12052–12057.
- CE (Commission européenne).** 2013. *Assessing the impact of biofuels production on developing countries from the point of view of Policy Coherence for Development – Final report*. Bruxelles, Commission européenne.
- Chappell, A., Baldock, J. et Sanderman, J.** 2016. The global significance of omitting soil erosion from soil organic carbon cycling schemes. *Nature Climate Change*, 6: 187–191.
- CIFOR (Centre pour la recherche forestière internationale)** 2010. *Forests and climate change toolbox*. (voir <http://www.cifor.org/fctoolbox/>).
- CIFOR. Annual Report.** 2015. *A new landscape for forestry*. Montpellier (France).
- DEFRA. (Ministère de britannique de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales).** 2001. Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Londres, DEFRA.
- Erb, K.-H., Haberl, H., Krausmann, F., Lauk, C., Plutzer, C., Steinberger, J.K., Muller, C., Boudeau, A., Waha, K. et Pollack, G.** 2009. *Eating the Planet: feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely – a scoping study*. Potsdam (Allemagne), PIK.
- Erismann, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z. et Winiwarter, W.** 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 1: 636–639.
- FAO et FCRN (Food Climate Research Network).** 2016. *Plates, pyramids, planet. Developments in national healthy and sustainable dietary guidelines: a state of play assessment*. Rome et Oxford.
- FAO et ITPS.** 2015. *Status of the World's Soil Resources (SWWSR) – Main Report*. Rome.
- Bellarby, J. Foereid, B., Hastings, A. et Smith, P.** 2008. *Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential*. Amsterdam: Greenpeace International.

CHAPITRE 4

AEE (Agence européenne pour l'environnement). 2016. *Renewable energy in Europe 2016: recent growth and knock-on effects*. Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne.

Bajželj, B., Richards, K. S., Allwood, J. M., Smith, P., Dennis, J.S., Curmi, E., et Gilligan, C.A. 2014. Importance of food-demand management for climate mitigation. *Nature Climate Change*, 4: 924–929.

Bellarby, J. Foereid, B., Hastings, A. et Smith, P. 2008. *Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential*. Amsterdam: Greenpeace International.

- FAO.** 2011a. *Food security through commercialization of agriculture (FSCA) project, Liberia – GTFS/LIR/010/ITA*. Fonds fiduciaire de la FAO pour la sécurité alimentaire et la sécurité sanitaire des aliments. Contribution italienne, West Africa Platform.
- FAO.** 2011b. *L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde – Gérer les systèmes en danger*.
- FAO.** 2011c. *Pertes et gaspillages alimentaires dans le monde: Ampleur, causes et prévention*. Rome.
- FAO.** 2011d. *“Aliments «énergétiquement intelligents» pour les gens et le climat – Brève analyse*. Rome.
- FAO.** 2012. *Situation des forêts du monde 2012*. Rome.
- FAO.** 2013a. *Climate-smart agriculture source book*. Rome.
- FAO.** 2013b. *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains, a global life cycle assessment*. Rome.
- FAO.** 2014. *Walking the nexus talk – assessing the water-energy-food nexus*. Rome.
- FAO.** 2016a. FAOSTAT en ligne. (voir <http://faostat.fao.org>). Rome.
- FAO.** 2016b. *Forty years of community-based forestry: a review of its extent and effectiveness*. Étude FAO: Forêts 176. Rome.
- Fischbeck, P.S., Tom, M.S. et Hendrickson C.T.** Energy use, blue water footprint, and greenhouse gas emissions for current food consumption patterns and dietary recommendations in the US. *Environmental System*. 36(1) 92–103.
- Garnett, T., Appleby, M.C., Balmford, A., Bateman, I.J., Benton, T.G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J., Godfray H.C.J.** 2013. Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science*, 341 (6141): 33–34.
- Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L.G., Vaissière, B.E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., Freitas, B. M. et An, J.** 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271): 388–391.
- Garg, M.R., Sherasia, P.L., Bhandari, B.M., Phondba, B.T., Shelke S.K. et Makkar, H.P.S.** 2013. Effects of feeding nutritionally balanced rations on animal productivity, feed conversion efficiency, feed nitrogen use efficiency, rumen microbial protein supply, parasitic load, immunity and enteric methane emissions of milking animals under field conditions, *Animal Feed Science and Technology*, 179: 24–35.
- Gerber, P.J., Hristov, A.N., Henderson, B., Makkar, H.P. S., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J. Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A.T., Yang, W.Z., Tricarico, J.M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. et Oosting, S.** 2013a. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock – a review. *Animal*, 7: 220–34.
- Gerber, P.J., Henderson, B., Opio, C., Mottet, A. et Steinfeld, H.** 2013b. *Lutter contre le changement climatique grâce à l'élevage – Une évaluation des émissions et des opportunités d'atténuation au niveau mondial*. Rome, FAO.
- Gerber, P.J., Vellinga, T., Opio, C. et Steinfeld, H.** 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science*, 139: 100–108.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).** 2007. *Changements climatiques 2007: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*.
- GIEC.** 2014. *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*.
- Henderson, B., Falcucci, A., Mottet, A., Early, L., Werner, B., Steinfeld, H. et Gerber, P.** 2015. Marginal costs of abating greenhouse gases in the global ruminant livestock sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1–26.
- Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Blümmel, M., Weiss, F., Grace, D. et Obersteiner, M.** 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52): 20888–93.

RÉFÉRENCES

- Herrick, J.E., Sala, O.E. et Jason, K.** 2013. Land degradation and climate change: A sin of omission? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11: 283.
- HLPE (Groupe d'experts de haut niveau).** 2014. *Pertes et gaspillages de nourriture dans un contexte de systèmes alimentaires durables*. Un rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition, Rome, FAO.
- Houghton, R.A.** 2012. Historic changes in terrestrial carbon storage. In: R. Lal, K. Lorenz, R.F. Hüttl, B.U. Schneider, J. von Braun, sous la dir. de. *Recarbonization of the Biosphere: Ecosystems and the Global Carbon Cycle*, pp. 59–82. Dordrecht (Pays-Bas). Springer.
- Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, A.T., Yang, W., Lee, W., Gerber, P.J., Henderson, B. et Tricarico, J.M.** 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91 (11): 5045–5069.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) et FAO.** 2016. *Feedipedia. Animal feed resources online system*. (Voir: <http://www.feedipedia.org/>).
- IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations).** Mery, G., Katila, P., Galloway, G., Alfaro, R.I., Kanninen, M., Lobovikov, M., et Varjo, J. 2010. *Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change*. World Series Volume 25. Vienne, IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations).
- Khaliwala, S., Tanhua, T., Mikaloff Fletcher, S., Gerber, M., Doney, S.C., Graven, H.D., Gruber, N., McKinley, G. A., Murata, A., Rios, A.F. et Sabine, C.L.** 2013. Global ocean storage of anthropogenic carbon. *Biogeosciences*, 10: 2169–2191.
- Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., Lauka, C., Plutzar, C. et Searchinger, T. D.** 2013. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(25): 10324–10329.
- Lal, R.** 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30: 981–990.
- Lal, R.** 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17: 197–209.
- Lal, R.** 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop science*, 50 (Supplement 1): S–120.
- Lal, R., Griffin, M., Apt, J., Lave, L. et Morgan, M. G.** 2004. Managing soil carbon. *Science*, 304(5669): 393.
- Linquist, B.A., Anders, M.M., Adviento-Borbe, M.A.A., Chaney, R.L., Nalley, L.L., Da Rosa, E.F. et Kessel, C.** 2015. Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems. *Global Change Biology*, 21(1): 407–417.
- Mottet, A., Henderson, B., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Silvestri, S., Chesterman, S. et Gerber, P.J.** 2015. *Modeling livestock production under climate constraints in the African dry lands to identify interventions for adaptation*. In: 3rd Global Science Conference on Climate-Smart Agriculture, CSA2015. Montpellier (France), 16-18 mars, 2015.
- Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N. et Foley, J.A.** 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419): 254–257.
- Nellemann, C., Hain, S. et Alder, J.** 2008. *In dead water: merging of climate change with pollution, over harvest and infestations in the world's fishing ground*, Arendal (Norvège), UNEP, GRID-Arendal.
- Newbold J.** 2015. *Towards the zero methane cow*. Montpellier (France), 19 mars 2015.
- Oenema, O., Ju, X., de Klein, C., Alfaro, M., del Prado, A., Lesschen, J.P., Zheng, X., Velthof, G., Ma, L., Gao, B., Kroeze, C. et Sutton, M.** 2014. Reducing nitrous oxide emissions from the global food system. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 9–10: 55–64.

Oliveira Silva, R. de, Barioni, L.G., Hall, J.A.J., Folegatti M.M., Zanett A.T., Fernandes, F.A. et Moran, D. 2016.

Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nature Climate Change*. (Sous presse).

Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B. et Steinfeld, H. 2013.

Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains: a global life cycle assessment. Rome, FAO.

Pan G., Smith, P. et Pan, W. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 129: 344–348.

Paustian, K., Babcock, B.A., Hatfield, J., Kling, C.L., Lal, R., McCarl, B.A., McLaughlin, S., Mosier, A.R., Post, W.M., Rice, C.W. et Robertson, G.P. 2004. *Climate change and greenhouse gas mitigation: challenges and opportunities for agriculture*. Council on Agricultural Science and Technology (CAST) Task Force Report No., 141. Ames, USA, CAST.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P. et Smith, P. 2016. Climate-smart soils. *Nature*, 532, 49–57.

Penuelas, J., Poulter, B., Sardans, J., Ciais, P., van der Velde, M., Bopp, L., Boucher, O., Godderis, Y., Hinsinger, P., Llusia, J., Nardin, E., Vicca, S., Obersteiner, M. et Janssens, I.A. 2013. Human-induced nitrogen-phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. *Nature Communications*, 4: 2934.

Pittelkow, C. M., Liang, X., Linqvist, B.A., Van Groenigen, K. J., Lee, J., Lundy, M.E. et van Kessel, C. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517 (7534): 365–368.

Putz, F.E. et Romero, C. 2015. *Futures of tropical production forests*. Occasional Paper 143. Bogor, Indonesia, CIFOR (Center for International Forestry Research).

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T. van der Leeuw, S., Rodhe, H. Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. et Foley, J.A. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263): 472–475.

Running, S.W. 2012. Ecology. A measurable planetary boundary for the biosphere. *Science*, 337: 1458–9

Scharlemann, J.P., Tanner, E.V., Hiederer, R. et Kapos, V. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5: 81–91.

Siikamäki, J. et Newbold, S.C. 2012. Potential biodiversity benefits from international programs to reduce carbon emissions from deforestation. *Ambio*, 2012, 41 (Suppl 1): 78–89.

Smith P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N.H., Rice, C.W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F. et Tubiello, F. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel et J.C. Minx, (sous la direction de). *Changements climatiques 2014: Atténuation du changement climatique. Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni) et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.

Smith, D.M., Scaife, A.A., Boer, G.J., Caian, M., Doblaser, F.J., Guemas, V., Hawkins, E., Hazeleger, W., Hermanson, L., Ho, C.K., Ishii, M., Kharin, V., Kimoto, M., Kirtman, B., Lean, J., Matei, D., Merryfield, W.J., Müller, W.A., Pohlmann, H., Rosati, A., Wouters, B. et Wyser, K. 2013. Real-time multi-model decadal climate predictions. *Climate Dynamics*, 41 (11–12): 2875–2888.

RÉFÉRENCES

- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M. et Smith, J.** 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture, *philosophical transaction of the Royal Society B*, 363: 789–813.
- Sommer S.G., Olesen J.E., Petersen S.O., Weisbjerg M.R., Valli L., Rohde L. et Béline F.** 2009. Region-specific assessment of greenhouse gas mitigation with different manure management strategies in four agroecological zones. *Global Change Biology*, 15: 2825–2837.
- Sommer, R., et Bossio, D.** 2014. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. *Journal of Environmental Management*, 144, 83–87.
- Soussana, J.-F., Dumont, B. et Lecomte, P.** 2015. Integration with livestock. *Agroecology for food security and nutrition. Proceedings of the FAO International Symposium*, 18–19 September 2014, Rome, Italy. 225–249.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E., Biggs, R., Carpenter, S.R., Wim de Vries, S.R., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B. et Sörlin S.** 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223).
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C.** 2006. *L'ombre portée de l'élevage – impacts environnementaux et options pour leur atténuation*. Rome, FAO.
- Sutton, M.A., Oenema, O., Erisman, J.W., Leip, A., van Grinsven, H. et Winiwarter W.** 2011. Too much of a good thing. *Nature*, 472: 159–61.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. et Befort, B. L.** 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50): 20260–20264.
- Tilman, D. et Clark, M.** 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515: 518–522.
- Tukker, A., Goldbohm, R.A., de Koning, A., Verheijden, M., Kleijn, R., Wolf, O., Perez-Dominguez, I. et Rueda Cantuche, J.** 2011. Environmental impacts of changes to healthier diets in Europe. *Ecological Economics*, 70 (10): 1776–1788.
- Van Dooren, C., Marinussen, M., Blonkb, H., Aiking, H. et Vellinga, P.** 2014. Exploring dietary guidelines based on ecological and nutritional values: A comparison of six dietary patterns. *Food Policy*, 44: 36–46.
- Veneman, J.B., Saetnan, E.R., Newbold, C.J.** 2014. MitiGate: an on-line meta-analysis database of mitigation strategies for enteric methane emissions. (Voir <http://mitigate.ifers.aber.ac.uk>)

CHAPITRE 5

- Antón, J., Cattaneo, A., Kimura, S. et Lankoski, J.** 2013. Agricultural risk management policies under climate uncertainty. *Global Environmental Change*, 23: 1726–1736.
- Arslan, A., Belotti, F. et Lipper, L.** 2015. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*. Mimeo.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S. et Cattaneo, A.** 2014. Adoption and intensity of adoption of conservation farming practices in Zambia. *Agriculture, Ecosystems et Environment*, 187: 72–86.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A. et Kokwe, M.** 2015. Climate smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.
- Asfaw, S., Di Battista, F. et Lipper, L.** 2014. *Food security impact of agricultural technology adoption under climate change: micro-evidence from Niger*. ESA Working Paper 14-12. Rome, FAO.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. et Lipper, L.** 2015. *Welfare cost of weather fluctuations and climate shocks in Ethiopia*. Mimeo.

Asfaw, S., McCarthy, N., Cavatassi, Cavatassi, R., Paolantonio, A. Amare, A. et Lipper, L. 2015. *Diversification, climate risk and vulnerability to poverty: evidence from rural Malawi*. Document de travail FAO à paraître. Rome.

Banque mondiale. 2013. *Rapport sur le développement dans le monde. Risques et opportunités, la gestion du risque à l'appui du développement*: Washington.

Bebber, D.P., Ramotowski, M.A.T. et Gurr, S.J. 2013. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature, Climate Change*, 3, 985–988.

Braatz, S. 2012. Building resilience for adaptation to climate change through sustainable forest management. In: A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu, et V. Gitz, sous la dir. de. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Compte-rendu d'un atelier conjoint FAO/OCDE. Rome, FAO.

CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques). 2015. NAMA Registry. (voir <http://www4.unfccc.int/sites/nama/SitePages/Home.aspx>).

CCNUCC. 2016a. Programmes d'action nationaux aux fins de l'adaptation (PANA) reçus par le secrétariat. (voir http://unfccc.int/adaptation/workstreams/national_adaptation_programmes_of_action/items/4585.php).

CCNUCC. 2016b. Focus: Mitigation – NAMAs, Nationally Appropriate Mitigation Actions.

De Gorter, H. et Just, D.R. 2009. The economics of a blend mandate for biofuels. *American Journal of Agricultural Economy* 91(3): 738–750.

Earley, J. 2009. Climate change, agriculture and international trade: Potential conflicts and opportunities. *Biores*, 3(3).

Enciso, S.R.A., Fellmann, T., Pérez Dominguez, I. et Santini, F. 2016. Abolishing biofuel policies: possible impacts on agricultural price levels price variability and global food security. *Food Policy*, 61: 9–26.

FAO et AgriCord. 2012. *Strength in numbers – effective forest producer organizations*. Rome, FAO.

FAO et OECD. 2012. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Meybeck, A., Lankoski, J., Redfern, S. Azzu, N., et Gitz, V. Rome.

FAO. 2008. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2008. Les biocarburants: perspectives, risques et opportunités*. Rome.

FAO. 2013. *Directives relatives au changement climatique à l'intention des gestionnaires forestiers*. Rome.

FAO. 2016. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome.

Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T.W., Garcia, F., Norton, R. et Zingore, S. 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: P. Dreschler, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen, et D. Wichelns. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. Paris: Association internationale de l'industrie des engrais (IFA), Institut international de gestion des ressources en eau (IWRMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), et Institut international de la potasse (IIP), pp. 8–38.

Gregory, P.J., Johnson, S.N., Newton, A.C. et Ingram, J.S.I. 2009. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, Volume 60 (10) 2827–2838.

McCarthy, M., Best, M. et Betts, R. 2010. Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*, 37(9).

Meybeck, A., Azzu, N., Doyle, M. et Gitz V. 2012. Agriculture in National Adaptation Programmes of Action (NAPA). In: A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu et V. Gitz. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Compte-rendu d'un atelier conjoint FAO/OCDE. Rome, FAO.

OCDE. 2015. *Aligning policies for a low-carbon economy*. Paris.

OCDE. 2016. *Estimations du soutien aux producteurs et consommateurs: Base de données de l'OCDE*. (voir <http://www.oecd.org/tad/agricultural-policies/producerandconsumersupportestimatesdatabase.htm>). Paris.

RÉFÉRENCES

Place, F. et Meybeck, A. 2013. *Food security and sustainable resource use – what are the resource challenges to food security?* Background paper for the conference “Food Security Futures: Research Priorities for the 21st Century”, 11–12 Avril 2013, Dublin.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K.J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T.A.M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H. et Jones, J.W. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3268–3273.

SIPC (Stratégie internationale de prévention des catastrophes naturelles) et OCDE. 2013. *Disaster risk reduction – donor effort. A survey of development co-operation providers.* (Voir: http://www.preventionweb.net/files/34577_34577donoreffortondisasterriskreduc.pdf)

Sorda, G., Banse, M. et Kemfert, C. 2010. An overview of biofuel policies across the world. *Energy Policy*, 38 (11): 6977–6988.

Thomson, L.J., Macfadyen, S. et Hoffmann, A.A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, Vol. 52 (3): 296–306.

Wilkes, A., Tennigkeit, T. et Solymosi, K. 2013. *National planning for GHG mitigation in agriculture.* A guidance document. Rome, FAO.

Wu, M. et Salzman, J. 2014. The next generation of trade and environment conflicts: the rise of green industrial policy. *Scholarship Law Article, Northwestern University Law Review*, 108(2): 401–474.

CHAPITRE 6

Alliance cambodgienne contre le changement climatique. 2015. *Planning and budgeting for climate change in Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.* Alliance cambodgienne contre le changement climatique, Phnom Penh.

Banque mondiale. 2015. *Mainstreaming climate action within financial institutions: five voluntary principles.* (voir <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/5Principles.pdf>).

Banque mondiale. 2016. Making climate finance work in agriculture. Document d'information élaboré en vue de l'édition 2016 de La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, Washington (à paraître).

Buchner, B.K., Trabacchi, C., Mazza, F., Abramskiewn, D. et David Wang. 2015. *Global Landscape of climate finance 2015.* Venise (Italie), Climate Finance Initiative.

Caravani A., Nakhouda S. et Terpstra P. 2014, *The Rio markers in practice.* London et Washington, ODI and World Resources Institute.

Cattaneo, A., Lubowski, R., Busch, J., Creed, A., Strassburg, B., Boltz, F. et Ashton, R. 2010. On International equity in reducing emissions from deforestation. *Environmental Science & Policy*, Vol. 13(8): 742–753.

Conway, D., Keenlyside, P., Roe, S., Streck, C., Vargas-Victoria, G. et Varns, T. 2015. *Progress on the New York Declaration on Forests – an assessment framework and initial report.* Document élaboré par Climate Focus, en collaboration avec Environmental Defense Fund, Forest Trends, The Global Alliance for Clean Cookstoves, et The Global Canopy Program.

DONOR Tracker. 2014. Analyzing development strategies. (Voir <http://www.donortracker.org/>).

FAO. 2012. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture: Investir dans l'agriculture pour un avenir meilleur.* Rome.

Gouvernement de la Thaïlande. 2014. *Strengthening the governance of climate change finance in Thailand.* Country Brief.

Gouvernement du Cambodge. 2016. *Report on Climate Public Expenditure Review 2012–14.* Ministère de l'économie et des finances, Phnom Penh.

IFPRI (Institut international de recherche sur les politiques alimentaires). 2015. *Statistics on Public Expenditures for Economic Development (SPEED).* (Voir <https://www.ifpri.org/>).

Mery, G., Katila, P., Galloway, G., Alfaro, R.I., Kanninen, M., Lobovikov, M., et Varjo, J. 2010. *Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change*. World Series Volume 25. Vienne, IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations).

Michaelowa A. et Michaelowa, K. 2011. Coding error or statistical embellishment? The political economy of reporting climate aid. *World Development*, 39 (11): 2010–2020.

Nations Unies. 2013. *National Accounts Main Aggregates Database*. (Voir <http://unstats.un.org/unsd/snaama/dnllist.asp>).

Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T.B., Ringler, C., Msangi, S., et You L. 2010. *Food security, farming, and climate change to 2050*. Washington, IFPRI.

Norman, M. et Nakhooda, S. 2014. *The State of REDD+ Finance*. Washington, Center for Global Development.

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 2015a. Credit Reporting System (CRS). (voir <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=CRS1>).

OCDE . 2015b. *Toolkit to enhance access to adaptation finance: for developing countries that are vulnerable to adverse effects of climate change, including LDCs, SIDS and African states*. Rapport élaboré par l'OCDE, en collaboration avec le FEM, à l'intention du Groupe d'étude du financement de la lutte contre le changement climatique du G20. Paris.

ODI (Institut britannique de développement outre-mer). 2015. Climate Funds Update dataset. (Voir <http://www.climatefundsupdate.org/>).

PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement). 2015. *Budgeting for climate change: how governments have used national budgets to articulate a response to climate change*. Bangkok.

ANNEXE STATISTIQUE

Abraha, M.G. et Savage, M.J. 2006. Potential impacts of climate change on grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 115(1-4): 150–160.

Alexandrov, V. et Hoogenboom, G. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104(4): 315–327.

Arndt, C., Strzepeck, K., Tarp, F., Thurlow, J., Fant IV, C. et Wright, L. 2011. Adapting to climate change: an integrated biophysical and economic assessment for Mozambique. *African Regional Perspectives*, 6(1): 7–20.

Berg, A., Noblet-Ducoudre, M. de. Sultan, B., Languagne, M. et Guimberteau, M. 2013. Projections of climate change impacts on potential C4 crop productivity over tropical regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 89–102.

Brassard, J.P. et Singh, B. 2007. Effects of climate change and CO₂ increase on potential agricultural production in Southern Québec, Canada. *Climate Research*, 34: 105–117.

Brassard, J.P. et Singh, B. 2008. Impacts of climate change and CO₂ increase on crop yields and adaptation options for Southern Quebec, Canada. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13: 241–265.

Butt, T.A., McCarl, B.A., Angerer, J., Dyke, P.T. et Stuth, J.W. 2005. The economic and food security implications of climate change in Mali. *Climatic Change*, 68(3): 355–378.

Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R.S.J. et Ringer, C. 2009. *Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa*. Washington, Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), Discussion Paper No. 873. Washington, IFPRI.

Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R. et Chhetri, N. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287–291.

RÉFÉRENCES

- Chhetri, N., Easterling, W.E., Terando, A. et Mearns, L.** 2010. Modeling path dependence in agricultural adaptation to climate variability and change. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4): 894–907.
- Ciscar, J., Iglesias, A., Feyen, L., Szabo, L., Regemorter, D., Amelung, B., Nicholls, R., Watkiss, P., Christensen, O., Dankers, R., Garrote, L., Goodess, C., Hunt, A., Moreno, A., Richards, J. et Soria, A.** 2011. Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 2678–2683.
- Deryng, D., Sacks, W.J., Barford, C.C. et Ramankutty, N.** 2011. Simulating the effects of climate and agricultural management practices on global crop yield. *Global Biogeochemical Cycles*, 25: GB2006.
- FAO.** 2016d. FAOSTAT. Base de données statistiques en ligne (consultée le 30 juillet 2016) (voir <http://faostat.fao.org/>).
- Giannakopoulos, C., Le Seger, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E. et Goodess, C.** 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global and Planetary Change*, 68: 209–224.
- Hermans, C., Geijzenborffer, I., Ewert, F., Metzger, M., Vereijken, P., Woltjer, G. et Verhgen, A.** 2010. Exploring the future of European crop production in a liberalized market, with specific consideration of climate change and the regional competitiveness. *Ecological Modelling*, 221: 2177–2187.
- Iqbal, M.A., Eitzinger, J., Formayer, H., Hassan, A. et Heng, L.K.** 2011. A simulation study for assessing yield optimization and potential for water reduction for summer-sown maize under different climate change scenarios. *Journal of Agricultural Science*, 149: 129–143.
- Izaurrealde, R., Rosenberg, N.J., Brown, R.A. et Thomson, A.M.** 2001. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117: 97–122.
- Kim, C., Lee, S., Jeong, H., Jang, J., Kim, Y. et Lee, C.** 2010. *Impacts of climate change on Korean agriculture and its counterstrategies*. Korea Rural Economic Institute.
- Lal, M.** 2011. Implications of climate change in sustained agricultural productivity in South Asia. *Regional Environmental Change*, 11 (Suppl. 1): S79–S94.
- Li, X., Takahashi, T., Nobuhiro, S. et Kaiser, H.M.** 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Agricultural Systems*, 104(4): 348–353.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. et Naylor, R.L.** 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*: 319: 607–610.
- Moriondo, M., Bindi, M., Kundzewicz, Z., Szwed, M., Chorynski, A., Matczak, P., Radziejewski, M., McEvoy, D. et Wreford, A.** 2010. Impact and adaptation opportunities for European agriculture in response to climatic change and variability. *Mitigation and Adaptation in Strategies for Global Change*, 15: 657–679.
- Müller, C., Bondeau, A., Popp, A., Waha, K. et Fadar, M.** 2010. *Climate change impacts on agricultural yields*. Note d'information élaborée en vue du *Rapport sur le développement dans le monde 2010: Développement et changement climatique*. Institut de recherche de Potsdam sur les incidences du changement climatique (PIK), Washington.
- Osborne, T.M., Rose, G. et Wheeler, T.** 2013. Variation in the global-scale impacts of climate change on crop productivity due to climate model uncertainty and adaptation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 183–194.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. et Hakala, K.** 2011. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 149(1): 49–62.
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y., Ding, Y., Friedlingstein, P., Liu, C., Tan, K., Yu, Y., Zhang, T. et Fang, J.** 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467: 43–51.

Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. et Travasso, M.I. 2014. Food security and food production systems. *In*: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White, (sous la direction de). *Changements climatiques 2014: incidences, adaptation et vulnérabilité. Partie A: Aspects mondiaux et sectoriels. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge (Royaume-Uni), et New York (États-Unis d'Amérique), Cambridge University Press.

Ringler, C., Zhu, T., Cai, X., Koo, J. et Wang, D. 2010. *Climate change impacts on food security in Sub-Saharan Africa*. IFPRI Discussion Paper No. 01042. Washington, IFPRI.

Rowhanji, P., Lobell, D., Lindermann, M. et Ramankutty, N. 2011. Climate variability and crop production in Tanzania. *Agriculture and Forest Meteorology*, 151: 449–460.

Schlenker, W. et Roberts, M.J. 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37): 15594–15598.

Shuang-He, S., Shen-Bin, Y., Yan-Xia, Z., Yin-Long, X., Xiao-Yan, Z., Zhu-Yu, W., Juan, L. et Wei-Wei, Z. 2011. Simulating the rice yield change in the middle and lower reaches of the Yangtze River under SRES B2 scenario. *Acta Ecologica Sinica*, 31: 40–48.

Southworth, J., Randolph, J.C., Habeck, M., Doering, O.C., Pfeifer, R.A., Rao, D.G. et Johnston, J.J. 2000. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82: 139–158.

Tan, Z., Tieszen, L.L., Liu, S. et Tachie-Obeng, E. 2010. Modeling to evaluate the response of savanna-derived cropland to warming-drying stress and nitrogen fertilizers. *Climatic Change*, 100: 703–715.

Tao, F. et Zhang, Z. 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: quantify the relative contributions of adaptation options. *European Journal of Agronomy*, 33(3): 103-116.

Tao, F. et Zhang, Z. 2011. Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. *Climatic Change*, 105: 409–432.

Tao, F., Zhang, Z., Liu, J. et Yokozawa, M. 2009. Modelling the impacts of weather and climate variability on crop productivity over a large area: a new super ensemble-based probabilistic projection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1266–1278.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarswamy, G. et Andresen, J. 2009. Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. *Global Environmental Change*, 19: 54–65.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarswamy, G. et Andresen, J. et Herrero, M. 2010. Adapting to climate change: agricultural system and household impacts in East Africa. *Agricultural Systems*, 103: 73–82.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Ericksen, P.J. et Challinor, A.J. 2011. Agriculture and food systems in sub-Saharan Africa in a 4 °C+ world. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369, 1934: 117–136.

Tingem, M. et Rivington, M. 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14: 153–168.

Walker, N.J. et Schulze, R.E. 2008. Climate change impacts on agro-ecosystem sustainability across three climate regions in the maize belt of South Africa. *Agriculture, Ecosystems, & Environment*, 124: 114–124.

Wang, M., Li, Y., Ye, W., Bornman, J. et Yan, X. 2011. Effects of climate change on maize production, and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province, China. *Climate Research*, 46: 223–242.

Xiong, W., Lin, E., Ju, H. et Xu, Y. 2007. Climate change and critical thresholds in China's food security. *Climatic Change*, 81: 205–221.

Xiong, W., Conway, D., Lin, E. et Holman, I. 2009. Potential impacts of climate change and climate variability on China's rice yield and production. *Climate Research*, 40: 23–35

CHAPITRES SPÉCIAUX DE LA SITUATION MONDIALE DE L'ALIMENTATION ET DE L'AGRICULTURE

La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture présente chaque année, depuis 1957, une étude spéciale sur un ou plusieurs sujets permanents relevant du domaine de la FAO. Les thèmes traités dans les éditions précédentes sont les suivants:

1957	Facteurs influençant les tendances de la consommation alimentaire Changements survenus après la guerre dans certains facteurs institutionnels affectant l'agriculture		L'amélioration de l'emmagasinage et sa contribution aux disponibilités alimentaires mondiales
1958	Évolution de la situation alimentaire et agricole en Afrique au sud du Sahara Le développement des industries forestières et ses répercussions sur les forêts du monde	1969	Programmes d'amélioration de la commercialisation agricole: quelques leçons tirées de l'expérience récente Modernisation des institutions dans l'intérêt du développement forestier
1959	Revenus et niveaux de vie agricoles dans des pays à différents stades d'évolution économique Étude de certains problèmes généraux de développement agricole dans les pays insuffisamment développés, à la lumière des enseignements de l'après-guerre	1970	L'agriculture au seuil de la Deuxième décennie pour le développement
1960	Les programmes de développement agricole	1971	La pollution des eaux et ses effets sur les ressources biologiques aquatiques et sur les pêches
1961	La réforme agraire et l'évolution des institutions Vulgarisation, éducation et recherche agricoles en Afrique, en Asie et en Amérique latine	1972	Éducation et formation en matière de développement Comment accélérer la recherche agricole dans les pays en développement
1962	Le rôle des industries forestières dans la lutte contre le sous-développement économique La production animale dans les pays insuffisamment développés	1973	L'emploi agricole dans les pays en développement
1963	Principaux facteurs influant sur le développement de la productivité agricole L'utilisation des engrais: à la pointe du développement agricole	1974	Population, approvisionnement alimentaire et développement agricole
1964	Nutrition protéique: besoins et perspectives Les produits synthétiques et leurs effets sur le commerce des produits agricoles	1975	La Deuxième décennie des Nations Unies pour le développement: examen et évaluation à mi-terme
1966	Agriculture et industrialisation	1976	Énergie et agriculture
1967	Le riz dans l'économie alimentaire mondiale Mesures propres à stimuler ou à décourager la production agricole dans les pays en voie de développement	1977	Situation des ressources naturelles et de l'environnement au regard de l'alimentation et de l'agriculture
1968	Aménagement des ressources halieutiques Progrès technique et relèvement de la productivité agricole dans les pays en voie de développement	1978	Problèmes et stratégies des régions en développement
		1979	La foresterie et le développement rural
		1980	Les pêches maritimes à l'ère des nouvelles juridictions nationales
		1981	Le paupérisme rural dans les pays en développement et les moyens d'y remédier
		1982	La production animale: aperçu mondial
		1983	La femme dans le développement agricole
		1984	Urbanisation, agriculture et systèmes alimentaires
		1985	Consommation d'énergie en agriculture Aspects écologiques de la production alimentaire et agricole Commercialisation

1986	Le financement du développement agricole	2010-11	Le rôle des femmes dans l'agriculture
1987-88	Nouvelles priorités de la science et de la technologie agricoles dans les pays en développement		Combler le fossé entre les hommes et les femmes pour soutenir le développement
1989	Développement durable et aménagement des ressources naturelles	2012	Investir dans l'agriculture pour un avenir meilleur
1990	Ajustement structurel et agriculture	2013	Mettre les systèmes alimentaires au service d'une meilleure nutrition
1991	Politiques et problèmes agricoles: leçons des années 80 et perspectives pour les années 90	2014	Ouvrir l'agriculture familiale à l'innovation
1992	Pêches maritimes et droit de la mer: 10 ans de mutation	2015	Protection sociale et agriculture: briser le cercle vicieux de la pauvreté rurale
1993	Politiques de l'eau et agriculture		
1994	Développement forestier et grands dilemmes		
1995	Le commerce agricole: à l'aube d'une ère nouvelle?		
1996	Les dimensions macroéconomiques de la sécurité alimentaire		
1997	Les industries agroalimentaires et le développement économique		
1998	Les revenus ruraux non agricoles dans les pays en développement		
2000	L'alimentation et l'agriculture dans le monde: enseignements des 50 dernières années		
2001	Impact économique des ravageurs des plantes et des maladies animales transfrontières		
2002	L'agriculture et les biens collectifs mondiaux 10 ans après le sommet de la planète Terre		
2003-04	Les biotechnologies agricoles – une réponse aux besoins des plus démunis		
2005	Le commerce agricole et la pauvreté – le commerce peut-il être au service des pauvres?		
2006	L'aide alimentaire pour la sécurité alimentaire?		
2007	Payer les agriculteurs pour les services environnementaux		
2008	Les biocarburants: perspectives, risques et opportunités		
2009	Le point sur l'élevage		

2016

LA SITUATION MONDIALE DE L'ALIMENTATION ET DE L'AGRICULTURE

CHANGEMENT CLIMATIQUE, AGRICULTURE ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Si l'on ne prend pas dès maintenant des mesures pour renforcer la durabilité, la productivité et la résilience de l'agriculture, les répercussions du changement climatique feront peser une lourde menace sur la production alimentaire de pays et de régions déjà fortement exposés à l'insécurité alimentaire. L'Accord de Paris, adopté en décembre 2015, est un nouveau départ dans l'action mondiale visant à stabiliser le climat avant qu'il ne soit trop tard. Il reconnaît toute l'importance de la sécurité alimentaire dans la réaction internationale au changement climatique, comme en témoignent les contributions prévues, en terme d'adaptation et d'atténuation, de nombreux pays, qui placent l'agriculture au premier plan. Afin d'aider à traduire ces plans en actions concrètes, le présent rapport met en lumière les stratégies, les modes de financement possibles et les besoins en données et en informations, et brosse un tableau des politiques de transformation et des institutions qui peuvent faire tomber les obstacles à la mise en œuvre.



ISBN 978-92-5-209374-9 ISSN 0251-1460



9 789252 093749

I6030F/1/10.16